

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE TRANSPORTE
AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA
CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE APP No 004 DEL 18 DE OCTUBRE DE 2016
ESTUDIOS, DISEÑOS, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO, GESTIÓN SOCIAL, PREDIAL Y AMBIENTAL DE LA AMPLIACIÓN DEL TERCER CARRIL – DOBLE CALZADA BOGOTÁ- GIRARDOT

Interventoría



CONSORCIO SEG-INCOPLAN



Concesionario



Visa:

Diseño y Construcción



Visa:

Emisor



Visa:

G-CSM-000-UF2-XXXXX-A-INF-INGET-10305-A1 CAPÍTULO 5.1
CARACTERIZACIÓN MEDIO ABIÓTICO.

Rev.	Fecha	Descripción de la revisión
A0	2017-07-31	Primera Emisión
A1	2017-12-07	Segunda Emisión
Elaboró:		Revisó y Aprobó:
Angélica CUBILLOS Fecha: 2017-12-07		Margarita CARRASCO Fecha: 2017-12-07
Verificó:		
Mauricio MUÑOZ Fecha: 2017-12-07		
Formato: Carta		Escala: N/A
		Páginas: 1 / 554

Documento N°

Fase	Disciplina	Obra	Zona UF	PM	Sentido	Tipo	Emisor	Número	Rev.
G	CSM	000	UF2E	XXXXX	A	INF	INGET	10305	A1

DOCUMENTO PRELIMINAR SUSCEPTIBLE DE MODIFICACIÓN

PRELIMINAR

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

SECCIÓN MODIFICADA	OBSERVACIONES
Todas	Se ajusta de acuerdo con los comentarios de CR 40 y la información faltante.

PRELIMINAR

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
CAPÍTULO 5.1 CARACTERIZACIÓN MEDIO ABIÓTICO
CONCESIONARIA VÍA 40 EXPRESS S.A.S.
CONTRATO DE CONCESIÓN APP No. 4 DEL 18 DE OCTUBRE DE 2016



Fuente: Concesionario Vía 40 Express

OBJETO: Ampliación Tercer Carril - Doble Calzada Bogotá – Girardot.

ALCANCE DEL PROYECTO: Estudios, Diseños, Construcción, Operación, Mantenimiento, Gestión Social, Predial y Ambiental de la Ampliación Tercer Carril – Doble Calzada Bogotá - Girardot, de acuerdo con el Apéndice Técnico 1 y demás Apéndices del Contrato.

TABLA DE CONTENIDO

5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	43
5.1. MEDIO ABIÓTICO	43
5.1.1. Geología	43
5.1.1.1. Estratigrafía	44
5.1.1.1.1. Formación Conejo (Kscn).....	44
5.1.1.1.2. Grupo Olini (Kso).....	44
5.1.1.1.3. Formación La Tabla (Ksta).....	46
5.1.1.1.4. Formación Seca (Kpgs).....	47
5.1.1.1.5. Conglomerados del Carmen de Apicalá (Ngca).....	47
5.1.1.1.6. Depósitos de Terraza (Qt).....	47
5.1.1.1.7. Depósitos de Coluvión (Qc).....	48
5.1.1.1.8. Depósitos aluviales (Qal).....	49
5.1.1.2. Geología Estructural	49
5.1.1.2.1. Fallas	51
5.1.1.2.2. Plegamiento.....	58
5.1.1.2.3. Discontinuidades	58
5.1.1.3. Condiciones geológicas de las obras subterráneas.....	60
5.1.1.3.1. Túnel Ermitaño	60
5.1.1.3.2. Túnel Divino Niño	64
5.1.1.3.3. Túnel Palmichala	71
5.1.1.3.4. Túnel Nariz del Diablo	78
5.1.2. Geomorfología	85
5.1.2.1. Unidades y subunidades geomorfológicas.....	87
5.1.2.1.1. Geformas de Ambiente Fluvial y Lagunar (F)	88

5.1.2.1.2. Geoformas de Ambiente Denudacional (D)	90
5.1.2.1.3. Geoformas de Ambiente Morfoestructural (S).....	90
5.1.2.1.4. Procesos morfodinámicos	91
5.1.2.1.5. Análisis multitemporal.....	99
5.1.2.1.6. Susceptibilidad a procesos de remoción en masa.....	104
5.1.3. Paisaje	115
5.1.3.1. Metodología	115
5.1.3.1.1. Unidades de paisaje local.....	115
5.1.3.1.2. Análisis de visibilidad de las unidades de paisaje local	122
5.1.3.1.3. Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico	123
5.1.3.1.4. Sitios de interés paisajístico	123
5.1.3.2. Resultados.....	123
5.1.3.2.1. Unidades de paisaje local.....	123
5.1.3.2.2. Análisis de visibilidad.....	156
5.1.3.2.3. Sitios de interés paisajístico	157
5.1.4. Suelos y uso de la tierra	158
5.1.4.1. Ambientes edafogenéticos	158
5.1.4.2. Descripción edafológica de los Suelos en las Áreas de influencia	159
5.1.4.2.1. Determinación geomorfológica.....	163
5.1.4.2.2. Caracterización agrológica de las unidades de suelo presentes en el área de estudio	164
5.1.4.2.3. Velocidad de infiltración.....	194
5.1.4.2.4. Análisis fisicoquímicos.....	196
5.1.4.3. Clasificación agrológica y capacidad de uso de los suelos (uso potencial).....	199
5.1.4.4. Uso actual de los suelos en el área de estudio.....	206
5.1.4.5. Conflictos de Uso de los suelos en el área de estudio.....	209
5.1.4.6. Conflictos de Uso de los suelos con respecto al ordenamiento territorial.....	214

5.1.4.7. Vulnerabilidad de los suelos a la contaminación por las actividades del proyecto	215
5.1.5. Hidrología	220
5.1.5.1. Recopilación y análisis de información existente	220
5.1.5.2. Red Hidrográfica y áreas de cuencas hidrológicas	220
5.1.5.3. Patrones de drenaje	225
5.1.5.4. Características morfométricas de las cuencas hidrológicas	225
5.1.5.5. Caudales máximos en las cuencas en estudio	230
5.1.5.6. Caudales Medios	239
5.1.6. Calidad de agua.....	242
5.1.6.1. Cuerpos de agua continentales.....	242
5.1.6.1.1. Marco Normativo	242
5.1.6.1.2. Metodología	243
5.1.6.1.3. Parámetros analizados.....	246
5.1.6.1.4. Puntos de Monitoreo.....	247
5.1.6.1.5. Resultados y discusión.....	254
5.1.6.1.6. Índices	275
5.1.6.2. Componente sedimentos.....	287
5.1.6.2.1. Metodología	287
5.1.6.2.2. Puntos de Monitoreo.....	290
5.1.6.2.3. Resultados y discusión.....	293
5.1.7. Usos del agua.....	307
5.1.7.1. Usuarios formales.....	307
5.1.7.2. Usuarios no formales.....	310
5.1.7.2.1. Agua Superficial.....	310
5.1.7.2.2. Aguas captación de agua superficial.....	313
5.1.7.2.1. Índices de caracterización del régimen hidrológico.....	318

5.1.8. Modelo Hidrogeológico Conceptual - MHC	326
5.1.8.1. Metodología	327
5.1.8.1.1. Análisis de la información disponible para el componente geológico e hidrogeológico	329
5.1.8.2. Hidrología Superficial – Balance Hídrico	330
5.1.8.2.1. Recarga del Acuífero - Balance Hídrico	330
5.1.8.2.2. Precipitación media mensual (P).....	331
5.1.8.2.3. Evapotranspiración potencial mensual (ETP)	332
5.1.8.3. Inventario de puntos de agua subterránea.....	336
5.1.8.4. Exploraciones del subsuelo.....	338
5.1.8.4.1. Primera Fase de Exploración del subsuelo GEOTÚNELES - BOMA – INPASA 2015.....	338
5.1.8.4.2. Segunda Fase de Exploración del subsuelo INGETEC – TAT 2017	338
5.1.8.4.3. Otras campañas exploratorias.....	340
5.1.8.4.4. Conclusiones generales de la campañas de investigación del subsuelo	342
5.1.8.5. Niveles piezométricos.....	342
5.1.8.6. Hidrogeoquímica.....	344
5.1.8.6.1. Calidad del agua subterránea	347
5.1.8.7. Modelo geológico.....	362
5.1.8.7.1. Túnel Ermitaño	363
5.1.8.7.2. Túnel Divino Niño	363
5.1.8.7.3. Túnel Palmichala	368
5.1.8.7.4. Túnel Nariz del Diablo	368
5.1.8.8. Estudio Geoeléctrico.....	374
5.1.8.8.1. Metodología Sondeos Eléctricos Verticales – SEV.....	374
5.1.8.8.2. Exploración geoeléctrica	376
5.1.8.8.3. Modelo geológico – geoeléctrico	378
5.1.8.9. Unidades hidrogeológicas	385

5.1.8.9.1. Secciones de Análisis Modelo Hidrogeológico Conceptual	392
5.1.8.9.2. Conclusiones	404
5.1.8.10. Dirección de flujo subterráneo a partir del MHC	405
5.1.9. Modelo Hidrogeológico Numérico - MHN	407
5.1.9.1. Definición del área de influencia a modelar	407
5.1.9.1.1. Túnel Ermitaño	409
5.1.9.1.2. Túnel Divino Niño y Palmichala	409
5.1.9.1.3. Túnel Nariz del Diablo	410
5.1.9.2. Discretización horizontal y vertical	411
5.1.9.3. Condiciones de Frontera	412
5.1.9.3.1. Ríos	¡Error! Marcador no definido.
5.1.9.3.2. Recarga	413
5.1.9.3.3. Dren Túnel Actual Sumapaz	413
5.1.9.4. Análisis de sensibilidad	413
5.1.9.4.1. Análisis de sensibilidad a la conductancia del Dren	413
5.1.9.4.2. Análisis de sensibilidad a la conductancia de las unidades	414
5.1.9.4.3. Análisis de conductividad hidráulica en las zonas de falla	416
5.1.9.4.4. Análisis de la sensibilidad a la porosidad	417
5.1.9.5. Calibración del modelo	419
5.1.9.5.1. Variables y parámetros de la calibración	419
5.1.9.6. Resultados de la modelación numérica	423
5.1.9.6.1. Resultados condición inicial	423
5.1.9.6.2. Direcciones de flujo subterráneo Unidad Funcional 2 a partir de la modelación numérica – Escenario sin Proyecto	425
5.1.9.6.3. Resultados de la condición proyectada	427
5.1.9.6.4. Dirección del flujo subterráneo proyectado – Escenario con Proyecto	430
5.1.9.6.5. Caudales de infiltración	432

5.1.9.6.6. Isolíneas de abatimientos de niveles freáticos Escenario con Proyecto.....	432
5.1.9.7. Conclusiones	435
5.1.10. Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación	435
5.1.10.1. Metodología	436
5.1.10.1.1. Factores de la evaluación de la vulnerabilidad	441
5.1.10.1.2. Resultados.....	443
5.1.11. Geotecnia	446
5.1.11.1. Caracterización Geotécnica Obras Superficiales.....	446
5.1.11.1.1. Metodología	446
5.1.11.1.2. Perforaciones.....	447
5.1.11.1.3. Ensayos de laboratorio.....	447
5.1.11.1.4. Caracterización geotécnica	447
5.1.11.1.5. Análisis de estabilidad taludes de corte y de laderas área de influencia UF-2.....	451
5.1.11.2. Caracterización Obras Subterráneas	454
5.1.11.2.1. Sectorización Geomecánica a lo largo de los túneles cortos.....	454
5.1.12. Atmósfera	483
5.1.12.1. Meteorología.....	483
5.1.12.1.1. Temperatura	483
5.1.12.1.2. Presión Atmosférica	485
5.1.12.1.3. Humedad relativa.....	486
5.1.12.1.4. Nubosidad.....	486
5.1.12.1.5. Brillo solar	487
5.1.12.1.6. Evaporación.....	487
5.1.12.1.7. Velocidad media del viento.....	488
5.1.12.1.8. Análisis de lluvias	488
5.1.12.1.9. Precipitación total mensual multianual (mm).....	489

5.1.12.1.10. Precipitación máxima en 24 horas	489
5.1.12.2. Identificación de fuentes de emisiones.....	490
5.1.12.2.1. Localización de las fuentes de emisión	490
5.1.12.2.2. Potenciales receptores	491
5.1.12.3. Calidad de aire.....	493
5.1.12.3.1. Puntos de Monitoreo	493
5.1.12.3.2. Descripción de las estaciones de monitoreo.....	493
5.1.12.3.3. Condiciones climáticas	497
5.1.12.3.4. Metodologías de muestreo	503
5.1.12.3.5. Normatividad vigente	512
5.1.12.3.6. Análisis de Resultados	513
5.1.12.4. Ruido	531
5.1.12.4.1. Inventario de fuentes	531
5.1.12.4.2. Receptores de ruido	531
5.1.12.4.3. Puntos de monitoreo	535
5.1.12.4.4. Descripción de las estaciones de monitoreo.....	538
5.1.12.4.5. Metodología de muestreo.....	540
5.1.12.4.6. Análisis Meteorológico.....	542
5.1.12.4.7. Normatividad Aplicable de Ruido Ambiental	548
5.1.12.4.8. Análisis de Resultados	550

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Sectorización litológica en segmentos de la Unidad Funcional 2.	43
Tabla 2 Sistemas de diaclasas en la Unidad Funcional 2.	58
Tabla 3 Datos de estratificación en la Unidad Funcional 2.	59
Tabla 4 Principales familias de discontinuidades en el Túnel Ermitaño.	63
Tabla 5 Principales familias de discontinuidades en el Túnel Divino Niño.	69
Tabla 6 Principales familias de discontinuidades en el Túnel Palmichala.	76
Tabla 7 Principales familias de discontinuidades en el Túnel Nariz del Diablo.	83
Tabla 8 Jerarquización geomorfológica de la zona de influencia de la Unidad Funcional 2.	87
Tabla 9 Síntesis de Geo-formas Nomenclatura de la Geomorfológica del área de Influencia del Proyecto UF-287	
Tabla 10 Relación de procesos geomorfológicos identificados en el área Geoesférica de la Unidad Funcional UF2.	92
Tabla 11 Variables y mapas temáticos a utilizar en el análisis.	104
Tabla 12 Ponderación de las unidades geológicas para la evaluación de la susceptibilidad de los movimientos en masa.	105
Tabla 13 Ponderación de las diferentes oberturas vegetales para la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa.	107
Tabla 14 Ponderación de los rangos de pendientes para la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa.	108
Tabla 15 Susceptibilidad a los movimientos en masa.	113
Tabla 16 Unidades de paisaje definidas para el área de influencia.	116
Tabla 17 Valoración de los elementos del paisaje.	117
Tabla 18 Valoración de la calidad visual total.	118
Tabla 19 Valoración para los elementos del paisaje desde la fragilidad.	118
Tabla 20 Clasificación de la capacidad de absorción visual y la fragilidad visual.	120
Tabla 21 Clasificación del tamaño de la discordancia.	120
Tabla 22 Clasificación de los atributos para estimar la belleza paisajística.	121

Tabla 23 Clasificación del índice de belleza.....	122
Tabla 24 Valoración de los elementos de calidad visual del paisaje en el área de influencia indirecta.	132
Tabla 25 Clasificación de la calidad visual total.	134
Tabla 26 Valoración de los elementos de calidad visual del paisaje en el área de influencia directa.	134
Tabla 27 Capacidad de absorción visual del relieve para el área de influencia	135
Tabla 28 Distribución de la capacidad de absorción visual del relieve en el AID	136
Tabla 29 Capacidad de absorción visual de la diversidad estructural para el área de influencia.....	137
Tabla 30 Distribución de la capacidad de absorción visual de la diversidad estructural en el AID	137
Tabla 31 Capacidad de absorción visual de la estabilidad del suelo y erosionabilidad para el área de influencia	138
Tabla 32 Distribución de la capacidad de absorción visual de la estabilidad del suelo y erosionabilidad en el AID	139
Tabla 33 Capacidad de absorción visual del potencial de regeneración en la vegetación para el área de influencia.....	139
Tabla 34 Distribución de la capacidad de absorción visual del potencial de regeneración en la vegetación en el AID	140
Tabla 35 Capacidad de absorción visual del contraste roca vegetación para el área de influencia.....	141
Tabla 36 Distribución de la capacidad de absorción visual del contraste roca vegetación en el AID	141
Tabla 37 Fragilidad visual y capacidad de absorción visual para el área de influencia.....	142
Tabla 38 Distribución de la fragilidad visual y la capacidad de absorción visual en el AID	143
Tabla 39 Elementos del índice de belleza paisajística en el área de influencia indirecta.....	151
Tabla 40 Superficie ocupada por la valoración del índice de belleza paisajística en el área de influencia indirecta.	153
Tabla 41 Elementos del índice de belleza paisajística en el área de influencia directa.	153
Tabla 42 Superficie ocupada por las unidades de paisaje local	154
Tabla 43 Unidades de paisaje presentes en el AID	155
Tabla 44 Tamaño de la discordancia para el área de influencia.....	156
Tabla 45 Unidades visibles en el área de estudio.....	156
Tabla 46 Coordenadas sitios de descripción y monitoreo de suelos	161

Tabla 47 Nomenclatura Unidades Cartográficas de Suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot	163
Tabla 48 Nomenclatura Unidades Cartográficas de Suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot	165
Tabla 49 Información Tomada del Perfil PS-1, descrito en Campo	170
Tabla 50 Información Tomada del Perfil PS-2, descrito en Campo	173
Tabla 51 Información Tomada del Perfil PS-3, descrito en Campo	176
Tabla 52 Información Tomada del Perfil PS-4, descrito en Campo	179
Tabla 53 Información Tomada del Perfil PS-5, descrito en Campo	182
Tabla 54 Información Tomada del Perfil PS-6, descrito en Campo	187
Tabla 55 Información Tomada del Perfil PS-7, descrito en Campo	191
Tabla 56 Clasificación de la Velocidad de Infiltración	195
Tabla 57 Resultados de las Pruebas de Infiltración en los Suelos Monitoreados	195
Tabla 58 Propiedades Físicoquímicas de los Suelos Monitoreados AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.....	197
Tabla 59 Aptitud de Uso de Los Suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot....	201
Tabla 60 Usos de Los Suelos.....	206
Tabla 61 Mapa uso actual de los suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot...	207
Tabla 62 Tipos de Conflictos de Uso del Suelo	209
Tabla 63 Conflictos de Uso de los Suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot	210
Tabla 64 Parámetros analizados dentro del Monitoreo de Suelos	215
Tabla 65 Resultados de metales pesados analizados dentro del Monitoreo de Suelos.....	216
Tabla 66 Estaciones meteorológicas e hidrométricas utilizadas en el estudio	220
Tabla 67 Características de las cuencas.....	222
Tabla 68 Fórmulas empleadas para calcular el tiempo de concentración	226
Tabla 69 Parámetros morfométricos cuencas principales	229
Tabla 70 Coeficientes de Escorrentía Utilizados por el Método Racional	231
Tabla 71 Coeficientes de escorrentía adoptados para diferentes períodos de retorno	231

Tabla 72 Coeficientes de la ecuación de regionalización de las IDF.....	232
Tabla 73 Datos de lluvia para elaborar las curvas IDF	232
Tabla 74 Estación El Salero. Valores de Intensidad-Duración-Frecuencia	232
Tabla 75 Intensidades de lluvia para el diseño de las obras de drenaje, tc= 15 minutos.....	233
Tabla 76. Factor de reducción por área.	237
Tabla 77 Valores de CN II para Diferentes Usos de Tierra.....	237
Tabla 78 Resumen de parámetros de modelación para estimar caudales máximos en cuencas mayores a 2,5 km ² - Hidrograma unitario del SCS.....	238
Tabla 79 Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno en las cuencas analizadas.....	239
Tabla 80 Caudales máximos de las cuencas de la zona de estudio	239
Tabla 81 Características de las estaciones de caudales	240
Tabla 82 Caudales medios de las cuencas de la zona de estudio	240
Tabla 83 Límites permisibles Decreto 1076 de 2015	242
Tabla 84 Variables evaluadas y tipo de muestreo realizado.....	246
Tabla 85 Localización de los puntos de monitoreo de calidad de agua superficial UF2	248
Tabla 86 Descripción puntos de monitoreo de aguas superficiales.....	251
Tabla 87 Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos analizados en los puntos monitoreados, incluyendo la comparación con los criterios de calidad permisibles (Decreto 1076 de 2015) para consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario y preservación de fauna y flora.	256
Tabla 88 Categorías para el análisis de cuerpos de agua.....	258
Tabla 89 Clasificación del Índice Langelier	276
Tabla 90 Resultados Índice Langelier	277
Tabla 91 Ecuaciones para cálculo del Índice utilizado en el ICA.....	278
Tabla 92 Variables y ponderación para el caso de 5 variables.....	279
Tabla 93 Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.....	279
Tabla 94 Resultados ICA.....	279
Tabla 95 Interpretación del índice de alteración potencial de la calidad del agua.....	282
Tabla 96 Resultados del índice de alteración potencial de la calidad del agua IACAL	284

Tabla 97 Clasificación de los cuerpos de agua según su alcalinidad total	286
Tabla 98 Resultados del índice de la capacidad de buffer (tampón)	286
Tabla 99 Variables evaluadas y tipo de análisis realizado en laboratorio.....	289
Tabla 100 Localización de los puntos de monitoreo de sedimentos.....	290
Tabla 101 Descripción puntos de monitoreo de sedimentos	292
Tabla 102 Resultados de parámetros fisicoquímicos en sedimentos analizados en los puntos monitoreados.	293
Tabla 103 Guías ambientales canadienses de calidad en sedimentos para la protección de la vida acuática .	294
Tabla 104 Granulometría realizada para los puntos de monitoreo.....	295
Tabla 105 Caudales concedidos por cuerpos de agua	307
Tabla 106 Puntos de vertimiento autorizados ante CORTOLIMA.....	308
Tabla 107 Usos y usuarios no formales identificados en campo	310
Tabla 108 Calificación de rangos del índice de regulación hídrica	319
Tabla 109 Índice de regulación hídrica.....	321
Tabla 110 Categorías IUA	322
Tabla 111 Calificación de rangos del índice de vulnerabilidad hídrica	324
Tabla 112 Características geométricas y técnicas de los cuatro túneles cortos proyectados en la UF-2. Fuente: ANII, 2016. Adaptado y modificado de TAT, 2017.....	326
Tabla 113 Precipitación mensual media multianual de la cuenca UF2 (período 1971-2012).....	331
Tabla 114 Evapotranspiración potencial (método de Penman). Estación Aeropuerto Santiago Vila. Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot UF-2.....	332
Tabla 115 Evapotranspiración potencial (método de Penman). Estación Pandi Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot UF-2	333
Tabla 116 Evapotranspiración potencial en el área de influencia UF-2 Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	333
Tabla 117 Escorrentía en la zona de estudio (mm) Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot UF-2	334
Tabla 118 Balance hídrico en el área de influencia UF-2 Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot UF-2	335
Tabla 119 Relación de investigaciones del subsuelo – perforaciones estudios Factibilidad UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot GEOTUNELES 2015.....	338

Tabla 120 Relación de investigaciones del subsuelo – perforaciones estudios ambientales UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot INGETEC 2017	338
Tabla 121 Relación de investigaciones del subsuelo – perforaciones estudios diseño preliminar Túneles Cortos UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Túneles y asistencia Técnica- TAT 2017	339
Tabla 122 Relación de investigaciones del subsuelo – perforaciones estudios Factibilidad Túnel Actual Sumapaz UF-2. Estudios para la Concesión de la carretera Av. Boyacá – Bosa – Granada – Girardot. INGETEC S.A. Diciembre 1998.....	340
Tabla 123 Resultados niveles piezométricos obtenidos en las campañas exploratorias 2015 en la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: GEOTUNELES 2015.....	343
Tabla 124 Resultados niveles piezométricos obtenidos en las campañas exploratorias 2017 en la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: CR40, 2017	343
Tabla 125 Descripción de los sitios de muestreo agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot	345
Tabla 126 Resultados calidad de aguas subterráneas UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	348
Tabla 127 Composición del agua diagrama Piper UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	358
Tabla 128 Composición del agua diagrama Stiff para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	361
Tabla 129 Relación de los Sondeos Eléctricos Verticales – SEV ejecutados en la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	376
Tabla 130 Resistividades y conductividades de algunos tipos de materiales. Fuente: Gasulla, 1999.....	378
Tabla 131 Unidades Hidrogeológicas identificadas para el área de influencia del Componente Geoesférico UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.	387
Tabla 132 Parámetros hidráulicos estimados para los diferentes tipos de unidades hidrogeológicas presentes en la Unidad Funcional 2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: Adaptado y modificado del Informe Geotécnico Túnel Sumapaz 197- IN - T01 - R0 (Julio, 2005)	391
Tabla 133 Valores Discretización vertical Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	412
Tabla 134 Características de los ríos Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	413
Tabla 135 Relación de cotas de los cuatro túneles cortos proyectados Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	413
Tabla 136 Caudales medidos y porcentaje asignado a cada tramo del túnel Sumapaz	420
Tabla 137 Puntos de control nivel piezométrico.....	420

Tabla 138 Resultados de la calibración para la conductividad en las unidades hidrogeológicas Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	421
Tabla 139 Niveles freáticos medidos Vs niveles freáticos calculados Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	421
Tabla 140 Calibración caudal de infiltración Túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	422
Tabla 141 Caudales de infiltración medidos Vs Caudales de infiltración calculados. Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	422
Tabla 142 Calibración caudal de infiltración Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017.....	422
Tabla 143 Revisión niveles freáticos Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	422
Tabla 144 Caudales de infiltración túneles proyectados.....	432
Tabla 145 Definición de las clases de vulnerabilidad mediante el método GOD para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot. Fuente: Adaptado y modificado de MAVDT, 2010.....	436
Tabla 146 Índice de vulnerabilidad GOD - Descripción de parámetros de análisis	437
Tabla 147 Categorías de vulnerabilidad para el método GOD	437
Tabla 148 Cantidades de ensayo ejecutadas UF2	447
Tabla 149 Parámetros de resistencia mecánica ZH1: depósito coluvial.....	451
Tabla.150 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 1 Túnel Ermitaño UF-2.	455
Tabla.151 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Ermitaño Zona geotécnica 1.	455
Tabla.152 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación Zona geotécnica 1Túnel Ermitaño UF-2.....	456
Tabla.153 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 2 Túnel Ermitaño UF-2.	456
Tabla.154 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Ermitaño Zona geotécnica 2.	456
Tabla.155 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 2 Túnel Ermitaño UF-2.....	457
Tabla.156 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 3 Túnel Ermitaño UF-2	457
Tabla.157 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Ermitaño Zona geotécnica 3.	457

Tabla.158 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 3 Túnel Ermitaño UF-2.....	458
Tabla.159 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 4 Túnel Ermitaño UF-2	458
Tabla.160 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Ermitaño Zona geotécnica 4.	459
Tabla.161 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 4 Túnel Ermitaño UF-2.....	459
Tabla.162 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 5 Túnel Ermitaño UF-2.	459
Tabla.163 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Ermitaño Zona geotécnica 5.	460
Tabla.164 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 5 Túnel Ermitaño UF-2.....	460
Tabla.165 Zonificación por zonas homogéneas túnel 1 ermitaño UF-2.....	461
Tabla.166 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 1 Túnel Divino Niño UF-2.	461
Tabla.167 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Divino Niño Zona geotécnica 1.	462
Tabla.168 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 1 Túnel Divino Niño UF-2.....	462
Tabla.169 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 2 Túnel Divino Niño UF-2.	462
Tabla.170 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Divino Niño Zona geotécnica 1.	463
Tabla.171 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 1 Túnel Divino Niño UF-2.....	463
Tabla.172 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 3 Túnel Divino Niño UF-2.	464
Tabla.173 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Divino Niño Zona geotécnica 3	464
Tabla.174 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 3 Túnel Divino Niño UF-2.....	464
Tabla.175 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 4 Túnel Divino Niño UF-2.	465
Tabla.176 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Divino Niño Zona geotécnica 4.	465
Tabla.177 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 4 Túnel Divino Niño UF-2.....	466

Tabla.178 Zonificación por zonas homogéneas túnel 2 Divino Niño UF-2.	466
Tabla.179 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 1 Túnel Palmichala UF-2.	467
Tabla.180 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 1.	467
Tabla.181 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 1 Túnel Palmichala UF-2.	468
Tabla.182 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 2 Túnel Palmichala UF-2.	468
Tabla.183 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 2.	469
Tabla.184 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 2 Túnel Palmichala UF-2.	469
Tabla.185 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 3 Túnel Palmichala UF-2.	469
Tabla.186 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 3.	470
Tabla.187 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 3 Túnel Palmichala UF-2.	470
Tabla.188 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 4 Túnel Palmichala UF-2.	470
Tabla.189 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 4.	471
Tabla.190 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 4 Túnel Palmichala UF-2.	471
Tabla.191 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 5 Túnel Palmichala UF-2.	472
Tabla.192 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 5.	472
Tabla.193 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 5 Túnel Palmichala UF-2.	472
Tabla.194 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 6 Túnel Palmichala UF-2.	473
Tabla.195 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 6.	473
Tabla.196 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 6 Túnel Palmichala UF-2.	474
Tabla.197 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 7 Túnel Palmichala UF-2.	474

Tabla.198 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 7.	474
Tabla.199 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 7 Túnel Palmichala UF-2.	475
Tabla.200 Zonificación por zonas homogéneas túnel 3 Palmichala UF-2.	475
Tabla.201 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 1 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	476
Tabla.202 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 1.	477
Tabla.203 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 1 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	477
Tabla.204 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 2 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	477
Tabla.205 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 2.	478
Tabla.206 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 2 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	478
Tabla.207 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 3 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	478
Tabla.208 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 3.	479
Tabla.209 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 3 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	479
Tabla.210 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 4 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	479
Tabla.211 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 4.	480
Tabla.212 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 4 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	480
Tabla.213 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 5 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	481
Tabla.214 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 5.	481
Tabla.215 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 5 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	481
Tabla.216 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 6 Túnel Nariz del Diablo UF-2.	482
Tabla.217 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 6.	482

Tabla.218 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 6 Túnel Nariz del Diablo UF-2.....	482
Tabla.219 Zonificación por zonas homogéneas túnel 4 Nariz del Diablo UF-2.	483
Tabla 220 Precipitaciones máximas para diferentes funciones de distribución de frecuencia. Estación El Salero	489
Tabla 221 Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno	490
Tabla 222 Identificación de las fuentes de emisión.....	491
Tabla 223 Puntos de monitoreo de calidad de aire UF2.....	493
Tabla 224 Descripción de las estaciones de monitoreo de calidad de aire UF2	496
Tabla 225 Microlocalización de la estación meteorológica EDS. Melgar.....	498
Tabla 226 Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo.....	498
Tabla 227 Distribución de registros de acuerdo al rango de velocidad y a la dirección del viento.....	503
Tabla 228 Información de la balanza utilizada en laboratorio.....	507
Tabla 228 Información del espectrofotómetro utilizado en laboratorio	510
Tabla 230 Estándares máximos permisibles de niveles de inmisión, expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.....	512
Tabla 231 Concentraciones diarias de PST vs. Norma diaria.....	513
Tabla 232 Consolidado de resultados de PST.....	516
Tabla 233 Concentraciones diarias de PM_{10} vs. Norma diaria.....	517
Tabla 234 Consolidado de resultados de PM_{10}	520
Tabla 235 Concentraciones diarias de NO_2 vs. Norma diaria.....	521
Tabla 236 Consolidado de resultados de NO_2	524
Tabla 237 Concentraciones diarias de SO_2 vs. Norma diaria	525
Tabla 238 Consolidado de resultados de SO_2	528
Tabla 239 Concentraciones promedio diarias de CO	529
Tabla 240 Fuentes identificadas en cada punto durante el periodo de medición.....	531
Tabla 241 Infraestructura Social identificada dentro del AI del componente atmosférico.	532
Tabla 242 Puntos de monitoreo de ruido ambiental UF2.....	535

Tabla 243 Descripción técnica de las estaciones de monitoreo de ruido ambiental	538
Tabla 244 Microlocalización estación meteorológica	543
Tabla 245 Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo.....	543
Tabla 246 Distribución de registros de acuerdo al rango de velocidad y a la dirección del viento.....	547
Tabla 247 Horarios Establecidos por la Resolución 0627 de 2006	548
Tabla 248 Estándares Máximos Permisibles para Emisión de Ruido.....	548
Tabla 249 Estándares Máximos Permisibles para Ruido Ambiental	549
Tabla 250 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Ordinario.....	551
Tabla 251 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Dominical.....	552

PRELIMINAR

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema general del mapa geológico área de influencia - Componente Geoesférico Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.....	45
Figura 2 Esquema tectónico de la zona del trazado de la Unidad Funcional 2.	50
Figura 3 Perfil geológico longitudinal y transversal del Túnel Ermitaño. Se observa el plegamiento y las fallas que lo intersectan.	61
Figura 4 Análisis estereográfico de los datos de estratificación para la zona del túnel Ermitaño.	63
Figura 5 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para la zona de los portales del túnel Ermitaño.....	64
Figura 6 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para la zona del túnel Ermitaño.	64
Figura 7 Perfil geológico del Túnel Divino Niño, donde se observa la litología proyectada a encontrar en la excavación y construcción.....	66
Figura 8 Análisis estereográfico de los datos de estratificación para la zona del túnel Divino Niño.	70
Figura 9 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para la zona de los portales del túnel Ermitaño.....	70
Figura 10 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para EL Túnel Divino Niño - Diaclasas	71
Figura 11 Línea sísmica realizada en el sector del túnel 3 Palmichala UF-2	72
Figura 12 Perfil geológico del Túnel Palmichala, donde se observa la litología proyectada a encontrar en la excavación y construcción.....	73
Figura 13 Análisis estereográfico de los datos de estratificación para la zona del túnel Palmichala.	77
Figura 14 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para la zona de los portales del túnel Palmichala..	77
Figura 15 Túnel Palmichala – Diaclasas.....	78
Figura 16 Perfil geológico del Túnel Nariz del Diablo, donde se observa la litología proyectada a encontrar en la excavación y construcción.....	79
Figura 17 Análisis estereográfico de los datos de estratificación para la zona del túnel Nariz del Diablo.	83
Figura 18 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para la zona de los portales del túnel Nariz del Diablo.....	84
Figura 19 Análisis estereográfico Túnel Nariz del – Diaclasas.	84
Figura 20 Modelo de elevación regional para la Unidad Funcional 2, donde se observan las dos grandes morfologías de la zona, al este la morfología montañosa y al oeste la morfología plana y ondulada.....	86
Figura 21 Esquema de interpretación geomorfológica en el modelo digital de sombras.	88
Figura 22 Unidades geomorfológicas identificadas en el área de influencia de la Unidad Funcional 2.	89

Figura 23 Mapa de localización de los procesos morfodinámicos identificados área de influencia Componente Geoesférico Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.....	93
Figura 24 Aerofotografía Tomada en el Año 1987 (Escala 1:23.000), que abarca en totalidad el área de estudio. Se identifican los procesos de remoción en masa presentes en esa fecha	100
Figura 25 Aerofotografía Tomada en el Año 1992 (Escala 1:42.000), la cual cubre el área de estudio, se identifican las estructuras regionales y locales y procesos de remoción en masa regionales.	101
Figura 26 Orto Fotografía de la Zona de la UF 2. Se presentan los procesos morfo-dinámicos identificados en en el area de influencia del proyecto.....	103
Figura 27 Mapa de susceptibilidad de las unidades litológicas a la generación de movimientos en masa.	106
Figura 28 Susceptibilidad de la cobertura vegetal a la generación de movimientos en masa.	110
Figura 29 Susceptibilidad de las pendientes a la generación de movimientos en masa.....	111
Figura 30 Susceptibilidad de la precipitación a la generación de movimientos en masa.....	112
Figura 31 Mapa de Zonificación de la Susceptibilidad por procesos de erosión y movimientos en masa de la Unidad Funcional 2.....	114
Figura 32 Distribución del relieve en el área estudiada	124
Figura 33 Valoración de la vegetación en el área estudiada.....	126
Figura 34 Valoración de los cuerpos de agua en el área estudiada.....	127
Figura 35 Valoración del color en el área estudiada.....	128
Figura 36 Valoración de la rareza en el área estudiada.....	130
Figura 37 Valoración de las modificaciones antrópicas en el área estudiada.....	131
Figura 38 Influencia de los paisajes adyacentes en todos sus componentes en el área estudiada.....	132
Figura 39 Resumen de los elementos evaluados dentro de la calidad visual del paisaje para el área de influencia indirecta.....	134
Figura 40 Distribución de la capacidad de absorción visual del relieve.....	136
Figura 41 Distribución de la capacidad de absorción visual de la diversidad estructural.....	137
Figura 42 Distribución de la capacidad de absorción visual de la estabilidad del suelo y erosionabilidad	138
Figura 43 Distribución de la capacidad de absorción visual del potencial de regeneración en la vegetación ...	140
Figura 44 Distribución de la capacidad de absorción visual del contraste roca vegetación.....	141
Figura 45 Distribución de la capacidad de absorción visual para el área de influencia.....	142

Figura 46 Atractivo escénico en el área estudiada	145
Figura 47 elementos discordantes del área estudiada.....	146
Figura 48 Correspondencia cromática en el área estudiada.....	147
Figura 49 Integridad escénica del área estudiada	148
Figura 50 Escala visual en el área estudiada.....	150
Figura 51 Nivel de interés en el área estudiada.....	151
Figura 52 Resumen de los elementos evaluados dentro de la belleza paisajística para el área de influencia indirecta.	153
Figura 53 Puntos de muestreo de suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot .	162
Figura 54 Mapa de suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.....	167
Figura 55 Mapa de aptitud de uso de los suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.....	205
Figura 56 Mapa de uso actual de los suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot	208
Figura 57 Matriz de Decisión Para Determinación de Conflictos de Uso de los Suelos.....	210
Figura 58 Mapa de conflictos de uso de los suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.....	213
Figura 59 Cobre, Níquel y Plomo en suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot	217
Figura 60 Arsénico en suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.....	218
Figura 61 Cadmio en suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot	218
Figura 62 Mercurio en suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.....	219
Figura 63 Localización de estaciones en la zona de estudio	221
Figura 64 Localización Red Hidrográfica.....	223
Figura 65 Cuencas interceptadas por la vía.....	224
Figura 66 Esquema patrones de drenaje	225
Figura 67 Estación El Salero - Curvas IDF.....	233
Figura 67 Hidrograma Unitario Triangular del SCS.....	234
Figura 69 Tipos de distribución de precipitación del SCS.....	235

Figura 70 Curvas PADF. Período de retorno de 100 años.	236
Figura 71 Distribución temporal de caudales medios	241
Figura 72 Actividades de la etapa de preparación	244
Figura 73 Localización de las Estaciones de calidad de agua EIA UF2 (Área de la vía)	249
Figura 74 Localización de las Estaciones de calidad de agua EIA UF2 (ZODME).....	250
Figura 75 Valores de temperatura registrados EIA UF2	259
Figura 76 Valores de Oxígeno Disuelto (OD) registrados EIA UF2	260
Figura 77 Valores de DBO ₅ registrados EIA UF2.....	261
Figura 78 Valores de DQO registrados EIA UF2	261
Figura 79 Valores de Color Real registrados EIA UF2.....	262
Figura 80 Valores de Grasas y Aceites registrados EIA UF2	263
Figura 81 Valores de Coliformes fecales registrados EIA UF2.....	263
Figura 82 Valores de Coliformes totales registrados EIA UF2.....	264
Figura 83 Valores de Nitrógeno total registrados EIA UF2	265
Figura 84 Valores de Fósforo total registrados EIA UF2.....	265
Figura 85 Valores de Sólidos suspendidos totales registrados EIA UF2.....	266
Figura 86 Valores de Sólidos disueltos registrados EIA UF2.....	267
Figura 87 Valores de Sólidos sedimentables registrados EIA UF2	267
Figura 88 Valores de Turbidez registrados EIA UF2.....	268
Figura 89 Valores de Conductividad registrados EIA UF2.....	269
Figura 90 Valores de pH registrados EIA UF2	270
Figura 91 Valores de Alcalinidad total registrados EIA UF2	271
Figura 92 Valores de Acidez total registrados EIA UF2	271
Figura 93 Valores de Dureza cálcica total registrados EIA UF2	272
Figura 94 Valores de Dureza total registrados EIA UF2	272
Figura 95 Valores de Fenoles Totales registrados EIA UF2.....	273

Figura 96 Valores de Arsénico Total registrados EIA UF2.....	274
Figura 97 Valores de Bario Total egistrados EIA UF2	274
Figura 98 Valores de Cadmio Total registrados EIA UF2	274
Figura 99 Valores de Cobre Total registrados EIA UF2.....	274
Figura 100 Valores de Cromo Total registrados EIA UF2.....	274
Figura 101 Valores de Mercurio Total registrados EIA UF2.....	274
Figura 101 Valores de Niquel Total registrados EIA UF2	275
Figura 102 Valores de Plata Total registrados EIA UF2	275
Figura 104 Valores de Plomo Total registrados EIA UF2	275
Figura 105 Valores de Selenio Total registrados EIA UF2.....	275
Figura 106 Valores de Zinc Total registrados EIA UF2.....	275
Figura 107 IACAL DBO	280
Figura 107 Diferencia entre DQO y DBO	280
Figura 109 Sólidos suspendidos totales.....	281
Figura 110 IACAL Nitrógeno total.....	281
Figura 110 Fósforo total.....	281
Figura 112 Índice de alteración potencial de la calidad de agua para Colombia.....	285
Figura 113 Actividades de la etapa de preparación	287
Figura 114 Localización de las Estaciones de calidad del sedimento EIA UF2.....	291
Figura 115 Perfiles granulométricos de las estaciones de muestreo.....	295
Figura 116 Diagrama triangular de distribución de los sedimentos según su grupo textural. Punto rojo: ubicación de las estaciones PAS1, PAS 26 y PAS27.	295
Figura 117 Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico encontrados en los sedimentos.....	296
Figura 118 Valores de Nitrógeno amoniacal encontrados en los sedimentos.	297
Figura 119 Valores de Potencial Redox encontrados en los sedimentos.....	298
Figura 120 Valores de Sulfuros de agua en poros encontrados en los sedimentos.....	298
Figura 121 Valores de demanda béntica encontrados en los sedimentos.	299

Figura 122 Valores de grasas y aceites encontrados en los sedimentos.....	300
Figura 123 Valores de HTC encontrados en los sedimentos.....	300
Figura 124 Valores de Sulfuros ácidos volátiles encontrados en los sedimentos.....	301
Figura 125 Valores de Densidad específica encontrados en los sedimentos.....	302
Figura 126 Valores de Porosidad encontrados en los sedimentos.....	302
Figura 127 Valores de carbono orgánico total encontrados en los sedimentos.....	303
Figura 128 Valores de cobre total encontrados en los sedimentos.....	304
Figura 129 Valores de cromo encontrados en los sedimentos.....	305
Figura 130 Valores de níquel encontrados en los sedimentos.....	305
Figura 131 Valores de Zinc encontrados en los sedimentos.....	306
Figura 132 Valores de fenoles encontrados en los sedimentos.....	307
Figura 133 Usuarios registrados en CORTOLIMA Vs Área de Influencia del proyecto.....	309
Figura 134 Usos y usuarios no formales identificados en campo.....	311
Figura 135 Distribución espacial del índice de regulación hídrica en Colombia.....	320
Figura 135 Distribución espacial del índice de uso del agua en Colombia.....	323
Figura 137 Distribución espacial del índice de vulnerabilidad hídrica en Colombia.....	325
Figura 138 Esquema de Balance Hídrico.....	331
Figura 139 Distribución temporal de la precipitación mensual media multianual UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá - Girardot.....	332
Figura 140 Ortofoto que incluye la base predial y la distribución de los puntos de agua superficial identificados en el área de influencia UF-2 Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	337
Figura 141 Ortofoto que ilustra las exploraciones del subsuelo UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC 2017.....	341
Figura 142 Localización sitios de muestreo físico químico agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	346
Figura 143 Temperatura en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	350
Figura 144 pH en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	350

Figura 145 Alcalinidad en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot	351
Figura 146 Oxígeno disuelto y DBO en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot	351
Figura 147 Conductividad en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot	352
Figura 148 Calcio y Magnesio en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot	352
Figura 149 Sodio y Potasio en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot	353
Figura 150 Cloruros y Sulfatos en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot	354
Figura 151 Bicarbonatos en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot	354
Figura 152 Dureza Total en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot	355
Figura 153 Tipos de agua Diagrama Piper.....	356
Figura 154 Diagrama Piper aguas subterráneas UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	357
Figura 155 Distribución de cationes en agua subterránea Túnel Ermitaño	358
Figura 156 Distribución de cationes agua subterránea Túnel Palmichala.....	359
Figura 157 Distribución aniones agua subterránea Túnel Ermitaño	359
Figura 158 Distribución aniones agua subterránea Túnel Palmichala.....	360
Figura 159 Diagrama Stiff aguas subterráneas UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	360
Figura 160 Diagrama Stabler aguas subterráneas UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	361
Figura 161 Planta perfil Geológico Longitudinal Túnel 1 Ermitaño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	364
Figura 162 Planta perfil Geológico Transversal Túnel 1 Ermitaño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	365

Figura 163 Planta perfil Geológico Longitudinal Túnel Divino Niño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	366
Figura 164 Planta perfil Geológico Transversal Túnel Divino Niño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	367
Figura 165 Planta perfil Geológico Longitudinal Túnel Palmichala con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	369
Figura 166 Planta perfil Geológico Transversal Túnel Palmichala con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	370
Figura 167 Planta perfil Geológico Longitudinal Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.....	371
Figura 168 Planta perfil Geológico Transversal Portal de Entrada (PE) Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	372
Figura 169 Planta perfil Geológico Transversal Portal de Salida (PS) Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	373
Figura 170 Esquema de un Sondeo Eléctrico Vertical - SEV	374
Figura 171 Resistividades de algunas Rocas. Fuente: Keller y Frischknecht 1966, Daniels y Alberty, 1966. ...	376
Figura 172 Ortofo que ilustra la distribución de los Sondeos Eléctricos Verticales – SEV (puntos en morado) ejecutados en el área de influencia de la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.....	377
Figura 173 Esquema de la interpretación a partir de los SEV's con el modelo geológico para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	379
Figura 174 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Portal de Salida Túnel Nariz del Diablo SEV1 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	379
Figura 175 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Portal de Entrada Túnel Nariz del Diablo SEV2 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	380
Figura 176 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Portal de Salida Túnel Palmichala SEV3 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	381
Figura 177 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Portal de Salida Túnel Divino Niño SEV4 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	382
Figura 178 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Túnel Sumapaz SEV5 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	383

Figura 179 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Túnel Ermitaño SEV4 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.....	383
Figura 180 Mapa Unidades Hidrogeológicas identificadas para el área de influencia del Componente Geoesférico UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017... 386	386
Figura 181 Relación entre textura y porosidad. a) Sedimento bien clasificado con alta porosidad; b) Sedimento mal clasificado con baja porosidad; c) Sedimento bien clasificado con granos porosos; d) Sedimento bien clasificado con porosidad disminuida por cementación; e) Porosidad desarrollado por disolución de la roca; f) Porosidad desarrollada por fracturación de la roca.....	388
Figura 182 Planta perfil Hidrogeológico Longitudinal Túnel 1 Ermitaño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.....	395
Figura 183 Planta perfil Hidrogeológico Transversal Túnel 1 Ermitaño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.....	396
Figura 184 Planta perfil Hidrogeológico Longitudinal Túnel 2 Divino Niño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.....	397
Figura 185 Planta perfil Hidrogeológico Transversal Túnel 2 Divino Niño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.....	398
Figura 186 Planta perfil Hidrogeológico Longitudinal Túnel 3 Palmichala con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.....	399
Figura 187 Planta perfil Hidrogeológico Transversal Túnel 3 Palmichala con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.....	400
Figura 188 Planta perfil Hidrogeológico Longitudinal Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.....	401
Figura 189 Planta perfil Hidrogeológico Transversal Portal de Entrada (PE) Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	402
Figura 190 Planta perfil Hidrogeológico Transversal Portal de Salida (PS) Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	403
Figura 191 Vista panorámica zona de recarga y dirección de flujos de agua subterráneo para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.....	406
Figura 192 Esquema transversal que ilustra el comportamiento de niveles freáticos en forma conceptual para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot	406

Figura 193 Diferentes áreas de modelación Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017.....	408
Figura 194 Configuración en planta modelo 1 Túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	409
Figura 195 Configuración en planta modelo 2, túneles Divino Niño y Palmichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	410
Figura 196 Configuración en planta modelo 2, túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	411
Figura 197 Discretización vertical Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	412
Figura 198 Sensibilidad a la conductancia del dren Sumapaz Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	414
Figura 199 Sensibilidad a la conductividad de la formación Olini, túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	415
Figura 200 Sensibilidad a la conductividad del Grupo Olini, túneles Divino Niño y Palmichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	415
Figura 201 Sensibilidad a la conductividad del Grupo Olini, Túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	416
Figura 202 Sensibilidad del caudal de infiltración hacia el túnel Sumapaz a la conductividad en las fallas Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	417
Figura 203 Sensibilidad a la porosidad Túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	418
Figura 204 Sensibilidad a la porosidad, túneles Divino Niño y Palmichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	418
Figura 205 Sensibilidad a la porosidad, túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	419
Figura 206 Sección transversal condición inicial zona de influencia túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	423
Figura 207 Sección transversal condición inicial zona de influencia túnel Divino Niño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	424
Figura 208 Sección transversal condición inicial zona de influencia túnel Palmichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	424
Figura 209 Sección transversal condición inicial zona de influencia túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	425
Figura 210 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	426

Figura 211 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Divino Niño y Pamichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	426
Figura 212 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	427
Figura 213 Sección transversal túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017.....	428
Figura 214 Sección transversal túnel Divino Niño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017.....	428
Figura 215 Sección transversal túnel Palmichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017.....	429
Figura 216 Sección transversal túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	429
Figura 217 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Ermitaño Escenario CP. Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	430
Figura 218 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Divino Niño y Palmichala Escenario CP. Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	431
Figura 219 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Nariz del Diablo Escenario CP. Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	431
Figura 220 Mapa hidrogeológico que contiene las isolíneas de abatimientos de los niveles freáticos en el escenario con proyecto Túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017.....	433
Figura 221 Mapa hidrogeológico que contiene las isolíneas de abatimientos de los niveles freáticos en el escenario con proyecto Túnel Divino Niño, Palmichala y Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017	434
Figura 222 Mapa de acuerdo con el grado de confinamiento parámetro G. (Groundwater occurrence) para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot	438
Figura 223 Mapa de acuerdo con el tipo de zona no saturada del acuífero parámetro O (Overall aquifer class) para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot	439
Figura 224 Mapa de acuerdo con el tipo de zona no saturada del acuífero parámetro O (Overall aquifer class) para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.....	440
Figura 225 Distribución de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	444
Figura 226 Mapa Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	445
Figura 227 Porcentajes de finos, arenas y gravas ZH1	448
Figura 228 Ensayos de penetración estándar ZH1	448

Figura 229 Pesos unitarios ZH1	449
Figura 230 Carta de Plasticidad ZH1	449
Figura 231 Porcentajes de finos, arenas y gravas ZH2	450
Figura 232 Ensayos de penetración estándar ZH2	450
Figura 233. Pesos unitarios ZH2	450
Figura 234 Ángulos de fricción interna en roca ZH2	450
Figura 235 Carta de Plasticidad ZH2. Fuente: INGETEC, 2017	451
Figura 236. Resultado del análisis de estabilidad de la sección crítica seleccionada para la ZH1. Fuente:	452
Figura 237 Sección crítica seleccionada para la ZH2 en la abscisa K40+800. Fuente: INGETEC, 2017	453
Figura 238 Estereograma Grupo Olini K40+800 (Nariz del Diablo)	453
Figura 239 Variación mensual de la temperatura media en la estación Base Aérea Melgar	484
Figura 240 Variación mensual de la temperatura máxima en la estación Base Aérea Melgar.	484
Figura 241 Variación mensual de la temperatura mínima en la estación Base Aérea Melgar.	485
Figura 242 Variación mensual de la presión atmosférica en la estación Base Aérea Melgar.	486
Figura 243 Variación mensual de la temperatura máxima en la estación Base Aérea Melgar.	486
Figura 244 Variación mensual de nubosidad en la estación Base Aérea Melgar	487
Figura 245 Variación mensual del brillo solar en la estación Aeropuerto Santiago Vila	487
Figura 246 Variación mensual de la evaporación en la estación Aeropuerto Santiago Vila	488
Figura 247 Variación mensual de velocidad media del viento en la estación Aeropuerto Santiago Vila.	488
Figura 248 Variación mensual de la precipitación media en la estación El Salero	489
Figura 249 Representación gráfica de precipitaciones máximas ajustadas a diferentes funciones de distribución de probabilidad. Estación El Salero	490
Figura 250 Fuentes de Emisión UF2	491
Figura 251 Potenciales receptores Al Componente atmosférico área de la vía	492
Figura 252 Localización de las estaciones de Monitoreo de Calidad de Aire UF2 (Área de la vía)	494
Figura 253 Localización de las estaciones de Monitoreo de Calidad de Aire UF2 (ZODME)	495
Figura 254 Variación de la temperatura	499

Figura 255 Variación de la presión barométrica.....	500
Figura 256 Variación de precipitación	500
Figura 257 Variación de la humedad relativa	501
Figura 258 Variación de la velocidad del viento.....	502
Figura 259 Rosa de vientos.....	502
Figura 260 Muestreador Hi-Vol	506
Figura 261 Equipamiento que conforma el kit de calibración Variflow.....	507
Figura 262 Balanza Analítica OHAUS PA-214-CO	507
Figura 263 Muestreador de Gases tipo RAC	508
Figura 264 Montaje del calibrador de burbuja.....	509
Figura 265 Espectrofotómetro Genesys 10 Uv-Vis Scanning Thermo Electron	510
Figura 266 Analizador automático de CO	511
Figura 267 Estación meteorológica Vue–Davis Instruments.....	512
Figura 268 Concentraciones PST Estación Boquerón 1.....	514
Figura 269 Concentraciones PST Estación Boquerón 2.....	515
Figura 270 Concentraciones PST Estación EDS Melgar	515
Figura 271 Concentraciones PST Estación ZODME	516
Figura 272 Concentraciones promedio PST vs Norma anual.....	517
Figura 273 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Boquerón 1	518
Figura 274 Concentraciones de PM ₁₀ Estación Boquerón 2	519
Figura 275 Concentraciones de PM ₁₀ Estación EDS. Melgar	519
Figura 276 Concentraciones de PM ₁₀ Estación ZODME.....	520
Figura 277 Concentraciones de PM ₁₀ vs Norma Anual.....	521
Figura 278 Concentraciones NO ₂ Estación Boquerón 1	522
Figura 279 Concentraciones NO ₂ Estación Boquerón 2.....	523
Figura 280 Concentraciones NO ₂ Estación EDS Melgar	523

Figura 281	Concentraciones NO ₂ Estación ZODME.....	524
Figura 282	Concentraciones de NO ₂ vs Norma Anual	525
Figura 283	Concentraciones SO ₂ Estación Boquerón 1	526
Figura 284	Concentraciones SO ₂ Estación Boquerón 2	527
Figura 285	Concentraciones SO ₂ Estación EDS Melgar	527
Figura 286	Concentraciones SO ₂ Estación ZODME.....	528
Figura 287	Concentraciones de SO ₂ vs Norma Anual	529
Figura 288	Concentraciones de CO vs Norma Horaria.....	530
Figura 289	Localización de los potenciales receptores área de influencia Aire.....	534
Figura 290	Localización de los puntos de monitoreo de ruido de la UF2 (Área de la vía)	536
Figura 291	Localización de los puntos de monitoreo de ruido de la UF2 (ZODME).....	537
Figura 292	Ventana de inicio del software dBtrait.....	541
Figura 293	Estación meteorológica	543
Figura 294	Variación de la temperatura	544
Figura 295	Variación de la presión barométrica.....	545
Figura 296	Variación de precipitación	545
Figura 297	Variación de la humedad relativa.....	546
Figura 298	Variación de la velocidad del viento.....	546
Figura 299	Rosa de vientos.....	547
Figura 300	Resultado de niveles sonoros día ordinario – Horario diurno	551
Figura 301	Resultado de niveles sonoros día ordinario – Horario nocturno	552
Figura 302	Resultados monitoreo de ruido ambiental – Dominical - horario diurno	553
Figura 303	Resultados monitoreo de ruido ambiental – Dominical - horario nocturno	554

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Depósitos coluviales discordantes sobre la Formación Arenisca Media (Ksom) del Grupo Ollini. Localizado en el Segmento1, Tramo 3.....	46
Fotografía 2 Depósitos de terraza localizados en la zona del K36+300 UF-2.....	48
Fotografía 3 Depósito coluvial localizado en la vía actual en el K41+700, el cual reposa sobre las rocas de la Formación Arenisca Media (Ksom).	49
Fotografía 4 Depósitos aluviales del río Sumapaz, localizados al inicio de la Unidad Funcional 2 cerca del K36+500.	49
Fotografía 5 Depósito coluvial (Qc) en la margen Izquierda del río Sumapaz que cubre la Falla Quininí.	52
Fotografía 6 Expresión morfológica de la Falla Quininí en la margen derecha del río Sumapaz.....	52
Fotografía 7 Zona de Falla F1. Liditas plegadas y altamente fracturadas.....	53
Fotografía 8 Escarpe asociado a la Falla F1, en la parte central del trazado del Túnel Ermitaño.	53
Fotografía 9 Falla F2 que afecta niveles de liditas. Nótese el plano de cabalgamiento de bajo ángulo y el cambio en la dirección del buzamiento en ambos bloques de la falla.	54
Fotografía 10 Falla F2 en liditas altamente fracturadas con zona de cizalla que corta la estratificación.	54
Fotografía 11 Zona de Falla F3 en arenisca con diaclasas abiertas y con evidencias de plegamiento.....	55
Fotografía 12 Zona de Falla F3 evidente en liditas muy fracturadas.	55
Fotografía 13 Zona de Falla F4. En la zona aledaña niveles de areniscas fracturadas, no se evidencia continuidad en la estratificación.	56
Fotografía 14 Zona de Falla F5. En la zona aledaña niveles de areniscas y liditas muy fracturadas, se evidencia cambio en la inclinación de los estratos hacia el Oeste. Fotografía tomada en 945164 E; 963826N.....	57
Fotografía 15 Expresión morfológica de la falla F6 en la margen derecha del río Sumapaz.	57
Fotografía 16 Zona de portal entrada Túnel Ermitaño. Se observa la secuencia de areniscas amarillas y niveles de liditas, localmente plegadas.	60
Fotografía 17 Túnel Ermitaño. Se observa el estado estructural del trazado del túnel identificando plegamiento y alto fracturamiento de las capas con desplazamientos locales por fallas y cambio en la dirección de inclinación de los estratos a NE/SE-NE/NW.	62
Fotografía 18 Portal Salida Túnel Ermitaño. (a) Secuencia cubierta parcialmente por depósito de coluvión. (b) Niveles de areniscas y liditas fracturadas con inclinación al Este.	62
Fotografía 19 Zona de Portal Entrada Túnel Divino Niño. Afloramiento de arenisca amarilla, muy fracturada, friable, estratos con inclinación al Norte.....	67

Fotografía 20 Túnel Divino Niño. A lo largo de la vía actual se observan areniscas y liditas cuarcíticas muy fracturadas, las cuales se esperan encontrar en el túnel.....	67
Fotografía 21 Zona portal salida Túnel Divino Niño. Nivel de Liditas fracturadas con alto buzamiento al NE.	68
Fotografía 22 Túnel Divino Niño. Niveles de areniscas y liditas fracturadas con alto buzamiento al Norte.	68
Fotografía 23 Portal Salida Túnel Divino Niño. Arenisca cuarcítica estratificación laminar con niveles de liditas, la estratificación presenta inclinación al Norte.	69
Fotografía 24 Portal Entrada Túnel Palmichala. Areniscas cuarcíticas, la estratificación presenta buzamientos al SE. Foto tomada en sector La Cañada.	74
Fotografía 25 Túnel Palmichala. Areniscas y liditas fracturadas localmente presentan truncamiento y plegamiento de los niveles.	74
Fotografía 26 Túnel Palmichala. La secuencia se encuentra cubierta parcialmente por depósito de coluvión y se presenta cambio en la dirección de buzamiento de los estratos.	75
Fotografía 27 Túnel Palmichala. Extensión del depósito de coluvión (Qc) hacia ambas márgenes del río Sumapaz y proyección del alineamiento del túnel.	75
Fotografía 28 Portal salida Túnel Palmichala. Depósito de coluvión aflorando en la parte baja de la ladera en inmediaciones de Serranías del Sumapaz.	76
Fotografía 29 Túnel Nariz del Diablo. Continuidad del depósito de coluvión hacia ambas márgenes del río Sumapaz.....	80
Fotografía 30 Sector Portal Entrada Túnel Nariz del Diablo Secuencia de Arenisca y Liditas fracturadas.....	80
Fotografía 31 Túnel Nariz del Diablo. Secuencia de Lidita muy fracturada	81
Fotografía 32 Túnel Nariz del Diablo. Secuencia areniscas cuarcíticas muy fracturadas. Las discontinuidades abiertas y los planos de estratificación generan negativos por desprendimientos.	82
Fotografía 33 Túnel Nariz del Diablo. Arenisca media, amarilla friable muy fracturada. Las discontinuidades abiertas y los planos de estratificación generan negativos por desprendimientos.	82
Fotografía 34 Laderas contrapendientes y laderas estructurales localizadas en el sector del túnel Nariz del Diablo.....	91
Fotografía 35 Caídas de bloques en el sector del portal salida del túnel Sumapaz. Se observaron bloques sueltos descansando en la pata del talud. Localizado sobre el punto PM1 en la UF2 Tercer Carril Vía Bogotá – Girardot.....	94
Fotografía 36 Proceso de remoción en masa de tipo Caídas de bloques y rodamiento de materiales., evidenciado sobre la Vía Bogotá – Girardot.....	95
Fotografía 37 Agrietamiento en la calzada que conduce de Bogotá a Girardot, que produce desconfinamiento de la banca hacia la parte inferior del talud.....	96

Fotografía 38 Proceso de carácter local asociado a caída de detritos y rocas (areniscas de grano fino) desprendidos de la parte alta del talud donde afloran arenisca intercaladas con liditas del miembro medio del Grupo Olini (Kso).....	96
Fotografía 39 Caídos de rocas asociadas a areniscas y liditas de carácter local desprendidos en ladera con pendiente escarpadas en rocas del Grupo Oliní (Ksom).....	97
Fotografía 40 Proceso erosivo en surcos generados por aguas de escorrentía (lluvias) sobre superficies alomadas en depósito coluvial, localizado en el tramo de la vía proyectada entre los túneles Ermitaño y Divino Niño.....	98
Fotografía 41 Formas erosivas interesantes, relieve marcado y prominente en el All que contrastan con los relieves de fondos planos y valles dominantes en el área de influencia directa.....	124
Fotografía 42 Variedad en la vegetación del área estudiada.....	125
Fotografía 43 Río Sumapaz.....	126
Fotografía 44 Contraste de colores agradables intensas y variadas entre suelo, roca y vegetación en el All. .	128
Fotografía 45 “La cascada”, superficie revestida por vegetación natural que presenta diferentes tonalidades además de ser hábitat de fauna y flora singular.....	129
Fotografía 46 Se observa en plano intermedio la red vial dentro del área de influencia que resta valor a la calidad visual del paisaje, la cual contrasta con la vista del río Sumapaz y el bosque de galería circundante en el plano lejano.....	131
Fotografía 47 Zonas dedicadas al pastoreo dentro de la zona estudiada.....	144
Fotografía 48 Elementos discordante presentes en el área de influencia.....	146
Fotografía 49 Pasturas presentes en el área de influencia indirecta.....	147
Fotografía 50 Bosque de galería en el área estudiada con un grado de intervención bajo.....	148
Fotografía 51 Vista en el área estudiada.....	149
Fotografía 52 Sitio Turístico la Nariz del diablo.....	157
Fotografía 53 Cascada de la Quebrada la Palmichala.....	158
Fotografía 54 Descripción de perfil en PS-7.....	160
Fotografía 55 Prueba de infiltración en PS-2.....	160
Fotografía 56 Tipo de relieve Sierra homoclinal, se observan rocas y piedras en gran parte de la superficie. Unidad MsieWaf2. Vereda Tokio, Municipio de Melgar.....	168
Fotografía 57 Perfil en PS-1. Suelo de Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción, en Clima Cálido, seco.....	170
Fotografía 58 Perfil en PS-2. Suelo de Ladera estructural en Clima Cálido, seco.....	173

Fotografía 59 Perfil en PS-3. Suelo de Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión en Clima Cálido, seco	176
Fotografía 60 Perfil en PS-4. Suelo de Sierra homoclinal en Clima Cálido, seco.....	179
Fotografía 61 Perfil en PS-5. Suelo de Ladera ondulada, en Clima Cálido, seco	182
Fotografía 62 Tipo de relieve Lomeríos poco disectados, se observa el relieve escarpado y erosión moderada. Unidad MlpdWAg2. Vereda Malachí, Municipio de Melgar	185
Fotografía 63 Perfil en PS-6. Suelo de Lomeríos poco disectados, en Clima Cálido, seco	187
Fotografía 64 Tipo de relieve Terraza, ligeramente plana. Unidad VterWQa2. Vereda La Esmeralda, Municipio de Nilo.....	190
Fotografía 65 Toma de muestras de agua superficial.....	245
Fotografía 66 Toma de mediciones <i>in situ</i>	245
Fotografía 67 Toma de muestra de coliformes y grasas y aceites.	246
Fotografía 68 Toma de muestras de sedimentos, río Sumapaz.....	288
Fotografía 69 Quebrada La Cascada	312
Fotografía 70 Establecimientos que utilizan el agua de la quebrada La Cascada	312
Fotografía 71 Agua de la Qda. La Cascada que se utiliza para turismo.....	313
Fotografía 72 Quebrada Palmichala.....	313
Fotografía 73 Tanque de almacenamiento serranías del Sumapaz	314
Fotografía 74 Afloramiento de agua - Finca Serranías de Sumapaz.....	314
Fotografía 75 Tubería que conduce agua del manantial al tanque de almacenamiento – Finca Serranías del Sumapaz.....	315
Fotografía 76 Tubería llegando al tanque de almacenamiento – Finca Serranías del Sumapaz.....	315
Fotografía 77 Tanques de Almacenamiento de agua - Finca La Selva	316
Fotografía 78 Afloramiento de agua en la Finca La Selva	316
Fotografía 79 Tanques de Almacenamiento de agua - Finca La Selva	317
Fotografía 80 Nacimiento ubicado en las coordenadas X: 00945742 Y: 00963755.....	317
Fotografía 81 Aljibe ubicado en las coordenadas X: 00945676 Y: 00963733	318
Fotografía 82 Punto Localización Piezómetro PT1 Túnel Ermitaño Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017	347

Fotografía 83 Punto Localización Piezómetro PT2 Túnel Palmichala Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017 347

PRELIMINAR

5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1. MEDIO ABIÓTICO

5.1.1. Geología

El trazado de la Unidad Funcional 2 del corredor vial del Tercer Carril de la vía Bogotá-Girardot, atraviesa rocas sedimentarias del Cretácico Superior al Paleógeno las cuales se encuentran cubiertas parcialmente por depósitos de origen coluvial y aluvial en contacto discordante sobre la paleotopografía del flanco occidental de la Cordillera Oriental. Comprende la construcción de cuatro túneles cortos y la ampliación de vía existente de aproximadamente 5,2 kilómetros de longitud.

De acuerdo a las características litológicas de la zona su comportamiento geomecánico (Tabla 1), se ha realizado una subdivisión para la Unidad Funcional 2 presentada por segmentos teniendo en cuenta la litología y las estructuras geológicas del sector observadas en la Figura 1 .

Tabla 1 Sectorización litológica en segmentos de la Unidad Funcional 2.

ZONA HOMOGÉNEA	TRAMOS DE LA UNIDAD FUNCIONAL (4 TÚNELES CORTOS Y 5 TRAMOS VIALES)	LITOLOGÍA	UNIDAD GEOLÓGICA
Sector 1 K36+514,00 – K37+100	Tramo 1. K36+514,00 – K37+100	Depósitos de terraza - Depósitos de coluvión y material de relleno. Entre K36+500 y K36+895. Conglomerados con niveles de liditas en la parte inferior	Conglomerados de Carmen de Apicalá (Ngca) y Depósitos de terraza (Qt)
Sector 2 K36+514,00-K39+590	Tramo 2. Grupo Olini - Formación arenisca media (Ksom) K37+100 – K37+440,889. Túnel Ermitaño. K37+440,889 – K38+100	Areniscas con niveles de liditas, plegadas y fracturadas.	Grupo Olini (Ksom)
	Tramo 3. K38+100 – K38+431,51	Depósito de coluvión.	Depósitos de coluvión (Qc)
	Tramo 4. Túnel Divino Niño. K38+431.51 - K39+081,62	K38+431.51 -K38+850 Depósito de coluvión. K38+850 - K39+081,62. Areniscas y liditas plegadas y fracturadas	Depósitos de coluvión (Qc) y Grupo Olini (Kso)
	Tramo 5. K39+081,62 K39+121,04	Coluvión cubre parcialmente areniscas y liditas plegadas y fracturadas	Depósitos de coluvión (Qc) y Grupo Olini (Kso)
	Tramo 6. Túnel Palmichala. K39+121,04 - K39+590	K39+121,04 - K39+590. Arenisca dura, niveles de liditas	Grupo Olini (Kso) y Depósitos de coluvión (Qc)
Sector 3 K39+590 – K40+576	Tramo 7. K39+590 - K40+576	Depósito de coluvión.	Depósitos de coluvión (Qc)

ZONA HOMOGÉNEA	TRAMOS DE LA UNIDAD FUNCIONAL (4 TÚNELES CORTOS Y 5 TRAMOS VIALES)	LITOLOGÍA	UNIDAD GEOLÓGICA
Sector 4 K40+576 - K41+475	Tramo 8. Túnel Nariz del Diablo y tramo vial. K40+576 – K41+475	K40+576. - K40+900. Liditas fracturadas (Ksli) K40+900 - K40+980. Areniscas y liditas fracturadas (Ksom) K40+980 - K41+100. Depósito de coluvión. K41+100 -K41 +280. Areniscas y liditas fracturadas (Ksom). Parcialmente cubiertas por depósitos de coluvión (Qc) K41 +280 - K41+423,84. Areniscas fracturadas (KsIs). K41+420 - K41+423,8 -K41+438. Localmente depósito de coluvión (Qc) K41+438- K41+460. Areniscas fracturadas (KsIs). K41+460- K41+475. Arenisca fracturada Friable (Ksta)	Grupo Olini (Kso) y Depósitos de coluvión (Qc), Grupo Olini (Kso), Formación La Tabla (Ksta).
Sector 5 K41+423,84 - K41+838,08	Tramo 9. K41+423,84 - K41+838,08	K41+475 - K41+640. Depósito de coluvión (Qc) K41+640 - K41+838. Arcillolitas y areniscas (Kpgs)	Depósitos de coluvión (Qc) y Formación Seca (Kpgs).

5.1.1.1. Estratigrafía

5.1.1.1.1. Formación Conejo (Kscn)

Se compone de una secuencia de shales con niveles de areniscas y esporádicas capas de caliza altamente plegada, presenta lutitas orgánicas laminadas y lodolitas grises con laminación ondulada y areniscas de cuarzo finas, grises oscuras, en capas delgadas y medias, las cuales presenta estratificación plano paralela.

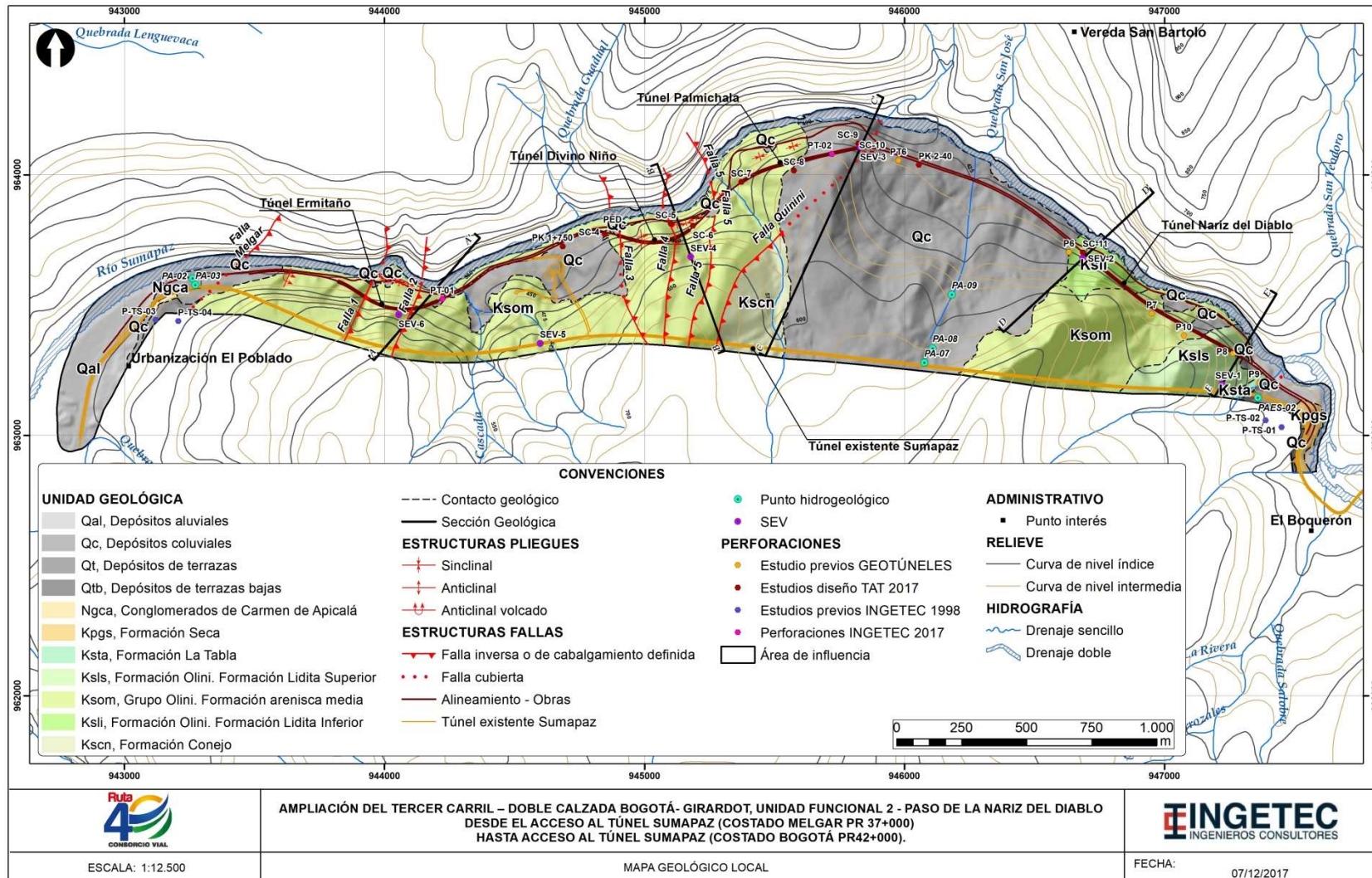
Esta unidad aflora en el trazado en el sector comprendido entre el tramo de la Falla Quinini hasta aproximadamente el K40+500, cubierta por depósitos coluviales. Esta unidad es correlacionable con la Formación Chipaque (Ksch) en la nomenclatura propuesta para la Sabana de Bogotá.

No presenta afloramientos en la zona de los túneles, ya que se encuentra cubierta por depósitos coluviales que superan los 50 m de espesor.

5.1.1.1.2. Grupo Olini (Kso)

El Grupo Olini está constituido por dos niveles silíceos, denominados Lidita Inferior (Ksli) y Lidita Superior (KsIs), separados por un nivel de areniscas con intercalaciones de limolitas (Ksom), las cuales afloran en el trazado desde la Falla de Melgar cerca del K37+200 hasta aproximadamente el K41+500 cubriendo alrededor del 85 al 90% del trazado. Estas rocas se encuentran cubiertas en sectores por depósitos coluviales recientes (Figura 1).

Figura 1 Esquema general del mapa geológico área de influencia - Componente Geoesférico Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.



A estas rocas se les ha datado en el Cretácico Superior, estimando un ambiente de depositación para la secuencia inferior (Ksli) de sedimentación pelágica rica en sílice, para el miembro medio (Ksom) de plataforma calcárea – silíceo y para el miembro superior de plataforma externa con corrientes de surgencia (Ksls).

De acuerdo con la nomenclatura geológica del valle del Magdalena, el Grupo Olini es correlacionable en edad y parcialmente en litología con el Grupo Guadalupe (Ksg) en la nomenclatura propuesta para la Sabana de Bogotá.

Fotografía 1 Depósitos coluviales discordantes sobre la Formación Arenisca Media (Ksom) del Grupo Olini. Localizado en el Segmento1, Tramo 3.



En esta unidad se encuentran proyectados los túneles El Ermitaño, Divino Niño y Palmichala, los cuales se excavarán en la Formación Arenisca Media de este Grupo. La descripción detallada de la litología para los túneles se presenta en el numeral 5.1.1.3 Condiciones geológicas de las obras subterráneas.

5.1.1.1.3. Formación La Tabla (Ksta)

Esta unidad aflora cerca del final de la Unidad Funcional 2, entre los K41+525 al K41+700 aproximadamente ya que su contacto con la Formación Seca (Kpgs) se encuentra cubierto en superficie por un depósito coluvial. Se conforma por niveles arenitas con intercalaciones de lutitas negras, que suprayace concordantemente las liditas y lodolitas de la Formación Lidita Superior (Ksls) del Grupo Olini (Kso) (Fotografía 1)

Esta unidad fue denominada para describir el conjunto netamente detrítico que suprayace el nivel de Lutitas y Arenas, que se expone en el cerro de La Tabla (Tolima) (Memoria explicativa Plancha 246, SGC, 2001).

El contacto inferior de la Formación La Tabla es concordante y neto con el Nivel de Lutitas y Arenas del Grupo Olini (Kso), y el contacto superior con los conglomerados de la Formación Barzalosa es discordante.

En el sector de Girardot - Melgar se identificaron fósiles que de acuerdo con la presencia de los *Siphogenerinoides*, los sedimentos de la Formación La Tabla han sido datados como Maastrichtiano (Cretácico Superior) (Bürgl & Dumit, 1954).

5.1.1.1.4. Formación Seca (Kpgs)

Esta formación se encuentra aflorando al final del trazado aproximadamente en el K41+720, su contacto en superficie con la formación La Tabla se encuentra cubierto por depósitos cuaternarios coluviales.

Presenta en su parte inferior un segmento conformado por areniscas de cuarzo, finas, en capas gruesas a delgadas, intercaladas con capas de lodolitas, grises-pardo, con mantos de carbón de hasta 0,5 m de espesor. Le suprayace una secuencia cubierta casi en su totalidad, pero que por su morfología se puede asumir que se trata de una secuencia monótona de lodolitas con material vegetal carbonizado y areniscas de cuarzo, finas, en capas muy gruesas. Un tercer segmento se encuentra conformado por lodolitas grises con intercalaciones de areniscas de cuarzo, finas, en capas gruesas a delgadas; el cuarto segmento se observa una secuencia cubierta, pero que por la morfología del terreno podría estar constituida por arcillolitas pardas y rojas, con intercalaciones de areniscas de cuarzo, finas, en capas medias a delgadas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

5.1.1.1.5. Conglomerados del Carmen de Apicalá (Ngca)

Esta formación se encuentra aflorando al inicio del trazado aproximadamente en el K37+150, y se encuentra en contacto fallado (falla Melgar) al este con la formación Arenisca media (Ksom) del Grupo Olini y al oeste se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios aluviales y coluviales.

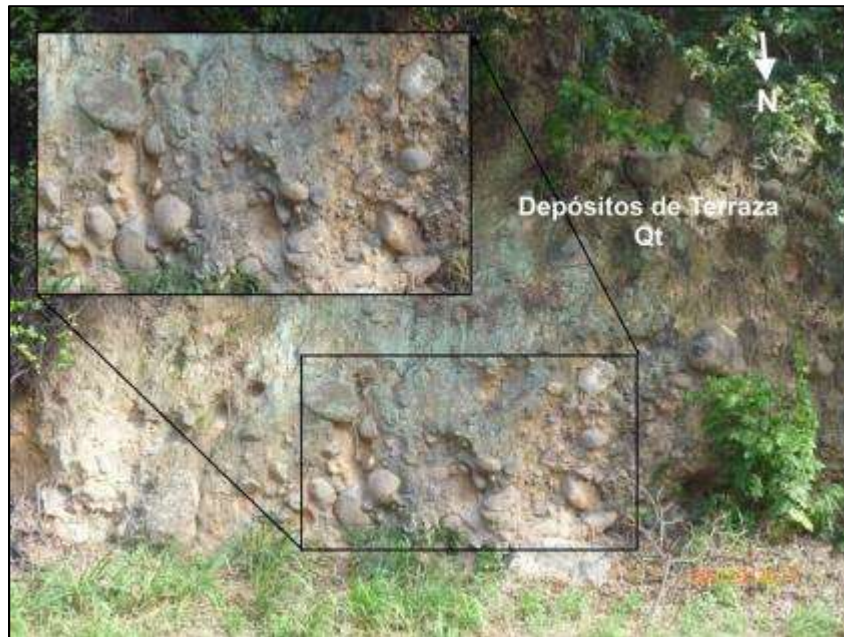
Esta unidad se usa para denominar informalmente a una espesa secuencia de conglomerados, aflora sobre la Formación Barzalosa.

Corresponde a una secuencia de conglomerados de cantos de gravas, de cuarzo y chert, subredondeados, en una matriz de arena de cuarzo y líticos, en capas muy gruesas a gruesas, que se desarrollan en secuencias gradadas. Por su posición estratigráfica los Conglomerados de Carmen de Apicalá serían del Oligoceno (Paleógeno), en parte, y alcanzarían el Mioceno (Neógeno). Se propone un origen de ríos trenzados para su depósito.

5.1.1.1.6. Depósitos de Terraza (Qt)

Estos depósitos tienen características de flujos fluvioglaciares conformados por gravas gruesas y cantos de areniscas redondeados e imbricados, de tamaños variables hasta de 3 m. (Fotografía 2)

Fotografía 2 Depósitos de terraza localizados en la zona del K36+300 UF-2.



5.1.1.1.7. Depósitos de Coluvión (Qc)

Constituidos por bloques angulares heterométricos hasta de 3,0 m de diámetro principalmente de areniscas embebidos en matriz areno-limosa. Estos depósitos se localizan en el sector final del trazado de la Unidad Funcional (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) donde se encontró en los registros de las perforaciones P-TS-01 y P-TS-02 que alcanzan un espesor de 14 y 21m respectivamente. A lo largo de corredor vial actual existen depósitos cuaternarios de locales pequeños que has reportado espesor hasta de 7,20m reportado en el sondeo P8 localizado en el portal salida del túnel Nariz del Diablo.

El deposito coluvial identificado entre las abscisas K38+000 y K38+600 localizado entre la Falla 3 y la quebrada la Cascada presenta un espesor hasta 30m en el registro del Sondeo P6 y 5,20m en el sondeo PED. Esta conformado por bloques hasta de 3m de diametro en matriz arenosa y limo-arcillosa, por observaciones de campo se determina un espesor de 3 a 4 m en inmediaciones de la quebrada La Cascada y en el sector aledaño a la caída de agua (pequeña cascada) presenta bloques de hasta 10m de diametro y mayores (INGETEC, 1998).

El depósito localizado entre las cuchillas de San Bartolo y la Palmita en el sector central del trazado de la UF2, es el de mayor extensión identificándose en ambas márgenes del río Sumapaz. Está conformado en general por bloques de hasta 4m de diámetro de arenisca cuarzosa soportados en matriz arcillosa (INGETEC 1998). Cerca de la zona del portal salida del túnel Palmichala presenta un espesor de 15m los cuales se reportan en el sondeo PT6. (Fotografía 3)

Fotografía 3 Depósito coluvial localizado en la vía actual en el K41+700, el cual reposa sobre las rocas de la Formación Arenisca Media (Ksom).



5.1.1.1.8. Depósitos aluviales (Qal)

Estos depósitos consisten en bloques, redondeados y subredondeados, especialmente de areniscas de cuarzo, con diámetros hasta de 3 metros mal seleccionadas en una matriz no consolidada de arenas y arcillas (Fotografía 4) presentan una expresión morfológica plana.

Fotografía 4 Depósitos aluviales del río Sumapaz, localizados al inicio de la Unidad Funcional 2 cerca del K36+500.



5.1.1.2. Geología Estructural

La Unidad Funcional 2 del Proyecto vial Ruta 40 se localizada entre sectores de Balaju y El Boquerón, de los municipios de Icononzo y Melgar (Tolima) a nivel regional se localiza en la parte central de la Cordillera Oriental, donde ésta sufre un marcado estrechamiento (Memoria geológica de la plancha 246 del Servicio Geológico

El segundo bloque está ubicado al suroccidente de la zona de estudio y cubre gran parte del trazado de la unidad Funcional 2. Este se encuentra limitado por el Sistema de Fallas de Quininí (al oriente) y por la Falla de Nebraska (al nor-oeste); este bloque forma el cierre de un sinclinorio, el cual está afectado por una serie de fallas de cabalgamiento, imbricadas, convergencia hacia el norte, el límite norte es un gran cabalgamiento que decapita pliegues y fallas, que se presentan al norte del bloque, y tienen una dirección promedio N10°E. La disposición de estas estructuras permite inferir que este bloque se desplazó desde el suroccidente, cabalgando sobre la región de Viotá.

A lo largo del alineamiento de la UF2, las evidencias de deformación se asocian a la presencia de sectores con alto fracturamiento, replegamiento y fallas locales asociados al tectonismo regional representado principalmente por cuatro estructuras mayores que han sido identificadas en campo y reportadas por el Servicio Geológico Colombiano, como Falla Melgar, Sistema de Fallas Quininí y una falla paralela a éstas que se evidencia al Este del sector del Boquerón y se localiza entre las Fallas Sylvania y Piedras Blancas, que para este estudio se denominada Falla F6.

A lo largo del trazado se observan las fallas regionales y locales del proyecto las cuales lo cortan a nivel superficial y subterráneo en los túneles, al igual que los pliegues característicos del sector.

A continuación se describen las fallas que cortan el trazado o tiene influencia en este a nivel regional y a nivel local así mismo los pliegues, fracturas y familias de diaclasas y discontinuidades como la estratificación presentes en la zona.

5.1.1.2.1. Fallas

- Sistema de Fallas de Quininí

Es un conjunto de fallas que cortan las rocas Cretácicas del Grupo Olini en la zona del trazado de la Unidad Funcional 2. Se caracterizan por ser un sistema de fallas de cabalgamiento, imbricadas, con dirección aproximada N10°E y buzamiento hacia el oriente y en la zona se denominan Falla Quininí y Falla 1 a la Falla 6.

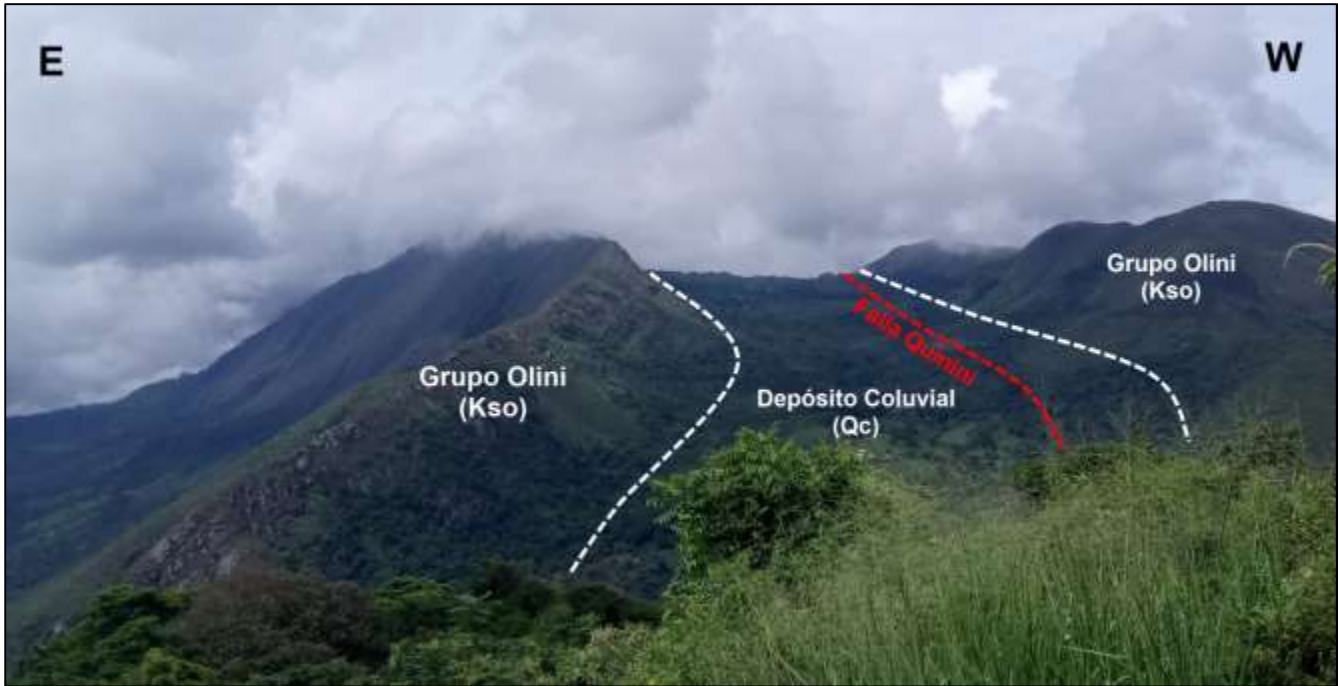
Falla Quininí

Corresponde a la falla principal de cabalgamiento de la zona con dirección aproximada N10°E y buzamiento hacia el Este. Su traza se localiza 200 m al Oeste del sector previsto para el portal salida del Túnel Palmichala, algunas evidencias de ésta corresponden al desarrollo de un escarpe que se extiende hacia ambas márgenes del río Sumapaz en dirección NE-SW y el contacto fallado entre lutitas orgánicas de la Formación Conejo (Kscn) al Este en el bloque colgante, con las areniscas y liditas cuarcíticas altamente fracturadas de Formación Arenisca Media del Grupo Olini (Ksom). Al Oeste en el bloque yacente, éstas rocas son más jóvenes que las rocas de la Formación Conejo (Kscn) las cuales son levantadas a aflorar en la zona.

Esta falla se encuentra cubierta por un depósito coluvial (Qc) discordante sobre las lutitas de la Formación Conejo (Fotografía 5 y Fotografía 6).

Estas fallas bordean la cuchilla Peñas Blancas, desde cercanías del Municipio de Cumaca hasta la carretera Bogotá - El Colegio; corresponden a un sistema de fallas de cabalgamiento con dirección aproximada N30°E y buzamiento al oriente, aunque hacia el norte la dirección cambia a E-W y buza al sur; en campo este sistema se evidencia por la repetición del Grupo Guadalupe. Esta falla corta el trazado cerca del portal salida del túnel Palmichala y pone en contacto la formación Arenisca media del Grupo Olini (Kso) con la Formación Conejo (Kscn), y en esta zona se encuentra cubierta por un depósito coluvial extenso en la zona.

Fotografía 5 Depósito coluvial (Qc) en la margen Izquierda del río Sumapaz que cubre la Falla Quinini.



Fotografía 6 Expresión morfológica de la Falla Quinini en la margen derecha del río Sumapaz



Falla 1

La traza de esta falla se evidencia en el alineamiento de la UF2 aproximadamente en el K37+680, unos 300 m al Este del portal entrada del Túnel Ermitaño, presenta un rumbo NE paralela a la Falla Melgar con buzamiento al Este. Esta falla se presenta en las areniscas con intercalaciones de liditas de la Formación Arenisca Media del Grupo Olini (Ksom), repitiendo la secuencia. En la zona de influencia de la falla se presenta cambio en inclinación los estratos, alto plegamiento y fracturamiento (Fotografía 7), además estos rasgos de afloramiento están asociados a un escarpe vertical (Fotografía 8).

Fotografía 7 Zona de Falla F1. Liditas plegadas y altamente fracturadas.



Fotografía 8 Escarpe asociado a la Falla F1, en la parte central del trazado del Túnel Ermitaño.



Falla F2

La traza de esta falla se evidencia en el alineamiento de la UF2 aproximadamente en el K37+860, unos 250 m al Oeste del portal salida del Túnel Ermitaño, discurre en dirección NE paralela a la Falla Melgar, y al igual que ella buza hacia el Este en bajo ángulo. El área adyacente a la Falla F2 muestra replegamiento local y alto fracturamiento de las areniscas con intercalaciones de liditas de la Formación Arenisca Media del Grupo Olini (Ksom). (Fotografía 9 y Fotografía 10)

Fotografía 9 Falla F2 que afecta niveles de liditas. Nótese el plano de cabalgamiento de bajo ángulo y el cambio en la dirección del buzamiento en ambos bloques de la falla.



Fotografía 10 Falla F2 en liditas altamente fracturadas con zona de cizalla que corta la estratificación.



Falla F3

La traza de esta falla se evidencia en el alineamiento de la UF2 aproximadamente en el K38+680, unos 250 m al Este del portal entrada del Túnel Divino Niño, discurre en dirección NE y buzando hacia el Este, paralela a las fallas anteriores. En la zona de deformación hay una repetición de las areniscas con intercalaciones de liditas de la Formación Arenisca Media del Grupo Olini (Ksom), las cuales se presentan replegadas y altamente fracturadas en el bloque inferior de la falla (Fotografía 11 y Fotografía 12), y plegadas por un anticlinal apretado e invertido en el bloque colgante de la falla. El eje de este pliegue presenta el mismo rumbo y buzamiento de las fallas identificadas tanto regionales como locales.

Fotografía 11 Zona de Falla F3 en arenisca con diaclasas abiertas y con evidencias de plegamiento.



Fotografía 12 Zona de Falla F3 evidente en liditas muy fracturadas.



Falla F4

La traza de esta falla se evidencia en el alineamiento de la UF2 aproximadamente en el K39+860, a unos 200 m al Oeste del portal salida del Túnel Divino Niño, Se trata de una falla paralela a las fallas descritas, en cuya zona de deformación se presenta replegamiento, alto fracturamiento (Fotografía 13) y cambio en la inclinación de los estratos de las areniscas con intercalaciones de lilitas de la Formación Arenisca Media del Grupo Olini (Ksom) en ambos bloques de la falla.

Fotografía 13 Zona de Falla F4. En la zona aledaña niveles de areniscas fracturadas, no se evidencia continuidad en la estratificación.



Falla F5

La traza de esta falla se evidencia en el alineamiento de la UF2 aproximadamente en el K39+060, en inmediaciones del portal salida del Túnel Divino Niño y Portal Entrada del Túnel Palmichala, en el sector de la Cañada. En la zona se presenta alto plegamiento, fracturamiento y variación en la dirección del buzamiento (Fotografía 14) de los estratos de arenisca fina habana dura con intercalaciones de lilitas cuarcíticas de la Formación Arenisca Media del Grupo Olini (Ksom). Además de estas características en afloramiento, se interpreta una repetición de la secuencia por medio de un pliegue invertido y apretado en el bloque colgante de la falla.

Falla F6

Falla principal localizada a 100 m al Este del Portal Salida del Túnel Nariz del Diablo, en inmediaciones del portal Boquerón. Marca un escarpe pronunciado entre las unidades más blandas de la Formación La Tabla y la Formación Seca – Guaduas al Este y rocas más resistentes del Grupo Olini al Oeste. Esta estructura presenta una expresión regional y discurre paralela a la Falla Piedras Blancas, y al igual que ésta es una falla de cabalgamiento con buzamiento hacia el Este (Fotografía 15).

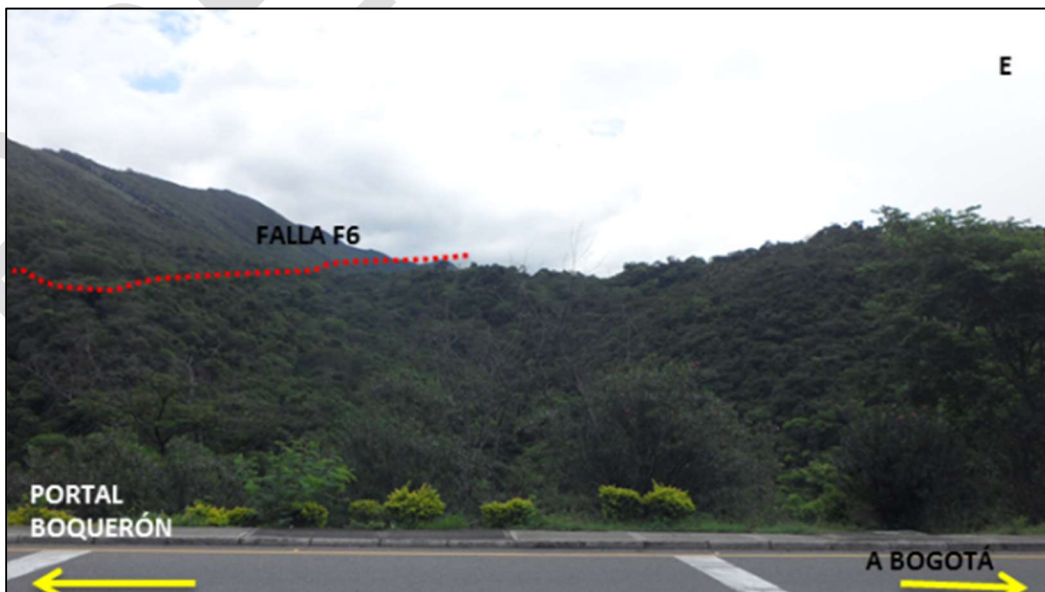
- Falla Melgar

Falla regional, localizada al Oeste del trazado de la UF2, su traza se localiza en el K37+200 a 200 m al Oeste del Portal Entrada del Túnel Ermitaño. Es una falla de cabalgamiento con dirección general NE/SW, y su plano inclinado al Este, que pone en contacto rocas del Grupo Olini – Formación Arenisca Media (Ksom) del Cretácico Superior en el bloque colgante con los Conglomerados de Carmen de Apicalá (Ngca) del Neógeno en el bloque yacente. Las rocas cretácicas en el bloque colgante de la falla se presentan plegadas por medio de un pliegue invertido y apretado con rumbo y buzamiento similar a la falla, que hace que la secuencia se presente aparentemente con mayor espesor o repetida.

Fotografía 14 Zona de Falla F5. En la zona aledaña niveles de areniscas y liditas muy fracturadas, se evidencia cambio en la inclinación de los estratos hacia el Oeste. Fotografía tomada en 945164 E; 963826N.



Fotografía 15 Expresión morfológica de la falla F6 en la margen derecha del río Sumapaz.



5.1.1.2.2. Plegamiento

Estas estructuras son comunes en zonas de fallamiento inverso debido a los esfuerzos compresivos que primero pliegan las rocas y luego las rompen o fallan. En el área de trabajo se presentan dos tipos de plegamientos en rocas sedimentarias, los que ocurren directamente en las zonas de falla reconocidos como replegamientos, y los pliegues anticlinales tumbados y apretados que se presentan por lo general en los bloques colgantes de las fallas inversas de bajo ángulo o cabalgamientos. Ambos tipos de pliegues son propios de sistemas de cabalgamiento y plegamientos en rocas sedimentarias. Los primeros se identifican por una sucesión de anticlinales y sinclinales continuos en el corte de la carretera, los cuales son de extensión local, mientras los segundos, son paralelos o subparalelos a las fallas de cabalgamiento, pueden ser de mayor extensión que los replegamientos y se pueden interpretar en zonas donde la secuencia sedimentaria presenta estratificación con alto buzamiento y una aparente ganancia de espesor o repetición de la secuencia o de parte de ésta, además su eje se puede localizar en zonas donde es evidente el cambio de la tendencia en el buzamiento de los estratos.

Los replegamientos se pueden observar en el túnel Ermitaño, mientras que los pliegues tumbados y apretados en los túneles del Divino Niño y Palmichala. Ninguna de estas estructuras no se identifican en el Túnel Nariz del Diablo.

5.1.1.2.3. Discontinuidades

- Diaclasas

Este tipo de estructuras persisten a lo largo del trazado de la UF2. La mayor concentración de diaclasas se presenta entre los Túneles Ermitaño, Divino Niño y Palmichal debido a la presencia de fallas locales que hacen parte del Sistema de Fallas Quininí y la Falla Piedras Blancas.

De acuerdo con los datos estructurales tomados en campo se identificaron las familias principales presentadas en la Tabla 2 donde se subdividen por los tramos geológicos identificados y descritos en el ítem Estratigrafía.

Tabla 2 Sistemas de diaclasas en la Unidad Funcional 2.

TRAMO	DIACLASAS					OBSERVACION ES
	S1	S2	S3	S4	S5	
Tramo 1. K36+514,00 – K37+440,889	NS/5°W	EW/75°N	N35°-40°E/28°- 88°NW	N10°-70°W/85°- 88°SW		
Tramo 2. Túnel Ermitaño. K37+440 ,889 – K38+100	PORTAL ENTRADA	N34°W/54°SW	N14°W/58°NE	N32°W/78°NE		
	TÚNEL	N41°W/79°NE	N54°E/85°NW	N46°W/45°SW		
	PORTAL SALIDA	N10°W/34°SW	N35°W/79°SW	N54°W/68°SW	N41°W/64°SW	
Tramo 3. K38+100 – K38+431,51						TRAMO CUBIERTO POR COLUVIÓN
Tramo 4. Túnel Divino Niño. K38+431 .51 - K39+081 ,62	PORTAL ENTRADA	N19°W/80°SW	N70°W/9°NE	N37°W/5°SW		
	TÚNEL	N76°W/72°NE	N89°W/84°SW	N9°E/70°NW - N1°E/44°NW	N37°E/58°NW - N46°E/38°NW	
	PORTAL SALIDA	NE/4°NW	NE/39°NW			
Tramo 5. K39+081,62 K39+121,04	N20°W/30°SW	N30°W/60°SW				ZONA MUY FRACTURADA PARCIALMENT E CUBIERTA

TRAMO		DIACLASAS					OBSERVACIONES
		S1	S2	S3	S4	S5	
							POR COLUVIÓN
Tramo 6. Túnel Palmichala. K39+121,04 - K39+865,44	PORTAL ENTRADA	N61°W/20°NE	N21°E/33°SE	N90°W/50°SW			ZONA MUY FRACTURADA
	TÚNEL	N81°W/82°SW	N34°E/69°SE	N68°E/82°SE	N44°E/11°NW	N69°E/82°NW	
	PORTAL SALIDA	N81°W/82°SW	N34°E/69°SE	N18°W/19°NE			CUBIERTO POR COLUVIÓN
Tramo 7. K39+865,44 – K40+527,16							TRAMO CUBIERTO POR COLUVIÓN
Tramo 8. Túnel Nariz del Diablo. K40+527,16 – K41+423,84	PORTAL ENTRADA	N86E54NW	N49E60NW	N49W54SW			
	TÚNEL	N48E46SE	N84E56NW	N25W86NE	N85W80SW		
	PORTAL SALIDA	N41E55NW	N86W80NE	N80W65NE			
Tramo 9. K41+423,84 - K41+838,08		N60°W/85°NE	N10°-65°E/30°-45°NW	N32°-40°E/70°-90°S	EW/40°S	N60°-80°W/90	

Fuente: INGETEC, 2017

- Planos de estratificación

La estratificación de la secuencia sedimentaria hacia la parte oriental del trazado de la Uf2, en inmediaciones del Túnel Nariz del Diablo, presenta orientación con tendencia NE/SE. Hacia el sector Oeste donde se prevé la construcción de los túneles Palmichala, Divino Niño y Ermitaño la secuencia presenta zonas de plegamientos locales con variación en la estratificación en sentido NE/NW, NW/SW con ángulos altos. En la Tabla 3, se presenta un resumen de los diferentes planos de estratificación.

Tabla 3 Datos de estratificación en la Unidad Funcional 2.

TRAMO		ESTRATIFICACIÓN			OBSERVACIONES
		E1	E2	E3	
Tramo 1. K36+514,00 – K37+440,889		N5°-10°E/85°SE			
Tramo 2. Túnel Ermitaño. K37+440,889 – K38+100	PORTAL ENTRADA	N30°E/28°SE			
	TÚNEL	NS/30°E	N10°-40°E/18°-75°SE	N15°-65°E/5°-85°NW	
	PORTAL SALIDA	NS/30°E	N20°-30°E/22°-25°SE		
Tramo 3. K38+100 – K38+431,51					TRAMO CUBIERTO POR COLUVIÓN
Tramo 4. Túnel Divino Niño. K38+431,51 - K39+081,62	PORTAL ENTRADA	N45°E/35°NW	N20°E/52°NW	N20°E/35°SE	
	TÚNEL	NS/50°E	N45°E/35°NW		
	PORTAL SALIDA	N15°E/70°NW			
Tramo 5. K39+081,62 K39+121,04					ZONA MUY FRACTURADA PARCIALMENTE CUBIERTA POR COLUVIÓN
Tramo 6. Túnel Palmichala. K39+121,04 - K39+865,44	PORTAL ENTRADA	N25°E/25°SE	N70°W/25°NE	N20°W/40°NE	ZONA MUY FRACTURADA
	TÚNEL	NS/40°E	N20°E/35°SE	N30°W/18°SW	
	PORTAL SALIDA				CUBIERTO POR COLUVIÓN
Tramo 7. K39+865,44 – K40+527,16					TRAMO CUBIERTO POR COLUVIÓN
Tramo 8.	PORTAL ENTRADA	N20°W/45°NE			

TRAMO		ESTRATIFICACIÓN			OBSERVACIONES
		E1	E2	E3	
Túnel Nariz del Diablo. K40+527,16 – K41+423,84	TÚNEL	N10°-40°/35°-55°SE			
	PORTAL SALIDA	N35°E/48°SE			
Tramo 9. K41+423,84 - K41+838,08		N20°-50°E/35-42°SE			

Fuente: INGETEC, 2017

Mediante la toma de datos en campo durante este estudio se ha comprobado la existencia de las fallas regionales de Melgar, Quininí y F6, y fallas secundarias y plegamientos invertidos, éstos asociados al corrimiento de fallas Melgar Quininí y a la repetición estratigráfica de la Formación Areniscas Medias del Grupo Olini. Entre la Falla Quininí y la Falla F6, la secuencia sedimentaria continua buzando hacia el Este abarca desde la Formación Conejo en contacto fallado por medio de la Falla Quininí con la Formación Arenisca Media del Grupo Olini (Kso), hasta las areniscas de la Formación La Tabla, las cuales se repiten por medio de la Falla F6. La anterior interpretación se presenta en el Mapa Geológico de la Unidad Funcional 2.

5.1.1.3. Condiciones geológicas de las obras subterráneas

5.1.1.3.1. Túnel Ermitaño

Su longitud es de aproximadamente 413,03m, presenta una secuencia de capas de areniscas con intercalaciones de liditas en el tramo previsto para este túnel, corresponde al nivel medio del Grupo Olini (Ksom). En general la secuencia de rocas estratificadas presenta una orientación preferencial NE/SE, con sectores plegados y fallados (Figura 3), que cambian la dirección de las capas en sentido preferencial NE/NW.

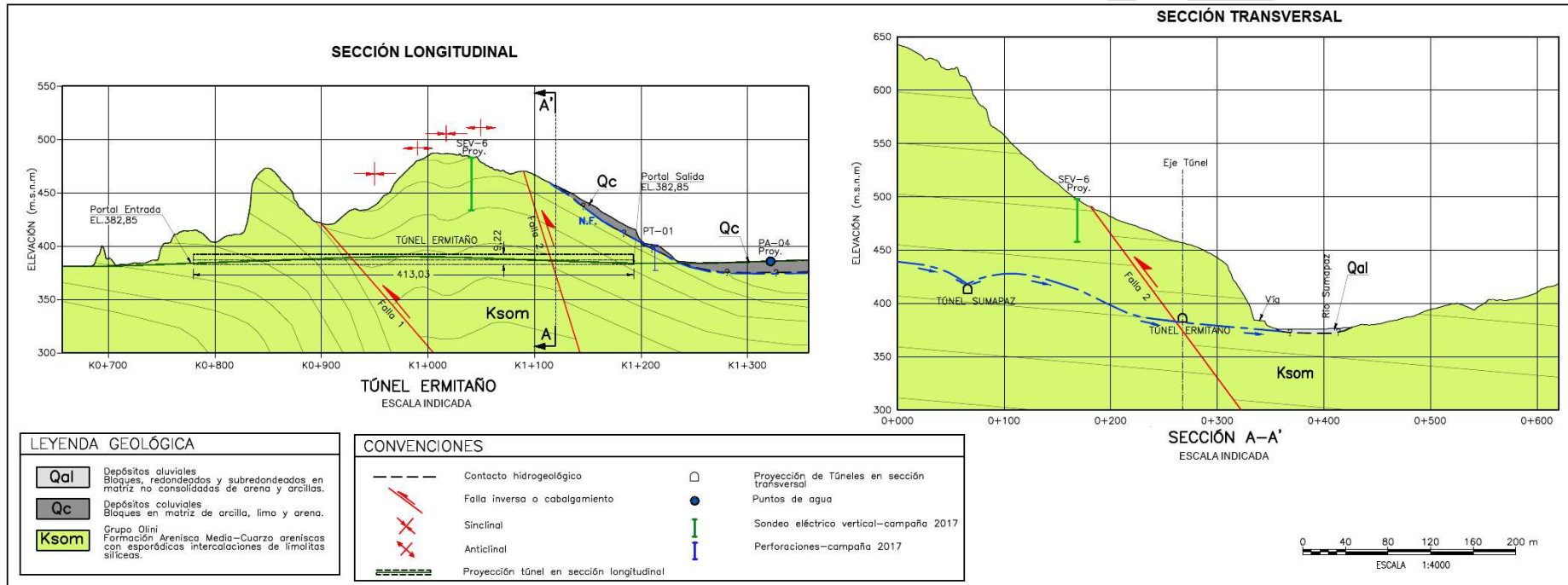
El rumbo de los estratos es normal al eje de los túneles, por lo tanto se tiene una condición algo favorable para la excavación. No obstante, la presencia de pliegues apretados y zonas de falla le imprime a la masa de roca un grado mayor de deformación, presentando en algunos sectores, inestabilidad asociada a formación de cuñas y/o desprendimiento. En estos sitios podrían presentarse mayores infiltraciones de agua.

En el sector previsto para la conformación del Portal Entrada (sector de Melgar) la litología está conformada por niveles de arenisca, amarilla, moderadamente meteorizada y fracturada, localmente friable con intercalaciones de niveles de lidita, con evidencias de replegamiento local en la secuencia (Fotografía 16); superficialmente el macizo rocoso se encuentra parcialmente cubierto por depósito de coluvial (Qc).

Fotografía 16 Zona de portal entrada Túnel Ermitaño. Se observa la secuencia de areniscas amarillas y niveles de liditas, localmente plegadas.



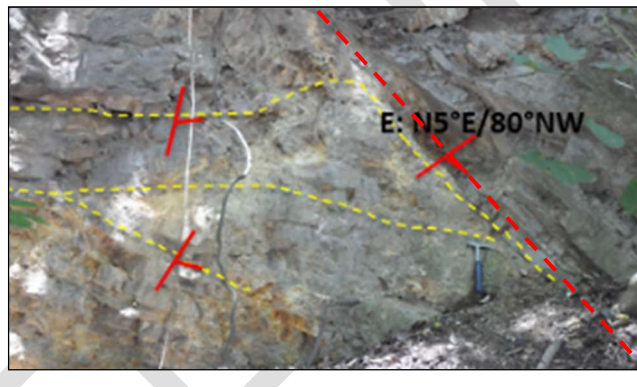
Figura 3 Perfil geológico longitudinal y transversal del Túnel Ermitaño. Se observa el plegamiento y las fallas que lo intersectan.



Fuente: INGETEC, 2017

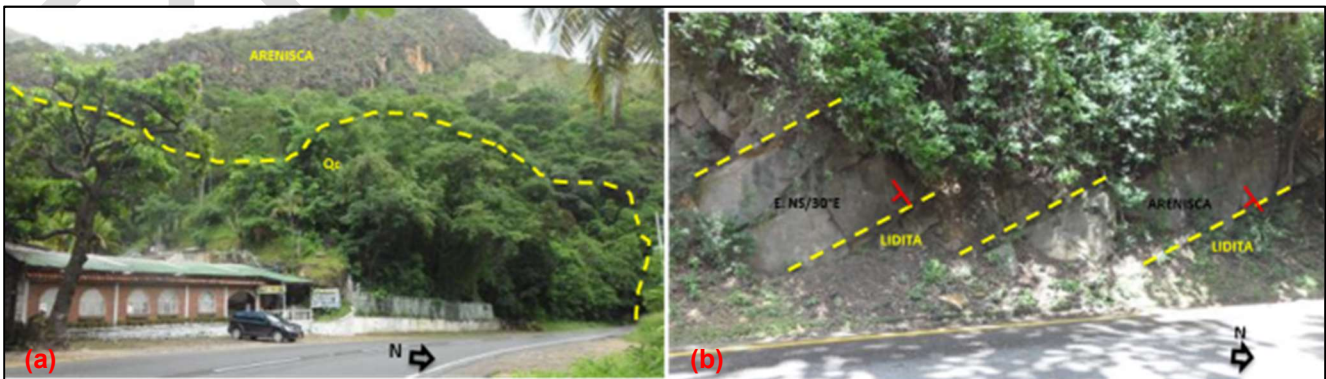
A lo largo de la proyección del trazado del Túnel Ermitaño la litología corresponde a arenisca cuarcítica, con niveles de liditas cuarcíticas y localmente niveles arcillosos, moderadamente meteorizada y fracturada. En general la estratificación presenta tendencia NE/SE y localmente varía al NW con ángulos altos de buzamiento. Su nivel freático en este sector es nulo identificado en el SEV-6 (Fotografía 17).

Fotografía 17 Túnel Ermitaño. Se observa el estado estructural del trazado del túnel identificando plegamiento y alto fracturamiento de las capas con desplazamientos locales por fallas y cambio en la dirección de inclinación de los estratos a NE/SE-NE/NW.



El Portal Salida, se presenta una litología conformada por capas de areniscas con intercalaciones de liditas cuarcíticas moderadamente fracturadas, generando caída local de material fino (Fotografía 18). Localmente el macizo se encuentra cubierto por depósito de coluvión matriz soportado identificado en la perforación PT-01 (Ingetec, 2017) con un espesor que alcanza los 8,6m y extiende hasta la zona del portal salida.

Fotografía 18 Portal Salida Túnel Ermitaño. (a) Secuencia cubierta parcialmente por depósito de coluvión. (b) Niveles de areniscas y liditas fracturadas con inclinación al Este.



Para el estudio del subsuelo del sector del túnel se realizaron exploraciones de campo y de subsuelo, identificando para la zona del portal salida un deposito coluvial de 8,6m (Perforación PT-01) de espesor que se.

En forma general la roca presentará RQD superiores al 60% de acuerdo a los afloramientos observados en la zona. Su dureza aumentará y su grado de meteorización disminuirá en las rocas en la parte media del túnel, a excepción de las zonas afectadas por el trazo de las fallas principales y fallas menores asociadas al sistema que pueden repercutir en la calidad de la roca.

El análisis estructural de los datos para las discontinuidades presentes en la zona del túnel Ermitaño se realizó por medio del software Rocscience Dips v5, donde se identificaron los principales sistemas de diaclasas para el túnel, las cuales se resumen en la Tabla 4.

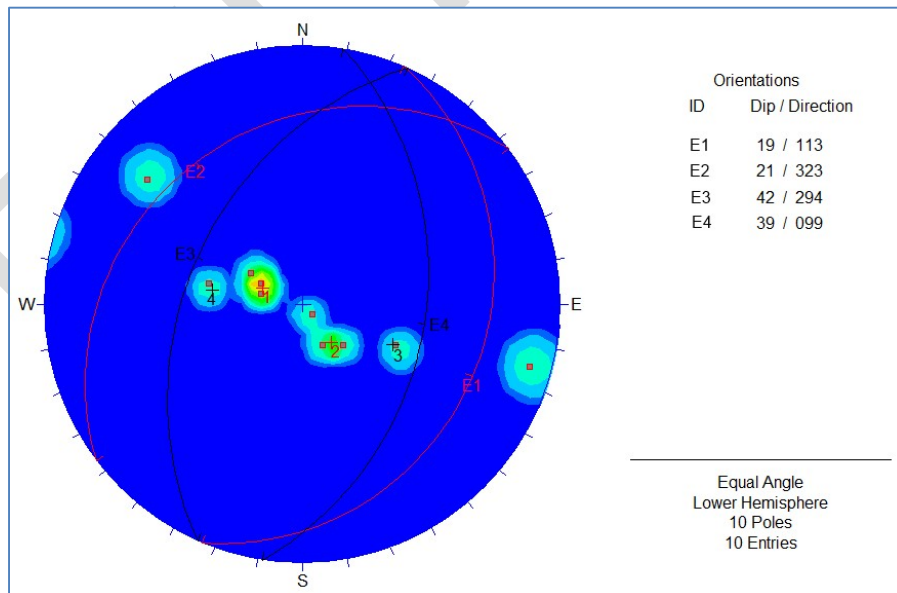
Tabla 4 Principales familias de discontinuidades en el Túnel Ermitaño.

TRAMO		FAMILIAS PRINCIPALES (Dip Direction/Dip)			
		1	2	3	4
DIACLASAS	PORTAL ENTRADA	S1 236/54	S2 76/58	S3 28/78	
	PORTAL SALIDA	S1 260/34	S2 235/79	S3 216/68	
ESTRATIFICACIÓN	GENERAL	E1 113/19	E2 323/21	E3 294/42	E4 99/39
DIACLASAS	TÚNEL	S1:49/79	S2:324/85	S3:224/45	S4:229/64

Fuente: Informe Geológico – Geotécnico, INGETEC 2017 y Concepto Técnico – 001, GEOTECNIA ANDINA 2017.

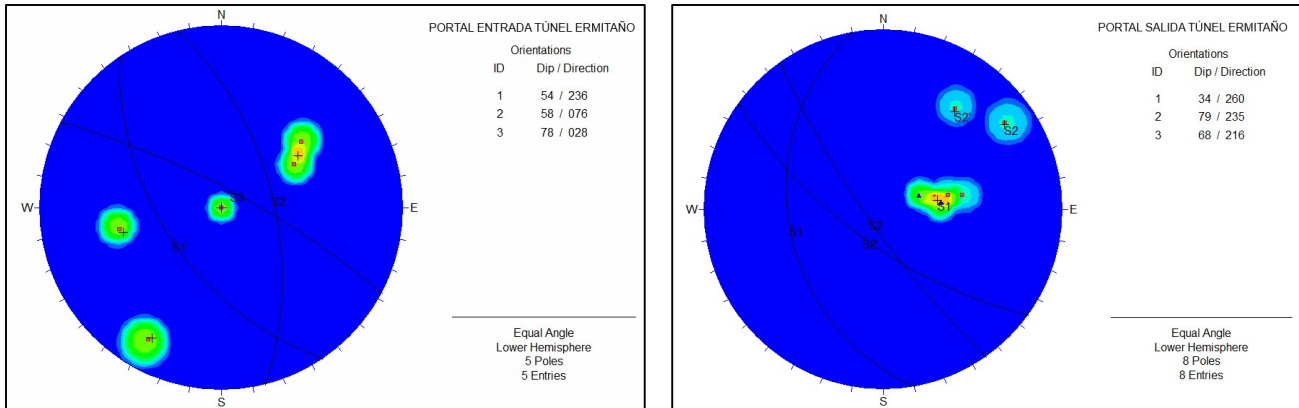
El análisis de los datos de estratificación graficados bajo las técnicas de proyección estereográfica muestra que existen pliegues en la zona como se observa en la Figura 19 Análisis estereográfico Túnel Nariz del – Diaclasas.. Las familias preferentes de estratificación corresponden a E1 113/19, E2 323/21, E3 294/42 y E4 99/39, estos datos representan que la zona presenta pliegues amplios cilíndricos asimétricos, como se representa en el perfil del túnel (Figura 4)

Figura 4 Análisis estereográfico de los datos de estratificación para la zona del túnel Ermitaño.



El analisis del fracturamiento presente en la roca del sector del túnel Ermitaño para los portales de entrada y salida presenta tres familias principales de discontinuidades en cada uno de ellos como son S1:236/54, S2:76/58 y S3:28/78 y S1:260/34, S2:235/79 y S3:216/68 (Figura 5).

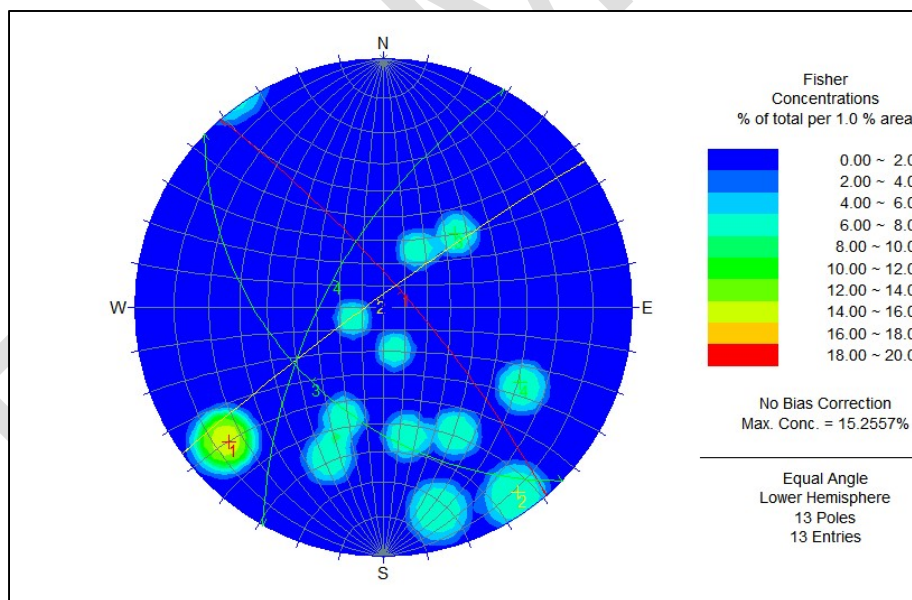
Figura 5 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para la zona de los portales del túnel Ermitaño.



En el portal de entrada la familia preferencial S1 se localiza en el tercer cuadrante al igual que las familias preferenciales del portal salida del área del túnel, lo cual indica que las principales fracturas en los portales tienen buzamiento en dirección al SW.

En el sector de los túneles se realizaron análisis de fracturas para el sector del túnel Ermitaño, teniendo como preferencia para las diaclasas se agrupan en cuatro familias principales S1:49/79, S2:324/85, S3:224/45, S4:229/64 (Figura 6).

Figura 6 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para la zona del túnel Ermitaño.



5.1.1.3.2. Túnel Divino Niño

El trazado proyectado del Túnel Divino Niño presenta una longitud aproximada de 288,75m. A lo largo del alineamiento se presenta una secuencia de arenisca fina a media amarilla con niveles de lidita y limolita correspondientes a la Formación Arenisca media (Ksom) del Grupo Olini (Kso), de acuerdo con el control realizado en campo (Figura 7)

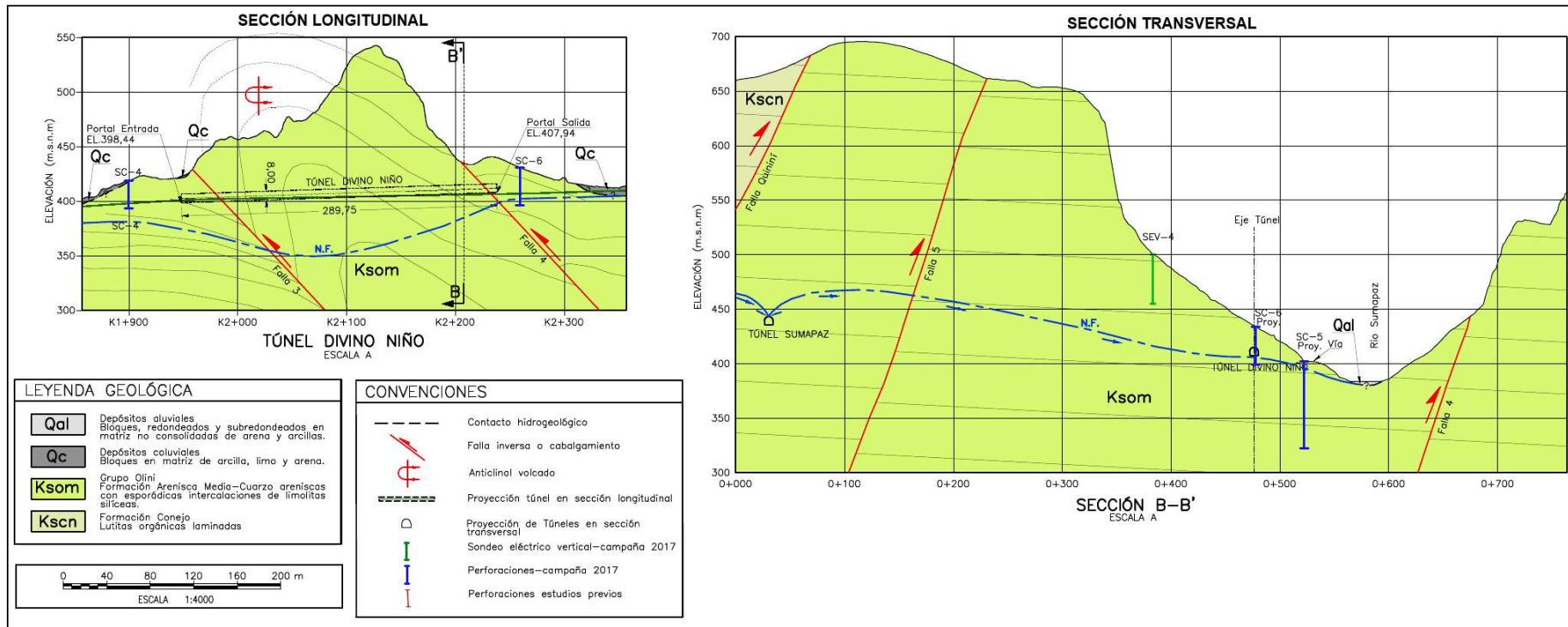
A lo largo del trazado del túnel se realizaron exploraciones de subsuelo y conocer las características del mismo, en estas exploraciones se tiene el sondeo PED realizado cerca de la vía actual donde se encuentra un depósito

coluvial de espesor registrado 5,2m el cual se encuentra sobre las rocas del miembro medio de la Formación Olini (Ksom), sondeo SC-4 sobre el lineamiento vial que conduce al portal entrada, en este sondeo se observó suelo residual seguido de roca fracturada y meteorizada aproximadamente desde los 3,5m hasta 17,5m. A lo largo de este tramo la roca corresponde a areniscas color crema, moderadamente fracturadas, se observa la estratificación y planos de fracturamiento intenso en la profundidad de 20,5m a 24,80m.

La perforación SC-5 se realizó fuera del trazo del túnel sobre la vía principal, en esta perforación se encontraron areniscas color crema y desde aproximadamente los 11m de profundidad limolitas silíceas grises oscuras. Al igual que esta perforación la SC-6 localizada en la zona del portal salida presenta areniscas silíceas en la parte superior, luego se observa un sector donde se identifica la influencia de la falla donde la roca presenta fuerte replegamiento (14 – 18,50m) y en el tramo final limolitas silíceas grises oscuras laminadas.

PRELIMINAR

Figura 7 Perfil geológico del Túnel Divino Niño, donde se observa la litología proyectada a encontrar en la excavación y construcción.



Fuente: INGETEC, 2017

La zona del portal entrada del túnel se localiza cerca a la vía que conduce a la Ventana de acceso al Túnel de Sumapaz. Este portal se excavará en roca de moderada calidad y mejorando en dureza, y menor grado de meteorización a medida que se avance en excavación. La litología corresponde a niveles de arenisca media a gruesa, amarilla, muy fracturada, friable, con sectores donde se evidencia replegamiento local de la secuencia y variación de la inclinación de los estratos hacia el Norte (Fotografía 19).

Fotografía 19 Zona de Portal Entrada Túnel Divino Niño. Afloramiento de arenisca amarilla, muy fracturada, friable, estratos con inclinación al Norte.



El tramo previsto para el desarrollo del túnel presenta una secuencia de areniscas finas, amarillas fracturadas, localmente friables con intercalaciones de niveles de liditas hasta de 1,50 m de espesor, con estratificación preferencial NE/SE, la cual podrá variar a lo largo de la excavación debido al replegamiento (Fotografía 20, Fotografía 21 y Fotografía 22)

Fotografía 20 Túnel Divino Niño. A lo largo de la vía actual se observan areniscas y liditas cuarcíticas muy fracturadas, las cuales se esperan encontrar en el túnel.



Fotografía 21 Zona portal salida Túnel Divino Niño. Nivel de Liditas fracturadas con alto buzamiento al NE.



Fotografía 22 Túnel Divino Niño. Niveles de areniscas y liditas fracturadas con alto buzamiento al Norte.



El sector previsto para el portal salida, se encuentra afectado por el cruce de la falla 4 la cual bajará la calidad de la roca. El macizo rocoso en general se caracteriza por presencia de niveles de arenisca fina con intercalaciones de liditas cuarcíticas, localmente niveles replegados y muy fracturados y alto buzamiento de las capas hacia el Norte (Fotografía 23).

Fotografía 23 Portal Salida Túnel Divino Niño. Arenisca cuarcítica estratificación laminar con niveles de liditas, la estratificación presenta inclinación al Norte.



El análisis estructural de los datos para las discontinuidades presentes en la zona del túnel Divino Niño se realizó por medio del software Rocscience Dips v5, donde se identificaron los principales sistemas de diaclasas para el túnel, las cuales se resumen en la Tabla 5.

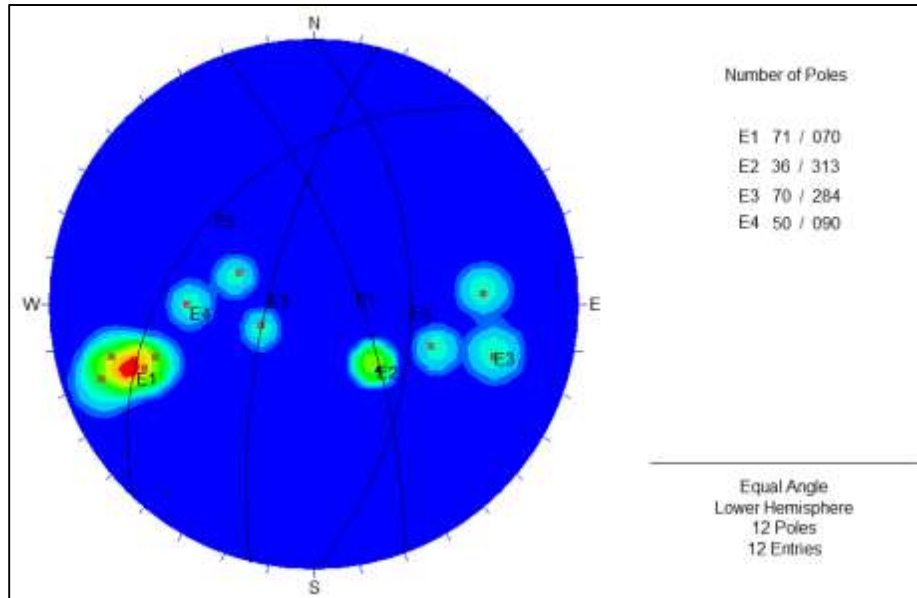
Tabla 5 Principales familias de discontinuidades en el Túnel Divino Niño.

TRAMO		FAMILIAS PRINCIPALES (Dip Direction/Dip)			
		1	2	3	4
DIACLASAS	PORTAL ENTRADA	S1 251/80	S2 20/09	S3 233/05	
	PORTAL SALIDA	S1 270/04	S2 270/39		
ESTRATIFICACIÓN	GENERAL	E1 70/71	E2 313/36	E3 284/70	E4 90/50
DIACLASAS	TÚNEL	S1:14/72	S2:181/84	S3:279/70 S3':271/44	S4:307/58 S4':316/38

Fuente: Informe Geológico – Geotécnico, INGETEC 2017 y Concepto Técnico – 001, GEOTECNIA ANDINA 2017.

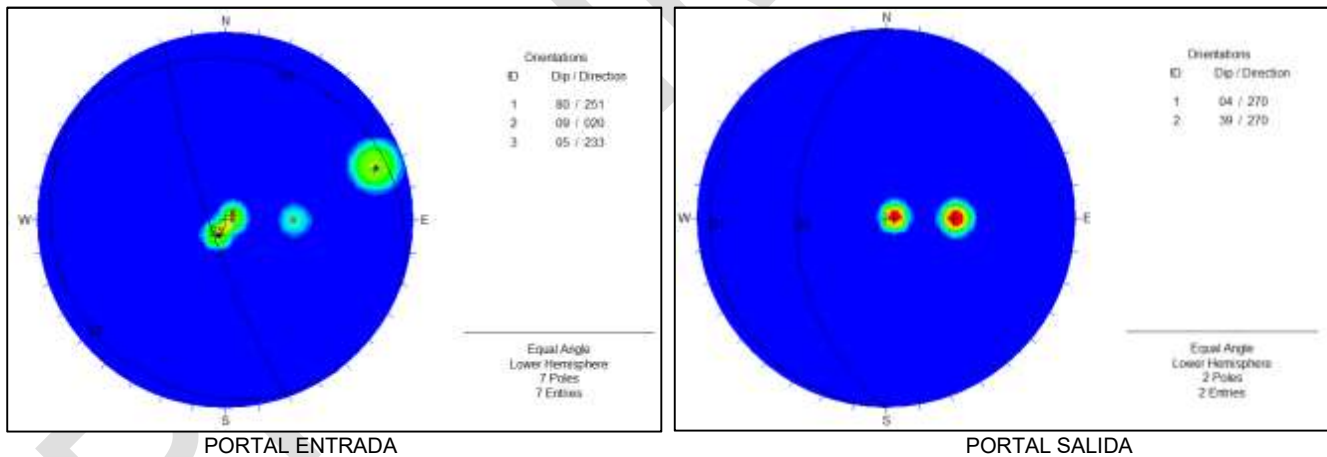
Los datos de estratificación graficados bajo las técnicas de proyección estereográfica muestran que existen pliegues en la zona como se observa en la Figura 8. Las familias preferentes de estratificación corresponden a E1 70/71, E2 313/36, E3 284/70 y E4 90/50, estos datos representan que la zona presenta pliegues amplios cilíndricos asimétricos, como se representa en el perfil del túnel (Figura 8).

Figura 8 Análisis estereográfico de los datos de estratificación para la zona del túnel Divino Niño.



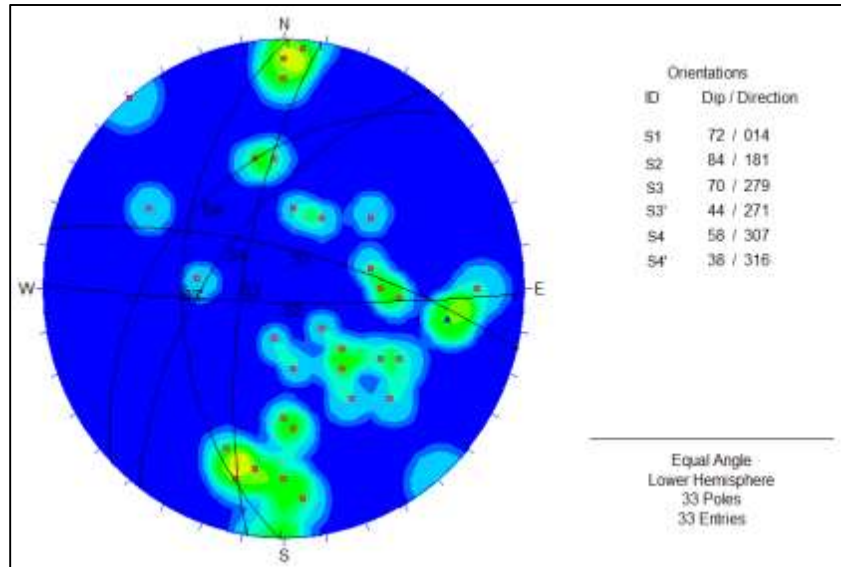
El análisis del fracturamiento presente en la roca del sector del túnel Ermitaño para los portales de entrada y salida presenta tres familias principales de discontinuidades en cada uno de ellos como son S1:251/80, S2:20/09 y S3:233/05 y, S1:270/04, S2:270/39 (Figura 9).

Figura 9 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para la zona de los portales del túnel Ermitaño.



El análisis estereográfico indicado en la Figura 10 muestra los sistemas de discontinuidades (dip/dipdirection) para los valores de estratificación y diaclasas registrados a lo largo del alineamiento previsto para el Túnel Divino Niño, diferenciándose para la estratificación tres familias S1:71/70, S2:70/284; S3:60/90, estas variaciones se asocian al replegamiento de los estratos en este sector. De la misma forma los valores de diaclasas se obtienen cinco familias de discontinuidades S1:73/270, S2:64/172 S3:41/332, S4:71/12, S5:64/120.

Figura 10 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para EL Túnel Divino Niño - Diaclasas



5.1.1.3.3. Túnel Palmichala

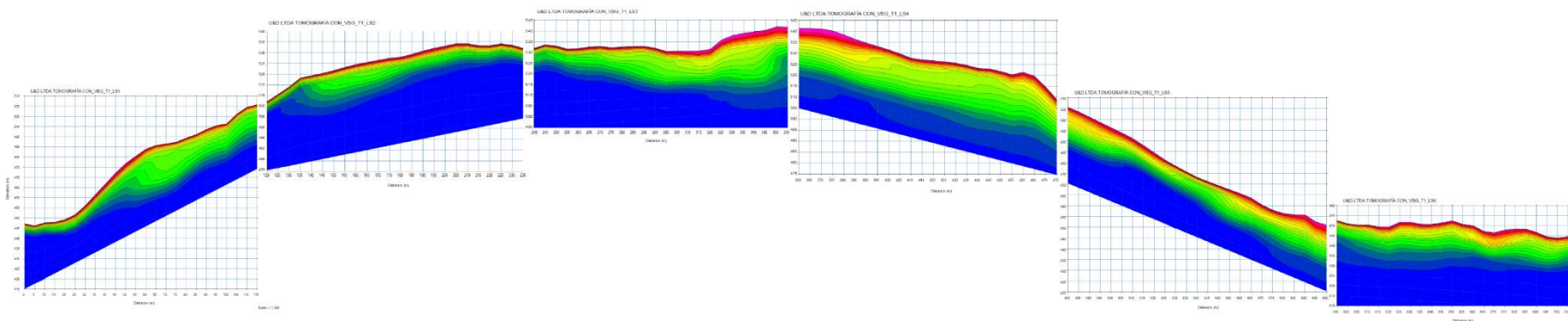
El trazado del Túnel Palmichala alcanza una longitud aproximada de 520,03m, el portal de entrada previsto estaría localizado en el K39+121.04 y portal salida en el K39+865,44. A lo largo del trazado afloran areniscas cuarcíticas y niveles de liditas que corresponden a las rocas del Grupo Olini (Kso) (Tabla 5). En general los niveles presentan orientación variable de las capas con tendencias NW/NE, NE/SE, NW/SW y se ve reflejada en los taludes expuestos a manera de pliegues y fallas. Debido a su profundidad se espera a lo largo del túnel un tipo de roca de buena calidad con fracturamiento y zonas de cambio en la tendencia de las capas debido al repliegamiento general de la zona (Figura 12).

De acuerdo con las investigaciones de subsuelo realizadas en el año 2014, se realiza una reinterpretación de las líneas sísmicas realizadas en la zona del túnel teniendo en cuenta que se realizaron fuera del lineamiento propuesto, pero son de gran ayuda en la identificación de los materiales que se encuentran cerca del lineamiento del túnel.

Teniendo en cuenta las velocidades de onda registradas se pueden identificar los espesores del depósito coluvial y la roca meteorizada. También se identifica aproximadamente a los 505 m un cambio en las velocidades que indicaría el paso de la Falla Quininí (Figura 11).

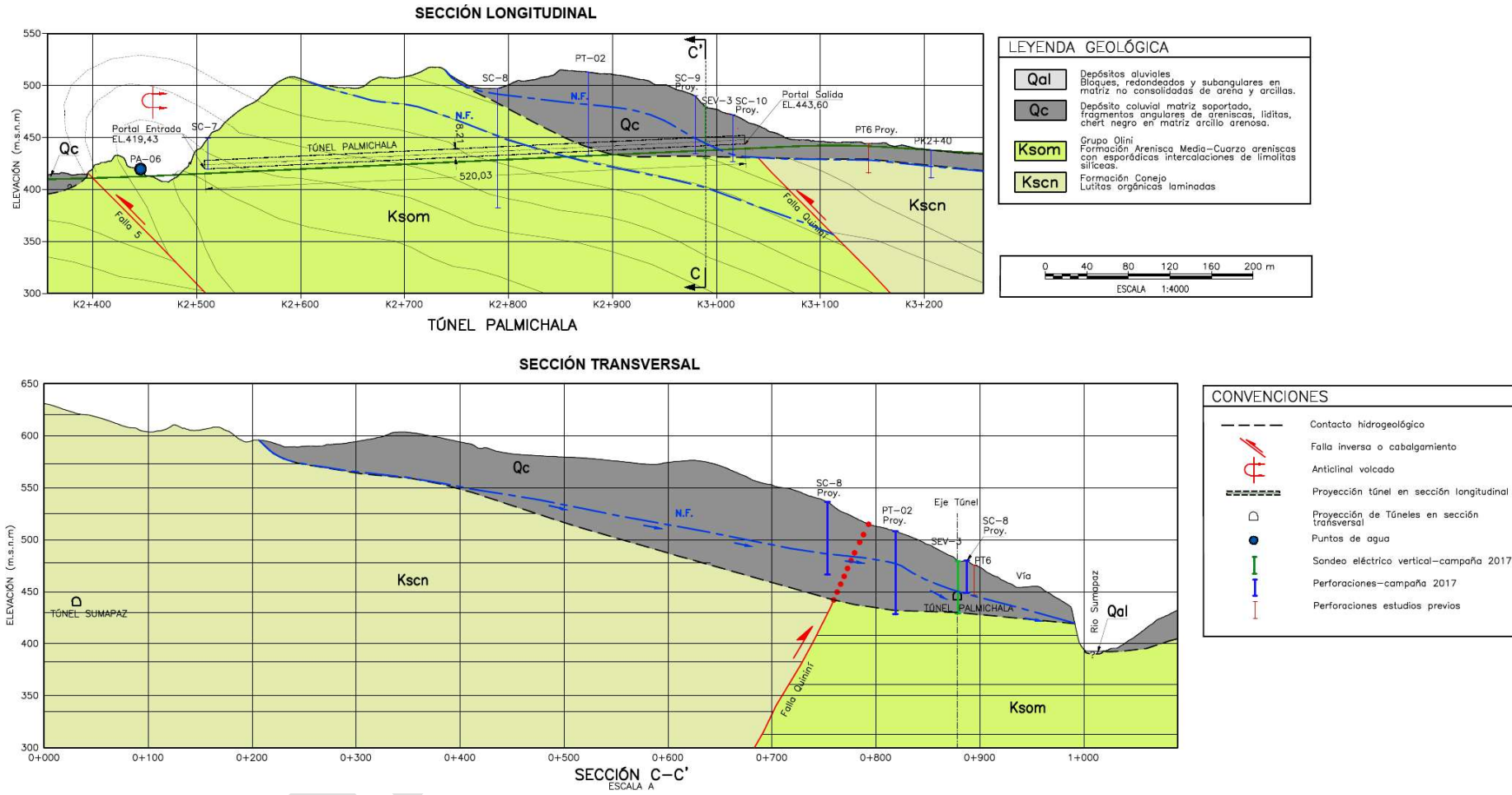
El sector previsto para el portal entrada, en inmediaciones del sector de la Cañada, el macizo se caracteriza por presencia de niveles de arenisca fina de color ocre, dura con intercalaciones de liditas cuarcíticas, estos niveles presentan buzamientos de bajo ángulo hacia el SE (Fotografía 24). Como se observó en el sondeo SC-7, el cual a lo largo de los 30m de perforación se observan las areniscas cuarcíticas amarillentas friables a duras, poco fracturadas.

Figura 11 Línea sísmica realizada en el sector del túnel 3 Palmichala UF-2



Fuente: Informe de exploración geofísica variante Bogotá-Girardot, ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA, 2014. Modificado INGETEC, 2017

Figura 12 Perfil geológico del Túnel Palmichala, donde se observa la litología proyectada a encontrar en la excavación y construcción.



Fuente: INGETEC, 2017

Fotografía 24 Portal Entrada Túnel Palmichala. Areniscas cuarcíticas, la estratificación presenta buzamientos al SE. Foto tomada en sector La Cañada.



La proyección del tramo previsto para el túnel presenta una secuencia de areniscas con estratos hasta de 2,5 m de espesor con intercalaciones de niveles de liditas cuarcíticas, amarillas hasta de 2,0 m de espesor, en los taludes expuestos sobre la vía actual se evidencian plegamientos y ondulaciones locales de estos niveles con zonas fracturadas a trituradas (Fotografía 25 y Fotografía 26). En el registro de la perforación PT-02 se observó un depósito coluvial de 76,22m y más hacia el portal salida la perforación reportó un espesor de 15m.

Fotografía 25 Túnel Palmichala. Areniscas y liditas fracturadas localmente presentan truncamiento y plegamiento de los niveles.



En la perforación SC-8 se observa un depósito coluvial de aproximadamente 15m de espesor que cubre la secuencia de rocas con areniscas cuarcosas amarillentas en sectores friables, con limolitas silíceas color gris oscuro. El macizo presenta zonas de alto fracturamiento como se observa en el sector de 61,90 a 69,20 m.

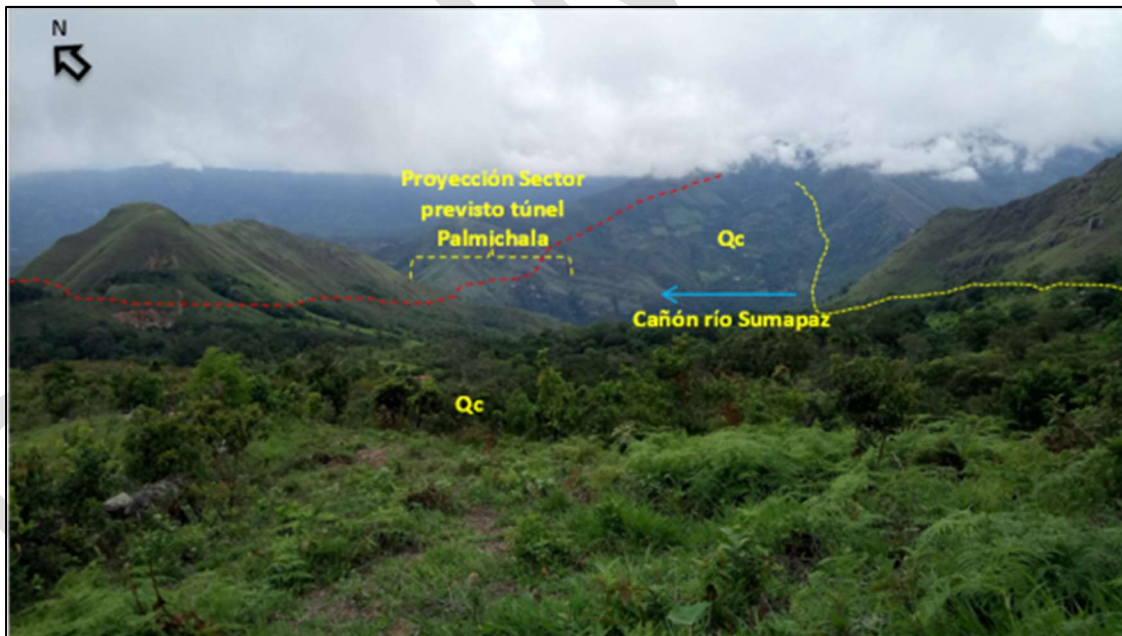
Fotografía 26 Túnel Palmichala. La secuencia se encuentra cubierta parcialmente por depósito de coluvión y se presenta cambio en la dirección de buzamiento de los estratos.



Aproximadamente desde el K39+600 la parte superior de la cobertura del túnel presenta un depósito coluvial que cubre hasta el portal salida. Este depósito de coluvión se extiende hacia la parte superior de las laderas en ambas márgenes del río Sumapaz, cubriendo en casi su totalidad las rocas de la Formación Conejo (Kscn) que se encuentran en ese sector (Fotografía 27).

El sector del portal salida del Túnel Palmichala se encuentra una ladera de baja pendiente cubierta de coluvión, que puede llegar a presentar un espesor estimado de 20 a 30 m en este lugar. De acuerdo con esto, parte del portal presentará depósito coluvial en la parte superior (Fotografía 28). Debido a que este portal se encuentra cerca del trazo de la Falla Quininí la roca presentará menor calidad debido al fracturamiento intenso en la zona de influencia de la misma. En este sector se realizaron las perforaciones SC-9 y SC-10 donde la primera se encuentra en depósito coluvial y la segunda marca 39,5 m de coluvión.

Fotografía 27 Túnel Palmichala. Extensión del depósito de coluvión (Qc) hacia ambas márgenes del río Sumapaz y proyección del alineamiento del túnel.



Fotografía 28 Portal salida Túnel Palmichala. Depósito de coluvión aflorando en la parte baja de la ladera en inmediaciones de Serranías del Sumapaz.



El análisis estructural de los datos para las discontinuidades presentes en la zona del túnel Palmichala se realizó por medio del software Rocscience Dips v5, donde se identificaron los principales sistemas de diaclasas para el túnel, las cuales se resumen en la Tabla 6.

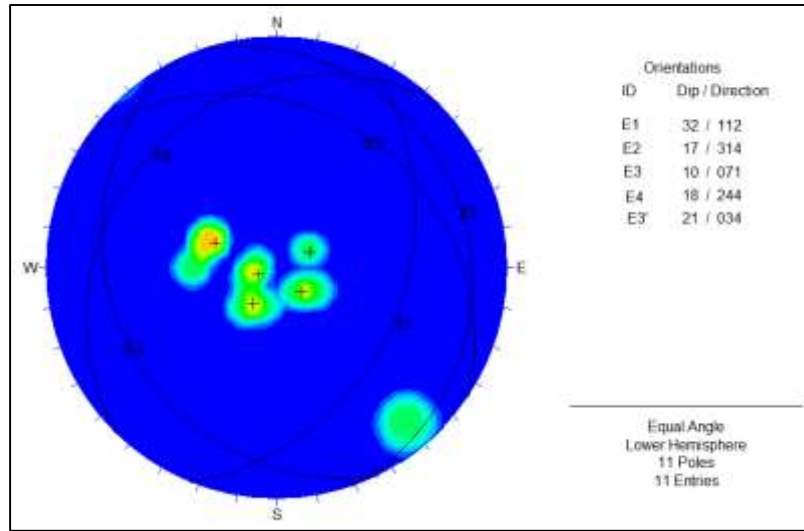
Tabla 6 Principales familias de discontinuidades en el Túnel Palmichala.

TRAMO		FAMILIAS PRINCIPALES (Dip Direction/Dip)				
		1	2	3	4	5
DIACLASAS	PORTAL ENTRADA	S1 29/20	S2 111/33	S3 180/50		
	PORTAL SALIDA	S1 189/82	S2 124/69	S3: 72/19		
ESTRATIFICACIÓN	GENERAL	E1 112/32	E2 314/17	E3 71/10 E3': 34/21	E4 224/18	
DIACLASAS	TÚNEL	S1:189/82	S2:124/69	S3:158/82	S4:314/11	S5:339/82

Fuente: Informe Geológico – Geotécnico, INGETEC 2017.

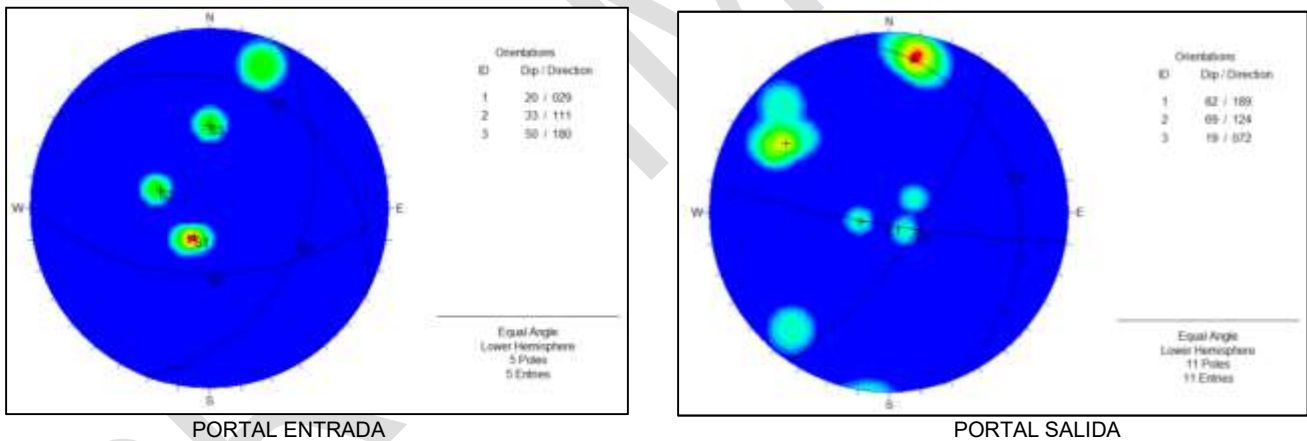
Los datos de estratificación graficados bajo las técnicas de proyección estereográfica muestran que existen pliegues en la zona como se observa en la. Las familias preferentes de estratificación corresponden a E1 112/32, E2 314/17, E3 71/10, E3' 34/21 y E4 224/18, estos datos representan que la zona presenta pliegues amplios cilíndricos asimétricos, como se representa en el perfil del túnel (Figura 13).

Figura 13 Análisis estereográfico de los datos de estratificación para la zona del túnel Palmichala.



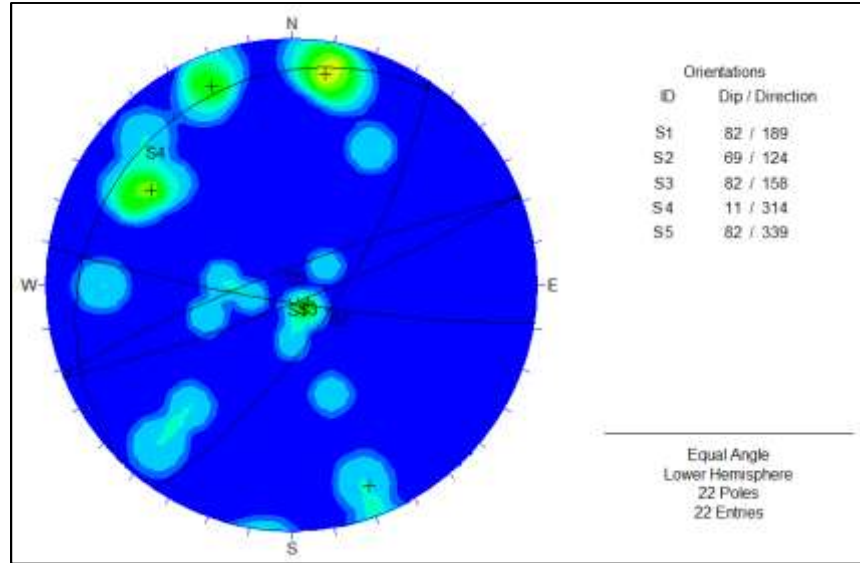
El análisis del fracturamiento presente en la roca del sector del túnel Palmichala para los portales de entrada y salida presenta tres familias principales de discontinuidades en cada uno de ellos como son S1:29/20, S2:111/33 y S3:180/50 y, S1:189/82, S2:124/69 y S3: 72/19 (Figura 14).

Figura 14 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para la zona de los portales del túnel Palmichala.



El análisis estereográfico indicado en la Figura 15 muestra los sistemas de discontinuidades (dip/dipdirection) para los valores de diaclasas registrados a lo largo del alineamiento previsto para el Túnel Palmichala, diferenciándose los valores de diaclasas se obtienen cinco familias de discontinuidades S1:82/189, S2:69/124 S3:82/158, S4:11/314 y S5:82/339.

Figura 15 Túnel Palmichala – Diaclasas.

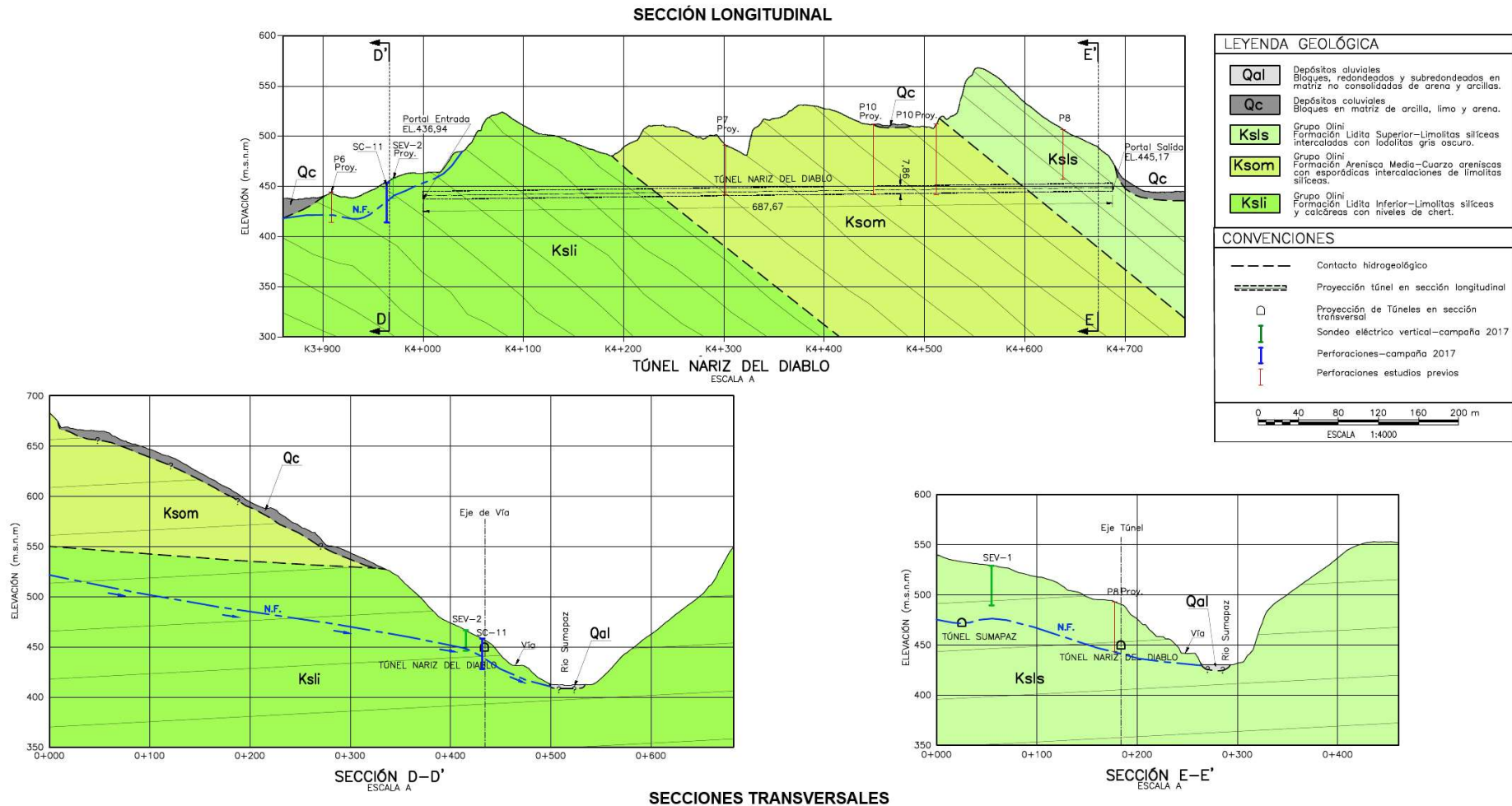


5.1.1.3.4. Túnel Nariz del Diablo

El trazado del Túnel Nariz del Diablo, alcanza una longitud aproximada de 687,67m, el portal de entrada previsto en el K40+527.16 y portal salida en el K41+423.84. En la proyección del alineamiento del túnel se estima encontrar rocas de las formaciones que componen el Grupo Olini, al inicio del mismo se observan niveles de Liditas cuarcíticas, areniscas cuarcíticas con intercalaciones de liditas de la Formación Lidita Inferior (Ksli) del Grupo Olini (Kso). En la parte media del túnel se excavarán cuarzo arenitas con intercalaciones de limolitas silíceas que corresponden a la Formación Arenisca Media (Ksom) y en la parte final se encontraran limolitas silíceas con lodolitas gris oscuro de la Formación Lidita Superior (Ksls) (Fotografía 29).

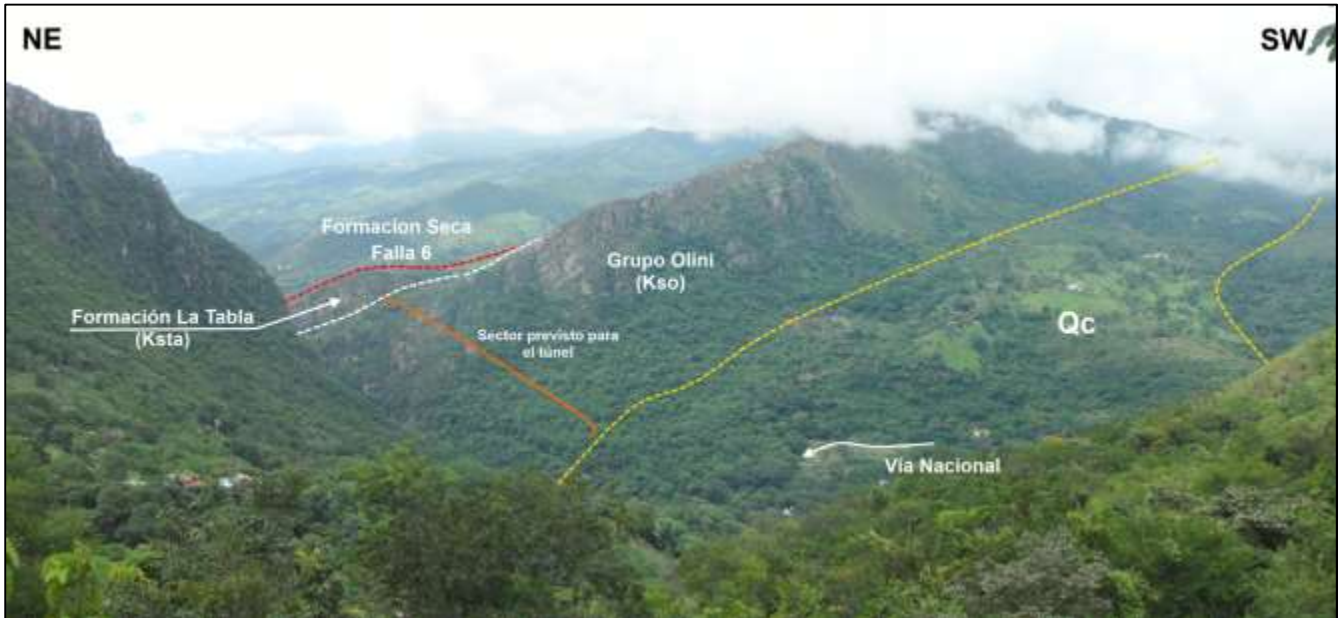
Estas rocas presentan fracturamiento moderado y planos de estratificación inclinados que pueden llegar a presentar esporádicas cuñas en el proceso de excavación. De acuerdo con la profundidad del túnel se espera una roca de buena calidad a pesar de su fracturamiento, menor meteorización y sin zonas de cizalla por cruce de fallas (Figura 16).

Figura 16 Perfil geológico del Túnel Nariz del Diablo, donde se observa la litología proyectada a encontrar en la excavación y construcción.



Fuente: INGETEC, 2017

Fotografía 29 Túnel Nariz del Diablo. Continuidad del depósito de coluvión hacia ambas márgenes del río Sumapaz.



En el sector previsto para el portal entrada del Túnel Nariz del Diablo se presentan rocas que se caracterizan por ser una secuencia de liditas y areniscas muy fracturadas, con planos de estratificación en dirección preferencial NE/SE, cubiertas parcialmente por depósito de coluvión (Fotografía 30).

Fotografía 30 Sector Portal Entrada Túnel Nariz del Diablo Secuencia de Arenisca y Liditas fracturadas



El tramo previsto para el Túnel Nariz del Diablo discurre en una secuencia de areniscas cuarcíticas amarillentas a grises, duras, fracturadas intercaladas con niveles de liditas con orientación general NE/SE. Hacia el sur aproximadamente a unos 20 m antes del sector previsto para el portal salida, un nivel de arenisca media,

amarilla friable muy fracturada, que da origen a desprendimientos locales ocasionando taludes negativos de poca extensión.

En los sondeos realizados para identificar las condiciones de la roca a lo largo del túnel se encontró que en la perforación P 10 la cual llega a la solera del túnel presenta rocas de tipo areniscas de grano fino, color gris las cuales presentan un porcentaje de recuperación del 92% y un RQD de 48%, teniendo así en este sector una roca competente para la excavación. La perforación P 7 se localiza aproximadamente en el medio del trazado del túnel, con 50m de profundidad quedando a 27,3 m de la clave, donde la roca encontrada corresponde a arenisca de grano medio y de color gris con vetas negras y fracturadas, con un porcentaje de recuperación del 83% y un RQD 30%.

Fotografía 31 Túnel Nariz del Diablo. Secuencia de Lidita muy fracturada



Fotografía 32 Túnel Nariz del Diablo. Secuencia areniscas cuarcíticas muy fracturadas. Las discontinuidades abiertas y los planos de estratificación generan negativos por desprendimientos.



Fotografía 33 Túnel Nariz del Diablo. Arenisca media, amarilla friable muy fracturada. Las discontinuidades abiertas y los planos de estratificación generan negativos por desprendimientos.



El análisis estructural de los datos para las discontinuidades presentes en la zona del túnel Nariz del Diablo se realizó por medio del software Rocscience Dips v5, donde se identificaron los principales sistemas de diaclasas para el túnel, las cuales se resumen en la Tabla 7.

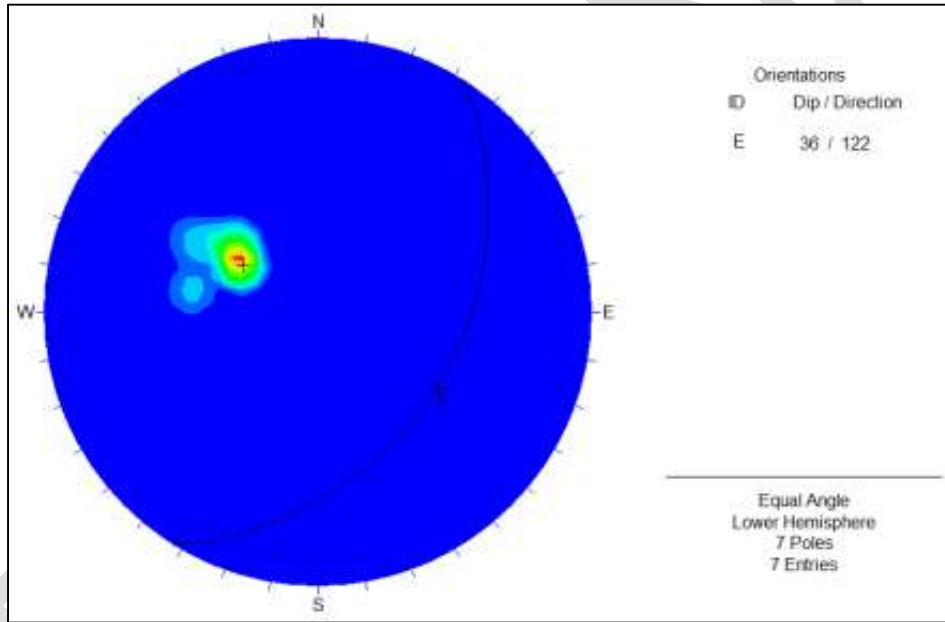
Tabla 7 Principales familias de discontinuidades en el Túnel Nariz del Diablo.

TRAMO		FAMILIAS PRINCIPALES (Dip Direction/Dip)				
		1	2	3	4	5
DIACLASAS	PORTAL ENTRADA	S1 356/54	S2 319/60	S3 221/54		
	PORTAL SALIDA	S1 311/55	S2 4/80 S2' 10/65			
ESTRATIFICACIÓN	GENERAL	E1 110/35	E2 140/42			
DIACLASAS	TÚNEL	S1:138/45	S2:354/56	S3:65/86	S4:185/80	

Fuente: Informe Geológico – Geotécnico, INGETEC 2017.

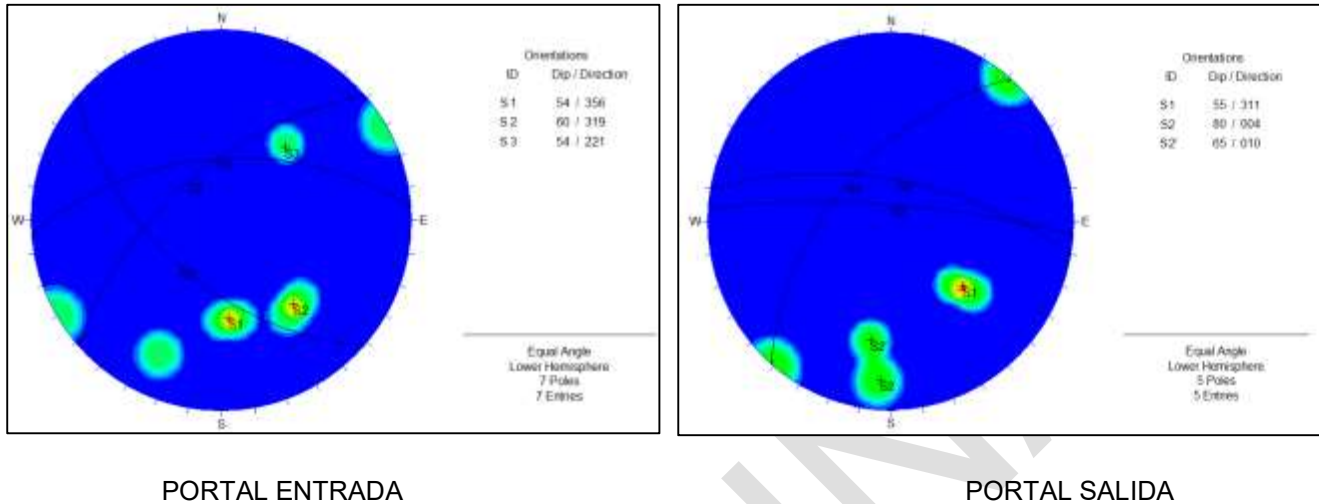
Los datos de estratificación graficados bajo las técnicas de proyección estereográfica muestran que existe una tendencia preferencial de inclinación de capas al NE, con dirección de capas de estratificación 122/36 (Figura 17).

Figura 17 Análisis estereográfico de los datos de estratificación para la zona del túnel Nariz del Diablo.



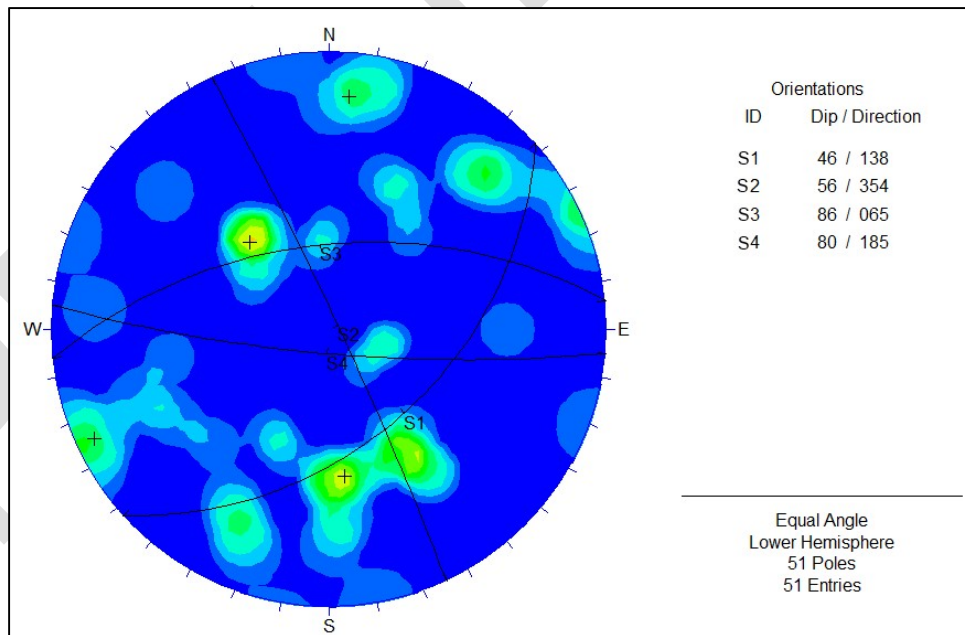
El análisis del fracturamiento presente en la roca del sector del túnel Nariz del Diablo para los portales de entrada y salida presenta tres familias principales de discontinuidades en cada uno de ellos como son S1:356/54, S2:319/60 y S3:221/54 y, S1:311/55, S2:4/80 y S2': 10/65 (Figura 18).

Figura 18 Análisis estereográfico de los datos de diaclasas para la zona de los portales del túnel Nariz del Diablo.



El análisis estereográfico indicado en la Figura 19 muestra los sistemas de discontinuidades (dip/dipdirection) para los valores de diaclasas registrados a lo largo del alineamiento previsto para el Túnel Palmichala, diferenciándose los valores de diaclasas se obtienen cuatro familias de discontinuidades S1:46/138, S2:56/354, S3:86/65 y S4:80/185.

Figura 19 Análisis estereográfico Túnel Nariz del – Diaclasas.



Teniendo en cuenta el análisis de fracturas y discontinuidades (estratificación) de la roca en las zonas de los túneles se definen los siguientes aspectos desfavorables a tener presente.

- Existen algunos sectores a lo largo del tramo de la vía existente con presencia de zonas de esfuerzo o falla normales al eje de túneles que corresponden a estructuras geológicas (pliegues) anticlinales y/o sinclinales, asociados a falla o roca fracturada que serán cruzados en algunos sitios por los túneles.
- Baja cobertura vertical y/o lateral - descompresión y debilidad de la ladera.
- Presencia de coluviones espesos bloque-soportados en sectores sueltos hacia portales y/o en sectores de baja cobertura de los túneles.
- Planos de estratificación y/o algunas fracturas que pueden inducir falla planar, en cuña o fallas por volcamiento (toppling) de bloques de roca.
- Algunos sectores con rocas de comportamiento dúctil, con posibilidad de contener mineralogía expansiva.

Los aspectos favorables de acuerdo a las condiciones de la roca para la construcción de los túneles y cortes de roca en taludes son los siguientes:

- Los túneles serán excavados en términos generales en rocas de resistencia medía a alta con coberturas de roca no muy altas, por lo que no se esperan problemas de empujes y deformaciones.
- Relación K de esfuerzos in-situ será favorable, es decir el esfuerzo principal mayor in –situ (σ_1) será casi paralelo con el de eje túneles por lo que se tendrán los otros dos esfuerzos in-situ y de menor magnitud sobre las secciones transversales de los túneles.
- Los sistemas de discontinuidad principal (estratificación) son en términos generales casi normales con el eje de los túneles, lo que será un factor favorable para la estabilidad de estos.
- En varios sectores de la vía actual se observaron rocas en bancos gruesos principalmente de arenisca competente, de comportamiento frágil, lo que será favorable para la excavación de los túneles.

5.1.2. Geomorfología

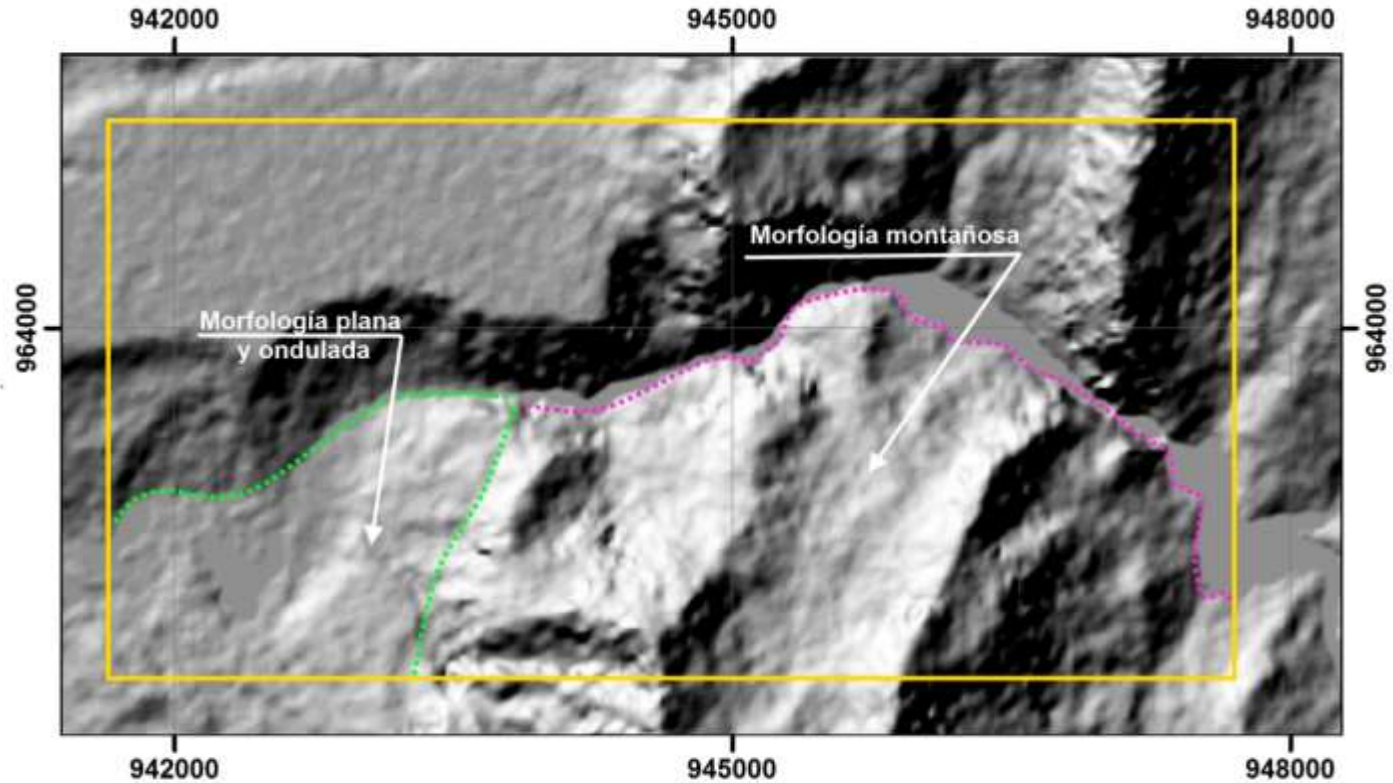
La geomorfología para la zona del Proyecto de la Unidad Funcional 2, incluye la caracterización del relieve de acuerdo con la metodología planteada en la “PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA EN COLOMBIA” de Carvajal (2011), la cual para la escala y alcance del proyecto se presentará a nivel de subunidad geomorfológica.

La Unidad Funcional 2 se caracteriza por presentar una morfología montañosa con valles en “V” hacia la parte media y final y por zonas planas a onduladas con llanuras aluviales en el sector inicial (Figura 20).

Regionalmente se enmarca geológica y geográficamente entre el límite Norte que corresponde al río Sumapaz, al Sur corresponde al alineamiento del túnel existente Sumapaz en el sector comprendido entre la localidad del Boquerón y localidad Malachí La Cascada y los límites Este – Oeste por tres estructuras mayores como Falla de Melgar, Falla Quininí y la Falla 6 que se evidencia al Este del sector del Boquerón (Numeral 4.1.1.1 Geología del Área de Influencia, ver Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2508-A0). Esta área comprende rocas de edades Cretácicas, Neógenas y Cuaternarias las cuales han sido modeladas de acuerdo a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas de la zona.

En la Tabla 8 se presentan a nivel regional, la Jerarquización geomorfológica para el área de estudio, donde se identifica la geomorfoestructura, provincia y región geomorfológica para contextualizar la descripción de las unidades y subunidades geomorfológicas.

Figura 20 Modelo de elevación regional para la Unidad Funcional 2, donde se observan las dos grandes morfologías de la zona, al este la morfología montañosa y al oeste la morfología plana y ondulada.



Fuente: INGETEC, 2017

Tabla 8 Jerarquización geomorfológica de la zona de influencia de la Unidad Funcional 2.

Geomorfoestructura	Provincia Geomorfológica	Regiones Geomorfológicas
Cordillera, Orógeno	Cordillera Oriental	Serranías Denudacionales - Ambiente Denudacional (D)
		Planicies aluviales - Ambiente Fluvial (F)
		Serranías Estructurales - Ambiente Estructural (S)

Fuente: INGETEC, 2017

5.1.2.1. Unidades y subunidades geomorfológicas

Las regiones geomorfológicas identificadas para el área de acuerdo a su relación genética y geográfica, se definen por ambientes morfogenéticos y geológicos afectados por procesos similares.

Los ambientes morfogenéticos identificados en la zona de estudio corresponden a:

- Ambientes Morfoestructurales (S): estos corresponden a geoformas asociadas a plegamientos y fallas.
- Ambiente Denudacional (D): corresponde a la actividad de procesos erosivos hídricos, procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, que se localizan sobre geoformas pre-existentes.
- Ambiente Fluvial (F): este ambiente corresponde a las geoformas generadas por procesos (erosión – sedimentación), generadas por corrientes de agua en la zona como lo son ríos.

Teniendo en cuenta los ambientes identificados en el área se han identificado unidades y subunidades geomorfológicas (Figura 22 Unidades geomorfológicas identificadas en el área de influencia de la Unidad Funcional 2.) con su descripción morfogenética e influencia morfodinámica las cuales se presentan en la Tabla 9 que se describen a continuación.

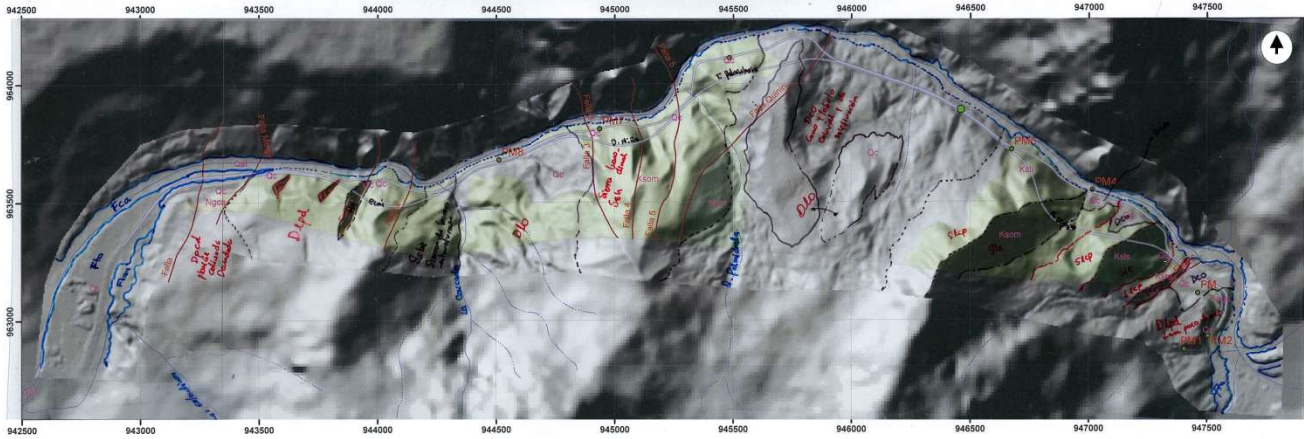
Tabla 9 Síntesis de Geo-formas Nomenclatura de la Geomorfológica del área de Influencia del Proyecto UF-2

Geomorfo-estructura	Provincia Geomorfológica	Región Geomorfológica (Ambiente Morfogenético)	Unidad y Sub-Unidad Geomorfológica
Cordillera Orógeno	Cordillera Oriental	Ambiente Fluvial y Lagunar (F)	Terraza de acumulación (Fta) Escarpe de terraza de acumulación (Ftae) Cauce aluvial (Fca)
		Ambiente Denudacional (D)	Ladera Ondulada (Dlo) Planicie colinada denudada (Dpcd) Lomeríos poco disectados (Dlpd) Superficie de erosión o aplanamiento (Dsa) Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción (Dco)
		Ambiente Morfoestructural (S)	Ladera estructural (Sle) Sierras de barras estructurales (Ssbe) Sierra homoclinal (Ssh) Ladera contrapendiente (Slcp)

Fuente: INGETEC, 2017

En la siguiente figura, se muestra el esquema de las unidades geomorfológicas identificadas para el área de estudio presentan descripción morfogenética e influencia morfodinámica las cuales se presentan en la Tabla 9

Figura 21 Esquema de interpretación geomorfológica en el modelo digital de sombras.



INGETEC, 2017

5.1.2.1.1. Geformas de Ambiente Fluvial y Lagunar (F)

Estas geformas se localizan sobre el valle del río Sumapaz y se localizan hacia el inicio y final de la Unidad Funcional, las cuales se encuentra asociadas a los procesos de acumulación de materiales por la dinámica fluvial. Las unidades y subunidades identificadas en la zona de estudio se describen a continuación:

Terraza de acumulación (Fta)

Corresponde a una superficie elongada, plana a suavemente ondulada modelada sobre sedimentos aluviales, la cual se encuentra limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce del río Sumapaz entre el K36+600 y K36+800. Su origen está relacionado con procesos de erosión y acumulación aluvial dentro de su antigua llanura de inundación. Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

Escarpe de terraza de acumulación (Ftae):

Este escarpe se identifica por su plano subvertical, modelado en los sedimentos aluviales que bordean la terraza de acumulación (Fta). Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce. La altura del escarpe es corto en esta zona. Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

Cauce aluvial (Fca)

Corresponde al canal irregular que ha sido excavado por erosión de la corriente del río Sumapaz en el macizo rocoso y en sedimentos aluviales. En el tramo del K36+800 al K41+700 y K41+750 hasta el final de la unidad funcional se observa en el cauce valles en V y U generalmente asimétricos. Hacia el inicio de la Unidad Funcional el río Sumapaz fluye en una zona semi-plana formando meandros. Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

5.1.2.1.2. Geoformas de Ambiente Denudacional (D)

Estas geoformas corresponden a actividad erosiva y principalmente procesos de meteorización, erosión y remoción en masa sobre geoformas pre-existentes.

El sector de Proyecto está asociado particularmente a procesos de fenómenos de remoción en masa en geoformas de origen estructural de alta pendiente. Las geoformas de origen denudacional incluyen geoformas definidas por procesos de meteorización y denudación. En la zona de estudio se han identificado las geoformas que se describen a continuación:

Ladera Ondulada (Dlo)

Corresponde a superficies en declive de morfología alomada o colinada, con pendientes inclinadas a escarpadas, la longitud varía de corta a larga. El patrón de drenaje es subparelo. Estas laderas se forman en suelos residuales de la Formación Arenisca media del Grupo Olini y en los depósitos coluviales que la cubren discordantemente. Ver Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

Planicie colinada denudada (Dpcd)

Es una superficie en declive de morfología alomada y colinada, con pendiente inclinada a escarpada hacia la parte oeste, su longitud es corta a larga. Estas laderas están formadas en suelos residuales de la unidad Conglomerados del Carmen de Apicalá (Ngca) y depósitos coluviales. Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

Lomeríos poco disectados (Dlpd)

Se identifica por tener prominencias topográficas de morfología colinada, con cimas planas amplias y eventualmente redondeadas, de laderas cortas, de forma rectas, y eventualmente cóncavas y convexas, con pendientes inclinadas a muy abruptas. Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)

Esta geoforma corresponde a una estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja. Su origen se relaciona a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas cretácicas del Grupo Olini, embebidos en una matriz arcillosa a arena limo arcillosa. Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

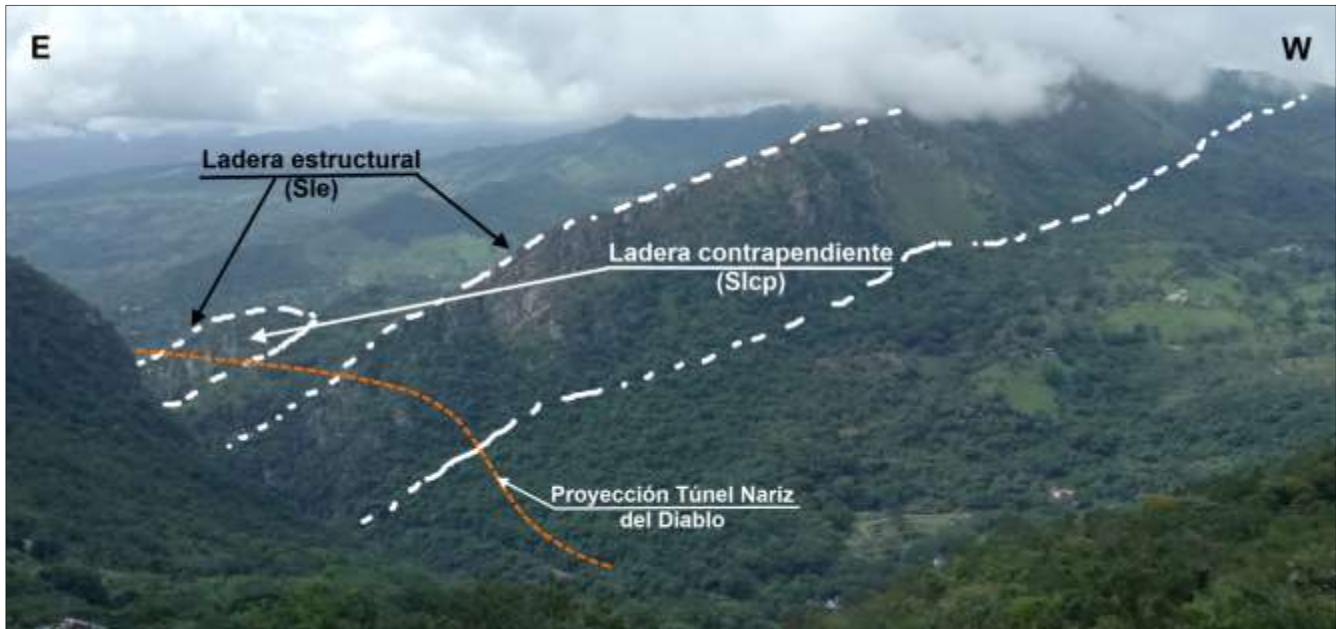
5.1.2.1.3. Geoformas de Ambiente Morfoestructural (S)

Corresponde a las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural de las rocas aflorantes. Se presentan afectadas por procesos erosivos de moderada a baja intensidad y se caracterizan por su relieve montañoso a colinado de laderas de pendientes abruptas y escarpadas. Entre las Unidades y Subunidades geomorfológicas se presentan:

Ladera estructural (Sle)

Estas geoformas se observan al inicio y final del trazado de la Unidad Funcional, corresponde a una superficie en declive, de morfología regular e irregular, definida por planos preferentes que corresponde a estratos a favor de la pendiente del terreno. Presentan longitud larga a moderada, con pendientes suavemente escarpadas. Esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros). Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

Fotografía 34 Laderas contrapendientes y laderas estructurales localizadas en el sector del túnel Nariz del Diablo.



Sierras de barras estructurales (Ssbe)

Corresponde a prominencias topográficas elongadas de morfología alomada de laderas irregulares a escalonadas cortas, definidas por la disposición estructural vertical de la secuencia sedimentaria de las rocas del Grupo Olini (Kso). Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

Sierra homoclinal (Ssh)

Son geoformas de prominencia topográfica simétrica a ligeramente simétrica elongada, de morfología montañosa a colinada con cimas agudas, definida por una secuencia de estratos o capas apilados e inclinados en una misma dirección. Generalmente esta geoforma es producto de erosión de un solo flanco de los anticlinales y sinclinales que presenta la zona. Ver Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

Ladera contrapendiente (Slcp)

Estas geoformas se localizan hacia el final de la unidad funcional. Estas superficies en declive, de morfología irregular, definida por diaclasas dispuestas en sentido contrario a la inclinación del terreno. Su longitud larga con pendientes suavemente inclinadas a muy escarpadas. Esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros) Ver Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

5.1.2.1.4. Procesos morfodinámicos

El área de influencia del Componente Geoesférico “Vía 40 Express” presenta procesos exógenos los cuales acogen los elementos determinantes en la generación de movimientos en masa. Los procesos geomorfológicos que existen en la zona corresponden a procesos denudativos erosivos y de movimientos en masa. Los movimientos en masa se clasificaron por Varnes (1978) y Cruden y Varnes (1996) que corresponden a Caídas de roca (detritos o suelo) localizados en cinco lugares puntuales y los procesos erosivos en tres sectores, los cuales se observan en la Tabla 10.

Tabla 10 Relación de procesos geomorfológicos identificados en el área Geoesférica de la Unidad Funcional UF2.

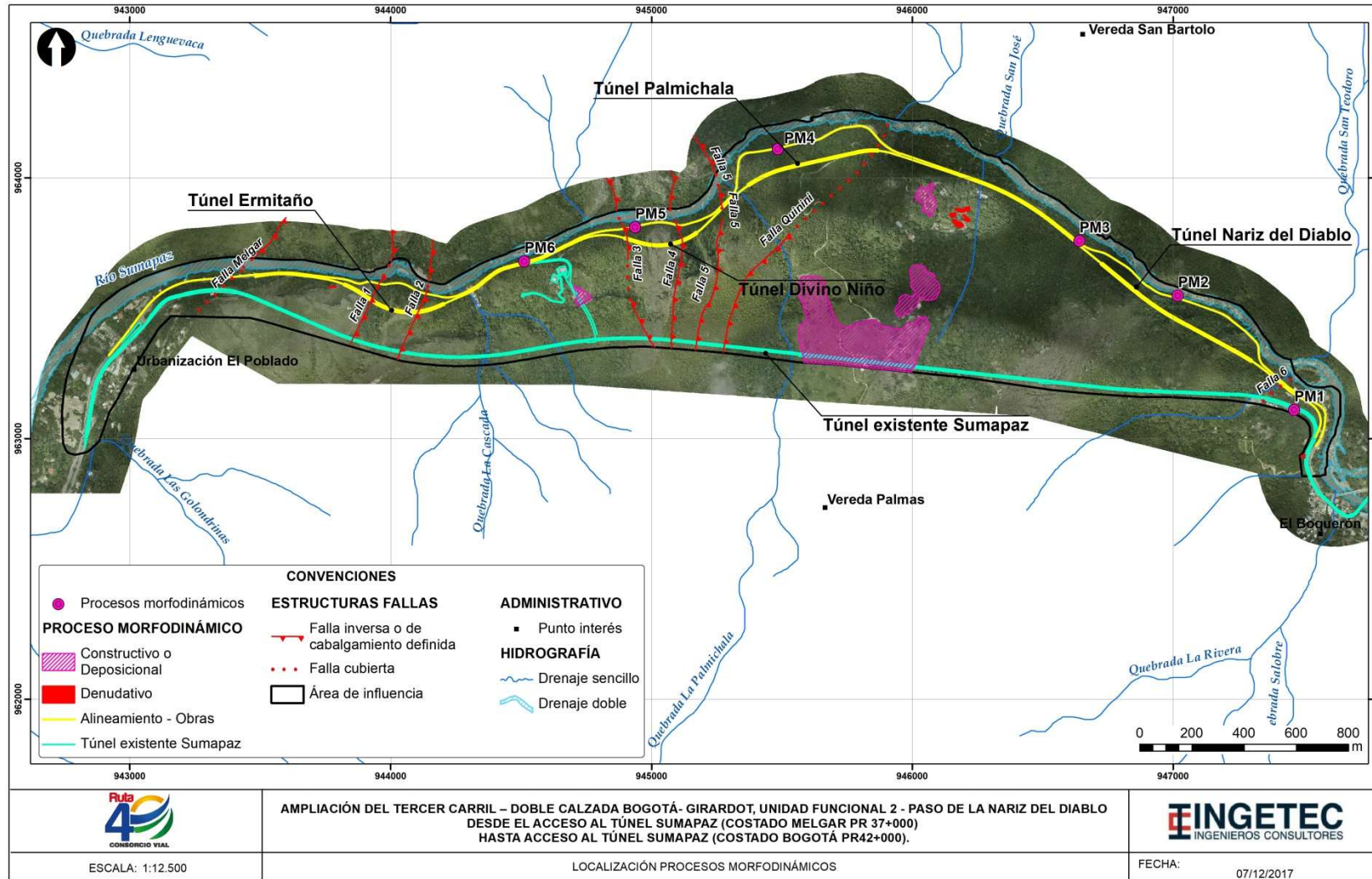
INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS EIA TERCER CARRIL					
PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ		TIPO DE PROCESO	CLASIFICACIÓN	CARÁCTER DEL PROCESO
	Norte	Este			
PM1	963.890	946.463	Denudativo	Remoción en masa	Puntual
PM2	963.547	947.018	Denudativo	Remoción en masa	Puntual
PM3	963.757	946.641	Denudativo	Remoción en masa	Puntual
PM4	964.109	945.485	Denudativo	Remoción en masa	Puntual
PM5	963.810	944.938	Denudativo	Remoción en masa	Puntual
PM6	963.679	944.513	Denudativo	Erosión pluvial	Puntual
PM 7	962.929,965	947.497,283	Denudativo	Remoción en masa	Área
PM8	962.936,640	947.504,519	Denudativo	Remoción en masa	Área
PM9	963.580,916	943.779,207	Denudativo	Erosión pluvial	Área
PM10	963.305,812	945.771,423	Constructivo o deposicional	Sedimentación coluvial	Área
PM11	963.585,995	946.029,569	Constructivo o deposicional	Sedimentación coluvial	Área
PM12	963.925,993	946.054,754	Constructivo o deposicional	Sedimentación coluvial	Área
PM13	963.873,972	946.194,981	Denudativo	Erosión pluvial	Área
PM14	963.856,790	946.156,134	Denudativo	Erosión pluvial	Área
PM15	963.841,101	946.211,416	Denudativo	Erosión pluvial	Área
PM 16	963.821,677	946.174,810	Denudativo	Erosión pluvial	Área
PM17	963.542,453	944.734,247	Constructivo o deposicional	Sedimentación coluvial	Área

Fuente: INGETEC, 2017

Estos procesos fueron identificados en sectores donde ha existido intervención antrópica y se encuentran asociados a la vía actual, vías que conducen a fincas, a los taludes de la vía de acceso al túnel Sumapaz y zonas donde se han dado eventos depositacionales coluviales.

En la Figura 23, se especializan los procesos morfodinámicos identificados a lo largo del área de influencia del Componente Geoesférico y la ubicación de las obras asociadas a la Unidad Funcional 2.

Figura 23 Mapa de localización de los procesos morfodinámicos identificados área de influencia Componente Geoesférico Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



Fuente: INGETEC, 2017

Los tipos de procesos identificados en la zona corresponden a procesos denudativos y procesos constructivos o deposicionales.

Procesos Denudativos

Los procesos denudativos presentes en la zona están dados bajo condiciones naturales estables, identificando en el área erosión pluvial y remoción en masa.

La erosión pluvial da lugar a surcos y cárcavas en zonas donde la roca se encuentra meteorizada o es suelo residual. En el área Geoesférica del proyecto se evidenciaron sectores que afectan directamente la zona de las obras y se encuentran afectados por procesos erosivos, lo cuales se describen a continuación.

- Proceso Morfodinámico 1 (PM-1)

Este proceso se identificó en la unidad cuaternaria coluvial localizada cerca del portal salida del túnel Sumapaz (K3+660), donde los bloques que conforman el depósito se desprenden y caen en la vía actual. Este tipo de procesos se da generalmente por las pendientes del terreno, en este caso los cortes de los taludes de las vía actuales se presentan pendientes altas.

El depósito coluvial matriz – soportado, conformado por guijarros y bloques de areniscas cuarzosas de formas subredondeadas a subangulares en una matriz areno-arcillosa (Fotografía 35) la cual por efectos de agentes de meteorización hacen que estos queden sin soporte de la matriz, ayudando al desprendimiento.

Fotografía 35 Caídas de bloques en el sector del portal salida del túnel Sumapaz. Se observaron bloques sueltos descansando en la pata del talud. Localizado sobre el punto PM1 en la UF2 Tercer Carril Vía Bogotá – Girardot.



- Proceso Morfodinámico 2 (PM-2)

El proceso PM-2 se caracteriza por ser de caída y rodamiento de bloques, dándose en zonas moderadamente escarpadas (30° - 45°), donde los bloques y el material de suelo descienden rodando en su mayoría (Fotografía 36), como se observó en la zona. Este proceso se presenta en un depósito coluvial matriz – soportado, representados por guijarros y bloques de areniscas cuarzosas de formas subredondeadas a subangulares en una matriz areno - limo – arcillosa localizado en el sector vial paralelo a la proyección del Túnel Nariz del Diablo.

Fotografía 36 Proceso de remoción en masa de tipo Caídas de bloques y rodamiento de materiales., evidenciado sobre la Vía Bogotá – Girardot



- Proceso Morfodinámico 3 (PM-3)

Este proceso se evidencia en la calzada vial actual la cual para la ampliación de la vía se localiza en el K3+860, donde esta se encuentra grietas longitudinales y en medialuna al margen externo de la calzada, por desconfinamiento de la banca hacia la parte del talud inferior, lo que indica que este puede estar presentando inestabilidad, este proceso corresponde a una propagación lateral lenta la cual se reporta en el "Inventario de Sitios inestables Ruta 40" desarrollado en marzo de 2016.

Fotografía 37 Agrietamiento en la calzada que conduce de Bogotá a Girardot, que produce desconfinamiento de la banca hacia la parte inferior del talud.



- Proceso Morfodinámico 4 (PM-4)

Este proceso corresponde a desprendimientos que dan lugar a flujo de detritos y roca, que involucra suelo residual y suelo granular, estos se dan en pendientes moderadamente altas, donde el material detrítico producido principalmente por fracturamiento de la roca la cual cae bajo el efecto de la gravedad.

Fotografía 38 Proceso de carácter local asociado a caída de detritos y rocas (areniscas de grano fino) desprendidos de la parte alta del talud donde afloran arenisca intercaladas con liditas del miembro medio del Grupo Olini (Kso).



- Proceso Morfodinámico 5 (PM-5)

Este proceso corresponde a deslizamiento traslacional de bloques rocosos y caídas de rocas correspondientes a arenisca cuarcítica, con niveles de liditas cuarcíticas y localmente niveles arcillosos, moderadamente meteorizada y fracturada del miembro medio del Grupo Olini (Ksom). Debido al fracturamiento de la roca que presenta pendientes moderadamente altas, el material detrítico producto principalmente por fracturamiento de la roca la cual cae bajo el efecto de la gravedad.

Fotografía 39 Caídos de rocas asociadas a areniscas y liditas de carácter local desprendidos en ladera con pendiente escarpadas en rocas del Grupo Oliní (Ksom).



- Proceso Morfodinámico 6 (PM-6)

El proceso PM-6 localizado en el K1+550 corresponde a erosión en surcos, donde la degradación de suelo se ha dado en menor cantidad. Este proceso se desarrolla en un depósito coluvial matriz-soportado, guijarros y bloques de areniscas amarillentas embebidos en una matriz areno-arcillosa de humedad baja y moderada a baja plasticidad, donde la pendiente moderada y la vegetación dan lugar al poco desarrollo de estas (Fotografía 40).

Los procesos de remoción en masa presentes en la zona corresponden en su totalidad a caídas de bloques, proceso que obedecen a la naturaleza de los materiales que conforman los depósitos coluviales, factores climáticos y factores biológicos donde se desarrollan dichos procesos. En el área del proyecto se identificaron cinco (5) sectores que influyen en las obras, estos procesos de remoción en masa corresponden a desprendimientos o caídas de bloques los cuales se describen a continuación.

Fotografía 40 Proceso erosivo en surcos generados por aguas de escorrentía (lluvias) sobre superficies alomadas en depósito coluvial, localizado en el tramo de la vía proyectada entre los túneles Ermitaño y Divino Niño.



En el proceso de construcción vial, se debe tener en cuenta que de acuerdo con los posibles mecanismos de falla evaluados en las zonas de las obras subterráneas (túneles cortos) y consignados en el Informe Modelo Geológico Geotécnico Conceptual (INGETEC, 2017) y el modelo geológico establecido para el Área de Influencia del EIA se estima que pueden llegar a presentarse los siguientes procesos:

Procesos Constructivos o deposicionales

Los procesos constructivos o deposicionales están relacionados con depositación de material por algún proceso o evento natural dentro de los que se encuentran los procesos principalmente los procesos de formación de suelos, la sedimentación coluvial y aluvial. En el área del componente Geoesférico se evidenciaron cuatro procesos constructivos o deposicionales los cuales se relacionan con depósitos aluviales y coluviales.

Zonas potenciales a presentar procesos morfodinámicos

Las zonas potenciales a presentar inestabilidad se encuentran asociadas a las actividades a desarrollar en el proceso de desarrollo de la obra. Estas zonas corresponden principalmente a portales en especialmente los localizados en el sentido de la vía hacia Bogotá (o portal salida), debido a que el buzamiento preferencial de las capas o estratos de las rocas sedimentarias, presentan la misma dirección del talud de corte y podrían presentar fallas de tipo planar o eventualmente en cuña. También puede llegar a presentarse fallas de tipo toppling o volcamiento de bloques.

Teniendo en cuenta la presencia de depósitos de coluvión, tanto en las zonas de los portales como en algunos sectores de la vía, es posible que se puedan desarrollar fallas relacionadas con estos

materiales que en principio son difíciles de caracterizar, dado que en algunos sitios los bloques de roca del coluvión están embebidos en matriz arenosa - arcillosa, pero en otros se encuentran sueltos; están asociados a rocas del Grupo Olini.

A nivel subterráneo de las obras, se pueden presentar en zonas de esfuerzo o en sectores donde se han identificado pliegues apretados sinclinales o anticlinales p.e, localizados en los túneles de Ermitaño y Divino Niño respectivamente, allí se podrán presentar caídas de rocas o cuñas potencialmente inestables.

5.1.2.1.5. Análisis multitemporal

Se realizó un análisis multitemporal para la zona del proyecto, con énfasis en procesos de inestabilidad de laderas, evaluando la dinámica de estos a lo largo del tiempo. Para esto se analizaron fotografías aéreas de la zona las cuales se encuentran a diferente escala y abarcan diferente área. Estas fotografías corresponden Al Vuelo C-2294, de la Faja S 34071 a escala 1:23.000 del año 1987, Vuelo C-2486 de la Faja S-36377 a escala 1:42.000 del año 1992 y Ortofoto del área del proyecto registrada para el año 2017.

Vuelo C-2294. Fotos 45, 46 y 47.

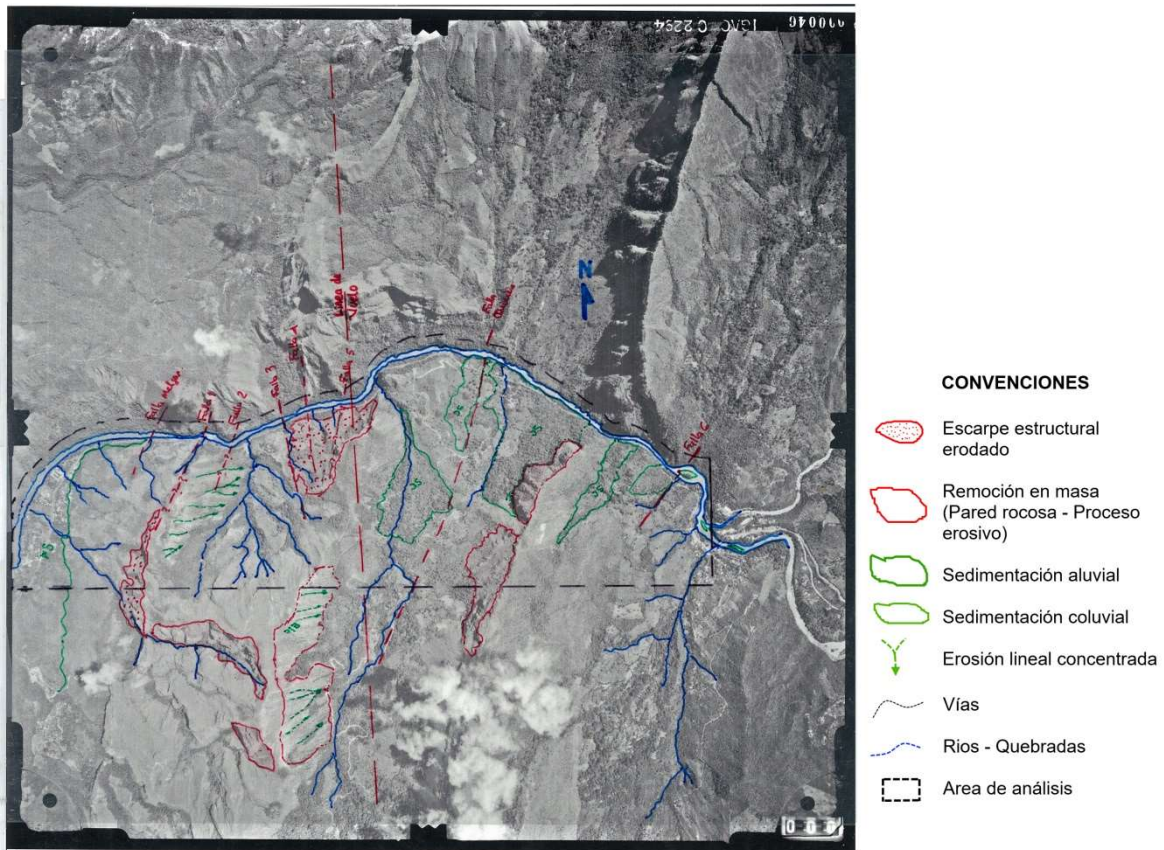
Escala 1:23.000 aprox.

Fecha de toma: 1987

El vuelo presenta una orientación y escala que permite un cubrimiento completo del área a una escala que permite mejor visualización e identificación de procesos de remoción en masa, sin embargo no es posible la identificación de los procesos identificados en campo.

La topografía del área corresponde a montañas disectadas donde se observan variaciones texturales que corresponden a las diferentes coberturas vegetales presentes en el área (vegetación arbórea, potreros, cultivos, zonas urbanizadas), estas coberturas influyen en la presencia de procesos de remoción en masa especialmente en zonas de coberturas correspondientes a pastos limpios y afloramientos rocosos los cuales son afectados en mayor grado por agentes meteorizantes.

Figura 24 Aerofotografía Tomada en el Año 1987 (Escala 1:23.000), que abarca en totalidad el área de estudio. Se identifican los procesos de remoción en masa presentes en esa fecha



Los drenajes identificados en la fotografía área para la zona corresponden a tipo dendrítico a sub-paralelo los cuales están relacionados con rocas de materiales heterogéneos y rocas sedimentarias plegadas y alineadas en tramos donde la tendencia regional es de plegamiento, puntualmente se alinean en los sectores donde existen lineamientos de fallas locales, lo cual corresponde con la geología identificada en la zona.

En el análisis fotogeológico realizado con énfasis en procesos de remoción en masa, en el aérea se observa a mayor detalle zonas de erosión lineal concentrada, se corrobora la existencia de los escarpes estructurales erodados asociados a las estructuras identificadas en la geología estructural, al igual que los procesos de remoción en masa y procesos de sedimentación aluvial y coluvial, los cuales concuerdan con la litología cuaternaria presente en la zona.

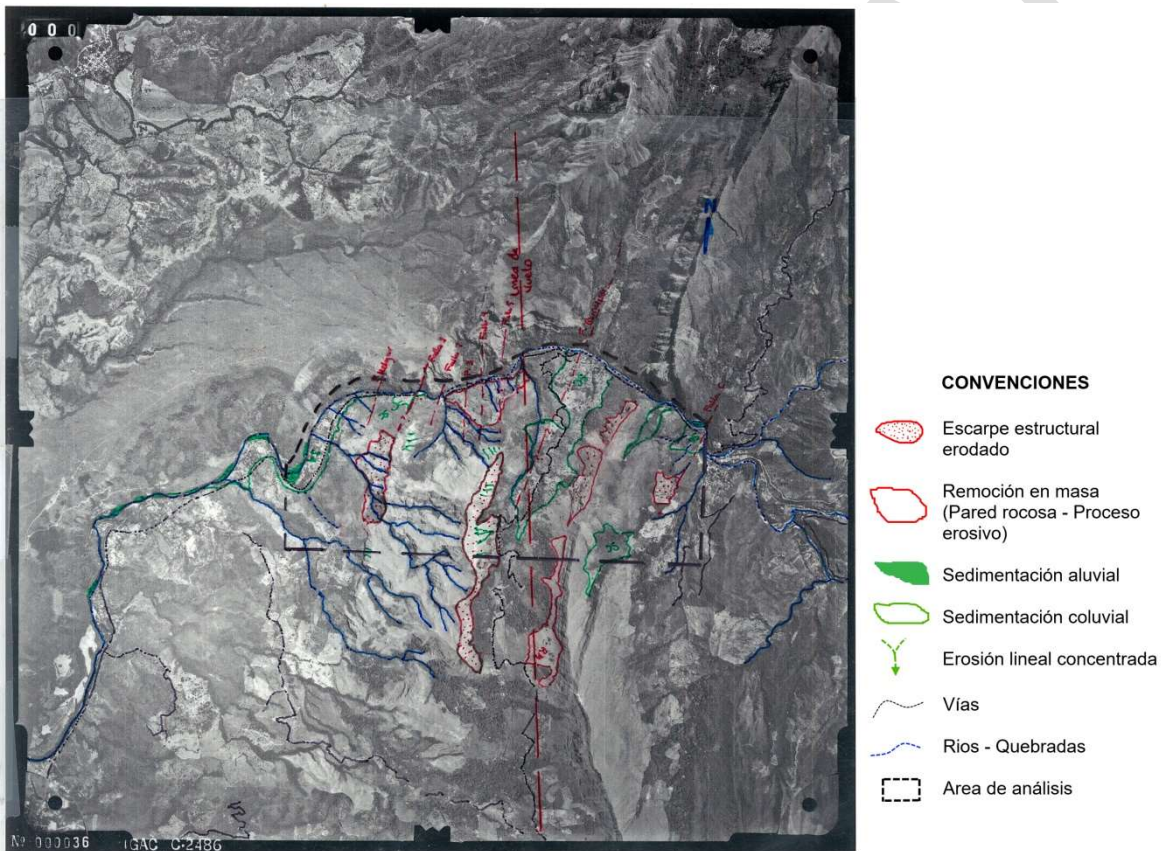
Vuelo C-2486. Fotos 35, 36 y 37.

Escala 1:42.000 aprox.

Fecha de toma: 1992

El vuelo presenta una orientación y escala que permite un cubrimiento completo del área teniendo en cuenta que es una escala mayor, la identificación en detalle de los procesos es limitada. La topografía del área es montañosa, observando variaciones de texturas asociadas a coberturas vegetales presentes (vegetación arbórea, potreros, cultivos, zonas urbanizadas), las cuales influyen en la presencia de procesos de remoción en masa especialmente en zonas de coberturas correspondientes a pastos limpios y afloramientos rocosos, zonas que están más expuestas a ser afectadas por agentes meteorizantes.

Figura 25 Aerofotografía Tomada en el Año 1992 (Escala 1:42.000), la cual cubre el área de estudio, se identifican las estructuras regionales y locales y procesos de remoción en masa regionales.



Los drenajes presentes en la zona corresponden a tipo dendrítico a subparalelo que corresponde a rocas de materiales heterogéneos y rocas sedimentarias plegadas y alineadas en tramos donde la tendencia regional es de plegamiento, puntualmente se alinean en los sectores donde existen lineamientos de fallas locales, las cuales se identificaron en las fotografías aéreas del vuelo C-2294.

En el área se observan procesos denudativos y de sedimentación. Los procesos denudativos están relacionados con Remoción en masa por donde las paredes rocosas en contrapendiente presentan erosión, también se identifican unos procesos asociados a las estructuras mayores identificadas en la zona las cuales corresponden a escarpes estructurales erodados y algunos procesos puntuales de erosión lineal concentrada generando surcos en el área.

Los procesos constructivos corresponden a procesos de sedimentación aluvial en las zonas donde el río deposita material de arrastre y en la parte inicial del trazado donde se identificó la terraza aluvial como una unidad geológica cuaternaria debido al área que ocupa.

Estos mismos procesos se identificaron en el análisis de la fotografía aérea tomada en el año 1987, observando que estos no han cambiado en el periodo de 5 años de acuerdo con el análisis de las fotografías.

Ortofoto del Proyecto

Fecha de toma: 2017

La ortofoto del área del proyecto presenta una resolución de 5 metros por pixel, con un cubrimiento casi total del área de influencia, lo que permitió una excelente escala de trabajo.

Su resolución permite identificar las coberturas vegetales actuales de la zona, donde se pudieron identificar 18 coberturas vegetales las cuales las más susceptibles a presentar procesos de remoción en masa y que cubren mayor área corresponde a afloramientos rocosos, ríos, tejido urbano discontinuo, red vial, ferroviaria y terrenos asociados

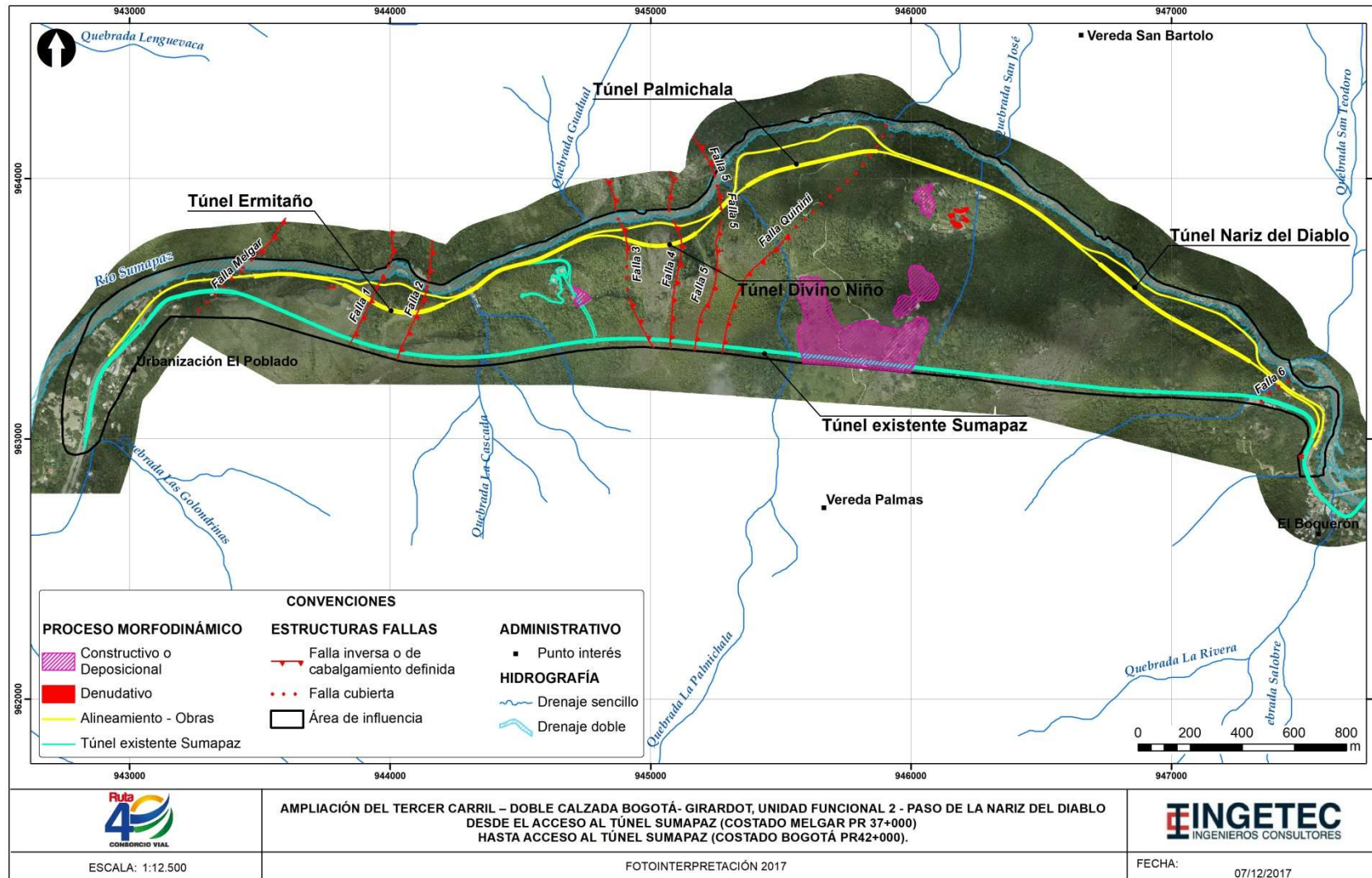
En el análisis realizado no se reconocen procesos de remoción en masa activos, sin embargo existen movimientos puntuales en el terreno, superficiales no afectan el trazado vial y se encuentran alejados. Se identificaron procesos de sedimentación ya observados en las fotografías aéreas analizadas y solo un sector con procesos erosivos localizados aproximadamente a 150m al sur del trazado vial.

En la Figura 26 se presentan los procesos morfo-dinámicos actuales en la zona de la Unidad Funcional 2, donde se identifican procesos constructivos y denudativos de los cuales se han evidenciado en las fotografías aéreas de años anteriores, las cuales se deduce que son procesos muy antiguos en la zona.

De acuerdo con el análisis multitemporal realizado para las tres épocas (1987, 1992 y 2017) y lo observado en campo en la zona de la unidad funcional 2 se puede deducir que en el periodo de 5 años entre las fotografías de los vuelos C-2294 y C-2486 no existe aumento de procesos de remoción en masa y en el análisis realizado en la ortofoto del 2017 la zona presenta reforestación en las zonas de los escarpes estructurales y los macizos rocosos permitiendo así una disminución a la ocurrencia de procesos morfo-dinámicos.

En cuanto a los procesos de sedimentación aluvial su variación es mínima y se mantienen estables en la sedimentación coluvial.

Figura 26 Orto Fotografía de la Zona de la UF 2. Se presentan los procesos morfo-dinámicos identificados en el área de influencia del proyecto.



ESCALA: 1:12.500

AMPLIACIÓN DEL TERCER CARRIL – DOBLE CALZADA BOGOTÁ- GIRARDOT, UNIDAD FUNCIONAL 2 - PASO DE LA NARIZ DEL DIABLO DESDE EL ACCESO AL TÚNEL SUMAPAZ (COSTADO MELGAR PR 37+000) HASTA ACCESO AL TÚNEL SUMAPAZ (COSTADO BOGOTÁ PR42+000).

FOTOINTERPRETACIÓN 2017



FECHA: 07/12/2017

5.1.2.1.6. Susceptibilidad a procesos de remoción en masa

Se realizó para el área de influencia de la Unidad Funcional 2 una evaluación cuantitativa y cualitativa de acuerdo a que existen o puedan existir procesos de remoción en masa. Esta susceptibilidad puede tener la fuente a movimientos en masa en el área de estudio o fuera de ella.

La metodología utilizada para identificar las áreas susceptibles es el Método Heurístico, el cual se basa en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de movimientos en masa, mediante la combinación cuantitativa de mapas temáticos a los cuales se les asignan valores o pesos a los parámetros de acuerdo a lo identificado en el control de campo. Es un método indirecto cuyo resultado se pueden extrapolar a zonas sin procesos con una combinación de factores similares (Servicio Geológico Colombiano, 2012).

Las variables cualitativas y cuantitativas a utilizar son Geología, Geomorfología – Morfometría (mapa de pendientes), Cobertura Vegetal e Isoyetas (precipitación media anual).

Tabla 11 Variables y mapas temáticos a utilizar en el análisis.

VARIABLE	MAPA TEMÁTICO	PORCENTAJE DE CALIFICACIÓN
Tipo de material	Geología	35
Relieve	Pendientes	25
Precipitación media anual	Isoyetas	20
Uso del suelo	Cobertura vegetal	20

Los valores o pesos asignados a cada parámetro de los mapas temáticos corresponden a un proceso analítico jerárquico el cual consiste en la asignación de valores numéricos de acuerdo a la importancia relativa de cada variable analizada.

Estos valores han sido establecidos teniendo en cuenta las metodologías del Servicio Geológico Colombiano (2012) y de Aguilar & Mendoza (2002), además el criterio del evaluador basado en su conocimiento de la zona de estudio, los cuales son 25% para Geomorfología – Morfometría (Pendientes), 35% para Geología, 20% para Cobertura vegetal y 20% para Isoyetas. La suma de los puntajes de todos los componentes da como resultado un mapa de valores numéricos, los cuales se dividen por rangos para definir zonas con distintos grados de susceptibilidad.

Finalmente la validación de los resultados de la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa se da por medio de la comparación con el mapa de procesos morfodinámicos, el cual es el método directo más eficaz para estimar el estado de susceptibilidad de la zona de estudio.

Ponderación de las Variables Analizadas

Para la ponderación de las variables de cada uno de los mapas temáticos utilizados se tuvo en cuenta el control de campo y el conocimiento de las variables previamente observadas en campo. A continuación se presenta la metodología utilizada para tal ponderación en cada uno de los mapas temáticos.

Geología

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de rocas y deformaciones superficiales, propiedades geomecánicas indicativas de resistencia, meteorización y la existencia de planos de debilidad o estructuras geológicas como

planos de falla, diaclasas, discontinuidades estratigráficas o planos de estratificación contribuyen a la calidad y resistencia de la roca, se realizó la calificación a cada unidad geológica presente en la zona de influencia.

Para el estudio se contó con información geológica y estructural tomada directamente en el campo. Se corroboró que la zona de estudio está constituida por rocas sedimentarias de edades Cretácicas, Paleógenas y depósitos cuaternarios.

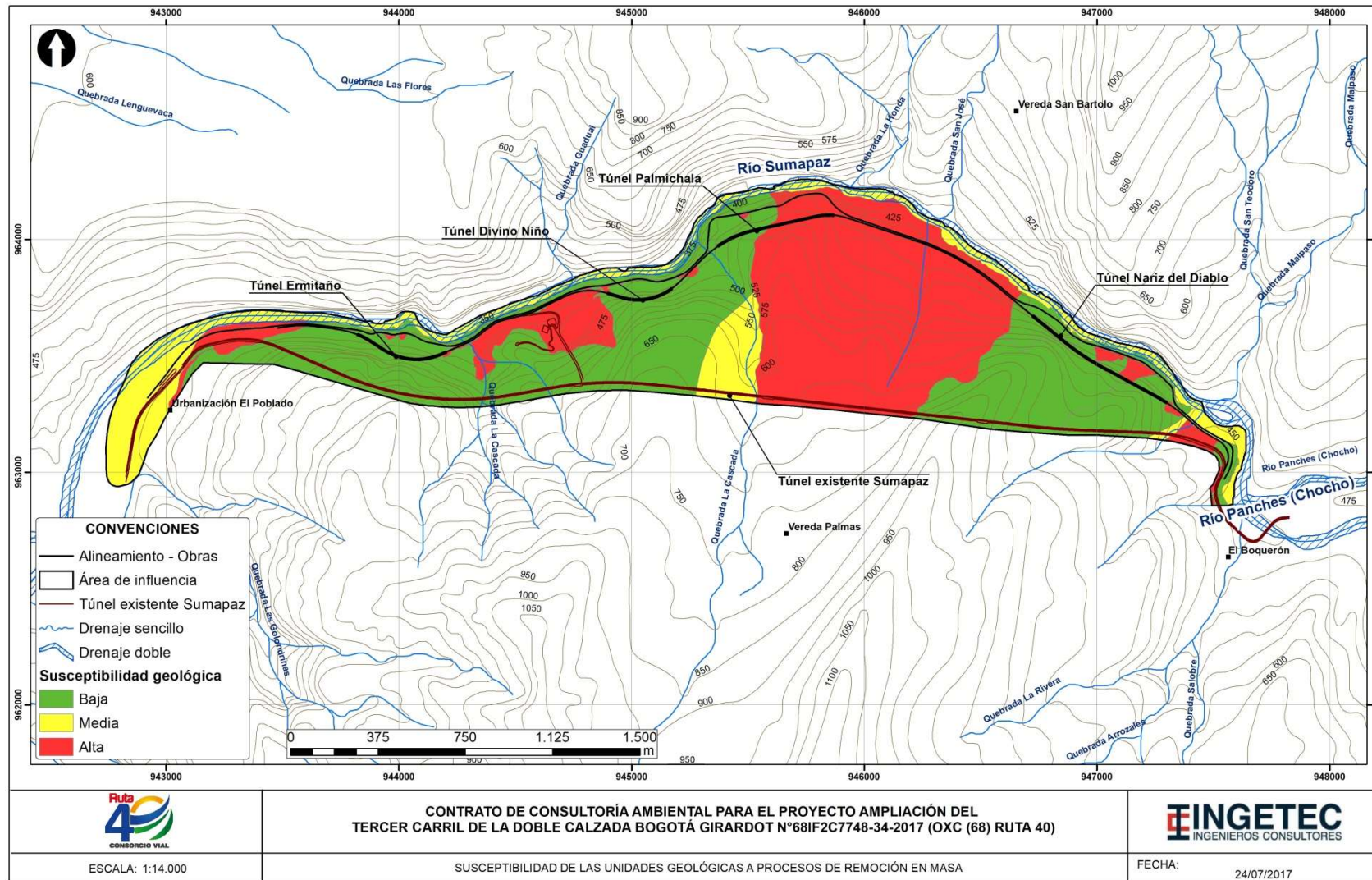
Los parámetros de clasificación de las rocas y depósitos según su fábrica, estructura y resistencia (Servicio Geológico Colombiano, 2012), de las unidades geológicas para la definición de la Susceptibilidad por Movimientos en Masa en la zona de yacimiento se presenta en la Tabla 12 y Figura 27.

Tabla 12 Ponderación de las unidades geológicas para la evaluación de la susceptibilidad de los movimientos en masa.

UNIDAD GEOLÓGICA	ÍNDICE DE SUSCEPT.	GRADO DE SUSCEPT.	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Conglomerados de Carmen de Apicalá	1	Baja	0,177503	0,069
Depósitos de terrazas	1	Baja	0,8734	0,341
Formación Olini. Formación Lidita Inferior	1	Baja	4,490704	1,753
Formación Olini. Formación Lidita Superior	1	Baja	8,942932	3,490
Formación Seca	1	Baja	1,776388	0,693
Grupo Olini. Formación arenisca media	1	Baja	96,483382	37,656
Depósitos aluviales	2	Media	32,665613	12,749
Formación Conejo	2	Media	8,92227	3,482
Formación La Tabla	2	Media	0,614323	0,240
Depósitos coluviales	3	Alta	101,27791	39,527
Total			256,645785	100

El 44% de las unidades de la zona presentan un grado de susceptibilidad baja, el 16,4% media susceptibilidad y 39,5% alta. El mayor porcentaje corresponde a las unidades de roca presentes en la zona, las zonas de susceptibilidad alta en la ponderación geológica son rocas cuaternarias dispuestas en la zona discordantemente como coluviones poco consolidados, y las rocas de susceptibilidad media corresponde a la formación Conejo la cual no aflora en el área de las obras ya que se encuentra cubierta por depósitos de coluvión.

Figura 27 Mapa de susceptibilidad de las unidades litológicas a la generación de movimientos en masa.



Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal actúa como un agente protector del suelo contra el accionar de la lluvia, en especial al reducir el potencial erosivo de las gotas o factor de erodabilidad, al disminuir la energía de la escorrentía y al mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Con respecto a la estabilidad del terreno, la cobertura vegetal cumple dos funciones principales, mantiene el contenido de agua en la superficie del suelo, y da consistencia a este por el entramado mecánico de sus raíces, generando un efecto físico mecánico de amarre del suelo, acelera la germinación, establece y desarrolla otras especies, regula la radiación solar, regula la dirección y velocidad del viento, y mantiene el nicho ecológico.

Las coberturas vegetales incluyen un nivel de materia orgánica en el perfil de suelo, disminuyendo la susceptibilidad del terreno a los deslizamientos, ya que ésta mejora la agregación del suelo, el desarrollo radicular, la capacidad de infiltración, la retención de agua, la conductividad hidráulica, el contenido del aire en el suelo y la disminución del escurrimiento superficial de agua, entre otros aspectos.

Para la zona de influencia de la UF 2 se identificaron 26 unidades de coberturas vegetales mediante el análisis de imágenes satelitales y control de campo. Su nomenclatura sigue la Metodología CORINE Land Cover adaptada por el IDEAM (2010).

En la zona del proyecto predomina un área de 256,646 Ha con arbustos, bosques abiertos, bosques de galería, instalaciones recreativas, plantaciones forestales, vegetación secundaria y zonas verdes urbanas las cuales forman parte de las coberturas de baja susceptibilidad que cubren el 37,88% del área de estudio, siendo los más representativos los bosques abiertos y la vegetación secundaria las que ocupan mayor área. Las coberturas de media susceptibilidad ocupan el 4,09% del área de estudio entre las que se encuentran los mosaicos de pastos con espacios naturales, pastos arbolados y pastos enmalezados (Tabla 13). Las áreas que presentan susceptibilidad alta conforman el 30,6% de la zona ocupando un poco más de la mitad de la misma la cobertura de afloramientos rocosos, seguida por los ríos con un 7,2% del área total (Figura 28).

Tabla 13 Ponderación de las diferentes coberturas vegetales para la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa.

TIPO DE COBERTURA	ÍNDICE DE SUSCEPT.	GRADO DE SUSCEPT.	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
Arbustal	1	Baja	3,336672	1,30010785
Bosque abierto	1	Baja	97,238554	37,8882334
Bosque de galería y/o ripario	1	Baja	19,007191	7,40600162
Instalaciones recreativas	1	Baja	1,002745	0,39071166
Plantación forestal	1	Baja	1,266419	0,49345015
Vegetación secundaria o en transición	1	Baja	43,398665	16,9099465
Zonas verdes urbanas	1	Baja	2,327236	0,9067891
Mosaico de pastos con espacios naturales	2	Media	0,342143	0,13331331
Pastos arbolados	2	Media	10,157347	3,95772991
Pastos enmalezados	2	Media	0,018424	0,00717877
Afloramientos rocosos	3	Alta	41,577369	16,2002929
Pastos limpios	3	Alta	1,592318	0,62043411
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3	Alta	11,332405	4,41558197
Ríos (50 m)	3	Alta	18,502691	7,20942719

TIPO DE COBERTURA	ÍNDICE DE SUSCEPT.	GRADO DE SUSCEPT.	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
Tejido urbano discontinuo	3	Alta	4,277447	1,66667339
Tierras desnudas y degradadas	3	Alta	0,039235	0,01528761
Zonas de extracción minera	3	Alta	1,151114	0,44852246
Zonas industriales o comerciales	3	Alta	0,07781	0,03031805
Total			256,645785	100

Pendientes

La pendiente es un factor que influye directamente en el origen de los procesos de remoción en masa; su incremento es proporcional a la ocurrencia de este tipo de fenómenos.

La pendiente del terreno generalmente está relacionada con el tipo de roca que conforma la unidad geomorfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de procesos de remoción en masa. En general se puede decir que existe una relación directa y proporcional, a medida que aumenta la pendiente, el terreno es más susceptible a presentar fenómenos de remoción en masa, sin embargo, aunque es un factor dinámico importante, esta relación no siempre es correlacionable y la generación de procesos de remoción en masa depende de otras características intrínsecas del terreno, como el desarrollo del perfil de suelo o el uso de la tierra.

Teniendo en cuenta los índices de inclinación de la ladera, la calificación de los diferentes rangos de pendientes para la definición de la Susceptibilidad por Movimientos en Masa en la zona del proyecto se presenta en la Tabla 14. Estos rangos las pendientes calificadas con grado de susceptibilidad alta y muy alta son las más representativas en el área del yacimiento, con porcentajes de 58,28% y 30,88% respectivamente, abarcando mayor cobertura en la zona.

Tabla 14 Ponderación de los rangos de pendientes para la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa.

CLASIFICACIÓN	GRADO DE SUSCEPT.	DESCRIPCIÓN	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
A nivel, 0-1% (a)	1	Muy baja susceptibilidad	1,1327	0,441348429
Ligeramente plana, 1-3% (a)	1	Muy baja susceptibilidad	5,3880	2,099395547
Ligeramente inclinada, 3-7% (b)	1	Muy baja susceptibilidad	10,4196	4,059922391
Moderadamente inclinada, 7-12% (c)	2	Baja susceptibilidad	10,0967	3,934106722
Fuertemente inclinada, 12-25% (d)	3	Media o moderada susceptibilidad	28,8365	11,23593536
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50% (e)	4	Alta susceptibilidad	75,3402	29,35576845
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75% (f)	5	Muy alta susceptibilidad	63,5303	24,75412564
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, 75-100% (g)	5	Muy alta susceptibilidad	29,2571	11,39981913
Totalmente escarpada, >100% (g)	5	Muy alta susceptibilidad	32,6442	12,71957834

Precipitación media anual

La pluviosidad además de ser el factor activo en la erosión y transporte de los materiales, agrega humedad al suelo lo que ocasiona el aumento de peso a los materiales que conforman las laderas y el aumento en la presión de poros, generando una pérdida de cohesión de los materiales y por tanto una disminución de la resistencia al corte, lo cual influye en la susceptibilidad a los movimientos en masa. Algunas veces la lluvia actúa como factor preparador para la inestabilidad de un terreno, mientras que otras veces actúa como factor detonante. Para el Proyecto se toma la precipitación media anual de la región, la cual se tiene en cuenta en el caso de susceptibilidad ya que las lluvias máximas o intensas actúan como detonantes en el caso de riesgos y amenazas.

En la zona de la UF 2 se tienen una precipitación media anual que varía entre 1750 – 1900mm de acuerdo a las estaciones pluviométricas de la zona. Para este caso el mapa de Isoyetas (Figura 30) presenta susceptibilidad baja.

De acuerdo a las condiciones morfoclimáticas de la zona de estudio dominadas por el relieve montañoso cuya zona de vida corresponde a un Bosque abierto y Vegetación secundaria y caracteriza por presentar temperaturas 28 y 32°C , altitud entre 362 y 910 msnm; teniendo en cuenta que precipitaciones medias anuales entre inferiores a 1000 mm implicarían agotamiento del agua en el suelo, (Aguilar & Mendoza, 2002), para la zona se presentan precipitaciones medias anuales de la zona de estudio que varían entre 1750 mm a 1900 mm, son catalogadas con un índice de susceptibilidad media a la generación de procesos de movimientos en masa (Figura 30).

Resultados de la Evaluación de la Susceptibilidad por Movimientos en Masa

La combinación de los mapas temáticos dividiendo cada uno de ellos en clases (unidades) y asignando un peso a cada clase según su contribución a la generación de movimientos en masa, es el insumo para la generación del mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa de la Unidad Funcional 2 (véase Plano Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2510-A0). Para este proceso, el índice de susceptibilidad final a los movimientos en masa se obtiene mediante la suma de cada criterio de evaluación (clase dentro del mapa temático) multiplicado por su propio peso (el peso de cada componente).

Los pesos asignados a cada componente han sido establecidos teniendo en cuenta las metodologías modificadas del Servicio Geológico Colombiano (2012) y de Aguilar & Mendoza (2002), los cuales son 25% para Morfografía – Pendientes, 35% para Geología, 20% para Cobertura vegetal y 20% para Isoyetas. De esta manera el mapa susceptibilidad por movimientos en masa se convierte en un instrumento que clasifica la estabilidad relativa de un área, mediante el estudio de las condiciones naturales del área de interés y del establecimiento de su favorabilidad a la generación de movimientos en masa, permitiendo establecer la potencialidad de ocurrencia de este tipo de fenómenos.

Figura 28 Susceptibilidad de la cobertura vegetal a la generación de movimientos en masa.

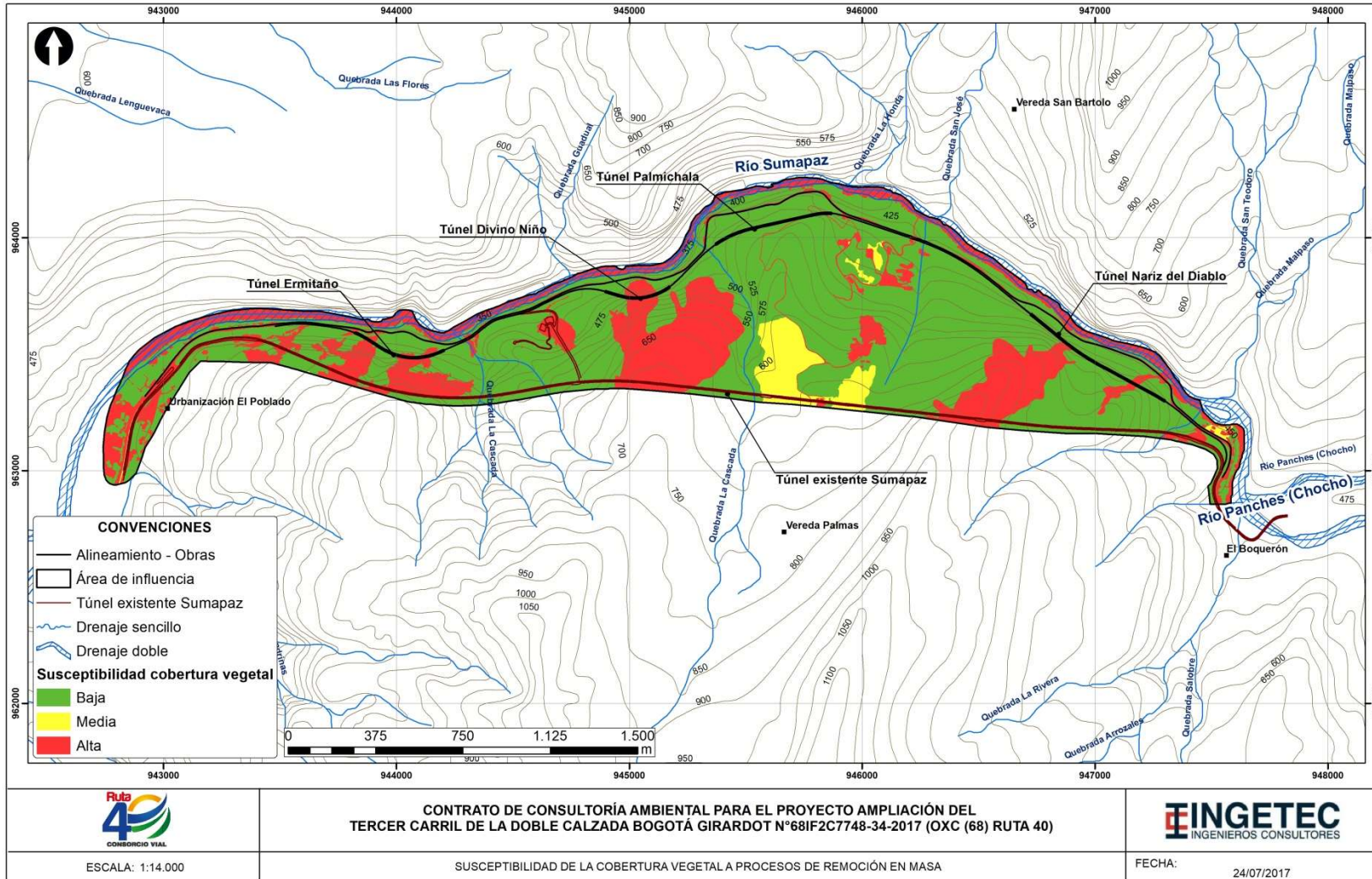


Figura 29 Susceptibilidad de las pendientes a la generación de movimientos en masa.

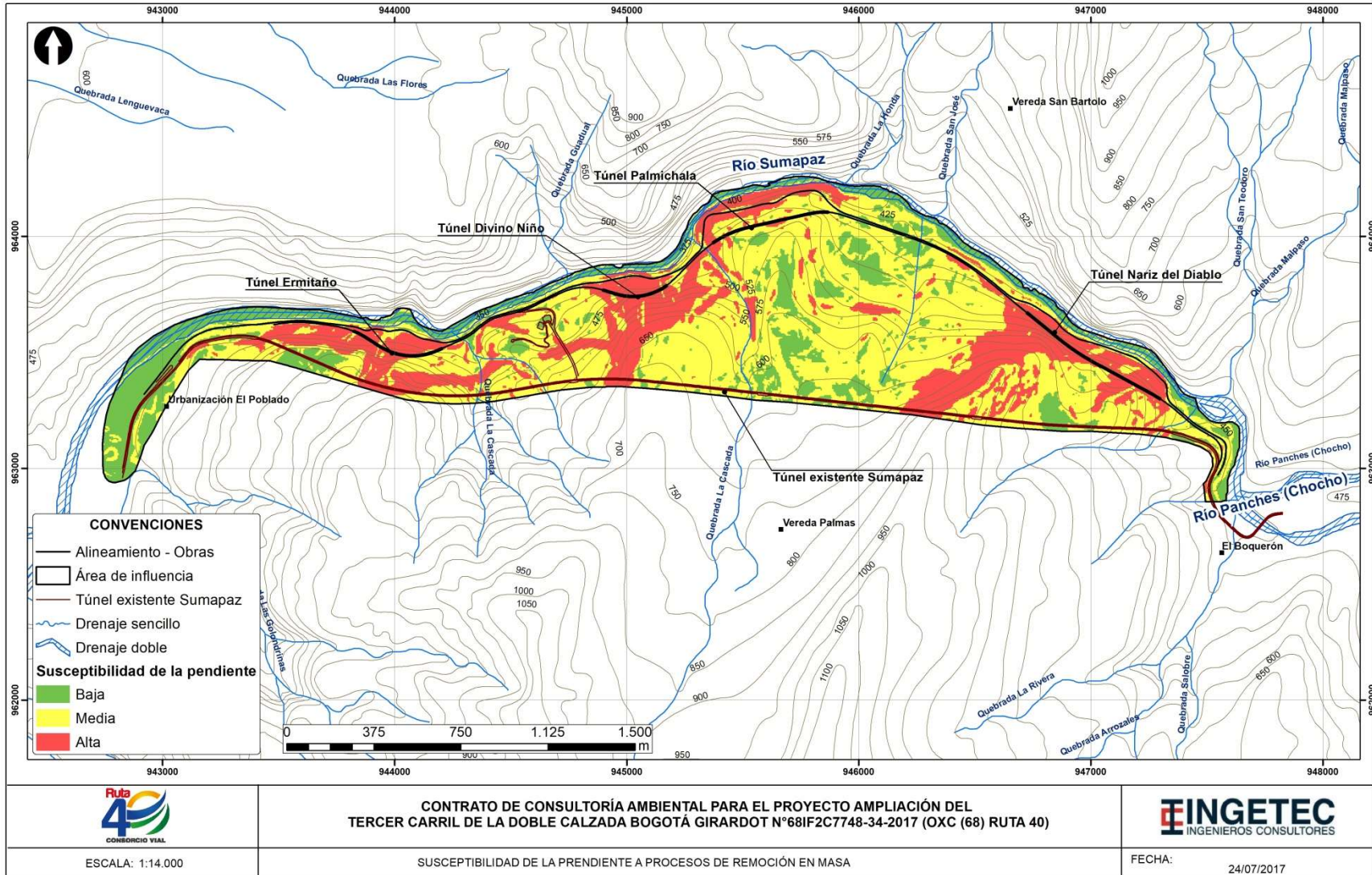
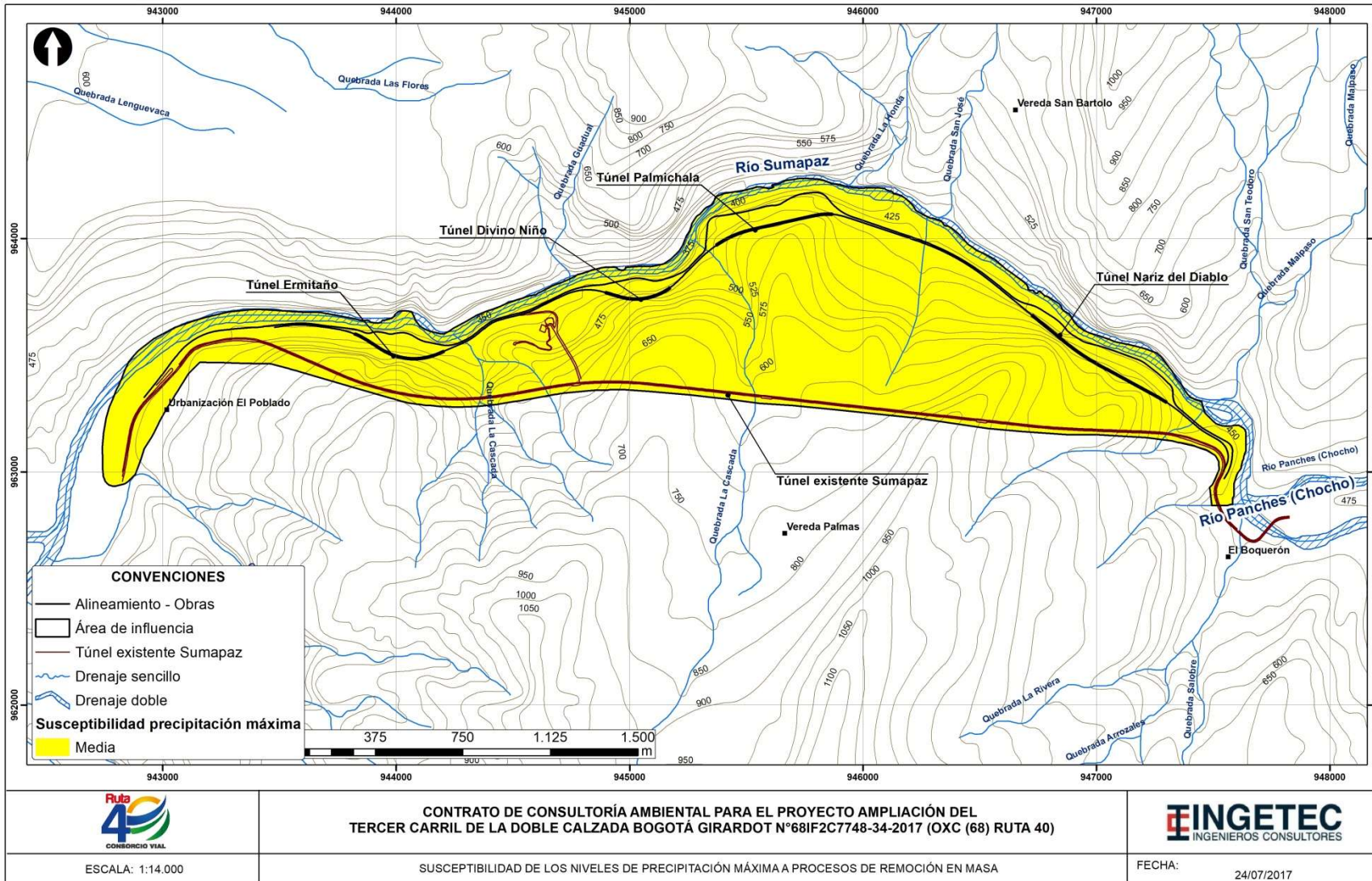


Figura 30 Susceptibilidad de la precipitación a la generación de movimientos en masa.



Con la aplicación de este método en el área la Unidad Funcional 2 se evaluó la susceptibilidad en un rango de 3 ponderaciones, y se encontraron tres grados de susceptibilidad a los movimientos en masa para el área: alto, medio y bajo (Figura 31).

De acuerdo con esta clasificación de grados de susceptibilidad se encontró que el grado de susceptibilidad media y baja presenta mayor distribución en la zona con un 93,3% del área total evaluada (Tabla 15).

Tabla 15 Susceptibilidad a los movimientos en masa

RANGO DE SUSCEPTIBILIDAD	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Alta	16,14	6,3%
Media	122,03	47,5%
Baja	118,48	46,2%

Susceptibilidad Baja

Corresponde al 46,2% del área total analizada, que equivale a un área de 118,48 Ha. Las áreas identificadas con bajas condiciones para la generación de movimientos están básicamente asociadas a la condición litológica del terreno y a las coberturas vegetales presentes en estos sectores. Estas condiciones bajas favorecen la mayor parte del trazado de los túneles (véase Plano Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2510-A0).

Susceptibilidad Media

Corresponde al 47,5% del área total analizada, que equivale a un área de 122,034 Ha. Las áreas identificadas con condiciones medianamente favorables para la generación de movimientos son las de mayor probabilidad de acuerdo al análisis realizado (véase Plano Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2510-A0).

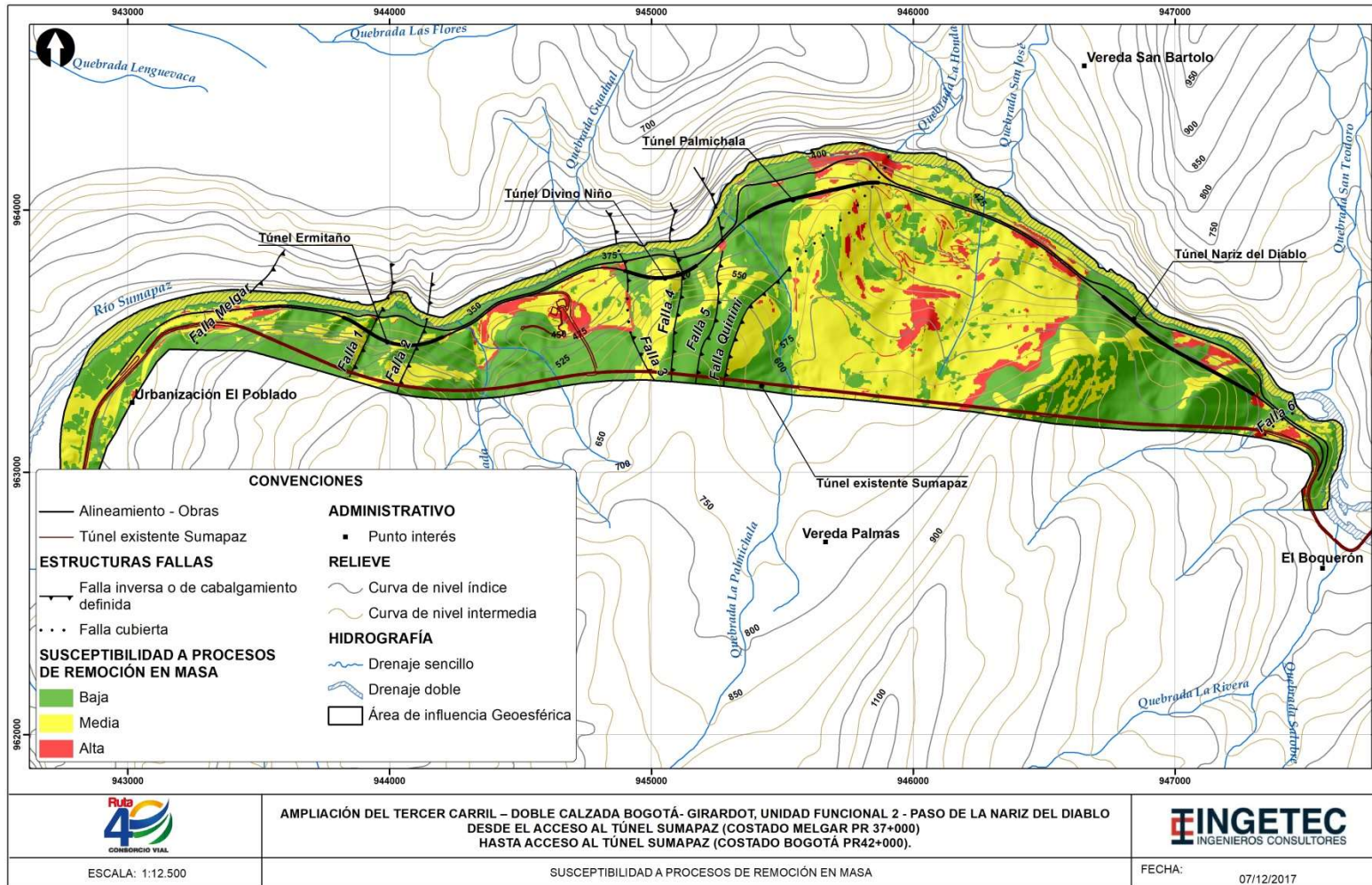
En estos resultados, la variable que presenta mayor influencia en la evaluación final de la susceptibilidad es la presencia de depósitos cuaternarios, cuyos valores de índice de susceptibilidad son altos, también la pendiente influye en el análisis realizado (véase Plano Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2510-A0).

Susceptibilidad Alta

Corresponde al 6,3% del área total analizada, que equivale a un área de 16,14 Ha, de las áreas identificadas con condiciones altamente favorables para la generación de movimientos en masa locales y distribuidas en toda el área del proyecto (véase Plano Plano G-GEO-000UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2510-A0).

Las variables que presenta influencia en la evaluación de la susceptibilidad son la pendiente del terreno moderadamente escarpadas o empinadas (50-75%), la litología y algunas áreas de coberturas vegetales que presentan Red vial y ríos siendo estas las de mayor área con susceptibilidad alta, seguido de vegetación secundaria y bosques abiertos.

Figura 31 Mapa de Zonificación de la Susceptibilidad por procesos de erosión y movimientos en masa de la Unidad Funcional 2.



5.1.3. Paisaje

El paisaje se define como un valor estético, un recurso y un nivel de organización desde un punto de vista ecológico, debido a que en él confluyen y se expresan los procesos que son producto de la combinación de elementos físicos, biológicos, ecológicos y humanos. El paisaje puede identificarse como el conjunto de interrelaciones derivadas de la interacción entre geomorfología, clima, vegetación, fauna, agua y modificaciones antrópicas. Por lo tanto, para estudiarlo, se deben investigar sus elementos constituyentes.

El paisaje puede estudiarse como indicador ambiental o cultural, pero al aproximarse a los componentes y procesos que ocurren en él, se va arribando a una visión sistémica o ecológica (Ramos, 1979), por lo que, en este contexto, el paisaje se entiende como una superficie de terreno heterogénea, compuesta por un conjunto de ecosistemas en interacción que se repiten de forma similar en ella (Forman & Godron, 1986). Esta aproximación al paisaje es muy atractiva y asume el concepto de paisaje total al identificarlo con el medio y definirlo por la combinación de determinados ecosistemas, sus interacciones, la geomorfología y el clima, la perturbación que los afecta y la abundancia relativa de los ecosistemas combinados (MOPT, 1993).

Así cualquier decisión que afecta al uso del suelo o a la gestión de los recursos naturales en un espacio geográfico determinado supone, o debe suponer, una valoración previa en la que se han integrado los factores abióticos, bióticos y antrópicos que en él concurren. En este sentido, no hay duda de que, acogiéndonos al concepto de paisaje como objeto de estudio en el que se sintetizan múltiples variables, su análisis es un paso previo a cualquier proyecto o actuación que suponga una intervención del hombre.

Partiendo de lo anterior, el objetivo de este apartado es realizar la evaluación de la percepción del paisaje en el área de influencia físico-biótica y su relación con la implementación del proyecto. A continuación, se presenta la síntesis de la metodología para la evaluación del paisaje, desde las formas, color y atractivo.

5.1.3.1. Metodología

Como se mencionó, el paisaje es la expresión visual en el territorio, de las interacciones derivadas de diferentes atributos naturales y antrópicos. Para el presente estudio, el análisis del paisaje se limitó a la descripción de las características del paisaje local en el área de influencia físico-biótica, la cual tuvo en cuenta las modificaciones espaciales y temporales que pudieran llegar a ocurrir sobre los diferentes componentes del medio, por cuenta de la construcción y operación del proyecto.

Se presenta a continuación la metodología empleada para identificar las características del paisaje presente en el área de influencia.

5.1.3.1.1. Unidades de paisaje local

Según el SEA (2013), las unidades de paisaje corresponden al reconocimiento de porciones del territorio que tienen una apariencia homogénea, la cual es resultante de la combinación de sus atributos visuales. Esta homogeneidad está dada a través de la combinación de rasgos parecidos o por la repetición de formas.

Teniendo en cuenta la definición anterior, a partir de la información obtenida de la calidad visual del paisaje y del índice de fragilidad visual, se clasificaron las unidades de acuerdo con los atributos del paisaje evaluado (relieve, vegetación, color, cuerpos de agua, etc.). La delimitación de las unidades de paisaje se califica de acuerdo con las siguientes características.

Tabla 16 Unidades de paisaje definidas para el área de influencia

Unidad	Nombre	Descripción
Aal	Calidad visual alta y fragilidad visual alta	Superficies con rasgo singulares y sobresalientes, pero que cuentan con una baja capacidad de absorción visual, es decir, una alta fragilidad visual
Amd	Calidad visual alta y fragilidad visual media	Superficies con rasgo singulares y sobresalientes, los cuales cuentan con una capacidad visual de absorción media o una media fragilidad visual
Abj	Calidad visual alta y fragilidad visual baja	Superficies con rasgo singulares y sobresalientes, que cuentan con una capacidad de absorción visual alta, es decir, una baja fragilidad visual
Mal	Calidad visual media y fragilidad visual alta	Áreas cuyos rasgos poseen variedad, pero que resultan comunes en la región estudiada. Estas superficies cuentan con una baja capacidad de absorción visual, es decir, una alta fragilidad visual
Mmd	Calidad visual media y fragilidad visual media	Áreas cuyos rasgos poseen variedad, pero que resultan comunes en la región estudiada y cuentan con una capacidad visual de absorción media o una media fragilidad visual
Mbj	Calidad visual media y fragilidad visual baja	Áreas cuyos rasgos poseen variedad, pero que resultan comunes en la región estudiada y presentan una capacidad de absorción visual alta, es decir, una baja fragilidad visual
Bal	Calidad visual baja y fragilidad visual alta	Áreas cuyo valor del paisaje es mínimo y que cuentan con una baja capacidad de absorción visual, es decir, una alta fragilidad visual
Bmd	Calidad visual baja y fragilidad visual media	Áreas cuyo valor del paisaje es mínimo, los cuales cuentan con una capacidad visual de absorción media o una media fragilidad visual
Mal	Calidad visual baja y fragilidad visual baja	Áreas cuyo valor del paisaje es mínimo y que presentan una capacidad de absorción visual alta, es decir, una baja fragilidad visual

Fuente: INGETEC, 2017.

La metodología que se presenta a continuación para la calidad visual y la fragilidad visual siguió conceptualmente de Yeomans (1986) y BLM (U.S.D.I., Bureau of Land Management; 1980), los cuales dan una valoración a los elementos del paisaje descritos en el numeral anterior. Adicionalmente a la estimación de la calidad visual y la fragilidad visual, se estimó el índice de belleza paisajística mediante la metodología propuesta por USDA (1995). Este último tiene como objetivo estimar el valor del paisaje a través de la valoración de los atributos bióticos que lo componen y la escala visual con el fin de identificar la percepción que podrían tener los habitantes del sector acerca del paisaje actual.

- Calidad visual del paisaje

Se define como el grado de excelencia o mérito que un determinado paisaje presenta, en función del análisis y la valoración de sus atributos biofísicos, estéticos y estructurales (SEA, 2013). La evaluación de la calidad visual del paisaje se realizó siguiendo los lineamientos establecidos por BLM, que consisten en valorar el paisaje de acuerdo a las características de relieve, vegetación, presencia de cuerpos de agua, color, rareza, influencia de escenarios adyacentes e influencia antrópica. Se presenta a continuación la calificación de cada uno de los elementos mencionados de acuerdo con sus características.

Tabla 17 Valoración de los elementos del paisaje

Elementos del paisaje	Descripción		
Relieve	Relieve muy montañoso, marcado y prominente. Relieve de gran variedad superficial o muy erosionado. Presencia de algún rasgo singular y dominante. Pendientes superiores a 50%	Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes, pero no dominantes o excepcionales. Pendientes entre 12 %-50%	Colinas suaves, fondos de valles planos, pocos o ningún detalle singular. Pendientes menores a 12 %.
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 1
Vegetación	Gran variedad de tipos de vegetación, con formas, textura y distribución interesantes. Se encuentran asociadas a coberturas poco intervenidas o con una percepción de intervención baja.	Alguna variedad en la vegetación, pero solo de uno o dos tipos. Asociada con los pastos, cultivos y mosaicos.	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación. Esta categoría incluye las tierras desnudas y degradadas, las vías y la infraestructura, entre otros.
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 1
Agua (cuerpos de agua)	Presencia de drenajes con numerosos e inusuales cambios en el cauce. Incluye ríos, cascadas, rápidos, pozas o meandros como factores dominantes en el paisaje.	Presencia de drenajes o agua en reposo de forma permanente, aunque no dominan el paisaje	Superficies ausentes o presentes, pero no perceptibles; se incluyen los arroyos intermitentes dentro de esta categoría.
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 0
Color	Combinaciones de color intensas y variadas o contrastes agradables entre suelo, vegetación, roca y agua.	Característico aunque similar a otros en la región.	Bastante común en la región.
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 1
Rareza	Único en su clase, inusualmente memorable o muy raro dentro de la región. Hábitat para la fauna excepcional y posibilidad de visualización de flores silvestres, etc.	Distintivo, aunque algo similar a otros dentro de la región.	Interesante dentro de su entorno, pero bastante común en la región.
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 1
Modificaciones antrópicas	Las modificaciones agregan favorablemente a la variedad visual mientras promueven su armonía.	Las modificaciones añaden poca o ninguna variedad visual a la zona, e introducen elementos no discordantes.	Las modificaciones añaden variedad, pero son muy discordantes y promueven una fuerte desarmonía.
	Puntuación: 2	Puntuación: 0	Puntuación: -4
Influencia de paisajes adyacentes en todos sus componentes	El paisaje adyacente mejora en gran medida la calidad visual	El paisaje adyacente mejora moderadamente la calidad visual general.	El paisaje adyacente tiene poca o ninguna influencia en la calidad visual general
	Puntuación: 2	Puntuación: 3	Puntuación: 0

Fuente: INGETEC, 2017

Para el análisis de los atributos del paisaje se utilizó la cartografía base oficial del IGAC, escala 1:25.000, de la cual se tomaron las curvas de nivel para el análisis de pendiente y los drenajes para la valoración del atributo agua (cuerpos de agua), el mapa temático de cobertura de la tierra elaborado para el área de estudio, que se clasificó de acuerdo con la Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010) a una escala 1:10.00 para la valoración de los atributos de vegetación y modificaciones antrópicas, y una ortofoto del año 2017 para la valoración de los atributos de rareza, color e influencia de paisajes adyacentes.

Calificados los elementos, se procedió a realizar un mapa de calidad visual, que consiste en la ponderación de los elementos con igual peso, lo que dio como resultado la calidad visual de las unidades homogéneas para el área de estudio. Esta ponderación corresponde a la superposición de cada uno de los mapas por parámetro, la cual se llevó a cabo mediante el álgebra de mapas, en el software ArcGis® v 10.0. Se presenta a continuación la clasificación para la calidad visual (ver Tabla 18).

Tabla 18 Valoración de la calidad visual total

Clasificación de la calidad visual	Rango	Descripción
Calidad visual alta	≥19	Áreas con rasgos singulares y sobresalientes
Calidad visual media	12-18	Área cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color, línea y textura, y resultan comunes en la región estudiada
Calidad visual baja	≤ 11	Áreas de calidad baja, áreas con muy poca variedad en la forma, color, línea y textura

Fuente: INGETEC, 2017

- Análisis de fragilidad del paisaje

Para el análisis de fragilidad del paisaje se siguió la metodología establecida por Yeomans (1986), mediante la cual a la superficie estudiada se le asignan valores según las condiciones y los respectivos criterios, con base en la información obtenida a partir de la fotointerpretación y de otra recolectada en campo por parte del personal que realizó los muestreos. Se presenta a continuación la valoración para cada uno de los elementos que se evaluaron en el análisis de fragilidad (Yeomans, 1986).

Tabla 19 Valoración para los elementos del paisaje desde la fragilidad

Factor	Características	Valores	
Relieve (S) Cuanto más inclinada es la pendiente, menor es la capacidad de absorción visual	Escarpado (superior a 50% de pendiente)	Bajo	1
	Moderadamente escarpado (12 %-50% de pendiente)	Moderado	2
	Relativamente plano (0-12 % de pendiente)	Alto	3

Factor	Características	Valores	
Diversidad estructural en la vegetación (D)¹ Cuando mayor es la diversidad, mayor es el potencial de capacidad de absorción visual	Baja (superficies sin vegetación, pastos y malezas)	Bajo	1
	Media (plantaciones forestales, cultivos y mosaicos)	Moderado	2
	Diversificada (bosques, incluye vegetación secundaria y elementos con coberturas naturales que presenten grados de alteración limitados)	Alto	3
Estabilidad del suelo y erosionabilidad (E) Alto riesgo a la erosión en inestabilidad produce una menor capacidad de absorción visual; riesgos bajos por erosión producen una mayor capacidad de absorción visual	Restricción alta derivada de riesgos alto de erosión e inestabilidad y baja regeneración	Bajo	1
	Restricción moderada debido a riesgos de erosión e inestabilidad y baja regeneración	Moderado	2
	Poca restricción por riesgos bajos de erosión e inestabilidad y buen potencial de regeneración	Alto	3
Contraste suelo-vegetación (V) Cuando mayor sea el contraste, mayor será la capacidad de absorción visual	Alto contraste visual entre suelos expuestos y la vegetación adyacente	Bajo	1
	Contraste visual moderado entre los suelos expuestos y la vegetación adyacente	Moderado	2
	Bajo contraste visual entre los suelos expuestos y la vegetación adyacente	Alto	3
Potencial de regeneración en la vegetación (R) Alto potencial de regeneración eleva la capacidad de absorción visual	Bajo potencial	Bajo	1
	Regeneración moderada o potencial de regeneración	Moderado	2
	Alta regeneración	Alto	3
Contraste de color entre vegetación y rocas (C) Un alto valor de contraste disminuye la capacidad de absorción visual debido a una mayor exposición a la vista	Alto contraste	Bajo	1
	Contraste moderado	Moderado	2
	Bajo contraste	Alto	3

Fuente: INGETEC, 2017

Evaluados cada uno de los factores, se procedió a estimar la fragilidad del paisaje mediante la siguiente ecuación:

¹ Se asume que las coberturas naturales poco alteradas presentan una mayor diversidad que aquellas que han sido intervenidas.

Capacidad de Absorción Visual (CAV)=S*(E+R+D+C+V)

Estimada la capacidad de absorción del paisaje, se procedió a clasificar la fragilidad visual del paisaje, teniendo en cuenta que a mayor capacidad de absorción visual la fragilidad visual es menor y viceversa. Se presenta a continuación la clasificación de acuerdo a los resultados de la ponderación (Tabla 20).

Tabla 20 Clasificación de la capacidad de absorción visual y la fragilidad visual

Capacidad de absorción del paisaje (CAV)	Rango	Descripción	Fragilidad visual del paisaje
Bajo	<15	Superficies con baja capacidad de absorción y alta fragilidad	Fragilidad alta
Moderada	15-30	Superficies con capacidad moderada de absorción y fragilidad media	Fragilidad moderada
Alto	>30	Superficies con alta capacidad de absorción y baja fragilidad	Fragilidad baja

Fuente: INGETEC, 2017

- Índice de belleza paisajística

Para determinar el índice de belleza del paisaje del área de estudio, se realizó la intersección de los valores asignados a los seis criterios evaluados: atractivo escénico, elementos discordantes, correspondencia cromática, integridad escénica, escalas visuales y nivel de interés paisajístico (USDA, 1995). A continuación, se presenta la descripción de cada uno de los parámetros evaluados.

Atractivo escénico: corresponde a aquellos elementos definidos por la percepción humana a través de la belleza intrínseca de las formas de la tierra, como la presencia de recursos históricos y arquitectónicos que son de gran importancia para la región, las coberturas naturales o afloramientos rocosos. Para este parámetro se tuvo en cuenta el plano de coberturas de la tierra y los lugares identificados como de interés paisajístico. Su valoración se presenta en la Tabla 22 Clasificación de los atributos para estimar la belleza paisajística

Elementos discordantes: corresponden a aquellos elementos que no armonizan el paisaje y hace alusión principalmente a coberturas de origen antrópico que no dan continuidad a las formas y modifican la calidad visual del paisaje (estructuras industriales, vías, construcciones, etc.). La valoración se presenta en la Tabla 22.

Tamaño de la discordancia: hace referencia a la superficie ocupada por cada uno de los elementos discordantes identificados con respecto a la unidad de paisaje. El tamaño de la discordancia se estimará luego de que sean definidas las unidades de paisaje para el área de influencia biótica. El tamaño de la discordancia se clasifica de acuerdo a lo mencionado en la Tabla 21.

Tabla 21 Clasificación del tamaño de la discordancia

Tamaño de la discordancia por unidad de paisaje	Valoración
≥30%	Alto
5 %-30%	Medio

Tamaño de la discordancia por unidad de paisaje	Valoración
$0 > y \leq 5 \%$	Bajo
0	Nula

Correspondencia cromática: hace alusión a la diversidad de tonos presentes en el área de estudio y que tienen la capacidad de absorber las modificaciones que se realizan al paisaje. Por lo general, aquellos elementos que presentan una mayor correspondencia cromática se asocian con las coberturas naturales (bosques de ribera, ríos, afloramientos rocosos, etc.); no obstante, existen coberturas antrópicas (vías, construcciones, industrias, cultivos, pastos, etc.) que presentan una alta correspondencia cromática, por lo que producen una menor incidencia sobre el paisaje. La valoración se presenta en la Tabla 22.

Integridad escénica: se define como el grado de desviación directa causada por el hombre en el paisaje. Elementos con una muy baja integridad escénica corresponden a las vías, zonas industriales, zonas de disposición de residuos, entre otras. En la Tabla 22 Clasificación de los atributos para estimar la belleza paisajística se presentan los niveles de integridad escénica.

Escala visual: corresponde a los planos que podría visualizar el observador de su entorno. El insumo para este análisis se construyó a partir de la identificación de los centros poblados, tejido urbano discontinuo y lugares de tránsito como vías y caminos sobre los cuales se establecen puntos u observadores, y mediante los cuales se crea un *buffer* de acuerdo a los rangos establecidos en la Tabla 22 en la que también se presenta la valoración de acuerdo al rango del plano.

Nivel de interés paisajístico: es la relación entre el paisaje visto por el observador a cierta distancia (escala visual) y el grado de interés en dicho paisaje. Este grado de interés estará relacionado con las preferencias de los habitantes para el área de estudio. En la Tabla 22 se presenta la calificación.

Tabla 22 Clasificación de los atributos para estimar la belleza paisajística

Elemento/parámetro	Descripción	Calificación
Atractivo escénico	Deteriorado	1
	Común o típico	3
	Singular	5
Elementos discordantes	Alto (> 3 elementos)	1
	Medio (2 elementos)	2
	Bajo (un elemento)	3
	Nulo (no hay elementos discordantes)	4
Correspondencia cromática	Bajo (baja correspondencia cromática)	1
	Medio (correspondencia cromática media)	2
	Alto (alta correspondencia cromática)	3
	Nulo	4
Integridad escénica	Muy baja (muy alterado)	1
	Baja (moderadamente alterado)	2
	Moderada (Levemente alterado)	3
	Alta (parece inalterado)	4
	Muy alta (inalterado)	5
Escala visual	Plano inmediato (0-100 m)	1
	Primer plano (100-800 m)	2
	Plano intermedio (800-6000 m)	3
	Plano lejano (mayor a 6000 m)	4

Elemento/parámetro	Descripción	Calificación
Nivel de interés	Vista inmediata con interés bajo	1
	Vista en primer plano con interés bajo	2
	Vista intermedia con interés bajo	3
	Vista lejana con interés bajo	4
	Vista inmediata con interés medio	5
	Vista en primer plano con interés medio	6
	Vista intermedia con interés medio	7
	Vista lejana con interés medio	8
	Vista inmediata con interés alto	9
	Vista en primer plano con interés alto	10
	Vista intermedia con interés alto	11
	Vista lejana con interés alto	12

Índice final de belleza del paisaje: el índice final de belleza corresponde a la sumatoria de todos los elementos evaluados anteriormente. El cruce de esta información y la estimación del índice se realizaron mediante el álgebra de mapas en ArcGis® v10.0, asumiendo que todos los elementos tienen igual peso para el análisis. En la Tabla 23 Se establece la valoración para el índice final de belleza del paisaje.

Tabla 23 Clasificación del índice de belleza

Índice final de belleza del paisaje	Valor
Bajo	≤10
Medio	11-22
Alto	≥23

5.1.3.1.2. Análisis de visibilidad de las unidades de paisaje local

Con el fin de identificar las superficies que serán vistas desde los lugares que con mayor frecuencia son transitados por los habitantes del área de influencia, se realizó la delimitación de la cuenca visual mediante el software ArcGis® v10.0 (2010) a través de la herramienta Viewshed. Para el cálculo de la cuenca visual se utilizaron los siguientes insumos:

- Puntos de observación: consistió en ubicar sobre el área de influencia las superficies donde se presenta un mayor tránsito de personas, mediante puntos que fueron asignados a superficies donde aparece tejido urbano continuo, que coincide con el equipamiento social reconocido.
- Modelo digital de elevación (*DEM* por sus siglas en inglés): se realizó un modelo de elevación mediante las curvas de nivel tomadas de la cartografía base del IGAC escala 1:10.000. Este se realizó en el software ArcGis® v10.0.

Con la información listada se procedió a realizar el análisis en el software ArcGis® v10.0 empleando la herramienta *Viewshed* (cuenca visual). Este dio como resultado un mapa binario de dos categorías: zonas vistas y no vistas. La información obtenida de la modelación fue cruzada con el mapa de unidades de paisaje para determinar las unidades que son vistas por los habitantes del área de estudio.

5.1.3.1.3. Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico

La descripción del componente paisajístico dentro de la zona consistió en evaluar las unidades de paisaje que serán intervenidas por el proyecto de acuerdo a las obras del mismo en el análisis de los resultados obtenidos de la calidad visual, la fragilidad y el índice de belleza paisajística para El desarrollo de este aparte en los resultados se presentará paralelo a la descripción de los elementos que se emplearon para la clasificación de las unidades de paisaje.

5.1.3.1.4. Sitios de interés paisajístico

Para realizar una descripción adecuada de la percepción del paisaje en el área de estudio y su importancia cultural, se tomó la información colectada por el equipo social. La información obtenida de las actividades con la comunidad se cartografió, georreferenciando los lugares de interés paisajístico junto con un registro fotográfico del área de estudio.

5.1.3.2. Resultados

5.1.3.2.1. Unidades de paisaje local

Calidad visual del paisaje

Definido como el grado de excelencia o mérito que un determinado paisaje presenta y que se determina a partir del análisis de atributos biofísicos, estéticos y estructurales, a continuación se presentan los elementos tenidos en cuenta para la evaluación de la calidad visual del paisaje, en la Tabla 24 y la Figura 45 Distribución de la capacidad de absorción visual para el área de influencia se presentan a manera de resumen los resultados obtenidos en cada uno de estos parámetros, adicionalmente el plano UF2-XXXXX-A-PDE-INGET-02511-A0 permite apreciar la distribución de la valoración final de calidad visual para el área estudiada.

Relieve

Dentro del área de influencia indirecta, dominan los relieves escarpados o muy montañosos con pendientes superiores al 50%, quienes se caracterizan por poseer gran variedad superficial con presencia de rasgos singulares, en segundo lugar se encuentran los relieves medios que se identifican por las formas erosivas interesantes de tamaño y formas variadas con pendientes entre el 12 y el 50%; los cuales presentan una capacidad de absorción visual baja a moderada (véase Tabla 29 y Figura 32)

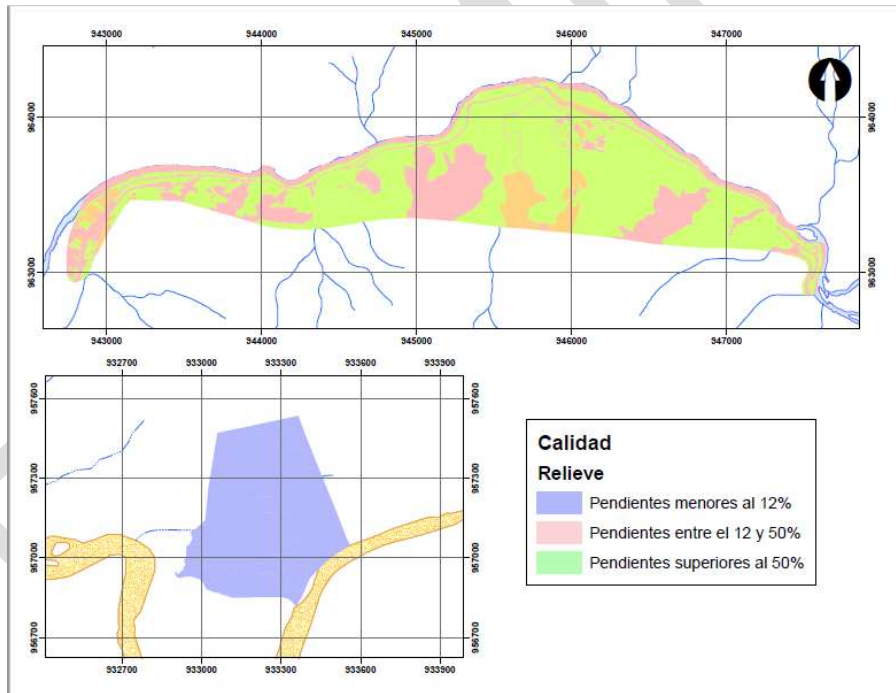
Caso contrario al del área de influencia directa, donde dominan las colinas suaves de fondos planos con pocos o ningún detalle singular y con pendientes menores al 12% los cuales tienen una capacidad de absorción visual mayor Tabla 26.

Fotografía 41 Formas erosivas interesantes, relieve marcado y prominente en el AII que contrastan con los relieves de fondos planos y valles dominantes en el área de influencia directa.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 32 Distribución del relieve en el área estudiada



Fuente: INGETEC, 2017

Vegetación

Para la valoración de los elementos de calidad visual del paisaje se halló que el área estudiada se encuentra dominada (en un 58.63%) por vegetación con gran variedad de texturas y formas, que además se distribuye de manera interesante y son producto de coberturas poco intervenidas o con una percepción de intervención baja.

En el área estudiada, las zonas ocupadas por coberturas boscosas o en procesos de regeneración dominan el lugar siendo el bosque abierto la más importante con el 33.97% de la superficie del área de influencia indirecta (97.24 ha).

Teniendo en cuenta las características de distribución del relieve y la superficie ocupada por las coberturas, es posible determinar que la capa vegetal que cubre este sector presenta gran variedad asociada a coberturas naturales y seminaturales, lo que establece una valoración alta en la visibilidad del paisaje.

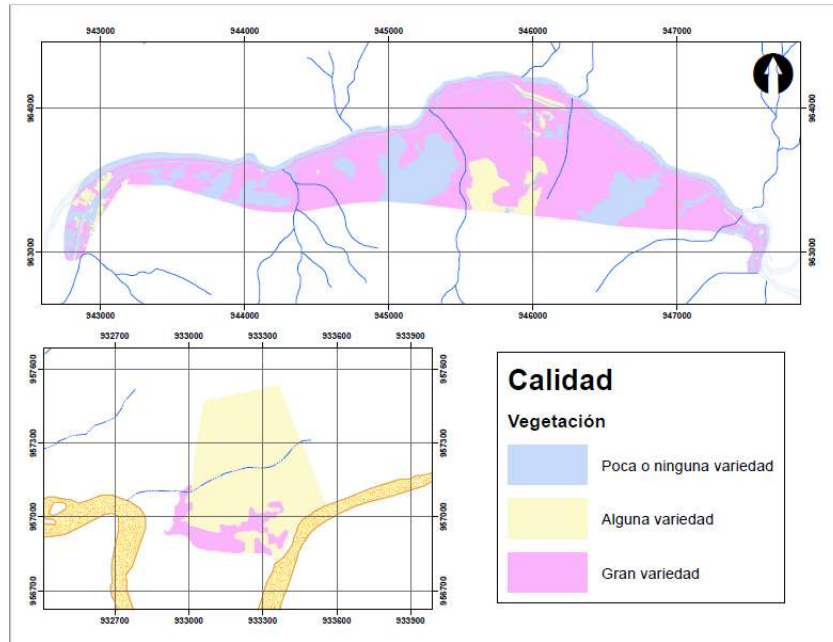
En cuanto al área de influencia directa se encontró que la mayor parte de la superficie se encuentra ocupada por vegetación de valoración media (pasturas), véase Tabla 26.

Fotografía 42 Variedad en la vegetación del área estudiada.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 33 Valoración de la vegetación en el área estudiada.



Fuente: INGETEC, 2017

Cuerpos de agua

Con relación a los cuerpos de agua, predominan las superficies sin presencia de corrientes perceptibles a simple vista con 286.24 ha dentro del área de influencia indirecta del proyecto. Sin embargo, de acuerdo a la cartografía base del IGAC escala 1:25.000, para el área de estudio incluyendo la superficie de ronda de 30m, se destaca la presencia del río Sumapaz, el cual ocupa 55.78 ha dentro del AII del proyecto.

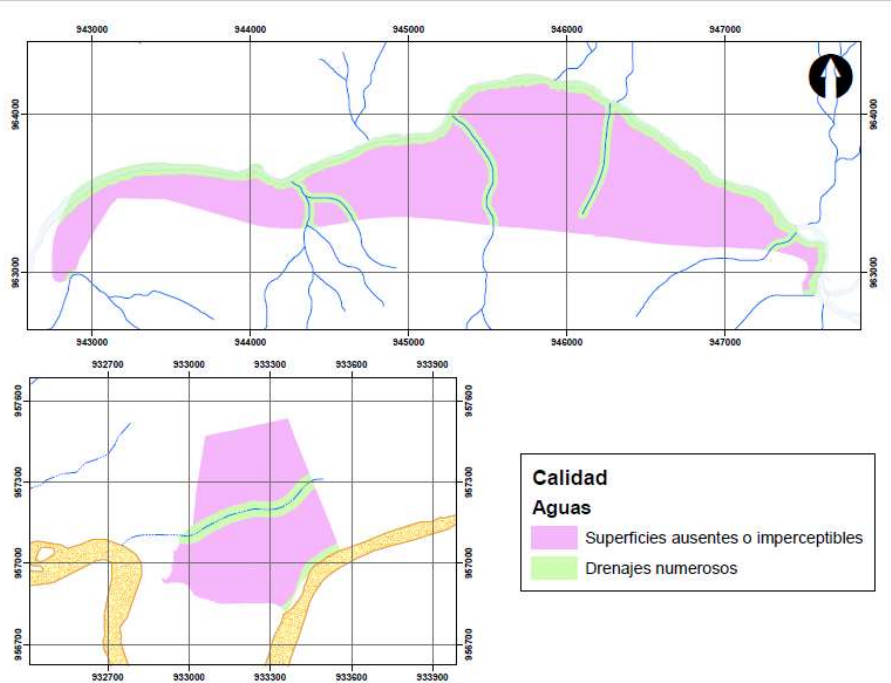
Para el área de influencia directa se la tendencia es similar, dominan las superficies con cuerpos de agua imperceptibles con 29.28 ha (véase Tabla 26).

Fotografía 43 Río Sumapaz.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 34 Valoración de los cuerpos de agua en el área estudiada.



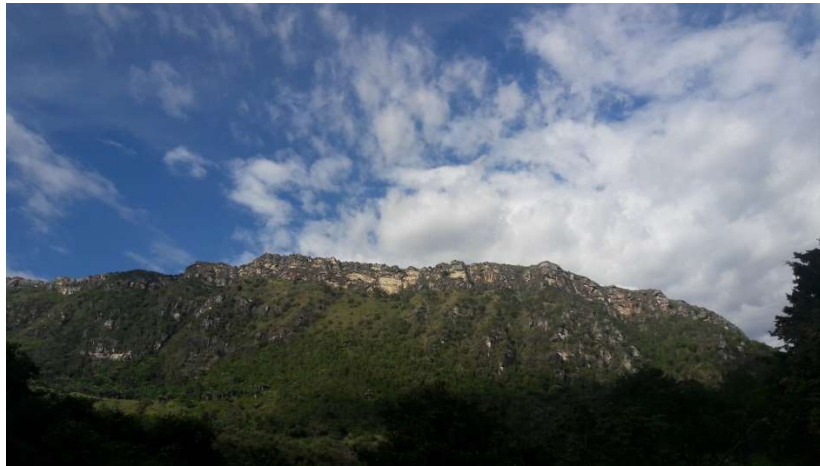
Fuente: INGETEC, 2017

Color

El color se encuentra asociado a la pluralidad de tonalidades de la vegetación, los cuerpos de agua y las características físicas del medio. En ese sentido, las superficies con bosques riparios, abiertos, vegetaciones en transición, afloramientos rocosos y en general todas aquellas coberturas naturales y seminaturales, sobresalen en el área de influencia indirecta presentando una combinación de color calificada como “intensa y de contrastes agradables” (véase Figura 35 y Tabla 24)

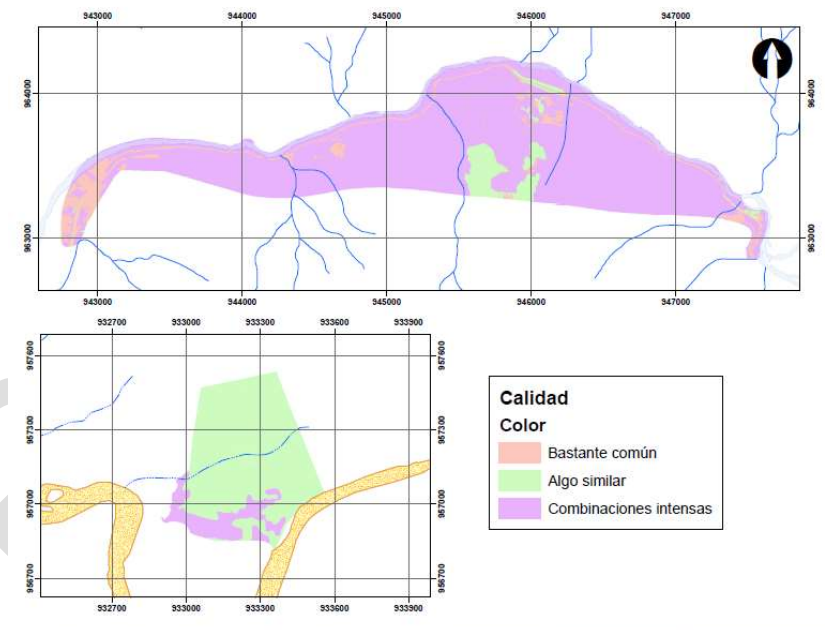
En cuanto al área de influencia directa dominan las zonas con combinaciones de color calificadas como “características aunque similares a otras en la región” (véase Tabla 26), lo que implica una valoración media en este atributo; producto de una vegetación de bajo porte primordialmente de gramíneas y otras hierbas propias de coberturas agrícolas, como lo son los pastos enmalezados.

Fotografía 44 Contraste de colores agradables intensas y variadas entre suelo, roca y vegetación en el AII.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 35 Valoración del color en el área estudiada



Fuente: INGETEC, 2017

Rareza

La rareza en el área de influencia indirecta se distribuye de forma análoga al color, ya que está estrechamente relacionada con las características de la vegetación y la distribución de las coberturas naturales o aquellas producto de la intervención antrópica (véase Tabla 24).

En este caso, las superficies revestidas por bosques y vegetación secundaria presentan diferentes tonalidades además de ser hábitat de fauna y flora singular en la zona, atributo que las hace únicas para la percepción visual del paisaje en el área de influencia, y por ende presentan un atractivo mayor. En el área de influencia indirecta cerca del 79% corresponden a superficies con un valor alto de rareza, las cuales son distintivas y únicas en su clase con respecto a otras dentro de la región, mientras que las superficies con un valor medio y bajo de rareza se encuentran asociadas a todos aquellos elementos de origen antrópico, los cuales no presentan variedad de formas o composición florística (pasturas y coberturas agrícolas), además de tener poca o ninguna complejidad en cuanto al color, tal es el caso de las vías, tejido urbano y zonas de extracción minera.

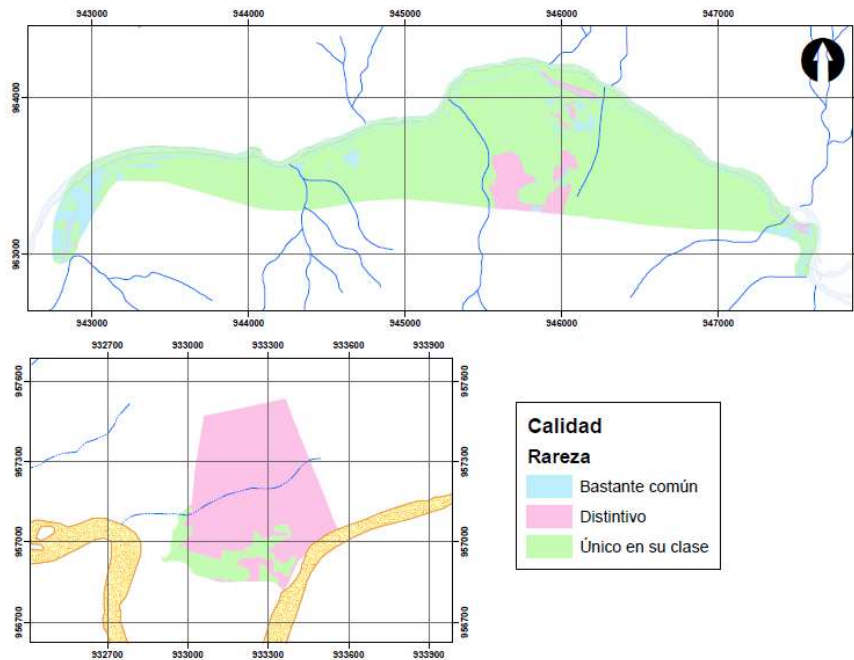
En el área de influencia directa la rareza como elemento de calidad visual se presenta de forma diferente al encontrarse dominada por elementos distintivos aunque algo similares a otros en la región, principalmente relacionados con las coberturas agrícolas que dominan el AID (véase Tabla 26).

Fotografía 45 “La cascada”, superficie revestida por vegetación natural que presenta diferentes tonalidades además de ser hábitat de fauna y flora singular.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 36 Valoración de la rareza en el área estudiada.



Fuente: INGETEC, 2017

Modificaciones antrópicas

Las modificaciones antrópicas muy discordantes o que reducen la armonía en el paisaje en el área de influencia indirecta ocupan el 4.40% de la superficie total, y se encuentran relacionadas con zonas de extracción minera y áreas desnudas y degradadas (véase Tabla 24). Si bien las pasturas son modificaciones antrópicas a las coberturas de la tierra, son considerados un elemento que añade favorablemente a la variabilidad visual y promueven la armonía, por lo que se les da una valoración media; además como es evidente, se incluyen en la categoría de valoración alta las superficies cubiertas por vegetación natural y seminatural, en este caso áreas en transición y de plantaciones forestales, ya que mejoran la calidad visual del entorno contiguo. El río Sumapaz, es considerado un elemento que añade variedad visual a la zona (véase Figura 37).

En la Fotografía 46 se presentan las modificaciones antrópicas que reducen la calidad visual del paisaje y ocasionan una disminución de los elementos armonizadores. Para el área de influencia indirecta, la mayor superficie ocupada por las coberturas que restan valor al paisaje se ubica sobre la red vial, ferroviaria y terrenos asociados.

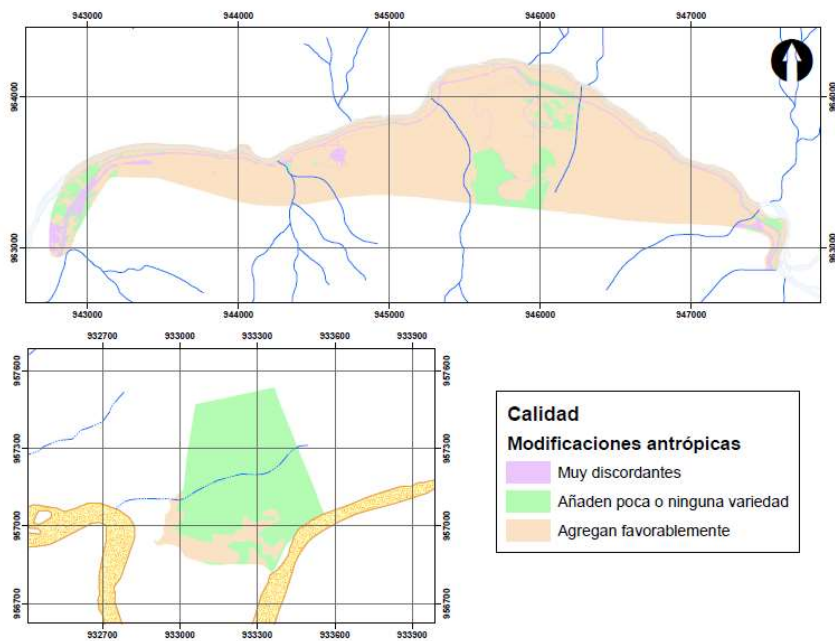
En el área de influencia directa del proyecto dominan las modificaciones antrópicas que añaden poca variedad visual a la calidad visual del paisaje con el 62.14% de la superficie total del AID (véase Tabla 26).

Fotografía 46 Se observa en plano intermedio la red vial dentro del área de influencia que resta valor a la calidad visual del paisaje, la cual contrasta con la vista del río Sumapaz y el bosque de galería circundante en el plano lejano.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 37 Valoración de las modificaciones antrópicas en el área estudiada.



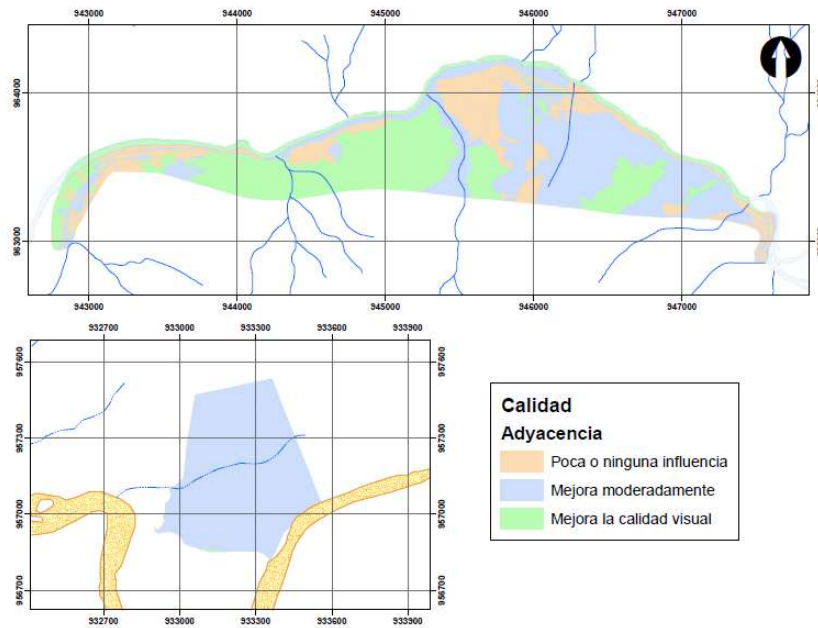
Fuente: INGETEC, 2017

Influencia de paisajes adyacentes

Por último, se evaluó la influencia de los paisajes adyacentes, la cual tiene en cuenta la presencia de parches cercanos que agreguen o reduzcan la armonía visual cuando se hallan contiguos. En el caso del área de influencia indirecta del proyecto, en el 46.28% de los casos los paisajes contiguos mejoran moderadamente la calidad visual de la zona evaluada, adicionalmente aquellos paisajes adyacentes que no tienen influencia en la calidad visual del medio se dan en la menor parte de los casos con el 17.85% (véase Figura 38); la distribución de estos paisajes adyacentes se encuentra relacionada con las características de las coberturas de tipo artificial y rompen con la armonía del paisaje (véase Tabla 24).

En el área de influencia directa los paisajes adyacentes se comporta de forma análoga al área expuesta anteriormente, los paisajes contiguos mejoran moderadamente la calidad de la zona intervenida en el 82.04% de los casos (véase Tabla 26)

Figura 38 Influencia de los paisajes adyacentes en todos sus componentes en el área estudiada.



Fuente: INGETEC, 2017

Tabla 24 Valoración de los elementos de calidad visual del paisaje en el área de influencia indirecta.

Elemento	Valoración	Área (ha)	Proporción (%)
Relieve	Colinas suaves, fondos planos	78,86	27,55
	Relieve variado, formas interesantes	102,56	35,83
	Relieve muy montañoso	104,82	36,62
Subtotal		286,24	100,00
Vegetación	Poca o ninguna variedad	76,96	26,89
	Alguna variedad en la vegetación	41,46	14,48

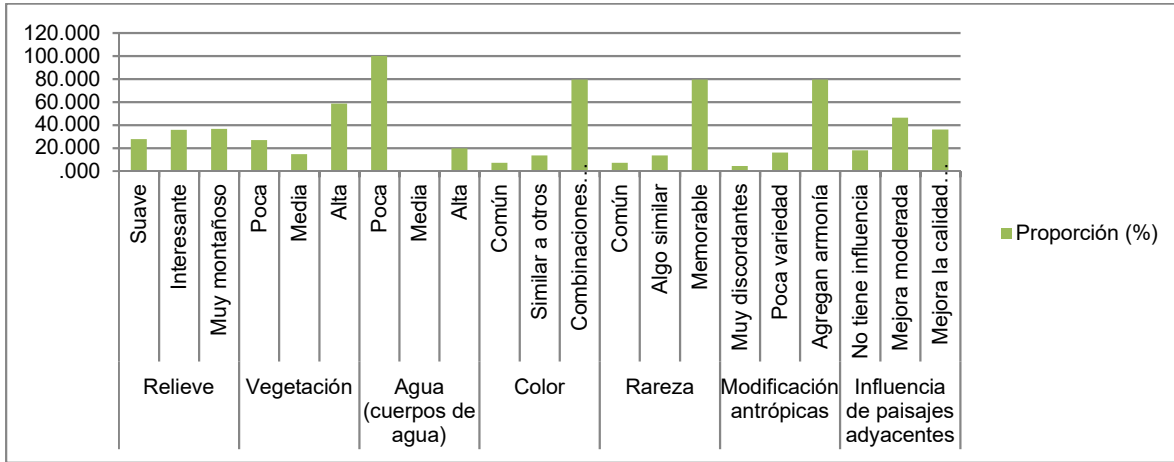
Elemento	Valoración	Área (ha)	Proporción (%)
	Gran variedad de tipos de textura	167,82	58,63
Subtotal		140,26	49,00
Agua (cuerpos de agua)	Ausentes o presentes pero imperceptibles	286,24	100,00
	Ecosistemas loticos	0,00	0,00
	Alta	55,78	19,49
Subtotal		286,24	100,00
Color	Bastante común	20,21	7,06
	Característico aunque similar a otros en la región	38,47	13,44
	Combinaciones de color intensas contrastes agradables	227,56	79,50
Subtotal		286,24	100,00
Rareza	Bastante común	20,21	7,06
	Distintivo aunque algo similar	38,47	13,44
	Único en su clase; memorable	227,56	79,50
Subtotal		286,24	100,00
Modificación antrópicas	Muy discordantes	12,60	4,40
	Añaden poca variedad visual a la zona	46,08	16,10
	Agregan variabilidad visual y armonía	227,56	79,50
Subtotal		286,24	100,00
Influencia de paisajes adyacentes	El P. ady. no tiene influencia en la calidad	51,09	17,85
	El P. ady. mejora moderadamente	132,48	46,28
	El P. adya. mejora la calidad visual	102,67	35,87
Subtotal		286,24	100,00

Fuente: INGETEC, 2017

Clasificación final de la calidad visual

A partir de la valoración dada a los atributos presentes en el AII, se identificó la predominancia de superficies con calidad visual alta (79.71% del área lo que equivale a 228.15 ha), asociadas a la presencia de atributos con diversidad de formas, colores y texturas que armonizan el paisaje (Tabla 25); las superficies con una calidad visual baja son las menos extensas, ocupando el 6,47% del área evaluada (18.50 ha). En el plano G-PAI-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2511-A0 se presenta la distribución de la calidad visual en el contexto analizado para el área de influencia indirecta, adicionalmente, la Figura 39 muestra el resumen de los resultados obtenidos para los diversos atributos evaluados en la calidad del paisaje.

Figura 39 Resumen de los elementos evaluados dentro de la calidad visual del paisaje para el área de influencia indirecta.



Fuente: INGETEC, 2017

Tabla 25 Clasificación de la calidad visual total.

Calidad	Área (ha)	%
Poca variedad	18,50	6,46243893
Comunes en la región	39,59	13,8317984
Rasgos singulares	228,15	79,7057627
Total	286,24	100

Fuente: INGETEC, 2017

Tabla 26 Valoración de los elementos de calidad visual del paisaje en el área de influencia directa.

Elemento	Valoración	Área (ha)	Proporción (%)
Relieve	Colinas suaves, fondos planos	25,30	69,50
	Relieve variado, formas interesantes	6,85	18,83
	Relieve muy montañoso	4,25	11,68
Subtotal		36,41	100,00
Vegetación	Poca o ninguna variedad	5,44	14,95
	Alguna variedad en la vegetación	22,36	61,42
	Gran variedad de tipos de textura	8,60	23,63
Subtotal		36,41	100,00
Agua (cuerpos de agua)	Ausentes o presentes pero imperceptibles	29,28	80,43
	Ecosistemas loticos	0,00	0,00
	Alta	7,13	19,57
Subtotal		36,41	100,00
Color	Bastante común	5,10	14,00

Elemento	Valoración	Área (ha)	Proporción (%)
	Característico aunque similar a otros en la región	22,36	61,41
	Combinaciones de color intensas contrastes agradables	8,95	24,59
Subtotal		36,41	100,00
Rareza	Bastante común	5,10	14,00
	Distintivo aunque algo similar	22,36	61,41
	Único en su clase; memorable	8,95	24,59
Subtotal		36,41	100,00
Modificación antrópicas	Muy discordantes	4,83	13,27
	Añaden poca variedad visual a la zona	22,62	62,14
	Agregan variabilidad visual y armonía	8,95	24,59
Subtotal		36,41	100,00
Influencia de paisajes adyacentes	El P. ady. no tiene influencia en la calidad	4,31	11,83
	El P. ady. mejora moderadamente	29,87	82,04
	El P. adya. mejora la calidad visual	2,23	6,13
Subtotal		36,41	100,00

Fuente: INGETEC, 2017

Fragilidad visual del paisaje

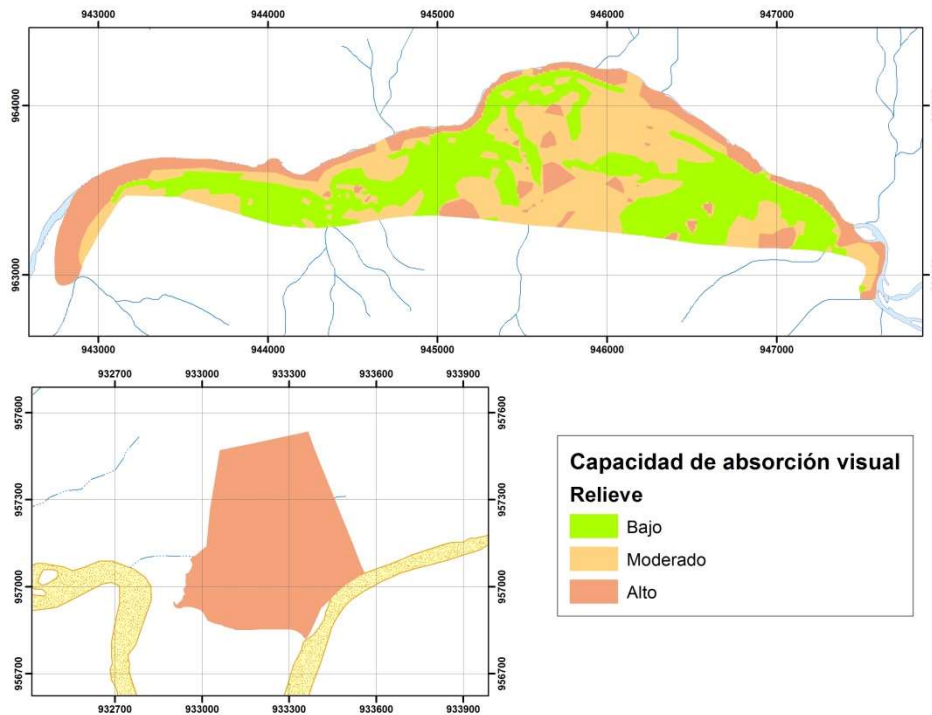
La fragilidad visual se define como la capacidad del paisaje de absorber las modificaciones que se den dentro de él. Esta se encuentra relacionada con la capacidad de absorción visual del entorno: mientras más alta sea la capacidad de absorción de las modificaciones al paisaje, menor será la fragilidad visual del paisaje.

Para el área de estudio predominan las superficies con relieves escarpados y pendientes superiores al 50%, seguidos por las superficies con relieves moderadamente escarpados que varían entre los 12% y 50%, los cuales presentan una capacidad de absorción visual baja y moderada (Tabla 27). Estos se ubican en su mayoría hacia la zona de las obras principales, contrario a lo que sucede en la zona del botadero, donde se presentan relieves con una capacidad de absorción visual alta como se observa en la Figura 40.

Tabla 27 Capacidad de absorción visual del relieve para el área de influencia

Capacidad de absorción del relieve	Área (ha)	Proporción (%)
Baja	104,8	37%
Moderada	102,6	36%
Alta	78,9	28%
Total	286,2	100%

Figura 40 Distribución de la capacidad de absorción visual del relieve



Fuente INGETEC, 2017

De acuerdo a lo descrito, en el área de estudio se ubican superficies sobre las cuales las modificaciones que se realicen al paisaje no serán fáciles de absorber por el mismo. En el caso del proyecto, este se ubica sobre superficies con una capacidad de absorción visual alta en su mayoría ocupando el 32% de la superficie total de esta unidad, mientras que las superficies con capacidad de absorción baja y moderada serán ocupadas por un 11% como se observa en la Tabla 28

Tabla 28 Distribución de la capacidad de absorción visual del relieve en el AID

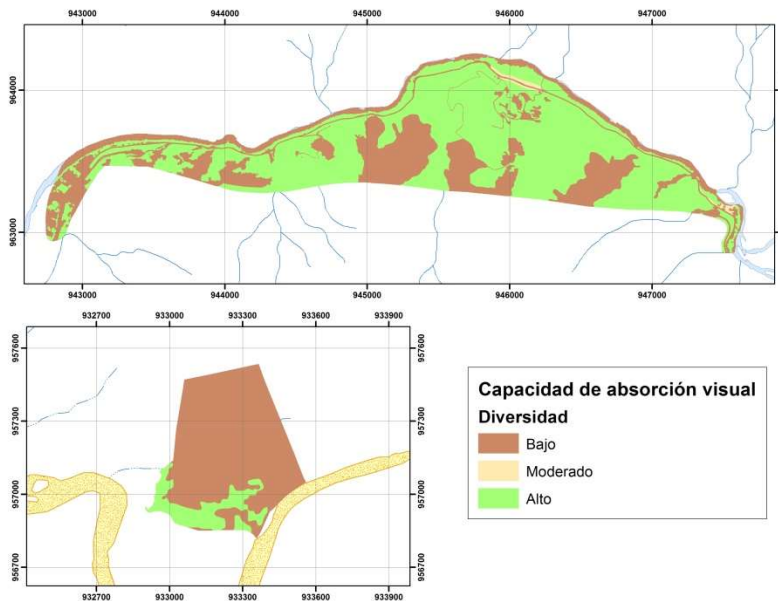
CAV Relieve	Área (ha)	Proporción del área total
Bajo	4,3	4%
Moderado	6,9	7%
Alto	25,3	32%
Total	36,41	

La variación en los colores de la vegetación y la presencia de una mayor diversidad provoca una reducción en la capacidad de absorción, es decir que a medida que se presente una mayor diversidad la capacidad de absorción visual será más alta. Para el área de estudio debido a la predominancia de coberturas naturales como el bosque abierto, el bosque de galería y la vegetación secundaria, la representatividad de superficies con una capacidad de absorción de la diversidad estructural alta es común; le siguen las superficies con una capacidad de absorción de la diversidad estructural moderada, como se observa en la Tabla 29 y Figura 41.

Tabla 29 Capacidad de absorción visual de la diversidad estructural para el área de influencia

CAV diversidad estructural	Área (ha)	Proporción (%)
Baja	117,2	41%
Moderada	1,6	1%
Alta	167,5	59%
Total	286,2	100%

Figura 41 Distribución de la capacidad de absorción visual de la diversidad estructural



Fuente INGETEC, 2017

El proyecto, de acuerdo a las características de las obras se ubica sobre superficies con una capacidad de absorción visual baja ocupando 27,2 ha que corresponden al 23% de la superficie total de esta unidad, también ocupan el 47% de las superficies con una capacidad de absorción visual de la diversidad estructural moderada con 0,8ha y por último las superficies con una capacidad de absorción visual alta para la diversidad estructural ocuparán una superficie de 8,5 ha (Tabla 30). Lo anterior indica que en su mayoría se intervendrán superficies transformadas, que presentan una baja y moderada capacidad de absorción visual pero las cuales debido a su transformación anterior es posible que sean absorbidas con facilidad por el medio.

Tabla 30 Distribución de la capacidad de absorción visual de la diversidad estructural en el AID

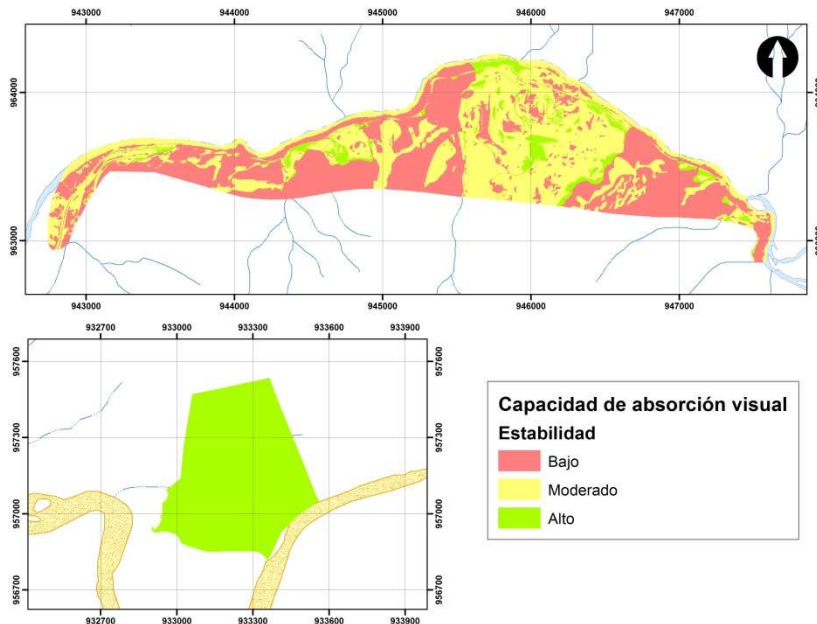
CAV diversidad estructural	Área (ha)	Proporción del área total
Baja	27,2	23%
Moderada	0,8	47%
Alta	8,5	5%
Total	36,4	

Con relación a la estabilidad del suelo y erosionabilidad para el área de influencia del proyecto predominan las superficies con una alta capacidad de absorción de la estabilidad del suelo y la erosionabilidad con el 59% de la superficie total, las cuales se encuentran relacionadas con la presencia de coberturas naturales y características de las geoformas que dan estabilidad al suelo facilitando que el paisaje absorba las modificaciones que sobre él se realizan. Sin embargo existe también una porción de la superficie del área de influencia que registra una capacidad de absorción baja (41%), dada por el tipo de pendientes que se distribuyen en el área y las características de la vegetación que se encuentra asociada a territorios agrícolas (Tabla 31 y Figura 42).

Tabla 31 Capacidad de absorción visual de la estabilidad del suelo y erosionabilidad para el área de influencia

Capacidad de absorción de la Estabilidad del suelo y erosionabilidad	Área (ha)	Proporción (%)
Baja	117,2	41%
Moderada	1,6	1%
Alta	167,5	59%
Total	286,2	100%

Figura 42 Distribución de la capacidad de absorción visual de la estabilidad del suelo y erosionabilidad



Fuente INGETEC, 2017

Con relación al proyecto, las superficies donde se ubicará este, se encuentran principalmente sobre zonas con una capacidad de absorción visual de la estabilidad del suelo y la erosionabilidad alta, las cuales ocupan cerca

del 25% de las superficie total de esta unidad, en menor proporción se registran las superficies con una capacidad de absorción moderada y baja (Tabla 32).

Tabla 32 Distribución de la capacidad de absorción visual de la estabilidad del suelo y erosionabilidad en el AID

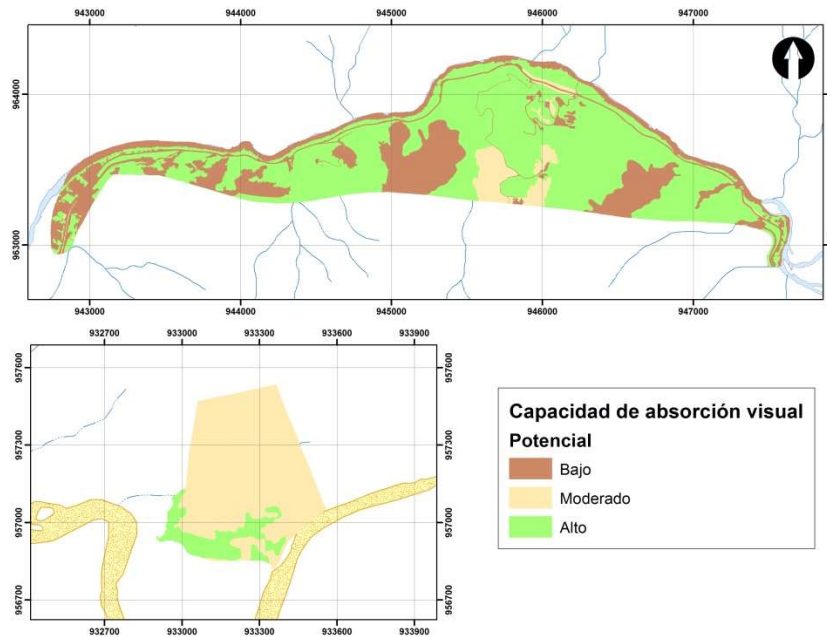
CAV Estabilidad del suelo y erosionabilidad	Área (ha)	Proporción del área total
Baja	6,4	5%
Moderada	5,0	4%
Alta	25,0	55%
Total	36,4	

A nivel de potencial de regeneración, se evidencia que por la presencia de coberturas naturales con un grado bajo y medio de transformación el área de influencia cuenta con un 59% de la superficie cubierto por la capacidad de absorción del potencial de regeneración alto, seguido por la capacidad de absorción del potencial de regeneración medio con un 28% (Tabla 33 y Figura 43). Esta distribución se relaciona con la presencia de coberturas naturales que registran un alto potencial de regeneración como los bosques y la vegetación secundaria, mientras existen superficies con territorios agrícolas y artificializados que debido a las características productivas y de uso no tienen un buen potencial de regeneración.

Tabla 33 Capacidad de absorción visual del potencial de regeneración en la vegetación para el área de influencia

Capacidad de absorción del potencial de regeneración	Área (ha)	Proporción (%)
Baja	80,3	28%
Moderada	38,1	13%
Alta	167,8	59%
Total	286,2	100%

Figura 43 Distribución de la capacidad de absorción visual del potencial de regeneración en la vegetación



Fuente INGETEC, 2017

El área de influencia directa o área de obras ocupará superficies con una capacidad de absorción del potencial de regeneración bajo (27,2 ha) y alto (8,5 ha), lo que indica que las obras se centrarán en superficies transformadas donde no se registra variación en color forma (Tabla 34). Esto evidencia que la afectación al paisaje será baja pues se realizarán sobre superficies transformadas y cerca de lugares con una capacidad de absorción de las modificaciones moderada a alta.

Tabla 34 Distribución de la capacidad de absorción visual del potencial de regeneración en la vegetación en el AID

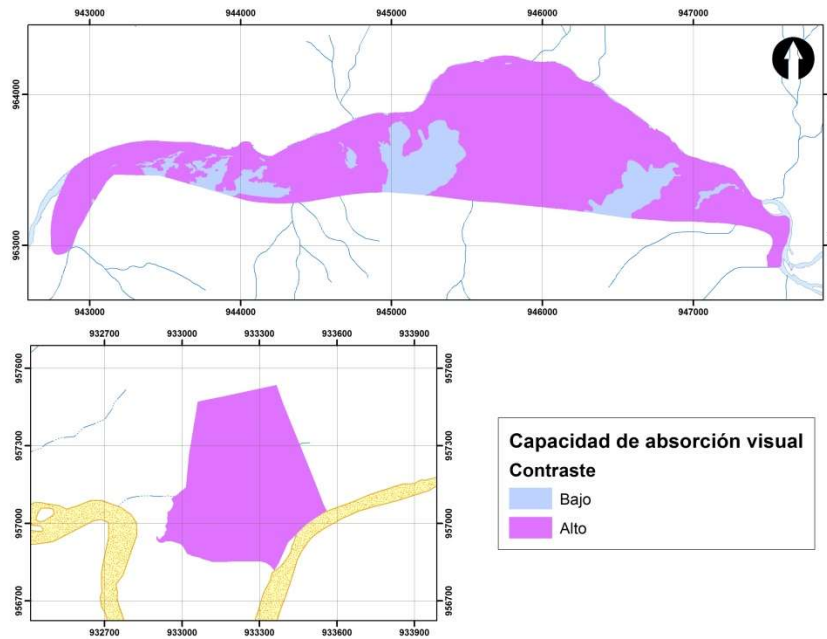
CAV potencial de regeneración	Área (ha)	Proporción del área total
Baja	27,2	34%
Moderada	0,8	2%
Alta	8,5	5%
Total	36,4	

A lo largo del área de influencia del proyecto se evidencia la presencia de afloramientos rocosos que junto con la vegetación presente provocan un alto contraste, esto se evidencia en la distribución de la capacidad de absorción visual del contraste roca vegetación baja, el cual aunque no es dominante en la superficie ocupa el 15% del área de estudio. La superficie restante se encuentra ocupada por zonas con un bajo contraste roca vegetación, que indica que la capacidad de absorción visual es alta (Tabla 35 y Figura 44).

Tabla 35 Capacidad de absorción visual del contraste roca vegetación para el área de influencia

Capacidad de absorción del contraste roca vegetación	Área (ha)	Proporción (%)
Baja	41,6	15%
Alta	244,7	85%
Total	286,2	100%

Figura 44 Distribución de la capacidad de absorción visual del contraste roca vegetación



Fuente INGETEC, 2017

Si se presentaran modificaciones al paisaje en las zonas cercanas a lugares donde se presenta un alto contraste el paisaje, es decir una capacidad de absorción visual alta, al paisaje se le dificultará absorber las intervenciones al mismo provocando una pérdida de calidad visual en el área. De acuerdo con el área de influencia directa o la zona de obras, en el área de estudio la mayoría de la superficie a intervenir se ubica sobre zonas con una capacidad de absorción alta, lo que indica que la intervención provocada por el proyecto será aceptada por el paisaje general.

Tabla 36 Distribución de la capacidad de absorción visual del contraste roca vegetación en el AID

CAV potencial de regeneración	Área (ha)	Proporción del área total
Baja	0,5	1%
Alta	35,9	15%
Total	36,4	

Por último, el contraste suelo vegetación para el área de influencia del proyecto es bajo, ya que no se presentan suelos descubiertos con variedad de tonalidades, motivo por el cual la capacidad de absorción del contraste suelo vegetación para el área de influencia es alta.

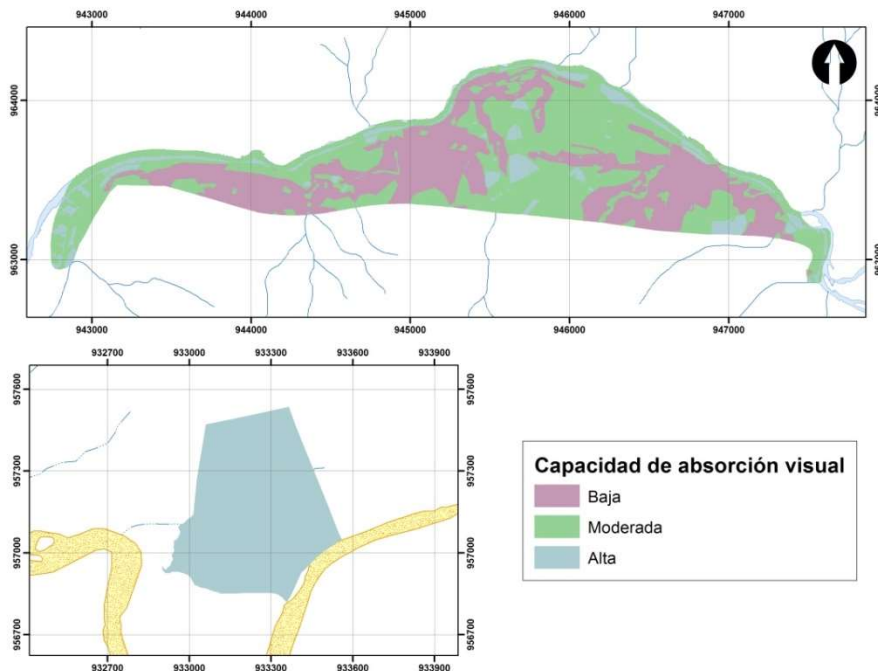
Fragilidad visual del área de influencia

A partir de las características de cada uno de los elementos que componen el paisaje, se evidencia que el área de influencia del proyecto presenta una capacidad de absorción visual moderada (46%), es decir, una fragilidad visual moderada; sin embargo, por las características del relieve y erosionabilidad de suelos existe una superficie representativa con una capacidad de absorción visual baja o fragilidad visual alta que es representativa ocupando el 36% (Tabla 37 y Figura 45). Lo que indica que existen superficies en el área de estudio sobre las cuales una modificación del entorno puede a largo plazo afectar la calidad visual del medio, no siendo posible por el paisaje absorber dichas intervenciones.

Tabla 37 Fragilidad visual y capacidad de absorción visual para el área de influencia

Capacidad de absorción visual	Área (ha)	Proporción (%)	Fragilidad visual
Baja	104,4	36%	Alta
Moderada	130,7	46%	Moderada
Alta	51,1	18%	Baja
Total	286,2	100%	Total

Figura 45 Distribución de la capacidad de absorción visual para el área de influencia



Fuente INGETEC, 2017

El área de influencia directa del proyecto, se ubica principalmente sobre zonas con una capacidad de absorción visual alta (fragilidad visual baja) ocupando cerca del 47% de la superficie de esta unidad, seguido por las superficies ubicadas sobre zonas con una capacidad de absorción visual moderada, las cuales ocupan el 7%. Lo anterior indica que el paisaje actual puede absorber las modificaciones al medio, siempre y cuando se ejecuten medidas adecuadas de diseño paisajístico en las superficies a intervenir.

Tabla 38 Distribución de la fragilidad visual y la capacidad de absorción visual en el AID

Capacidad de Absorción visual	Área (ha)	Proporción del área total	Fragilidad visual
Baja	3,9	4%	Alta
Moderada	8,5	7%	Moderada
Alta	24,0	47%	Baja
Total	36,4		

Índice de belleza paisajística

Los paisajes abarcan una serie de signos a través de los cuales advierten su identidad, mientras que impresionan estéticamente. La estimulación diferenciada y objetiva de determinados elementos y su composición en la escena, como emisores de información paisajística y provocadora de sensaciones estéticas, permite codificar y categorizar el significado de cualquier paisaje estudiado, las percepciones de estos signos sumadas a las referencias paisajísticas y su organización, a menudo proporcionan ciertas propiedades relativas que permiten la valoración positiva o negativa (agrado-desagrado), en los paisajes circundantes.

El índice de belleza paisajística se realiza a través de la intersección de los resultados obtenidos en la evaluación de seis criterios: Atractivo escénico, integridad escénica, la distancia de observación (escala de observación), la variación en la correspondencia cromática, la presencia de elementos discordantes y el nivel de interés paisajístico. Quienes facilitan la identificación de aquellos lugares que para las comunidades presentan una mayor belleza escénica.

Atractivo escénico

Se define el atractivo escénico como la importancia de un paisaje con base en la percepción humana de la belleza intrínseca de la forma de la tierra, las características hidrológicas, los patrones de vegetación y el uso cultural de la tierra y la respuesta positiva que estos atributos evocan en la gente. Para el área de influencia indirecta la expansión de la frontera agrícola y pecuaria a expensas de las áreas boscosas ha modificado los ecosistemas, adicionalmente, el establecimiento de algunas instalaciones agropecuarias han dado como resultado el surgimiento de nuevas condiciones ambientales y la conformación de un paisaje de características diferentes, (véase Figura 46).

Esto se traduce en las modificaciones que presenta el paisaje actual, donde predominan las superficies de uso agrícola (pastos primordialmente). Según Espinal y Montenegro, (1963), la vegetación primaria de esta zona ha sido completamente alterada; por ser el clima ideal, las comunidades establecieron sus cultivos e iniciaron la transformación del paisaje vegetal, por lo que el lugar ha soportado una de las más altas concentraciones poblacionales. Actualmente quedan pocos árboles y arbustos nativos y el paisaje se encuentra enmarcado en una pradera de gramíneas y pequeñas asociaciones homogéneas de vegetación. Sin embargo, el área de influencia indirecta se encuentra dominada por superficies de atractivo escénico singular, producto de las coberturas naturales aun remanentes.

Las características económicas y poblacionales del sector influyen en la valoración del atractivo escénico del área de influencia indirecta, históricamente las zonas de altas pendientes impiden el asentamiento de comunidades dedicadas a las actividades agropecuarias; las pendientes superiores al 50% dominantes en el área no han permitido la sustitución de la cobertura boscosa original para darle paso al desarrollo de diversas

actividades económicas, con técnicas muchas veces consideradas como inadecuadas: monocultivos o el sobrepastoreo.

El paisaje cultural es aquella área geográfica que da cuenta de las relaciones entre la actividad humana y el medio ambiente (Farina, 2000). Allí las relaciones que se han establecido han creado patrones sobre el territorio así como unas dinámicas específicas a lo largo del tiempo, las cuales hacen que las personas locales valoren elementos de dicho paisaje al estar ligados a una historia. Por lo anterior, en el área de influencia indirecta predominan las superficies cubiertas por un atractivo escénico singular, con un 79.50% del área de influencia indirecta y que tienen relación con las coberturas naturales al ser un lugares de alta apreciación estética gracias a la presencia de fauna y flora, (véase Fotografía 47)

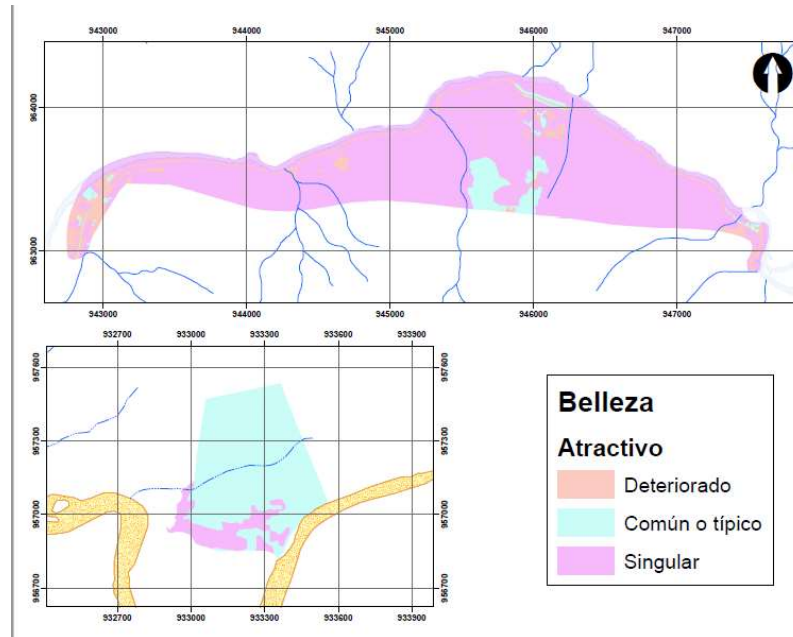
Para el área de influencia directa la tendencia es distinta al dominar un atractivo escénico producto de elementos comunes o típicos (primordialmente pasturas con el 61.45%), véase Tabla 26.

Fotografía 47 Zonas dedicadas al pastoreo dentro de la zona estudiada.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 46 Atractivo escénico en el área estudiada



Fuente: INGETEC, 2017

Elementos discordantes

De acuerdo con la delimitación de coberturas de la tierra en el área de influencia indirecta, los elementos discordantes de categoría alta representan el 0.44% de la superficie total y corresponden a las coberturas antrópicas: red vial y terrenos asociados y zonas degradadas (véase Figura 47, Fotografía 48). Las superficies restantes se ubican principalmente en la categoría nula y hacen referencia a aquellos elementos que en conjunto conforman un paisaje armónico, el cual es percibido como agradable por la población.

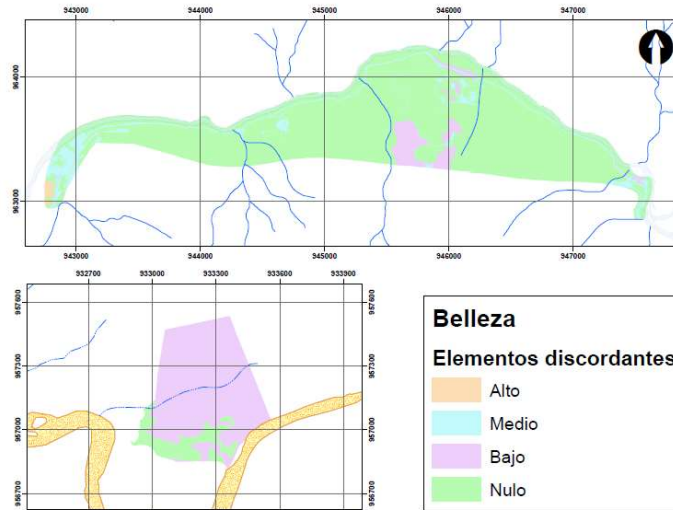
En el área de influencia directa el 61.41% de la tierra se encuentra ocupada por elementos de discordancia baja, lo que equivale a 22.36 ha. Estos elementos hacen referencia a los pastos, quienes no se consideran elementos discordantes, ya que su presencia no produce una reducción de la belleza paisajística, siendo elementos que armonizan con el paisaje, véase Tabla 41

Fotografía 48 Elementos discordante presentes en el área de influencia.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 47 elementos discordantes del área estudiada



Fuente: INGETEC, 2017

Correspondencia cromática

Hace referencia a la mezcla de colores que componen el paisaje; en el área de influencia indirecta esta relación de color depende directamente de la gama de tonalidades en el medio causada por la unión de las diferentes coberturas de la tierra naturales y antrópicas. En este caso, las superficies varían en la valoración de la correspondencia cromática de acuerdo a sus características. Las coberturas naturales presentan una mayor correspondencia cromática, al ser capaces de absorber las modificaciones hechas al paisaje motivo por el cual se les da una valoración alta; este es el caso de las coberturas boscosas, en transición y de afloramientos rocosos, las cuales ocupan el 73.04% del área total (véase Figura 48, Tabla 22 y la Fotografía 49.)

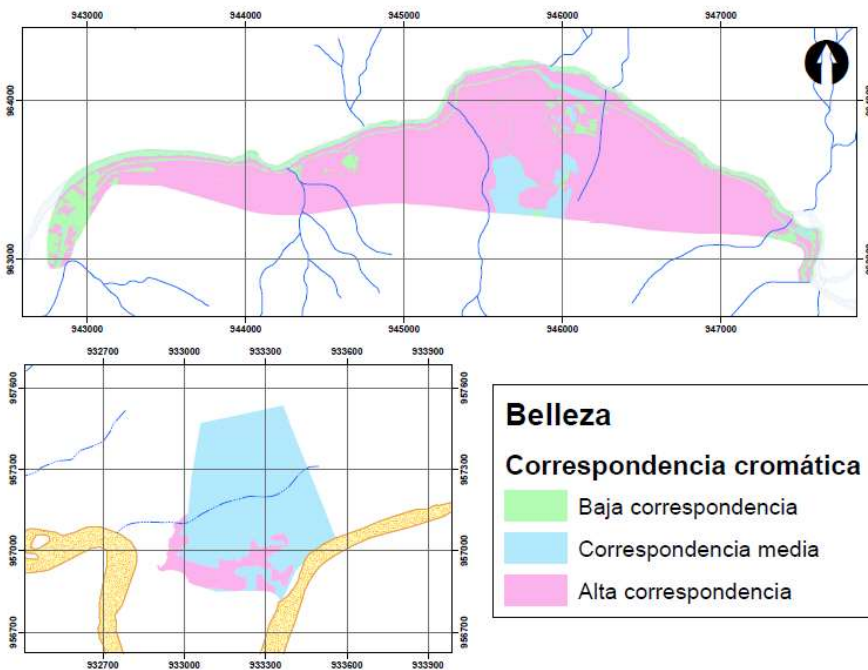
El caso del AID es distinto al presentar en su mayoría superficies con correspondencia cromática media, resultado evidente de la dominancia de las pasturas en ésta área.

Fotografía 49 Pasturas presentes en el área de influencia indirecta.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 48 Correspondencia cromática en el área estudiada.



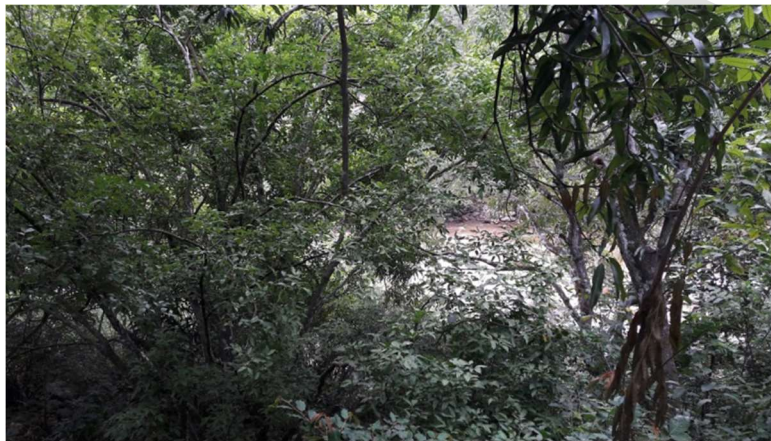
Fuente: INGETEC, 2017

Integridad escénica

La integridad escénica se relaciona con el grado de intervención de las coberturas de la tierra presentes en el área de influencia indirecta. El paisaje actual está dominado por superficies con una integridad escénica alta, aparentemente inalterada, (62.77%), asociado a la presencia de coberturas naturales como los bosques abiertos, bosques de galería, afloramientos rocosos, entre otros (véase Tabla 39, Figura 49 y Fotografía 50).

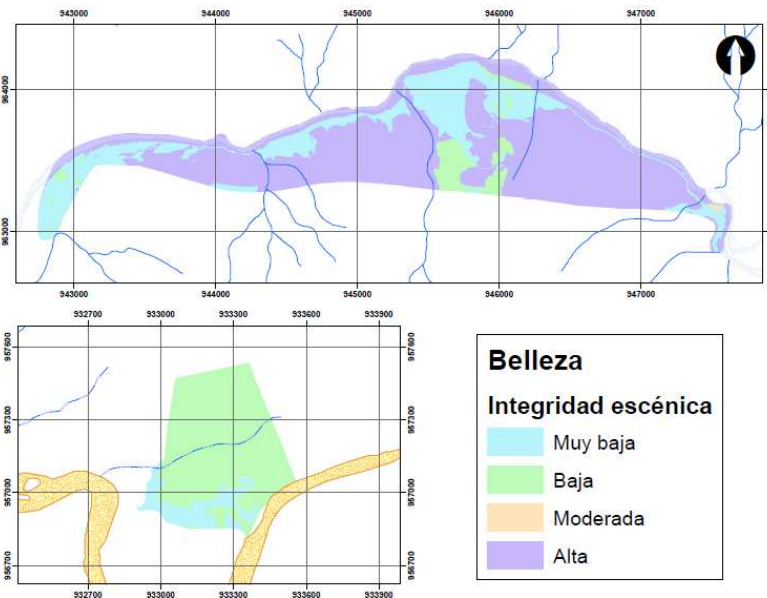
En el área de influencia directa la integridad escénica dominante nuevamente está relacionada con la vocación agrícola del área a intervenir, en este caso domina la integridad baja presente en coberturas moderadamente alteradas, en este caso pasturas (véase Tabla 41).

Fotografía 50 Bosque de galería en el área estudiada con un grado de intervención bajo.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 49 Integridad escénica del área estudiada



Fuente: INGETEC, 2017

Escala Visual

La escala visual es un elemento importante que se relaciona con la posibilidad de los observadores de identificar a diferentes niveles de longitud desde su lugar de observación los elementos que presentan una alta calidad escénica (BLM (U.S.D.I., Bureau of Land Management), 1980). Para identificar las diferentes escalas presentes en el área de influencia biótica se tuvo en cuenta como observadores los elementos antrópicos como construcciones y el tejido urbano.

Para el área de influencia indirecta, se identifica la presencia de tres niveles de escala visual, asociada a los observadores. El plano inmediato corresponde a una distancia que oscila entre los 0 y 100m, el cual ocupa dentro del All una proporción del 34.79% (99.58 ha) (Véase Figura 50, Tabla 39 y Fotografía 51). Desde esta visual es posible observar diversidad de coberturas, tanto naturales como antrópicas que son percibidas de forma adecuada por los observadores del área de estudio. Para esta categoría se destaca principalmente coberturas boscosas.

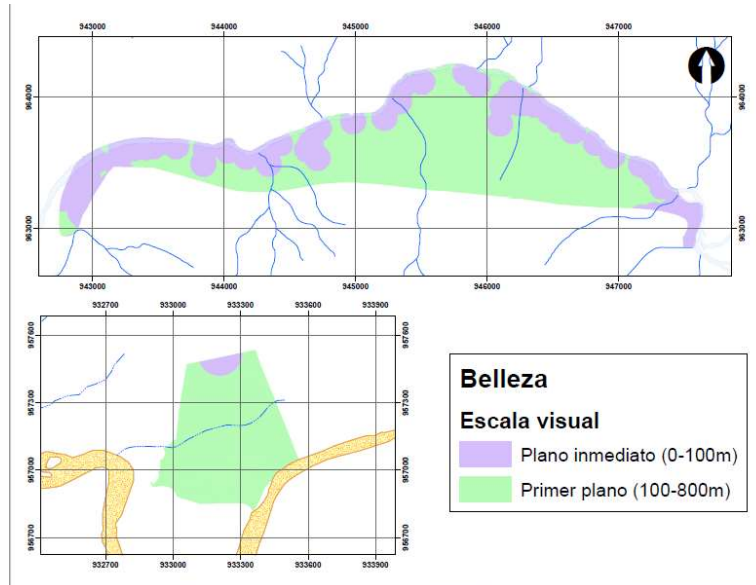
En segundo lugar se encuentra la escala visual del primer plano, la cual se encuentra asociada a distancias que varían entre los 100m y 800m, en esta los observadores pueden visualizar en menor detalle el paisaje cercano notando en mayor detalle la composición general del paisaje, estas superficies en el área de influencia biótica ocupan el 65.21% de la superficie del área de influencia indirecta. En el área de influencia directa la escala visual dominante son los primeros planos (100-800m) (véase Tabla 41)

Fotografía 51 Vista en el área estudiada.



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 50 Escala visual en el área estudiada

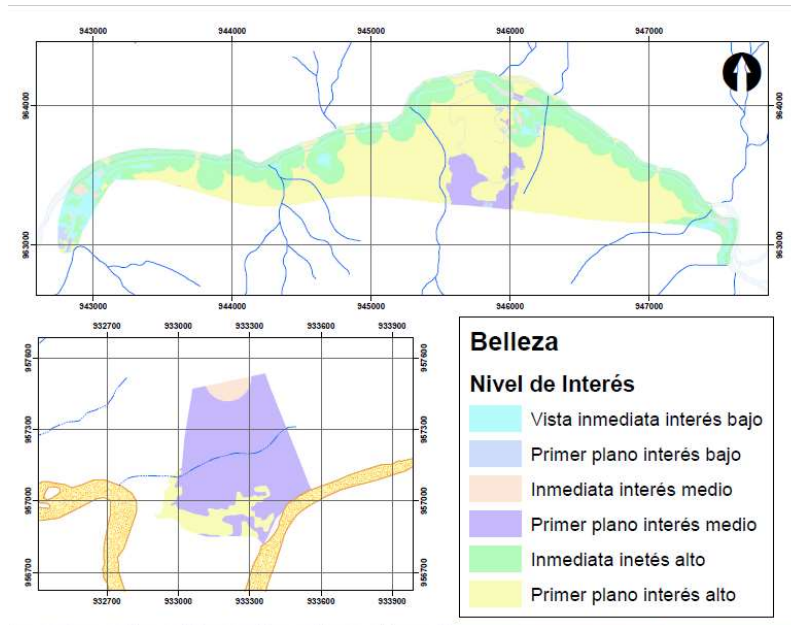


Fuente: INGETEC, 2017

Nivel de interés

El nivel de interés es la suma del atractivo escénico y la escala visual y responde al nivel de interés del observador con respecto al paisaje en los diferentes planos, de acuerdo a las características de las coberturas con relación a su nivel de intervención y singularidad. En el área de influencia indirecta predominan las superficies con un nivel de interés alto con vista en primer plano ocupando el 51.74% de la superficie total (véase Tabla 39 y Figura 51). Mientras que en el área de influencia directa domina la vista primer plano con interés medio en el 56,52% de los casos (véase Tabla 41).

Figura 51 Nivel de interés en el área estudiada.



Fuente: INGETEC, 2017

Tabla 39 Elementos del índice de belleza paisajística en el área de influencia indirecta.

Elemento	Valoración	Superficie (ha)	Proporción (%)
Atractivo escénico	Deteriorado	19,21	6,71
	Común o típico	39,48	13,79
	Singular	227,56	79,50
Subtotal		286,24	100,00
Elementos Discordantes	Alto (> 3 elementos)	1,27	0,44
	Medio (2 elementos)	18,94	6,62
	Bajo (un elemento)	38,47	13,44
	Nulo (no hay elementos discordantes)	227,56	79,50
Subtotal		286,24	100,00
Correspondencia cromática	Alto (alta correspondencia cromática)	209,05	73,04
	Media	38,47	13,44
	Bajo (Baja correspondencia cromática)	38,71	13,52
	Nulo	0,00	0,00
Subtotal		286,24	100,00
Integridad Escénica	Muy baja (muy alterado)	67,10	23,44
	Baja (moderadamente alterada)	39,133	13,67
	Moderada (Levemente alterado)	0,34	0,12
	Alta (parece inalterado)	179,66	62,77

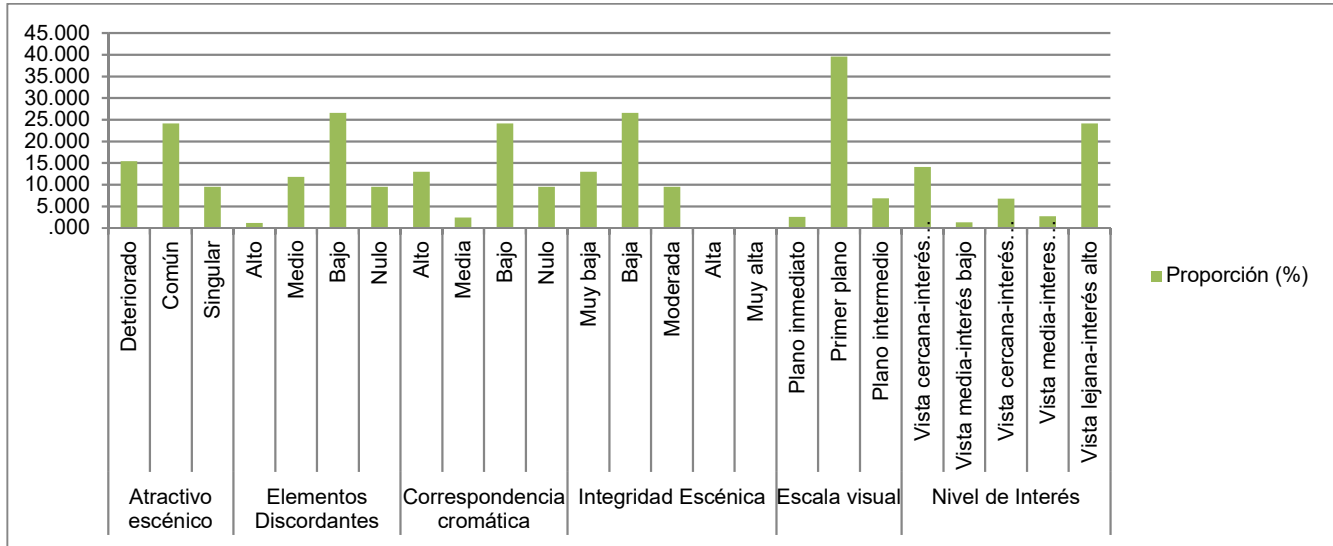
Elemento	Valoración	Superficie (ha)	Proporción (%)
	Muy alta (inalterado)	0,00	0,00
Subtotal		286,24	100,00
Escala visual	Plano inmediato (0 - 100m)	99,58	34,79
	Primer plano (100 - 800m)	186,66	65,21
	Plano intermedio (800 - 6000m)	0,00	0,00
Subtotal		286,24	100,00
Nivel de Interés	Vista inmediata con interés bajo	15,85	5,54
	Vista primer plano con interés bajo	3,35	1,17
	Vista inmediata con interés medio	4,26	1,49
	Vista primer plano con interés medio	35,22	12,30
	Vista inmediata con interés alto	79,47	27,76
	Vista primer plano interés alto	148,09	51,74
Subtotal		286,24	100,00

Fuente: INGETEC, 2017

Clasificación final del índice de belleza paisajística

Actualmente la belleza paisajística predominante es alta y ocupa el 79.49% de la superficie total; mientras que las superficies con una baja belleza paisajística se encuentran representadas por el 6.70% restante (Tabla 40). En el plano G-PAI-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2513-A0 se presenta la distribución del índice de belleza paisajística para la zona evaluada.

Figura 52 Resumen de los elementos evaluados dentro de la belleza paisajística para el área de influencia indirecta.



Fuente: INGETEC, 2017

Tabla 40 Superficie ocupada por la valoración del índice de belleza paisajística en el área de influencia indirecta.

Índice de Belleza	Área (ha)	%
Alto	227,56	79,49925574
Bajo	19,21	6,709596347
Medio	39,48	13,79114791
Total general	286,24	100

Fuente: INGETEC, 2017

Tabla 41 Elementos del índice de belleza paisajística en el área de influencia directa.

Elemento	Valoración	Superficie (ha)	Proporción (%)
Atractivo escénico	Deteriorado	5,08	13,96
	Común o típico	22,37	61,45
	Singular	8,95	24,59
Subtotal		36,41	100,00
Elementos Discordantes	Alto (> 3 elementos)	0,00	0,00
	Medio (2 elementos)	5,10	14,00
	Bajo (un elemento)	22,36	61,41
	Nulo (no hay elementos discordantes)	8,95	24,59
Subtotal		36,41	100,00
Correspondencia cromática	Alto (alta correspondencia cromática)	5,10	14,00

Elemento	Valoración	Superficie (ha)	Proporción (%)
	Media	22,36	61,41
	Bajo (Baja correspondencia cromática)	8,95	24,59
	Nulo	0,00	0,00
Subtotal		36,41	100,00
Integridad Escénica	Muy baja (muy alterado)	10,47	28,77
	Baja (moderadamente alterada)	22,263	61,15
	Moderada (Levemente alterado)	0,11	0,30
	Alta (parece inalterado)	3,56	9,78
	Muy alta (inalterado)	0,00	0,00
Subtotal		36,41	100,00
Escala visual	Plano inmediato (0 - 100m)	13,01	35,74
	Primer plano (100 - 800m)	23,39	64,26
	Plano intermedio (800 - 6000m)	0,00	0,00
Subtotal		36,41	100,00
Nivel de Interés	Vista inmediata con interés bajo	4,68	12,85
	Vista primer plano con interés bajo	0,40	1,11
	Vista inmediata con interés medio	1,80	4,93
	Vista primer plano con interés medio	20,58	56,52
	Vista inmediata con interés alto	6,54	17,96
	Vista primer plano interés alto	2,41	6,63
Subtotal		36,41	100,00

Fuente: INGETEC, 2017

Unidades de paisaje local

A partir de la zonificación de la calidad visual y fragilidad visual del paisaje, para el área de estudio se cuenta con nueve unidades de paisaje, de las cuales se destacan por su tamaño las unidades **Amd** (Calidad visual alta y fragilidad visual media) la cual ocupa el 32 % de la superficie y la unidad **Aal** (Calidad visual alta y fragilidad visual alta) que ocupa una superficie del 39% (Tabla 42).

Las unidades que registran una baja superficie dentro del área de influencia corresponden a **Mal** (Calidad visual media y fragilidad visual alta) y **Bbj** (Calidad visual baja y fragilidad visual baja), correspondiendo a superficies con una calidad visual que por lo general armoniza con el medio, sin dar un valor agregado al paisaje (Tabla 42).

Tabla 42 Superficie ocupada por las unidades de paisaje local

Unidad de paisaje	Descripción	Escenario sin proyecto		Escenario con proyecto	
		Superficie (ha)	Proporción	Superficie (ha)	Proporción
Aal	Calidad visual alta y fragilidad visual alta	924,49	40%	891,27	39%
Amd	Calidad visual alta y fragilidad visual media	792,17	34%	737,17	32%

Unidad de paisaje	Descripción	Escenario sin proyecto		Escenario con proyecto	
		Superficie (ha)	Proporción	Superficie (ha)	Proporción
Abj	Calidad visual alta y fragilidad visual baja	1,37	0%	1,37	0%
Mmd	Calidad visual media y fragilidad visual media	377,16	16%	332,33	14%
Mbj	Calidad visual media y fragilidad visual baja	0,01	0%	0,00	0%
Bal	Calidad visual baja y fragilidad visual alta	52,96	2%	198,05	9%
Bmd	Calidad visual baja y fragilidad visual media	2,05	0%	4,75	0%
Mal	Calidad visual media y fragilidad visual alta	164,07	7%	149,33	6%
Total		2314,28	100%	2314,28	100%

Fuente: INGETEC, 2017.

El área de influencia directa o la zona de obras se ubica sobre las nueve unidades, siendo la unidad **Mbj** (Calidad visual media y fragilidad visual media) aquella que ocupa la mayor superficie con 21,7 ha, seguido por la unidad **Amd** (Calidad visual alta y fragilidad visual media) y **Bmd** (calidad visual baja y fragilidad visual media) cada una con 3,9 ha (Tabla 43). Como se ha mencionado en este aparte, las obras se ubican en zonas con un valor de calidad visual y fragilidad visual medio, donde el porcentaje de intervención a las zonas naturales es moderado, motivo por el cual es posible que el paisaje absorba las modificaciones que se produzcan por el desarrollo del proyecto.

Tabla 43 Unidades de paisaje presentes en el AID

Unidad de paisaje	Descripción	Superficie (ha)	Proporción
Aal	Calidad visual alta y fragilidad visual alta	2,9	8%
Amd	Calidad visual alta y fragilidad visual media	3,9	11%
Abj	Calidad visual alta y fragilidad visual baja	2,3	6%
Mal	Calidad visual media y fragilidad visual baja	0,5	1%
Mmd	Calidad visual media y fragilidad visual media	0,7	2%
Mbj	Calidad visual media y fragilidad visual baja	21,7	60%
Bal	Calidad visual baja y fragilidad visual alta	0,6	2%
Bmd	Calidad visual baja y fragilidad visual media	3,9	11%
Bbj	Calidad visual media y fragilidad visual alta	0,1	0%
Total		36,4	100%

Tamaño de la discordancia

Como se observa en la Tabla 44, el tamaño de la discordancia para el paisaje en el área de influencia es alto en las unidades de paisaje Bal, Bmd, Mal y Bbj con un tamaño de la discordancia de 43% y 89% respectivamente, estas unidades corresponden a superficies con una calidad visual baja y media y una fragilidad visual alta y media, siendo común la presencia de elementos discordantes en unidades que se caracterizan por presentar una mayor grado de intervención y con presencia de elementos artificializados como vías, zonas mineras y zonas industriales.

Tabla 44 Tamaño de la discordancia para el área de influencia

Unidad de paisaje	Superficie (ha)	Proporción (%)	Valoración	Tamaño de la unidad (ha)
Bal	1,3	89%	Alta	1,5
Bmd	10,6	64%	Alta	16,6
Mal	0,6	43%	Alto	1,4
Bbj	0,1	1%	Baja	11,0

Es posible que con la ejecución del proyecto aumente la superficie cubierta por elementos discordantes, motivo por el cual se deberán emplear acciones que mitiguen el aumento de los elementos discordantes en el área de influencia del proyecto.

5.1.3.2.2. Análisis de visibilidad

De acuerdo a los observadores definidos y teniendo en cuenta el relieve del área de influencia, se identifica que es visible el 90% del área de influencia por parte de los observadores, que corresponden a los centros poblados, zonas de paso y viviendas dispersas (Tabla 45). De estas unidades que se observan, es posible observar paisajes que agregan valor al paisaje con una calidad visual alta y una fragilidad visual alta y media producto de la presencia de relieves fuertes con pendientes que superan el 50%.

Tabla 45 Unidades visibles en el área de estudio

Visibilidad	Unidad	Descripción	Área (ha)	Proporción (%)
No visible	Aal	Calidad visual alta y fragilidad visual alta	6,3	2%
	Amd	Calidad visual alta y fragilidad visual media	12,8	4%
	Abj	Calidad visual alta y fragilidad visual baja	1,2	0%
	Mmd	Calidad visual media y fragilidad visual media	7,1	2%
	Mbj	Calidad visual media y fragilidad visual baja	1,4	1%
	Bmd	Calidad visual baja y fragilidad visual media	0,6	0%
Subtotal áreas no visibles			29,4	10%
Visible	Aal	Calidad visual alta y fragilidad visual alta	95,3	33%
	Amd	Calidad visual alta y fragilidad visual media	90,3	32%
	Abj	Calidad visual alta y fragilidad visual baja	22,3	8%
	Mal	Calidad visual media y fragilidad visual baja	1,4	0%
	Mmd	Calidad visual media y fragilidad visual media	3,9	1%
	Mbj	Calidad visual media y fragilidad visual baja	25,8	9%
	Bal	Calidad visual baja y fragilidad visual alta	1,5	1%

Visibilidad	Unidad	Descripción	Área (ha)	Proporción (%)
	Bmd	Calidad visual baja y fragilidad visual media	16,1	6%
	Bbj	Calidad visual media y fragilidad visual alta	0,4	0%
Subtotal áreas visibles			256,9	90%
Total			286,2	100%

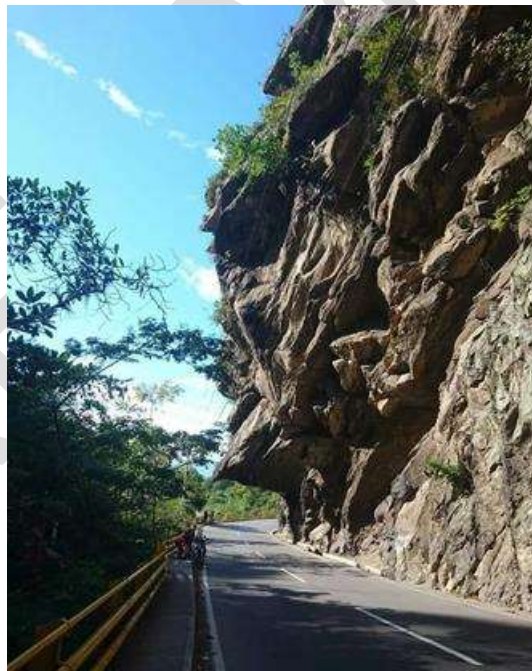
Con respecto a la visibilidad de las obras por parte de los observadores, se evidencia que el 100% de la superficie donde se realizarán las obras es vista por los observadores, efecto causado por las geoformas del área de estudio y el relieve del mismo.

5.1.3.2.3. Sitios de interés paisajístico

Para el área de estudio se reconocen sitios de interés paisajístico que corresponden a la Nariz del diablo y la cascada de la Quebrada la Palmichala, este último es reconocido principalmente por las personas que transitan por esta zona.

La nariz del diablo es una formación rocosa ubicada en la vía Bogotá Girardot, la cual es un atractivo turístico y punto de referencia, alrededor de este lugar se han forjado leyendas con relación a su formación motivo por el cual es valorada por los habitantes y transeúntes de la zona.

Fotografía 52 Sitio Turístico la Nariz del diablo



Fuente INGETEC, 2017

La cascada de la Quebrada Palmichala ubicada al borde de la vía, es un atractivo turístico para los viajeros pues conjuga la variación en el relieve, la presencia de un cuerpo de agua y la forma como se relaciona con el paisaje transformado (Fotografía 53).

Fotografía 53 Cascada de la Quebrada la Palmichala



5.1.4. Suelos y uso de la tierra

El suelo es un recurso natural esencial que cumple funciones fundamentales dentro de los ecosistemas; es el elemento integrador entre las distintas esferas del planeta (pedósfera, hidrósfera, atmósfera, geósfera, biósfera) y constituye además, medio para el crecimiento de plantas naturales y cultivadas, filtro natural para el agua superficial y subterránea, sitio de ciclaje de nutrientes, descomposición de residuos orgánicos, productor y almacenador de gases y hábitat de una variada biodiversidad, entre otros (IGAC, 2003).

La investigación en la ciencia del suelo se fundamenta en la comprensión de la naturaleza, propiedades, dinámicas y funciones del suelo como parte del paisaje y los ecosistemas, a partir de la disponibilidad de información confiable sobre la morfología de los suelos y otras características obtenidas a través del estudio y la descripción del suelo en el campo (FAO, 2009). Para este capítulo, el suelo, es un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, que ocupa un espacio, y que se caracteriza por horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o por la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural (USDA, 2010).

5.1.4.1. Ambientes edafogenéticos

Los ambientes edafogenéticos se refieren a áreas en las que coinciden la posición geomorfológica (paisaje y tipo de relieve), la litología (material parental) y el clima ambiental; por lo tanto, las poblaciones de suelos que allí se han generado presentan un grado relativo de similitud, facilitando la interpretación, tanto de su capacidad de uso y manejo, como de su vulnerabilidad ante la acción de los factores ambientales y la actividad antrópica; su identificación y análisis, resulta entonces muy útil, en el caso del presente estudio, para identificar los impactos del proyecto en el área de influencia y para conocer las limitaciones del medio edáfico para la construcción y el mantenimiento de la obra vial proyectada. “Los suelos en consecuencia, no pueden explicarse ni entenderse independientemente del ambiente en que se forman, ni de las dimensiones temporal y espacial” (Malagón Castro, 1998, pág. 14).

La delimitación y caracterización de los suelos es un proceso donde se determinan los factores y procesos de formación de los mismos, referidos al material parental, los cambios en el relieve, las variaciones climáticas y la erosión; en aras de conocer aspectos importantes de la física de suelos como son el régimen de agua, aire y temperatura, los procesos de floculación-dispersión de los coloides del suelo, la retención y el movimiento de agua, la formación de la estructura y la distribución del espacio poroso y con el fin de separar en unidades de suelo con características homogéneas. El conocimiento y la descripción de dichas características del suelo son

fundamentales para llevar a cabo el Ordenamiento Territorial de los recursos naturales en el país. A partir de éstas, se desarrollan diversas técnicas de caracterización que permiten adecuar las condiciones del suelo, importantes para el crecimiento de las plantas, la sostenibilidad del mismo y las actividades asociadas al manejo de suelos agrícolas para determinada área de estudio (Valenzuela & Torrente, 2010).

Para el área de estudio, la delimitación y caracterización (ver Figura 54) permite determinar las características de los suelos y del entorno, basados en las observaciones realizadas directamente en campo y tomando como referencia los Estudios Generales de Suelos y Zonificación de Tierras de los Departamentos de Tolima (IGAC, 2004) y Cundinamarca (IGAC, 2000). La descripción de suelos se hace de acuerdo con los tipos de relieve presentes en los paisajes de montaña y valle aluvial, los que se caracterizan por tener condiciones similares en cuanto a clima, topografía y materiales parentales; la potencialidad de los suelos se determina en función de la capacidad de uso de las tierras, para el establecimiento de un uso adecuado a través de las limitaciones pedogenéticas observadas en campo y se hace una agrupación de las unidades cartográficas de suelo según su uso y manejo, ubicándolas en clases, a un nivel categórico de subfases, definido por el Sistema de Clasificación Taxonómico Internacional.

La descripción edafológica que se presenta a continuación, se centra en aquellos suelos susceptibles de intervención en el desarrollo de las actividades propias para la construcción, operación y mantenimiento de la ampliación del tercer carril en la doble calzada Bogotá – Girardot. Es necesario conocer el mosaico edáfico del sector en términos de las clases de suelos presentes, agrupadas éstas en unidades de mapeo propias de una carta agrológica de escala grande. Gracias a la información cartográfica, el usuario del estudio de suelos obtiene información básica sobre el recurso para visualizar con facilidad la edafodiversidad, la vocación de las tierras y la vulnerabilidad que éstas presentan no solo ante la acción de los factores atmosféricos, sino ante las alteraciones del suelo que puedan derivarse del Proyecto vial.

5.1.4.2. Descripción edafológica de los Suelos en las Áreas de influencia

Para la realización del presente estudio, la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales (MAVDT, 2010) presenta parámetros establecidos por los diferentes institutos y entidades oficiales que tienen por función la generación, administración y análisis de información, que para el caso del componente de edafológico, se basa principalmente en la utilización de la metodología ofrecida y definida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2010), la cual se formuló siguiendo el Sistema Taxonómico Americano (Soils Taxonomy, 1990), actualizado a 2010 (USDA, 2010).

De igual forma, y como consulta base para la caracterización de los suelos en el presente estudio, se tiene en cuenta los Estudios Generales de Suelos y zonificación de tierras de los Departamentos del Tolima (IGAC, 2004) y Cundinamarca (IGAC, 2000), para determinar la relación fisiografía-suelo con los elementos ambientales que participan en esta relación, de tal forma que la descripción de suelos se realiza de acuerdo con los tipos de relieve presentes en cada paisaje, los que se caracterizan por tener condiciones similares en cuanto a clima, topografía y materiales parentales. La caracterización se complementa además con la descripción de perfiles del suelo, pruebas de infiltración y toma de muestras de suelos y sus respectivos análisis de laboratorio, como se describe más adelante en el documento. La revisión de información secundaria permite tener una visión general del nivel de detalle en la información regional generada por las instituciones en los temas de interés para el proyecto como es el caso de los componentes: suelos, fisiografía, geomorfología, aptitud y uso de los suelos, así como del manejo técnico propuesto para el recurso.

El desarrollo metodológico para la descripción de unidades cartográficas de suelos, inicia con el recorrido general por la zona de estudio, para corroborar las geoformas a nivel local y producir el mapa preliminar de suelos; es así como en primera instancia, se registran las apreciaciones de fácil observación de los horizontes superficiales o subsuperficiales del suelo, al igual que se observa la cobertura vegetal, uso actual de la tierra y la naturaleza del material parental existente.

El reconocimiento de campo considera el conjunto de actividades realizadas por el profesional de suelos en el área de estudio, entre las cuales figuran: el reconocimiento preliminar del área, el levantamiento de información edafológica, descripción detallada de los suelos en calicatas o perfiles expuestos, el ajuste del mapa de

unidades de fisiografía y suelo y elaboración de la leyenda de suelos. El trabajo de campo se planifica considerando el mapa preliminar de unidades geomorfológicas para el área de estudio. Se procede a la planificación y desarrollo del trabajo así:

- Determinación de puntos de muestreo teniendo en cuenta una ubicación cercana a las áreas de intervención proyectadas.
- Para llevar a cabo la descripción de perfiles de suelo y el proceso de toma de muestras (para realizar el análisis de propiedades fisicoquímicas), se llevó a cabo la construcción de calicatas, que permiten realizar la descripción de los perfiles del suelo en su estado natural. Se excavan las calicatas con paredes rectas a una profundidad alrededor de 1,2 m.
- En los puntos seleccionados, se realizó la descripción del perfil de suelo (ver Fotografía 54) para validar o modificar la información secundaria según los hallazgos para la unidad cartográfica de suelos.
- En un punto contiguo al seleccionado para la descripción del perfil de suelo, se realizó prueba de infiltración para la determinación de la velocidad de infiltración del agua a través del perfil del suelo (ver Fotografía 55).
- Se realiza la toma de muestras en los 3 primeros horizontes identificados en el perfil, para realizar los respectivos análisis fisicoquímicos en laboratorio.

Fotografía 54 Descripción de perfil en PS-7
Coordenadas E: 933.251, N: 957.306; altitud: 292 m



Fuente: INGETEC, 2017

Fotografía 55 Prueba de infiltración en PS-2
Coordenadas E: 933.251, N: 957.306; altitud: 292 m



Fuente: INGETEC, 2017

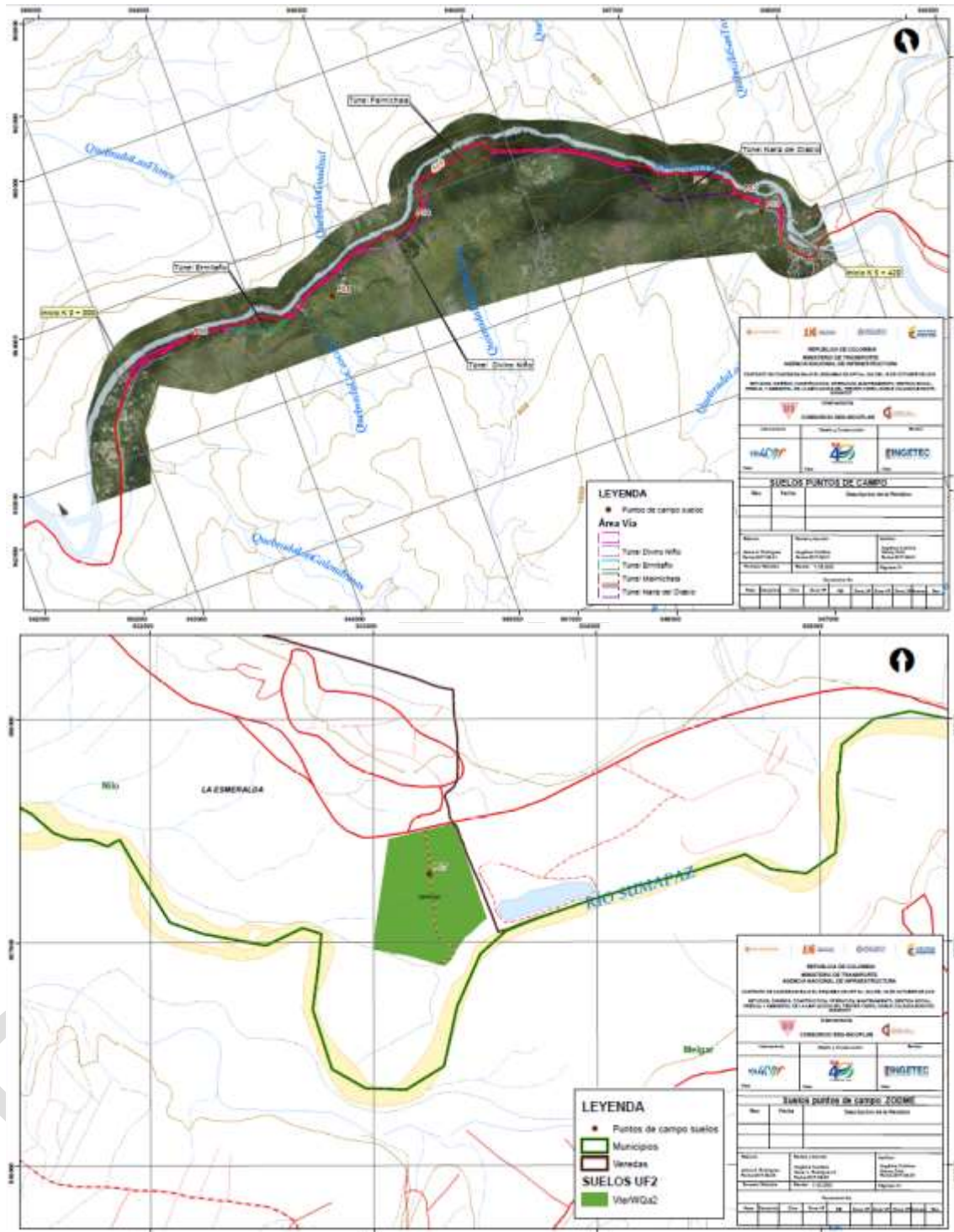
La determinación de los puntos de monitoreo se realiza teniendo en cuenta las unidades de suelos que, de acuerdo a los requerimientos propios del proyecto, podrían ser susceptibles de intervención. En la Tabla 46 y Figura 53, se presentan los 7 puntos de monitoreo de suelos donde se realizó la descripción de perfiles, las respectivas pruebas de infiltración y la toma de muestras para análisis fisicoquímicos en laboratorio, todos con sus respectivas coordenadas, incluyendo las correspondientes unidades de suelo determinadas en el área estudio.

Tabla 46 Coordenadas sitios de descripción y monitoreo de suelos

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO	UNIDAD DE SUELO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTA	
		ESTE	NORTE
PS-1	MclcWAe3	947.459	963.107
PS-2	MlesWAg2	947.351	963.256
PS-3	MclcWAg2	947.084	963.512
PS-4	MsieWaf2	945.225	963.859
PS-5	MlaoWaf2	944.541	963.558
PS-6	MlpdVAg2	943.538	963.620
PS-7	VterWQa2	933.251	957.306

Fuente: INGETEC, 2017

Figura 53 Puntos de muestreo de suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



Fuente: INGETEC, 2017

5.1.4.2.1. Determinación geomorfológica

El objetivo de la determinación geomorfológica es a partir de información concisa y sistemática sobre las formas, los procesos de formación y los fenómenos naturales referentes al terreno, relacionar tanto la expresión geomorfológica como las condiciones ambientales dominantes como suelos, hidrología y vegetación, entre otros y estos generan una dinámica de procesos que permite la configuración de diferentes tipos de paisajes, los cuales conforman el modelado terrestre. Considerando lo anterior, y para los propósitos del presente estudio, la clasificación de unidades cartográficas de suelos en el área de estudio se realiza teniendo en cuenta lo propuesto en el libro “Geopedología, elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales” de Alfred Zinck (Zinck, 2012); Por lo tanto, la nomenclatura de las unidades de suelos se construye por medio de: un índice en letra mayúscula, que representa el tipo de paisaje, seguido de tres letras minúsculas, para referirse a tipo de relieve, dos índices en mayúscula para clima y tipo de suelo, caracterizado previamente en los Estudios de suelos del IGAC y determinado en campo de acuerdo a la geomorfología; finalmente están acompañados por subíndices, alfanuméricos, que indican respectivamente rangos de pendiente y erosión predominante. (Ver Tabla 47).

Tabla 47 Nomenclatura Unidades Cartográficas de Suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot

Símbolos Unidades De Suelos	Descripción
Letra Mayúscula empleada para Paisaje	
M	Montaña
V	Valle
Letras Minúsculas empleadas para Tipo de relieve	
clc	Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión
lcp	Ladera contrapendiente
les	Ladera estructural
lao	Ladera ondulada
lpd	Lomeríos poco disectados
sie	Sierra de barras estructurales
	Sierra homoclinal
ter	Terraza
	Terraza de acumulación
	Terraza de acumulación antigua
Letra Mayúscula empleada para Clima	
V	Cálido, húmedo
W	Cálido, seco
Letra Mayúscula empleada para suelos	
A y Q	Contenido pedológico
Letra Minúscula para las fases de pendientes	
a	Pendiente 0-3%, relieve plano o ligeramente plano.
b	Pendiente 3-7%, relieve ligeramente inclinado.
e	Pendiente 25-50%, relieve ligeramente escarpado
f	Pendiente 50-75%, relieve moderadamente escarpado
g	Pendiente >75%, relieve fuertemente escarpado

Símbolos Unidades De Suelos	Descripción
Número para las fases de erosión superficial	
2	Moderada
3	Severa
4	Muy severa

Fuente: Zinck, 2012, IGAC, 2000 e IGAC, 2004

5.1.4.2.2. Caracterización agrológica de las unidades de suelo presentes en el área de estudio

La descripción de suelos, incluyendo los procesos geomorfológicos dominantes y unidad taxonómica se presentan en la Tabla 48; Desde el punto de vista fisiográfico, en el área de estudio se reconocen dos (2) paisajes: Montaña con los tipos de relieve: Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (clc), Ladera contrapendiente (lcp), Ladera estructural (les), Ladera ondulada (lao), Lomeríos poco disectados (lpd), Sierra de barras estructurales (sie) y Sierra homoclinal (sie); y Valle con los relieves: Terraza (ter), Terraza de acumulación (ter) y Terraza de acumulación antigua (ter). Las unidades de suelos estudiadas se encuentran distribuidas en las unidades climáticas Cálido, seco (W) y Cálido, húmedo (V), así como en la zona de vida Bosque seco tropical (bs-T). En el área estudiada se evidencia que la mayoría de la zona corresponde a suelo de paisaje de Montaña (71%) y una pequeña proporción corresponde a paisaje de valle, incluyendo el área destinada para la adecuación del ZODME (10%). En el Figura 54 puede observarse la localización espacial de las unidades de suelo en el área analizada dentro del presente EIA.

La descripción de las unidades cartográficas y de sus componentes taxonómicos se hace siguiendo como guía la leyenda del Mapa de Suelos de los estudios realizados por el IGAC, teniendo como referencia de ubicación de los suelos las unidades de paisaje, tipo de relieve, forma del terreno y la unidad geomorfológica correspondiente.

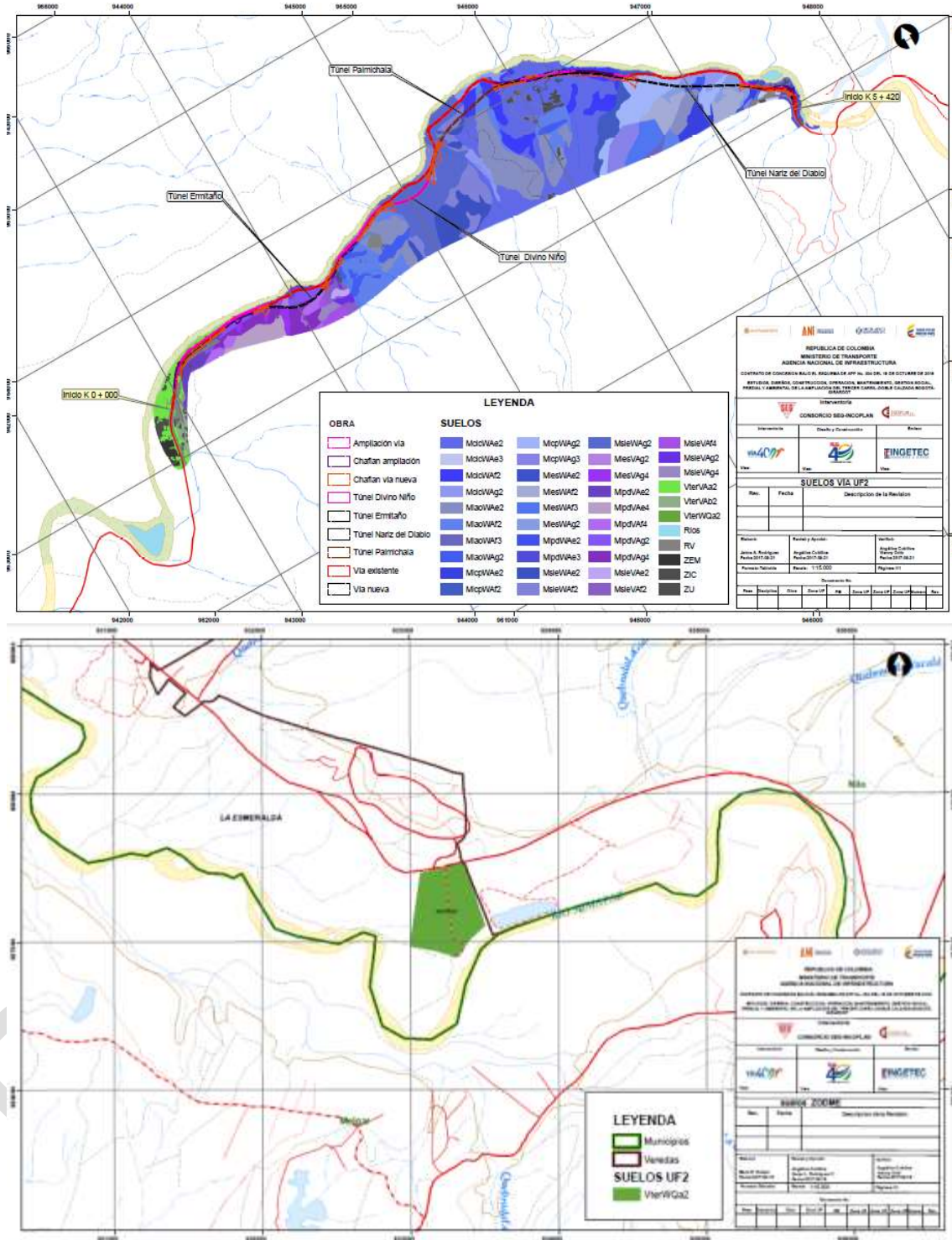
Tabla 48 Nomenclatura Unidades Cartográficas de Suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot

Paisaje y clima ambiental	Tipos de relieve	Litología / Sedimentos	Unidades cartográficas y componentes	Símbolo	Área (ha)	%
Montaña Cálido, seco	Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción	Depósitos coluviales. Areniscas intercaladas con arcillolitas	Asociación <i>Lithic Ustorthents</i> (50%) <i>Typic Ustorthents</i> (30%)	MclcWAe2	41,0	13,7
				MclcWAe3	0,5	0,2
				MclcWaf2	11,7	3,9
				MclcWAg2	5,2	1,7
	Ladera contrapendiente			MlcpWAe2	3,8	1,3
				MlcpWaf2	5,4	1,8
				MlcpWAg2	11,1	3,7
	Ladera estructural			MlcpWAg3	4,3	1,4
				MlesWAe2	0,3	0,1
	Ladera ondulada			MlesWaf2	6,8	2,3
				MlesWaf3	4,3	1,4
				MlesWAg2	3,1	1,0
				MlaoWAe2	25,6	8,6
				MlaoWaf2	16,2	5,4
				MlaoWaf3	0,6	0,2
				MlaoWAg2	5,8	1,9
	Lomeríos poco disectados			MlpdWAe2	0,6	0,2
MlpdWAe3		1,0	0,3			
Sierra homoclinal	MsieWAe2	8,8	2,9			
	MsieWaf2	9,6	3,2			
	MsieWAg2	20,1	6,7			
Características de los suelos M_WA		Muy superficiales, excesivamente drenados, de texturas gruesas y medias, reacción neutra, pobres en materia orgánica y fertilidad muy baja; pendientes de ligera a fuertemente escarpadas, con afloramientos rocosos y erosión moderada a severa.				
Montaña Cálido, húmedo	Ladera estructural	Areniscas y arcillolitas	Asociación <i>Typic Troporthents</i> (40%) <i>Lithic Troporthents</i> (40%) <i>Typic Dystropepts</i> (20%)	MlesVAg2	0,3	0,1
				MlesVAg4	1,3	0,4
	Lomeríos poco disectados			MlpdVAe2	4,1	1,4
				MlpdVAe4	4,1	1,4
				MlpdVaf4	2,7	0,9
MlpdVAg2	3,0	1,0				

Paisaje y clima ambiental	Tipos de relieve	Litología / Sedimentos	Unidades cartográficas y componentes	Símbolo	Área (ha)	%
	Sierra de barras estructurales			MlpdVAg4	5,8	1,9
				MsieVAe2	0,9	0,3
				MsieVAf2	1,6	0,5
				MsieVAf4	1,5	0,5
				MsieVAg2	0,9	0,3
				MsieVAg4	0,9	0,3
Características de los suelos M_VA		Superficiales a moderadamente profundos, de texturas finas, medias y gruesas; ácidos bajos en materia orgánica y de fertilidad baja; Relieve ligera a fuertemente escarpado, erosión moderada a muy severa.				
Valle Cálido, seco	Terraza	Depósitos clásticos hidrogénicos	Complejo <i>Typic Haplustepts</i> (35%) <i>Mollic Ustifluvents</i> (35%) <i>Aridic Haplustepts</i> (30%)	VterWQa2	23,0	7,7
Características de los suelos V_WQ		Profundos, bien a moderadamente bien drenados, de texturas finas a gruesas, reacción medianamente ácida a neutra y fertilidad moderada a alta; relieve ligeramente plano, erosión moderada.				
Valle Cálido, húmedo	Terraza de acumulación	Aluviones finos y medios	Consociación <i>Typic Ustropepts</i> (60%)	VterVAa2	5,8	2,0
	Terraza de acumulación antigua			VterVAb2	1,4	0,5
Características de los suelos V_VA		Moderadamente profundos y profundos, bien drenados, de texturas finas y medianas, ligeramente ácidos a neutros; de contenido bajo en materia orgánica y de fertilidad moderada; Relieve plano a fuertemente inclinado y fuertemente ondulado, erosión moderada.				
Otras Áreas	Ríos (50 m)				38,7	13,0
	Zonas urbanas				4,3	1,4
	Zonas industriales o comerciales				0,1	0,0
	Red vial y territorios asociados				11,3	3,8
	Zonas de extracción minera				1,2	0,4
TOTAL					298,34	100

Fuente: INGETEC, 2017

Figura 54 Mapa de suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



Fuente: Elaboración INGETEC, 2017 con información IGAC, 2000 e IGAC, 2004

A continuación se presentan las descripciones de las unidades cartográficas identificadas en el área de influencia de la Unidad Funcional 2, para la ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot.

- Suelos del paisaje de montaña en clima cálido, seco

En el AI del componente físico, este paisaje de montaña se ubica en la mayor parte del área de estudio y comprende los tipos de relieve de Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión, Ladera contrapendiente, Ladera estructural, Ladera ondulada, Lomeríos poco disectados, Sierra de barras estructurales y Sierra homoclinal, que se encuentran en altitudes inferiores a 1000 m y que por lo general se presentan formando cañones de taludes fuertemente escarpados. Es un paisaje seco con precipitaciones de 1500 a 2000 mm y con temperaturas promedio mayores de 24 °C, por lo que se registra alta evapotranspiración.

En el área de influencia del componente físico, se han delimitado 21 subfases de la unidad cartográfica denominada “MWA”, de acuerdo a las variaciones de los tipos de relieve, pendiente predominante y erosión superficial, las cuales se describen a continuación:

Suelos de Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión, Ladera contrapendiente, Ladera estructural, Ladera ondulada, Lomeríos poco disectados y Sierra homoclinal con litología sedimentaria en clima Cálido, seco (MWA).

En el área de estudio, los suelos pertenecientes a esta unidad cartográfica se localizan en alturas entre los 400 y 800 m. El clima ambiental es cálido y seco; con temperaturas mayores a 24 °C y precipitaciones promedio anual entre 1500 y 2000 mm. Se ubican en el costado oriental de área de estudio en jurisdicción de los municipio de Icononzo y Melgar.

En general, la gran mayoría de la unidad se caracteriza por sus relieves muy inclinados y escarpados. Los suelos se han desarrollado sobre materiales sedimentarios de areniscas y arcillolitas, están afectados de erosión hídrica laminar en grado moderado y severo.

En la zona de estudio, son suelos muy superficiales, excesivamente drenados, de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesa, reacción de ligeramente alcalina a fuertemente acida, contenidos medios y bajos de materia orgánica y de fertilidad media a alta. Las sequías, las pendientes fuertes y la erosión, representan los principales limitantes para el uso agro productivo de estas tierras.

La unidad es una asociación integrada por los suelos *Lithic Ustorthents* en un 50% y *Typic Ustorthents* en un 30%, con inclusiones de afloramientos rocosos (no suelo), en un 20% (ver Fotografía 56).

Fotografía 56 Tipo de relieve Sierra homoclinal, se observan rocas y piedras en gran parte de la superficie. Unidad MsieWaf2. Vereda Tokio, Municipio de Melgar



Fuente: INGETEC, 2017

En las zonas con menor pendiente se ubican los Suelos *Typic Ustorthents*, son bien a excesivamente drenados, derivados de areniscas y de poco desarrollo pedogenético; son superficiales, limitados por abundante cantidad de gravilla, cascajo y piedra. Químicamente presentan reacción ligera y fuertemente ácida, capacidad catiónica de cambio baja a media, porcentajes de saturación de bases altos, materia orgánica media, fósforo disponible para las plantas alto y medio. Su fertilidad es alta. Las pendientes pronunciadas y la susceptibilidad a la erosión constituyen los principales limitantes de uso.

En las áreas de mayor pendiente, se localizan los suelos *Lithic Ustorthents*, son poco evolucionados, excesivamente drenados y superficiales, limitados por la roca de arenisca dura y coherente que se encuentra a menos de 50 cm. Químicamente presentan reacción ligeramente alcalina a neutra, capacidad catiónica de cambio media, bases totales altas, materia orgánica media a alta, fósforo disponible para las plantas alto y fertilidad muy alta. La pendiente pronunciada, la susceptibilidad a la erosión y la superficialidad de los suelos, se constituyen en los principales limitantes de uso.

De acuerdo con las pendientes y grado de erosión superficial, se delimitaron las siguientes fases:

- MlcWAe2: Cono y lóbulo coluvial, relieve ligeramente escarpado y erosión moderada
- MlcWAe3: Cono y lóbulo coluvial, relieve ligeramente escarpado y erosión severa (ver Fotografía 57 y Tabla 49).
- MlcWaf2: Cono y lóbulo coluvial, relieve moderadamente escarpado y erosión moderada
- MlcWAg2: Cono y lóbulo coluvial, relieve fuertemente escarpado y erosión moderada (ver Fotografía 59 y Tabla 51).
- MlaoWAe2: Ladera ondulada, relieve ligeramente escarpado y erosión moderada
- MlaoWaf2: Ladera ondulada, relieve moderadamente escarpado y erosión moderada (ver Fotografía 60 y Tabla 52 Tabla)
- MlaoWaf3: Ladera ondulada, relieve moderadamente escarpado y erosión severa
- MlaoWAg2: Ladera ondulada, relieve fuertemente escarpado y erosión moderada
- MlcpWAe2: Ladera contrapendiente, relieve ligeramente escarpado y erosión moderada
- MlcpWaf2: Ladera contrapendiente, moderadamente escarpado y erosión moderada
- MlcpWAg2: Ladera contrapendiente, relieve fuertemente escarpado y erosión moderada
- MlcpWAg3: Ladera contrapendiente, relieve fuertemente escarpado y erosión severa
- MlesWAe2: Ladera estructural, relieve ligeramente escarpado y erosión moderada
- MlesWaf2: Ladera estructural, relieve moderadamente escarpado y erosión moderada
- MlesWaf3: Ladera estructural, relieve moderadamente escarpado y erosión severa
- MlesWAg2: Ladera estructural, relieve fuertemente escarpado y erosión moderada (ver Fotografía 58 y Tabla 52)
- MlpdWAe2: Lomeríos poco disectados, relieve ligeramente escarpado y erosión moderada
- MlpdWAe3: Lomeríos poco disectados, relieve ligeramente escarpado y erosión severa
- MsieWAe2: Sierra homoclinal, relieve ligeramente escarpado y erosión moderada
- MsieWaf2: Sierra homoclinal, relieve moderadamente escarpado y erosión moderada (ver Fotografía 61 y Tabla 53)
- MsieWAg2: Sierra homoclinal, relieve fuertemente escarpado y erosión moderada

Fotografía 57 Perfil en PS-1. Suelo de Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión, en Clima Cálido, seco



Fuente: INGETEC, 2017

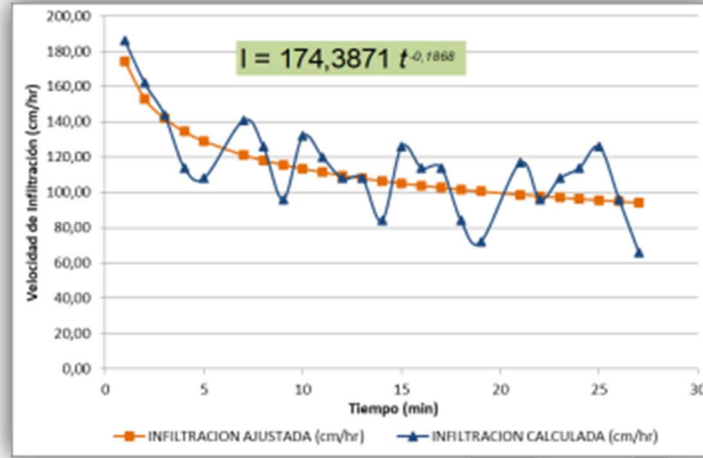
Tabla 49 Información Tomada del Perfil PS-1, descrito en Campo

UBICACIÓN PS-1					
Departamento	Tolima	Municipio	Icononzo	Vereda	Boquerón
Altitud	473 m		Fecha	29/07/2017	
Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			Este	947.459	
			Norte	963.107	
DATOS DE CAMPO					
Símbolo UCS	MclcWAe3	Paisaje	Montaña	Tipo de Relieve	Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión
Clima	Cálido, seco	Pendiente (%)	25 – 50 %	Erosión	Severa
Afloramientos rocosos (%)	20 %	Pedregosidad superficial	Si (10%)	Profundidad efectiva	Muy superficial
Drenaje natural	Excesivamente drenado	Nivel freático	No se encontró	Inundabilidad	No
Limitantes de uso	Escasas precipitaciones	Cobertura vegetal	Bosque abierto	Uso actual	Sistemas forestales protectores
PROPIEDADES FISICAS					
Horizonte	A		C1	C2	
Profundidad (cm)	0 -13		13 - 50	50 - 170	
Limites	Claro plano			Difuso irregular	
Color en húmedo	10 YR 4/3 Pardo amarillento mate		10 YR 5/4 Pardo amarillento mate	10 YR 6/6 Pardo amarillento brillante	
Textura	Franco arenosa		Franca	Arcillosa	
Estructura	Bloques subangulares		Bloques subangulares	Bloques subangulares	
Macroorganismos	Si		Si	No	
Raicillas	Abundantes		Pocas	Muy pocas	

UBICACIÓN PS-1					
Departamento	Tolima	Municipio	Icononzo	Vereda	Boquerón
Altitud	473 m		Fecha	29/07/2017	
PROPIEDADES QUÍMICAS					
pH	5,1 Fuertemente ácido	5,1 Fuertemente ácido	5,1 Muy fuertemente ácido		
Reactividad HCL	Nula	Nula	Nula		
Reactividad H ₂ O ₂	Moderada	Leve	Leve		
Reactividad NaF	Nula	Nula	Muy leve		
OBSERVACIONES PS-1					
Taxonomía: <i>Typic Ustorthents</i>					
Unidad cartográfica: Asociación <i>LITHIC USTORTHENTS - TYPIC USTORTHENTS</i>					
Material parental: Depósitos coluviales. Areniscas intercaladas con arcillolitas					
Relieve: ligeramente escarpado; pendiente 25-50%					
Zona de vida: Bosque seco tropical (bs-T)					
Régimen climático del suelo: ústico, isohipertérmico					
Horizontes diagnóstico: epipedón ócrico					
Ubicado aproximadamente 120 m de la salida oriental del túnel actual. Muy difícil penetración durante la construcción de la calicata. Reacción nula a HCl y moderada a leve para H ₂ O ₂ , a lo largo del perfil.					
Horizonte A: Abundante cantidad de raíces medias y finas; se evidencia actividad de macroorganismos. Cascajo (2 – 8 cm) en aproximadamente 10% del horizonte Textura Franco arenosa y estructura moderada en bloques subangulares finos, ligeramente pegajosa y no plástica en mojado; firme en húmedo y dura en seco. Reacción fuertemente ácida.					
Horizonte C1: El cambio desde el horizonte superior es claro y plano, con un tenue cambio de color, aumento en la resistencia a la penetración y aumento en el contenido de cascajo (20%). Textura franca; estructura fuerte en bloques subangulares finos; consistencia en húmedo muy firme, en mojado ligeramente pegajoso y plástico, en seco moderadamente dura; pocas raíces finas y muy finas; se evidencia baja actividad de macroorganismos; reacción fuertemente ácida.					
Horizonte C2: El límite desde el horizonte superior es difuso e irregular, con incremento en el contenido de cascajo (30%) y presencia de piedra de mayor tamaño (>50 cm) en alrededor del 15% del horizonte; textura arcillosa; estructura fuerte en bloques subangulares, medios; consistencia en seco dura, en húmedo friable y en mojado pegajosa y plástica; reacción Muy fuertemente ácida; sin actividad de macroorganismos; muy pocas raicillas muy finas. Presenta concreciones férricas de muy finas (20%) color naranja (7.5 YR 6/8).					

UBICACIÓN PS-1

Departamento	Tolima	Municipio	Icononzo	Vereda	Boquerón
Altitud	473 m		Fecha	29/07/2017	



Infiltración Básica: 94,90 cm/hr - Muy rápida
 Fuente: INGETEC, 2017 e IGAC, 2004

PRELIMINAR

Fotografía 58 Perfil en PS-2. Suelo de Ladera estructural en Clima Cálido, seco



Fuente: INGETEC, 2017

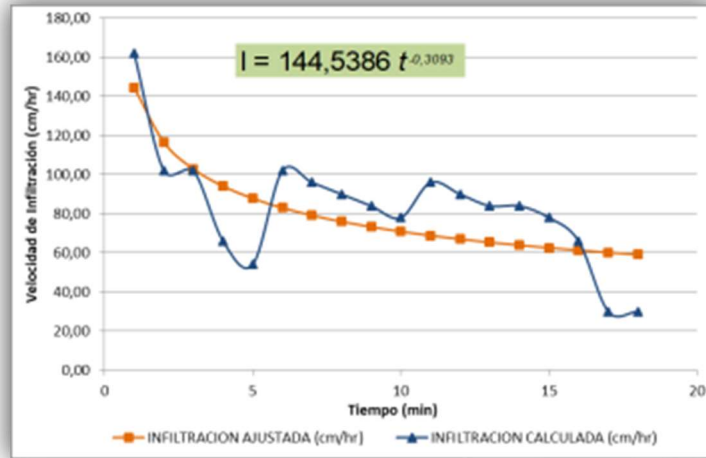
Tabla 50 Información Tomada del Perfil PS-2, descrito en Campo

UBICACIÓN PS-2					
Departamento	Tolima	Municipio	Icononzo	Vereda	Boquerón
Altitud	475 m		Fecha	29/07/2017	
Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			Este	947.351	
			Norte	963.256	
DATOS DE CAMPO					
Símbolo UCS	MlesWAg2	Paisaje	Montaña	Tipo de Relieve	Ladera estructural
Clima	Cálido, seco	Pendiente (%)	>75%	Erosión	Moderada
Afloramientos rocosos (%)	40 – 50 %	Pedregosidad superficial	Si 50 %	Profundidad efectiva	Muy superficial
Drenaje natural	Excesivamente drenado	Nivel freático	No se encontró	Inundabilidad	No
Limitantes de uso	Fuertes pendientes y escasa precipitación	Cobertura vegetal	Bosque abierto	Uso actual	Sistemas forestales protectores
PROPIEDADES FISICAS					
Horizonte	A		C1	C2	
Profundidad (cm)	0 - 10		10 - 70	70 - 125	
Limites	Difuso irregular			Gradual irregular	
Color en húmedo	10 YR 3/3 Pardo oscuro		7.5 YR 5/4 Pardo mate	10 YR 5/4 Pardo amarillento mate	
Textura	Franco arcillo arenosa		Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	
Estructura	Granular		Granular	Granular	
Macroorganismos	Si		Si	No	
Raicillas	Abundantes		Frecuentes	Pocas	

UBICACIÓN PS-2					
Departamento	Tolima	Municipio	Icononzo	Vereda	Boquerón
Altitud	475 m		Fecha	29/07/2017	
PROPIEDADES QUÍMICAS					
pH	6,2 Ligeramente ácido	6,3 Ligeramente ácido	6,4 Ligeramente ácido		
Reactividad HCL	Nula	Nula	Nula		
Reactividad H ₂ O ₂	Fuerte	Fuerte	Fuerte		
Reactividad NaF	Nula	Nula	Nula		
OBSERVACIONES PS-2					
Taxonomía: <i>Typic Ustorthents</i>					
Unidad cartográfica: Asociación <i>LITHIC USTORTHENTS - TYPIC USTORTHENTS</i>					
Material parental: Depósitos coluviales. Areniscas intercaladas con arcillolitas					
Relieve: fuertemente escarpado; pendiente >75%					
Zona de vida: Bosque seco tropical (bs-T)					
Régimen climático del suelo: ústico, isohipertérmico					
Horizontes diagnóstico: epipedón ócrico					
Ubicado aproximadamente 100 m al oriente de la "Nariz del Diablo", en cobertura de Bosque abierto. Reacción fuerte para H ₂ O ₂ y nula para HCl y Naf, a lo largo del perfil. Pedregosidad en todo el perfil.					
Horizonte A: Abundante cantidad de raíces gruesas, medias, finas y muy finas; se evidencia actividad de lombrices de tierra. Pedregoso; textura Franco arcillo arenosa y estructura moderada en granos medios, ligeramente pegajosa y no plástica en mojado; firme en húmedo y ligeramente dura en seco. Reacción ligeramente ácida.					
Horizonte C1: El cambio desde el horizonte superior es difuso e irregular, con un cambio hacia un pardo más claro, y aumento en número y tamaño de piedra de más de 30 cm de diámetro (30%). Textura Franco arcillo arenosa; estructura fuerte en granos medios; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajoso y no plástico, en seco moderadamente dura; frecuente cantidad de raíces gruesas, medias, finas y muy finas; se evidencia actividad de macroorganismos (lombrices); reacción ligeramente ácida.					
Horizonte C2: El límite desde el horizonte superior es gradual e irregular, con cascajo (30-40%); textura Franco arcillo arenosa; estructura moderada en granos, finos; consistencia en seco ligeramente dura, en húmedo friable y en mojado no plástica y no pegajosa; reacción Muy Ligeramente ácida; sin actividad de macroorganismos; pocas raicillas medias y finas.					

UBICACIÓN PS-2

Departamento	Tolima	Municipio	Icononzo	Vereda	Boquerón
Altitud	475 m		Fecha	29/07/2017	



Infiltración Básica: 60,20 cm/hr - Muy rápida
 Fuente: INGETEC, 2017 e IGAC, 2004

PRELIMINAR

Fotografía 59 Perfil en PS-3. Suelo de Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión en Clima Cálido, seco



Fuente: INGETEC, 2017

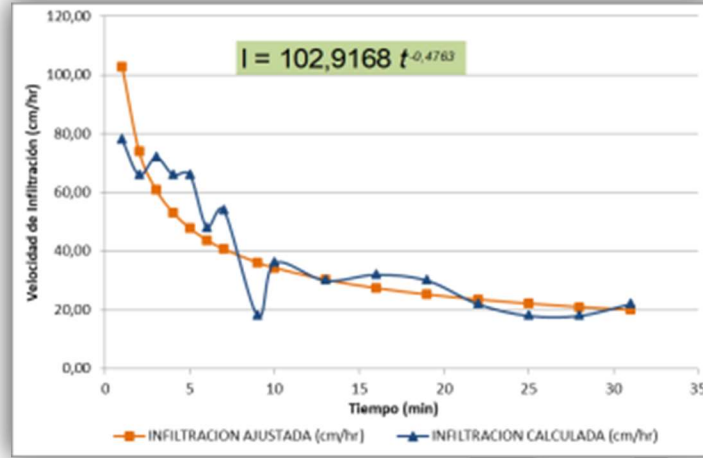
Tabla 51 Información Tomada del Perfil PS-3, descrito en Campo

UBICACIÓN PS-3					
Departamento	Tolima	Municipio	Icononzo	Vereda	Boquerón
Altitud	486 m		Fecha	29/07/2017	
Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			Este	947.084	
			Norte	963.512	
DATOS DE CAMPO					
Símbolo UCS	MclcWAg2	Paisaje	Montaña	Tipo de Relieve	Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión
Clima	Cálido, seco	Pendiente (%)	>75%	Erosión	Moderada
Afloramientos rocosos (%)	30 – 40 %	Pedregosidad superficial	Si (30 – 40 %)	Profundidad efectiva	Muy superficial
Drenaje natural	Bien a excesivamente drenado	Nivel freático	No se encontró	Inundabilidad	No
Limitantes de uso	Fuertes pendientes y escasa precipitación	Cobertura vegetal	Bosque abierto	Uso actual	Sistemas forestales protectores
PROPIEDADES FÍSICAS					
Horizonte	A		R		
Profundidad (cm)	0 - 15		15 - 95		
Limites	Difuso irregular				
Color en húmedo	7.5 YR 4/2 Pardo grisáceo		10 YR 4/4 Pardo		
Textura	Franco arcillo arenoso		Franco arcillo arenoso		
Estructura	Granular		Granular		

UBICACIÓN PS-3					
Departamento	Tolima	Municipio	Icononzo	Vereda	Boquerón
Altitud	486 m		Fecha	29/07/2017	
Macroorganismos	Si			Si	
Raicillas	Abundantes			Pocas	
PROPIEDADES QUÍMICAS					
pH	7,5 Ligeramente alcalino			7,7 Ligeramente alcalino	
Reactividad HCL	Moderada			Fuerte	
Reactividad H ₂ O ₂	Fuerte			Fuerte	
Reactividad NaF	Nula			Moderada	
OBSERVACIONES PS-3					
Taxonomía: <i>Lithic Ustorthents</i>					
Unidad cartográfica: Asociación <i>LITHIC USTORTHENTS - TYPIC USTORTHENTS</i>					
Material parental: Depósitos coluviales. Areniscas intercaladas con arcillolitas					
Relieve: fuertemente escarpado; pendiente >75%					
Zona de vida: Bosque seco tropical (bs-T)					
Régimen climático del suelo: ústico, isohipertérmico					
Horizontes diagnóstico: epipedón ócrico					
Ubicado en cobertura de Bosque abierto; reacción fuerte para H ₂ O ₂ y moderada y fuerte nula para HCl. Abundante pedregosidad superficial.					
Horizonte A: abundante cantidad de raíces gruesas, medias, finas y muy finas; se evidencia actividad de macroorganismos (humus). Textura Franco arcillo arenosa y estructura granular de tamaño medio y fino, ligeramente pegajosa y ligeramente plástica en mojado; firme en húmedo y dura en seco; reacción Ligeramente alcalina.					
Horizonte R: EL cambio desde el horizonte superior es difuso e irregular, con un evidente cambio a rocas areniscas de alrededor de 10 cm de diámetro, en una matriz Franco arcillo arenosa, no plástica y no pegajosa; muy pocas raicillas finas y muy finas, no se evidencia actividad de macroorganismos; reacción ligeramente alcalina.					

UBICACIÓN PS-3

Departamento	Tolima	Municipio	Icononzo	Vereda	Boquerón
Altitud	486 m		Fecha	29/07/2017	



Infiltración Básica: 21,11 cm/hr - Rápida
 Fuente: INGETEC, 2017 e IGAC, 2004

PRELIMINAR

Fotografía 60 Perfil en PS-4. Suelo de Sierra homoclinal en Clima Cálido, seco



Fuente: INGETEC, 2017

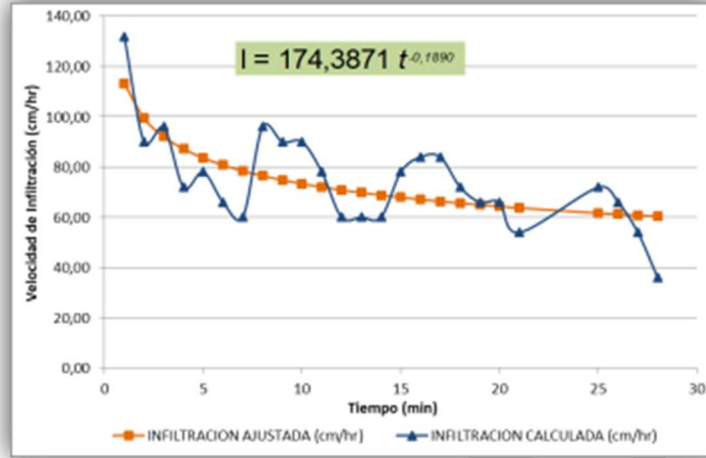
Tabla 52 Información Tomada del Perfil PS-4, descrito en Campo

UBICACIÓN PS-4					
Departamento	Tolima	Municipio	Melgar	Vereda	Tokio
Altitud	430 m		Fecha	28/07/2017	
Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			Este	945.225	
			Norte	963.859	
DATOS DE CAMPO					
Símbolo UCS	MsieWaf2	Paisaje	Montaña	Tipo de Relieve	Sierra homoclinal
Clima	Cálido, seco	Pendiente (%)	50 – 75 %	Erosión	Moderada
Afloramientos rocosos (%)	30 – 40 %	Pedregosidad superficial	Si (20 %)	Profundidad efectiva	Superficial
Drenaje natural	Excesivamente drenado	Nivel freático	No se encontró	Inundabilidad	No
Limitantes de uso	Fuertes pendientes y escasa precipitación	Cobertura vegetal	Vegetación secundaria o en transición	Uso actual	Conservación y/o recuperación de la naturaleza
PROPIEDADES FISICAS					
Horizonte	A		AC	C	
Profundidad (cm)	0 - 23		23 - 60	60 - 100	
Limites	Gradual plano			Gradual ondulado	
Color en húmedo	7.5 YR 4/2 Pardo grisáceo		7.5 YR 4/4 Pardo	7.5 YR 5/3 Pardo mate	
Textura	Franca		Franco arenosa	Franco arenosa	
Estructura	Granular		Granular	Granular	
Macroorganismos	Si		Si	No	
Raicillas	Abundantes		Frecuentes	Pocas	

UBICACIÓN PS-4					
Departamento	Tolima	Municipio	Melgar	Vereda	Tokio
Altitud	430 m		Fecha	28/07/2017	
PROPIEDADES QUÍMICAS					
pH	6,4 Ligeramente ácido	6,3 Ligeramente ácido	6,1 Ligeramente ácido		
Reactividad HCL	Nula		Nula		Nula
Reactividad H ₂ O ₂	Muy fuerte		Fuerte		Moderada
Reactividad NaF	Nula		Nula		Nula
OBSERVACIONES PS-4					
Taxonomía: <i>Typic Ustorthents</i>					
Unidad cartográfica: Asociación <i>LITHIC USTORTHENTS - TYPIC USTORTHENTS</i>					
Material parental: Depósitos coluviales. Areniscas intercaladas con arcillolitas					
Relieve: moderadamente escarpado; pendiente 50-75%					
Zona de vida: Bosque seco tropical (bs-T)					
Régimen climático del suelo: ústico, isohiptérmico					
Horizontes diagnóstico: epipedón ócrico					
Terreno sin uso agropecuario. Afloramientos rocosos entre 30 y 40 % y abundante pedregosidad superficial. Consistencia firme en seco, en mojado ligeramente pegajoso y no plástico a lo largo del perfil.					
Horizonte A: Abundante cantidad de raíces medias, finas y muy finas; se evidencia actividad de macroorganismos. Gravilla (1 - 2 cm) en alrededor del 20% del horizonte Textura Franca y estructura moderada en granos medios. Reacción Ligeramente ácida.					
Horizonte AC: El cambio desde el horizonte superior es gradual y plano, con aumento en tamaño y cantidad de cascajo (30%). Textura franco arenosa; estructura moderada en granos medios; frecuentes raíces medias finas y muy finas; se evidencia baja actividad de macroorganismos; reacción Ligeramente ácida.					
Horizonte C1: El límite desde el horizonte superior es gradual y ondulado, con incremento en el contenido de cascajo (40 - 50 %) con colores naranja (7.5 YR 6/6) y gris caro parduzco (7.5 YR 7/2); textura Franco arenosa; estructura granular fuerte; reacción ligeramente ácida; sin actividad de macroorganismos; muy pocas raicillas finas y muy finas.					

UBICACIÓN PS-4

Departamento	Tolima	Municipio	Melgar	Vereda	Tokio
Altitud	430 m		Fecha	28/07/2017	



Infiltración Básica: 60,80 cm/hr - Muy rápida
 Fuente: INGETEC, 2017 e IGAC, 2004

PRELIMINAR

Fotografía 61 Perfil en PS-5. Suelo de Ladera ondulada, en Clima Cálido, seco



Fuente: INGETEC, 2017

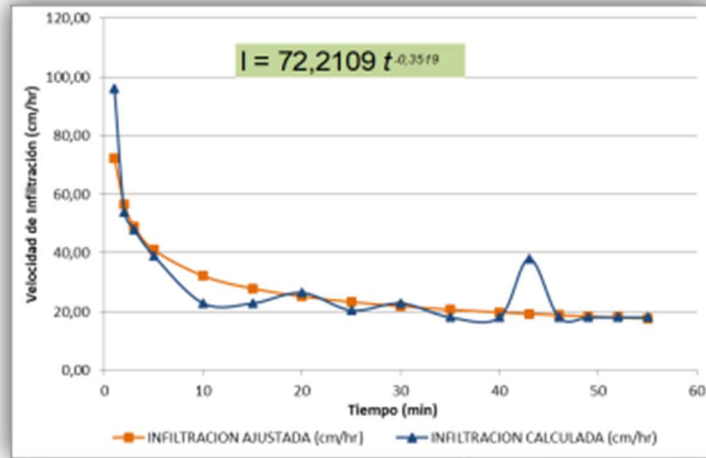
Tabla 53 Información Tomada del Perfil PS-5, descrito en Campo

UBICACIÓN PS-5					
Departamento	Tolima	Municipio	Melgar	Vereda	Tokio
Altitud	450 m		Fecha	28/07/2017	
Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			Este	944.541	
			Norte	963.558	
DATOS DE CAMPO					
Símbolo UCS	MlaoWf2	Paisaje	Montaña	Tipo de Relieve	Ladera ondulada
Clima	Cálido, seco	Pendiente (%)	50 – 75 %	Erosión	Moderada
Afloramientos rocosos (%)	10 %	Pedregosidad superficial	Si (30 %)	Profundidad efectiva	Superficial
Drenaje natural	Bien drenado	Nivel freático	No se encontró	Inundabilidad	No
Limitantes de uso	Fuertes pendientes y escasa precipitación	Cobertura vegetal	Vegetación secundaria o en transición	Uso actual	Conservación y/o recuperación de la naturaleza
PROPIEDADES FÍSICAS					
Horizonte	A		C1	C2	
Profundidad (cm)	0 - 25		25 - 55	55 - 125	
Limites	Difuso plano			Abrupto plano	
Color en húmedo	10 YR 4/4 Pardo		7.5 YR 6/8 Naranja	7.5 YR 7/8 Amarillo naranja	
Textura	Franco arcillo arenosa		Arcillosa	Franco arcillo arenosa	
Estructura	Granular		Granular	Granular	
Macroorganismos	Si		No	No	
Raicillas	Abundantes		Frecuentes	No hay	
PROPIEDADES QUÍMICAS					
pH	6,2		5,9	5,7	

UBICACIÓN PS-5					
Departamento	Tolima	Municipio	Melgar	Vereda	Tokio
Altitud	450 m		Fecha	28/07/2017	
	Ligeramente ácido		Moderadamente ácido	Moderadamente ácido	
Reactividad HCL	Nula		Nula	Nula	
Reactividad H ₂ O ₂	Moderada		Nula	Nula	
Reactividad NaF	Nula		Nula	Nula	
OBSERVACIONES PS-5					
Taxonomía: <i>Typic ustorthents</i>					
Unidad cartográfica: Asociación <i>LITHIC USTORTHENTS - TYPIC USTORTHENTS</i>					
Material parental: Depósitos coluviales. Areniscas intercaladas con arcillolitas					
Relieve: moderadamente escarpado; pendiente 50-75%					
Zona de vida: Bosque seco tropical (bs-T)					
Régimen climático del suelo: ústico, isohipertérmico					
Horizontes diagnóstico: epipedón ócrico					
Muy difícil penetración durante la construcción de la calicata. Reacción nula a HCl y NaF y pedregosidad a lo largo de todo el perfil.					
Horizonte A: abundante cantidad de raíces gruesas, medias, finas y muy finas; se evidencia actividad de macroorganismos. Textura Franco arcillo arenosa y estructura moderadas en granos de tamaño medio y grueso, no pegajosa ni plástica en mojado; firme en húmedo y dura en seco. Con presencia de gravilla y cascajo (laminar) en alrededor del 30 % del horizonte; reacción Ligeramente ácida.					
Horizonte C1: El cambio desde el horizonte superior es difuso y plano, con un evidente cambio a un color naranja; textura franca; estructura granular media; consistencia en húmedo friable, en mojado pegajoso y plástico, mayor dureza en seco con respecto al horizonte superior; Con presencia cascajo en el 30 % del horizonte frecuentes raicillas medias, no se evidencia actividad de macroorganismos; reacción Moderadamente ácida.					
Horizonte C2: El límite desde el horizonte superior es abrupto y plano; estructura moderada, granular, de tamaño fino; gravilla y cascajo en gran parte del horizonte (40 – 50%), en una matriz Franco arcillo arenosa; consistencia en seco dura, en húmedo friable y en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; reacción moderadamente ácida; sin actividad de macroorganismos; ni presencia de raíces.					

UBICACIÓN PS-5

Departamento	Tolima	Municipio	Melgar	Vereda	Tokio
Altitud	450 m		Fecha	28/07/2017	



Infiltración Básica: 17,98 cm/hr - Rápida
 Fuente: INGETEC, 2017 e IGAC, 2004

PRELIMINAR

- Suelos del paisaje de montaña en clima cálido, húmedo

Se ubican hacia el costado occidental del área de intervención, e incluye los tipos de relieve Ladera estructural, Ladera ondulada, Lomeríos poco disectados y Sierra de barras estructurales, que se encuentran en altitudes inferiores a 1000 m, temperaturas medias anuales mayores de 24°C y precipitaciones promedio de 2000 a 2500 mm.

En el área de influencia del componente físico, se han delimitado 12 subfases de la unidad cartográfica denominada “MVA”, de acuerdo a las variaciones de los tipos de relieve, taxonomía de los suelos, pendiente predominante y erosión superficial.

Suelos de Ladera estructural, Lomeríos poco disectados y Sierra de barras estructurales con litología sedimentaria en clima Cálido, Húmedo (MVA).

En el área de estudio, los suelos pertenecientes a esta unidad cartográfica se localizan en alturas entre los 350 y 600 m. El clima ambiental es cálido y húmedo; con temperaturas mayores a 24 °C y precipitaciones promedio anual entre 2000 y 2500 mm. Se ubican en el costado occidental de área de estudio en jurisdicción de las veredas Tokio y Malachí del municipio de Melgar.

En el área de estudio (ver Fotografía 62), gran parte de la unidad se caracteriza por sus relieves quebrados a escarpados con pendientes mayores al 50%. El material parental de los suelos está constituido por areniscas y por arcillolitas; presenta erosión hídrica laminar moderada hasta muy severa. Los principales limitantes para el uso están determinados por las pendientes fuertes, la erosión y la poca profundidad efectiva.

La unidad es una asociación integrada por los suelos *Lithic Troprothents* en un 40%, *Typic Troprothents* en un 40% y *Typic Dystropepts* en un 20%.

Fotografía 62 Tipo de relieve Lomeríos poco disectados, se observa el relieve escarpado y erosión moderada. Unidad MlpdWAg2. Vereda Malachí, Municipio de Melgar



Fuente: INGETEC, 2017

Los suelos *Lithic Troorthents*, se localizan en las zonas más escarpadas, son poco evolucionados, originados por alteraciones de las areniscas. Son muy superficiales, debido a la poca profundidad a que se encuentra la roca. Químicamente son suelos ácidos, de capacidad catiónica de cambio, bases, materia orgánica y fósforo disponible para las plantas bajas. La fertilidad es muy baja.

Los factores limitantes del uso son principalmente las pendientes fuertes, la erosión y la poca profundidad efectiva.

El segundo componente taxonómico de la unidad comprende los Suelos *Typic Troorthents*, que se ubican en las laderas medias, se han derivado de areniscas cuarzosas de grano medio y presentan una secuencia de horizontes AC en el perfil de suelos. En general son suelos moderadamente profundos, excesivamente drenados, de texturas franco arcillo arenosa y arcillosa y colores pardo oscuro a pardo amarillento.

Químicamente son suelos ligeramente ácidos, con capacidad catiónica de cambio baja, saturación total de bases baja a media, materia orgánica, fósforo disponible y fertilidad bajas.

Finalmente, los Suelos *Typic Dystropepts*, que se localizan en las partes bajas de la unidad, en relieve quebrado con pendientes cortas y complejas; se han derivado de arcillas, son bien drenados y profundos. Son suelos ácidos, bajos en capacidad catiónica de cambio, en saturación de bases, en fósforo; medios a bajos en materia orgánica, en general baja fertilidad

Los limitantes para el uso de estos suelos son los gradientes altos de pendiente y la erosión moderada a severa.

De acuerdo con el tipo de relieve, la pendiente y el grado de erosión se separaron las siguientes fases:

- MlesVAg2: Ladera estructural, relieve fuertemente escarpado y erosión moderada
- MlesVAg4: Ladera estructural, relieve fuertemente escarpado y erosión muy severa
- MlpdVAe2: Lomeríos poco disectados, relieve ligeramente escarpado y erosión moderada
- MlpdVAe4: Lomeríos poco disectados, relieve ligeramente escarpado y erosión muy severa
- MlpdVAf4: Lomeríos poco disectados, moderadamente escarpado y erosión muy severa
- MlpdVAg2: Lomeríos poco disectados, relieve fuertemente escarpado y erosión moderada (ver: Fotografía 63 y)
- MlpdVAg4: Lomeríos poco disectados, fuertemente escarpado y erosión muy severa
- MsieVAe2: Sierra de barras estructurales, ligeramente escarpado y erosión moderada
- MsieVAf2: Sierra de barras estructurales, moderadamente escarpado y erosión moderada
- MsieVAf4: Sierra de barras estructurales, moderadamente escarpado y erosión muy severa
- MsieVAg2: Sierra de barras estructurales, fuertemente escarpado y erosión moderada
- MsieVAg4: Sierra de barras estructurales, fuertemente escarpado y erosión muy severa

Fotografía 63 Perfil en PS-6. Suelo de Lomeríos poco disectados, en Clima Cálido, seco



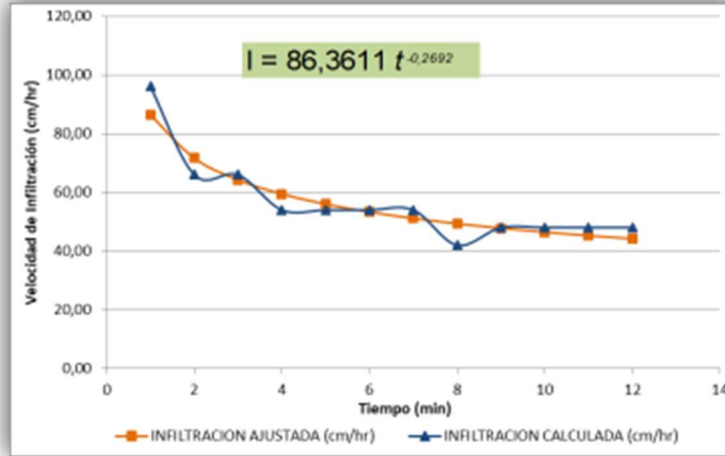
Fuente: INGETEC, 2017

Tabla 54 Información Tomada del Perfil PS-6, descrito en Campo

UBICACIÓN PS-6					
Departamento	Tolima	Municipio	Melgar	Vereda	Malachí
Altitud	410 m		Fecha	27/07/2017	
Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			Este	943.538	
			Norte	963.620	
DATOS DE CAMPO					
Símbolo UCS	MlpdVAg2	Paisaje	Montaña	Tipo de Relieve	Lomeríos poco disectados
Clima	Cálido, húmedo	Pendiente (%)	>75%	Erosión	Moderada
Afloramientos rocosos (%)	20 – 30 %	Pedregosidad superficial	Si (10%)	Profundidad efectiva	Moderadamente superficial
Drenaje natural	Excesivamente drenado	Nivel freático	No se encontró	Inundabilidad	No
Limitantes de uso	Fuertes pendientes y escasa precipitación	Cobertura vegetal	Vegetación secundaria o en transición	Uso actual	Conservación y/o recuperación de la naturaleza
PROPIEDADES FISICAS					
Horizonte	A		Bw		C
Profundidad (cm)	0 - 55		55 - 80		80 - 110
Limites	Claro ondulado			Difuso ondulado	
Color en húmedo	10 YR 4/3 Pardo amarillento mate		10 YR 5/6 Pardo amarillento		10 YR 5/8 Pardo amarillento
Textura	Franco arcillo arenosa		Franco arcillo arenosa		Franca
Estructura	Bloques subangulares		Sin estructura (masiva)		Sin estructura (masiva)
Macroorganismos	Si		No		No
Raicillas	Frecuentes		Pocas		No hay

UBICACIÓN PS-6					
Departamento	Tolima	Municipio	Melgar	Vereda	Malachí
Altitud	410 m		Fecha	27/07/2017	
PROPIEDADES QUÍMICAS					
pH	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
	Muy fuertemente ácido	Muy fuertemente ácido	Muy fuertemente ácido	Muy fuertemente ácido	Muy fuertemente ácido
Reactividad HCL	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
Reactividad H ₂ O ₂	Muy leve	Nula	Nula	Nula	Nula
Reactividad NaF	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
OBSERVACIONES PS-6					
Taxonomía: <i>Typic Dystropepts</i>					
Unidad cartográfica: asociación <i>TYPIC TROPORTHENTS - LITHIC TROPORTHENTS - TYPIC DYSTROPEPTS</i>					
Material parental: Areniscas y arcillolitas					
Relieve: fuertemente escarpado; pendiente >75%					
Zona de vida: Bosque seco tropical (bs-T)					
Régimen climático del suelo: ústico, isohipertérmico					
Horizontes diagnóstico: epipedón ócrico; endopedón cambico					
Ubicado en cobertura de vegetación secundaria; Reacción nula a HCl y a NaF a lo largo del perfil.					
Horizonte A: frecuente cantidad de raíces medias y finas; se evidencia actividad de macro-organismos. Textura franco arcillo arenosa y estructura moderada en bloques subangulares finos, ligeramente pegajosa y ligeramente plástica en mojado; friable en húmedo y dura en seco; reacción muy fuertemente ácida.					
Horizonte Bw: EL cambio desde el horizonte superior es claro y ondulado, con un cambio a un horizonte más consolidado y aumento en la resistencia a la penetración Textura franco arcillo arenosa; sin estructura (masiva); consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, mayor dureza en seco con respecto al horizonte superior; pocas raíces finas; no se evidencia actividad de macroorganismos; reacción muy fuertemente ácida.					
Horizonte C: El límite desde el horizonte superior es difuso y ondulado; textura Franca; sin estructura (masiva), cascajo en el 20% del horizonte; consistencia en seco dura, en húmedo friable y en mojado pegajosa y ligeramente plástica; reacción muy fuertemente ácida; sin actividad de macroorganismos, ni evidencia de raíces.					

UBICACIÓN PS-6					
Departamento	Tolima	Municipio	Melgar	Vereda	Malachí
Altitud	410 m		Fecha	27/07/2017	



Infiltración Básica: 45,33 cm/hr - Muy rápida
 Fuente: INGETEC, 2017 e IGAC, 2004

PRELIMINAR

- Suelos del paisaje de valle en clima cálido, seco

Este paisaje corresponde a la superficie fluvio-depositacional encajonada dentro de paisajes de relieves más altos, en forma de una faja alargada, angosta y paralela al cauce de los principales ríos del departamento. El clima ambiental es cálido y seco, con precipitación promedio anual entre 1500 y 2000 mm y temperaturas superiores a los 24 °C.

Este paisaje presenta un material basal constituido por depósitos clásticos de carácter aluvial, que han dado origen a suelos baja a moderadamente evolucionados, distribuidos en relieve ligeramente plano a ligeramente ondulado (pendientes 0-7%). En el área de influencia del componente físico, se han delimitado la subfase denominada "VterWQ", que se describe a continuación.

Suelos de Terraza con litología sedimentaria en clima Cálido, seco (VWQ).

Los suelos pertenecientes a esta unidad cartográfica corresponden al tipo de relieve denominado Terrazas (río Magdalena y afluentes); en el área de estudio, la presente unidad cartográfica de suelos, se ubica en la zona proyectada para la adecuación del ZODME, en jurisdicción del municipio de Nilo, en altitudes alrededor de los 300 m, en clima ambiental cálido y seco.

Estos suelos se han desarrollado a partir de depósitos clásticos hidrogénicos; son superficiales a moderadamente profundos, bien a moderadamente bien drenados y de texturas finas a gruesas; reacción ácida a neutra y fertilidad baja a moderada; con relieve ligeramente plano y pendientes dominantes entre 0 y 3 % (ver: Fotografía 64). El mayor limitante para el uso agrícola de estos suelos lo representa el déficit marcado de humedad.

El complejo está integrado por los suelos *Typic Haplustepts* en una proporción estimada del 35%, *Mollic Ustifluvents* en otro 35% y *Aridic Haplustepts* en el restante 30% de la unidad.

Fotografía 64 Tipo de relieve Terraza, ligeramente plana. Unidad VterWQa2. Vereda La Esmeralda, Municipio de Nilo



Fuente: INGETEC, 2017

Los suelos del subgrupo taxonómico *Typic Haplustepts*, se localizan en los bancos de las terrazas con relieve ligeramente ondulado; se han desarrollado a partir de depósitos clásticos hidrogénicos, son de texturas moderadamente gruesas a gruesas, profundos y bien drenados.

Son suelos poco evolucionados de reacción medianamente ácida a neutra, alta saturación de bases, baja capacidad de intercambio catiónico, contenidos medios a altos de calcio, potasio y fósforo, niveles bajos de magnesio y fertilidad moderada.

Los suelos Mollic Ustifluvents, ocupan también la posición de bancos de terraza con relieve ligeramente ondulado; son moderadamente bien drenados, profundos y de texturas finas a gruesas. Químicamente estos suelos se caracterizan por presentar contenidos moderados a bajos de carbonato de calcio a través de todo el perfil, reacción ligeramente alcalina, alta saturación de bases, contenidos medios a altos de calcio, potasio y fósforo, mediana a baja capacidad de intercambio catiónico y fertilidad moderada a alta.

El tercer componente de la unidad cartográfica corresponde a los suelos Aridic Haplustepts, que ocupan los planos de terraza con relieve ligeramente plano y pendientes 1-3%.

Han evolucionado a partir de depósitos clásticos hidrogénicos, son profundos, moderadamente bien drenados y de texturas finas a medias. Químicamente son de reacción ligera a medianamente alcalina, con alta saturación de bases y capacidad de intercambio catiónico, contenidos altos de calcio, magnesio, potasio y fósforo, presencia de carbonatos de calcio a través de todo el perfil y fertilidad alta.

De acuerdo con el rango de pendiente y de erosión superficial se separó la fase VterWQa2: terraza, relieve ligeramente plano y erosión moderada (Ver Tabla 55)

Tabla 55 Información Tomada del Perfil PS-7, descrito en Campo

UBICACIÓN PS-7					
Departamento	Cundinamarca	Municipio	Nilo	Vereda	La Esmeralda
Altitud	292 m		Fecha	27/07/2017	
Coordenadas Datum Magna Sirgas Origen Bogotá			Este	933.251	
			Norte	957.306	
DATOS DE CAMPO					
Símbolo UCS	VterWQa2	Paisaje	Valle	Tipo de Relieve	Terraza
Clima	Cálido, seco	Pendiente (%)	0 – 3 %	Erosión	Moderada
Afloramientos rocosos (%)	0 %	Pedregosidad superficial	No	Profundidad efectiva	Superficial
Drenaje natural	Bien drenado	Nivel freático	No se encontró	Inundabilidad	No
Limitantes de uso	Escasas precipitaciones	Cobertura vegetal	Pastos enmalezados	Uso actual	Sistemas silvopastoriles
PROPIEDADES FÍSICAS					
Horizonte	A		Bw	C	
Profundidad (cm)	0 - 30		30 - 80	80 - 100	
Limites	Difuso ondulado			Gradual ondulado	
Color en húmedo	10 YR 5/6 Pardo amarillento		7.5 YR 6/4 Naranja mate	5 YR 6/8 Naranja 7.5 YR 6/4 Naranja mate	
Textura	Franco arenoso		Franco arcilloso	Arcilloso	
Estructura	Bloques subangulares		Bloques subangulares	Bloques subangulares	
Macroorganismos	Si		No	No	
Raíces	Pocas		Muy pocas	No hay	
PROPIEDADES QUÍMICAS					
pH	5,4 Fuertemente ácido		6,1 Ligeramente ácido	6,1 Ligeramente ácido	
Reactividad HCL	Nula		Nula	Nula	
Reactividad H₂O₂	Fuerte		Moderada	Muy leve	

UBICACIÓN PS-7					
Departamento	Cundinamarca	Municipio	Nilo	Vereda	La Esmeralda
Altitud	292 m		Fecha	27/07/2017	
Reactividad NaF	Nula		Nula		Nula
OBSERVACIONES PS-7					
Taxonomía: <i>Typic Haplustepts</i>					
Unidad cartográfica: Complejo <i>TYPIC HAPLUSTEPTS - MOLLIC USTIFLUVENTS - ARIDIC HAPLUSTEPTS</i>					
Material parental: depósitos clásticos hidrogénicos					
Relieve: ligeramente plano; pendiente 0-3 %					
Zona de vida: Bosque seco tropical (bs-T)					
Régimen climático del suelo: ústico, isohipertérmico					
Horizontes diagnóstico: epipedón ócrico; endopedón, cambico					
Ubicado en cobertura de pastos enmalezados; fácil penetración durante la construcción de la calicata. Reacción nula a HCl y a NaF a lo largo del perfil; friable en húmedo, pegajoso y plástico en mojado y blanda en seco.					
Horizonte A: Poca cantidad de raicillas finas y muy finas; actividad de macroorganismos. Textura Franco arenosa y estructura débil en bloques subangulares tamaño medio. Reacción Fuertemente ácida y presencia de moteos muy pequeños (<0,5 cm) color naranja.					
Horizonte Bw: EL cambio desde el horizonte superior es difuso y ondulado, con un evidente cambio a un color más claro (Naranja mate) Textura Franco arcillosa; estructura en bloques subangulares medios y débilmente desarrollados; muy pocas raíces muy finas y no se evidencia actividad de macroorganismos; reacción ligeramente ácida.					
Horizonte C: El límite desde el horizonte superior es gradual y ondulado; textura arcillosa; estructura moderada en bloques subangulares medios; reacción ligeramente ácida; sin actividad de macroorganismos; ni presencia de raíces.					

UBICACIÓN PS-7					
Departamento	Cundinamarca	Municipio	Nilo	Vereda	La Esmeralda
Altitud	292 m	Fecha	27/07/2017		
Infiltración Básica: 7,55 cm/hr - Moderadamente rápida					
Fuente: INGETEC, 2017 e IGAC, 2000					

PRELIMINAR

- Suelos del paisaje de valle en clima cálido, húmedo

Este paisaje se encuentra en clima cálido húmedo, en altitudes inferiores a los 700 m; pertenece a la zona de vida del bosque seco tropical. La precipitación promedio anual es superior a 2000 mm, y las temperaturas superiores a los 2 °C. Comprende los tipos de relieve de terrazas y vegas, principalmente de los valles de los ríos Magdalena y Saldaña.

Suelos de Terraza de acumulación y Terraza de acumulación antigua con litología sedimentaria en clima Cálido, húmedo (VVA).

Esta unidad de suelos corresponde a los tipos de relieve denominados Terraza de acumulación y Terraza de acumulación antigua. Se ubica en jurisdicción de la vereda Malachí del municipio de Melgar, a lo largo del río Sumapaz. Los suelos se localizan en alturas entre los 350 y 400 m, el clima es cálido y húmedo, con temperatura mayor de 24 °C y precipitación anual entre 2000 y 2500 mm.

Estos suelos han evolucionado a partir de aluviones recientes, finos y medios; son moderadamente profundos y profundos, bien drenados, de texturas finas y medianas, ligeramente ácidos a neutros; de contenido bajo en materia orgánica y de fertilidad moderada; presentan erosión superficial de grado moderado. El principal limitante para el uso de estos suelos es el clima cálido, con precipitaciones muy deficientes para los cultivos.

La unidad cartográfica es una consociación constituida por un suelo principal del subgrupo *Typic Ustropepts* y por un suelo similar del subgrupo *Fluventic Ustropepts*.

De acuerdo con las pendientes y grado de erosión superficial, se delimitaron las siguientes fases:

- VterVAa2: Terraza de acumulación, relieve ligeramente plano y erosión moderada
- VterVAb2: Terraza de acumulación antigua, ligeramente inclinado y erosión moderada

5.1.4.2.3. Velocidad de infiltración

La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua de riego en los suelos. Se refiere a la capacidad que tienen los horizontes o capas superficiales del suelo de absorber el agua aplicada al sistema, representada en la entrada del agua de la superficie al suelo o en la penetración descendente del agua en el suelo. Para definir el comportamiento del flujo del agua a través del suelo (característica importante dentro de la descripción de los perfiles de suelo), se llevan a cabo Pruebas de Infiltración en lugares contiguos a los sitios donde se construyeron calicatas para la descripción de los perfiles.

“La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/hr o cm/min” (Cisneros, 2003). Los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración y que se tuvieron en cuenta para estas pruebas, son:

- Textura. En un suelo arenoso se favorece la infiltración.
- Estructura. Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.
- Cantidad de materia orgánica; altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
- Profundidad del suelo. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
- Cantidad de agua en el suelo. En general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.

Con la información obtenida se calcula la ecuación que caracteriza la infiltración del suelo (infiltración básica), la que puede obtenerse ajustando los resultados de tiempo acumulado y de infiltración instantánea y acumulada a

modelos teóricos de tipo $y = ax^b$, por procedimientos estadísticos de regresión. La infiltración básica es definida como aquel valor que adquiere la infiltración instantánea cuando presenta la tendencia a ser constante; según la definición anterior y lo que se ha discutido acerca de la infiltración instantánea, si se grafican en escala aritmética el tiempo acumulado vs la infiltración instantánea, se obtiene una curva de forma hiperbólica, la cual, después de un cierto tiempo, empieza a ser asintótica al eje de las abscisas; si se proyecta esta línea asintótica hasta cortar el eje de las ordenadas, se obtiene un valor estimado de la infiltración básica, la cual refleja el movimiento de agua en el suelo saturado, por lo que puede hacerse igual a la conductividad hidráulica saturada del mismo (Mercado, 1989), citado por: (Jaramillo, 2002, pág. 243).

Estas pruebas se realizaron empleando anillos concéntricos; el anillo exterior cuando se le vierte agua va a impedir que el agua del anillo interior fluya en sentido horizontal, evitando así errores en la determinación de la infiltración, en la cual se supone el flujo del agua debe ser en sentido vertical. La velocidad de infiltración de los suelos se clasifica teniendo en cuenta la Tabla 56.

Tabla 56 Clasificación de la Velocidad de Infiltración

Velocidad de Infiltración (cm/hr)	Interpretación
<0,1	Muy lenta
0,11 – 0,5	Lenta
0,51 – 2,0	Moderadamente lenta
2,01 – 6,3	Moderada
6,31 – 12,7	Moderadamente rápida
12,71 – 25,4	Rápida
> 25,4	Muy rápida

Fuente: Montenegro, 1990 e IGAC, 2007.

Los registros y cálculos derivados de las pruebas de infiltración realizadas, se presentan en el Anexo C. Los resultados obtenidos en dichas pruebas, se valoraron cualitativamente de acuerdo con el Manual de Campo para Levantamiento de Suelos y Tierra (IGAC, 2007) y se muestran en la Tabla 57

Tabla 57 Resultados de las Pruebas de Infiltración en los Suelos Monitoreados

Id del Punto	Unidad de suelo	Velocidad de Infiltración (cm/hr)	Interpretación
PS-1	MclcWAe3	94,90	Muy rápida
PS-2	MlesWAg2	60,20	Muy rápida
PS-3	MclcWAg2	21,11	Rápida
PS-4	MsieWaf2	60,80	Muy rápida
PS-5	MlaoWaf2	17,98	Rápida
PS-6	MlpdVAg2	45,33	Muy rápida
PS-7	VterWQa2	7,55	Moderadamente rápida

Fuente: INGETEC, 2017

Los resultados indican que los suelos presentan valores de infiltración rápidos y muy rápidos en los puntos monitoreados sobre las unidades del paisaje de montaña; lo que en general muestra las condiciones tendientes drenajes excesivos, lo que se soporta también en la caracterización de los perfiles, en cuanto a que son suelos de texturas francas y con contenidos de arena por encima del 50% y escasa profundidad efectiva.

En términos generales, se puede concluir que los suelos monitoreados en zonas montañosas, presentan velocidades de infiltración excesivas, considerando que la escasa profundidad efectiva y las fuertes pendientes; en cuanto a la prueba realizada en la unidad de terraza (ZODME proyectado), se tiene una velocidad de

infiltración moderadamente rápida, con un suelo superficial y aumento en los contenidos de limos y arcillas especialmente en el segundo horizonte, favoreciendo un movimiento adecuado del agua al interior del perfil. Los valores presentados pueden variar según la estación climática, con posibilidad de disminuir sus capacidades de infiltración en las épocas de aumento de las precipitaciones.

5.1.4.2.4. Análisis fisicoquímicos

Las propiedades físicas y químicas presentes en los suelos, resultan de la acción de diferentes procesos y factores en un medio ecológico definido, siendo principalmente el resultado de las condiciones climáticas del área donde se encuentran, del material parental y de los usos que ha tenido a través del tiempo. Las propiedades de un suelo pueden verse afectadas negativamente por usos inadecuados del suelo. La discusión de estas propiedades se hace con base en las características morfológicas observadas en el campo y en las determinaciones de laboratorio para cada suelo.

En el Anexo C, se presentan los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas evaluadas en los suelos monitoreados dentro del área de influencia abiótica. A continuación, en la Tabla 58 se resumen algunas características físicas y químicas de los 7 puntos de monitoreo, cada uno analizado en tres profundidades (excepto PS-3), con lo que se obtiene un total de 20 reportes, incluidos en el anexo mencionado.

PRELIMINARIO

Tabla 58 Propiedades Físicoquímicas de los Suelos Monitoreados AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot

Unidad Cartográfica	N° Laboratorio MCS16-	Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	PROPIEDADES FÍSICAS							PROPIEDADES QUÍMICAS												
					Granulometría (%)				Densidad Aparente (g/cm ³)	Densidad Real (g/cm ³)	Porosidad (%)	Velocidad infiltración (cm/h)	Ph (Unidades)	Acidez Intercambiable (cmol(+) /kg)	S.A.I. (%)	Complejo de cambio (cmol(+) /Kg)						SB %	CO %	P Disponible (Mg/Kg)
					A	L	Ar	Textura								CIC	Ca	Mg	K	Na	BT			
MclcWAe3	MQ1-24688	PS-1	A	0-13	55,0	26,6	18,4	F A	1,5	2,7	45,8	94,90	5,1	1,4	25,8	9,6	2,9	0,9	0,3	N.D.	4,0	41,8	1,7	151
	MQ1-24689		C1	13-50	45,0	28,6	26,4	F A	1,7	2,6	35,8		5,1	1,4	33,2	7,3	2,1	0,5	0,2	N.D.	2,8	38,4	0,6	208
	MQ1-24690		C2	50-170	28,2	22,6	49,2	Ar	N.A	2,6	N.A		4,7	7,06	65,1	18,1	2,14	1,29	0,3	0,06	3,79	20,91	0,22	107
MlesWA2	MQ1-24691	PS-2	A	0-10	52,6	26,9	20,5	F Ar A	1,5	2,5	38,2	60,20	6,2	N.A.	N.A.	14,8	14,7	1,5	0,7	0,0	16,9	SAT	2,0	38
	MQ1-24692		C1	10-70	48,8	20,5	30,7	F Ar A	1,6	2,5	38,7		6,3	N.A.	N.A.	10,3	10,7	1,1	0,3	N.D.	12,2	SAT	0,7	12
	MQ1-24693		C2	70-125	50,7	16,6	32,7	F Ar A	1,7	2,6	33,2		6,4	N.A.	N.A.	10,2	9,6	1,23	0,3	0,01	11,15	SAT	0,31	8
MclcWA2	MQ1-24694	PS-3	A	0-15	45,9	27,1	27,0	F Ar A	N.A	2,5	N.A	21,11	7,5	N.A.	N.A.	23,3	32,5	1,9	0,8	0,2	35,5	SAT	3,6	389
	MQ1-24695		R	15-95	46,5	20,6	32,9	F Ar A	N.A	2,6	N.A		7,7	N.A.	N.A.	14,9	20,9	1,7	0,6	0,1	23,3	SAT	0,4	386
MsiwAf2	MQ1-24696	PS-4	A	0-23	51,0	34,7	14,3	F	1,6	2,5	36,9	60,80	6,4	N.A.	N.A.	10,9	4,6	1,3	0,3	0,0	6,3	57,6	1,2	44
	MQ1-24697		AC	23-60	53,0	30,7	16,3	F A	1,8	2,5	30,8		6,3	N.A.	N.A.	5,3	2,6	0,7	0,2	0,0	3,4	64,4	0,5	17
	MQ1-24698		C	60-100	57,1	24,6	18,3	F A	N.A	2,6	N.A		6,1	N.A.	N.A.	4,26	1,76	0,6	0,14	0,05	2,55	59,89	0,18	14
MlaoWAf2	MQ1-24699	PS-5	A	0-25	50,9	22,6	26,5	F Ar A	1,9	2,6	28,3	17,98	6,2	N.A.	N.A.	9,6	7,0	1,2	0,3	N.D.	8,5	88,3	1,4	27
	MQ1-24700		C1	25-55	32,5	22,5	45,0	Ar	1,6	2,6	38,2		5,9	N.A.	N.A.	15,0	5,8	1,3	0,3	0,0	7,5	50,1	0,5	41
	MQ1-24701		C2	55-125	48,8	18,5	32,7	F Ar A	1,9	2,6	29,1		5,7	N.A.	N.A.	9,69	4,26	1,95	0,19	0,0	6,43	66,4	0,1	42
Mlpd VAg 2	MQ1-24702	PS-6	A	0-55	57,5	16,1	26,4	F Ar A	1,6	2,6	39,6	45,33	4,7	3,4	94,2	6,9	0,1	0,0	0,0	N.D.	0,2	3,0	1,3	25

		PROPIEDADES FÍSICAS										PROPIEDADES QUÍMICAS												
Unidad Cartográfica	N° Laboratorio MCS16-	Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	Granulometría (%)				Densidad Aparente (g/cm ³)	Densidad Real (g/cm ³)	Porosidad (%)	Velocidad infiltración (cm/h)	Ph (Unidades)	Acidez Intercambiable (cmol(+)/Kg)	S.A.I. (%)	Complejo de cambio (cmol(+)/Kg)						SB %	CO %	P Disponible (Mg/Kg)
					A	L	Ar	Textura								CIC	Ca	Mg	K	Na	BT			
	MQ1-24703	PS-7	Bw	55-80	59,6	16,1	24,3	F Ar A	1,8	2,6	31,4	7,55	4,7	2,5	95,1	4,6	0,1	0,0	0,0	N.D.	0,1	2,8	0,4	5
	MQ1-24704		C	80-110	41,6	38,1	20,3	F	N.A	2,6	N.A		4,7	3,14	97,5	5,0	0,0	0,0	0,0	N.D.	0,1	1,6	0,3	8
VterWQa2	MQ1-24705	A	0-30	65,6	18,1	16,3	F A	1,7	2,6	33,9	5,4		1,3	32,1	5,8	2,0	0,7	0,0	N.D.	2,7	46,6	0,4	1	
	MQ1-24706	Bw	30-80	35,4	36,1	28,5	F Ar	1,6	2,6	37,6	6,1	N.A.	N.A.	9,9	2,3	2,2	0,1	0,2	4,8	48,4	0,3	<0,4		
	MQ1-24707	C	80-100	16,7	26,0	57,3	Ar	1,6	2,6	39,0	6,1	N.A.	N.A.	18,4	4,7	4,8	0,1	0,6	10,3	55,7	0,5	8		

Fuente: INGETEC, 2017

5.1.4.3. Clasificación agrológica y capacidad de uso de los suelos (uso potencial)

Después de conocer los suelos de una zona determinada y el patrón de distribución en la dimensión espacial, el objetivo más importante de los levantamientos agrológicos es la definición de su capacidad de uso y las prácticas de manejo, de tal manera que el desarrollo agrícola, ganadero y forestal, así como las acciones encaminadas a la conservación, preservación y/o restauración del medio natural, se ejecuten de acuerdo con la vocación de las tierras y a los requerimientos de protección cuando son vulnerables ante la acción de los factores ambientales y la actividad humana (IGAC, 2010).

Según las normas adaptadas por el IGAC del Sistema de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso, la clasificación agrológica se realiza por clases, establecidas básicamente por la capacidad de uso agrícola, pecuario, forestal o de conservación, sus limitaciones, riesgos de daños y formas como responden al manejo. Según este sistema, existen ocho categorías y se designan con números arábigos de 1 a 8, y está estructurado de forma tal que a medida que se incrementa la clase por capacidad agrológica, disminuye la gama de cultivos a escoger, se incrementan las prácticas de manejo y aumentan significativamente la necesidad de proteger el recurso, así:

- **Clase 1:** Tierras arables, no presentan o tienen muy pocas limitaciones para el uso agropecuario, siendo éstas de grado ligero, fácilmente corregibles. Son aptas para una amplia diversidad de cultivos adaptados a las condiciones ecológicas, así como para ganadería intensiva con pastos de corte.
- **Clase 2:** Presentan limitaciones ligeras que pueden reducir la posibilidad de elección de plantas para cultivo y requieren prácticas de manejo fáciles de aplicar, incluyendo las de conservación, para prevenir su degradación o para mejorar la relación agua-aire.
- **Clases 3:** Tierras con moderadas limitaciones y restricciones para el uso por erosión, pendiente, suelo, humedad o daño, solos o combinados. Estas disminuyen las posibilidades de selección de cultivos y las épocas de siembra e implican prácticas adecuadas de labranza y cosecha.
- **Clase 4:** Tienen limitaciones severas que las restringen a cultivos específicos y exigen prácticas cuidadosas de manejo y conservación difíciles de aplicar y mantener. Se pueden utilizar en ganadería con pastos de buenos rendimientos y con un manejo técnico de los potreros. La agroforestería es una buena opción en los sectores de pendientes más pronunciadas y susceptibles al deterioro.
- **Clase 5:** Es una clase potencial que tiene limitaciones severas para el uso que son factibles de modificar, disminuir o eliminar, con cierto grado de dificultad y con altos costos económicos. El uso de las tierras en estado natural se limita a agricultura y ganadería estacional escasamente tecnificada, agroforestería, conservación y preservación de los recursos naturales y ecoturismo.
- **Clase 6:** Presentan limitaciones muy severas que en términos generales, las hacen aptas únicamente para algunos cultivos semiperennes o perennes, semidensos y densos; también se pueden desarrollar sistemas agroforestales y forestales. La ganadería extensiva es un uso alternativo si se lleva a efecto evitando el sobre pastoreo y con buen manejo de los potreros.
- **Clase 7:** Tierras que presentan limitaciones severas, que las hacen inadecuadas para cultivos; tienen aptitud forestal; el bosque tiene carácter protector, pero cuando las condiciones del relieve o la topografía y los suelos ofrecen suficiente profundidad efectiva para el anclaje y el desarrollo normal de las raíces de las especies arbóreas se puede hacer un uso sostenible del recurso forestal de tipo productor, excepcionalmente se pueden establecer sistemas agroforestales como el café con sombrero con prácticas de conservación de suelos y manejo de aguas tendientes a prevenir y controlar los procesos de erosión. La cobertura vegetal permanente de múltiples estratos es absolutamente necesaria dada la muy alta susceptibilidad de los suelos al deterioro. La ganadería debe ser excluida totalmente del área ocupada por las tierras de esta unidad de capacidad.
- **Clase 8:** Son tierras que por su vulnerabilidad extrema (áreas muy escarpadas) o por su importancia como ecosistemas estratégicos (páramos) para la regulación del recurso hídrico y por su interés científico, deben

destinarse a la conservación de la naturaleza o a su recuperación en el caso de que hayan sido deterioradas.

El sistema de clasificación es multicategorico: en el nivel más alto de abstracción está entonces la clase, en el nivel intermedio la subclase y en el nivel inferior de la pirámide, el grupo de manejo.

De acuerdo con las limitaciones, se obtienen luego las subclases de capacidad, que son categorías del sistema de clasificación por capacidad de uso, que especifican en las clases 1 a la 8, uno o más factores limitantes generales y específicos para las unidades de suelos. En términos generales se conocen limitaciones por pendiente (p), erosión (e), humedad en exceso (h), suelo (s) y clima (c), y cuando se presenta más de una, se incluyen en el símbolo cartográfico en el orden en el que se mencionaron previamente, agregando a la correspondiente clase, una o más de dichas letras minúsculas respectivamente (IGAC, 2010). Y, los grupos de manejo se definen con base en las limitaciones específicas como la temperatura, la distribución de las lluvias y las características particulares de los suelos, conllevando a que, en una subclase, se puedan establecer uno, dos o más grupos. (IGAC, 2010).

Para la caracterización del área de influencia del medio abiótico, la clasificación de las tierras por su capacidad de uso, se refiere entonces al potencial que tienen las tierras para ser utilizadas bajo cierto tipo general de uso, con prácticas de manejo específicas (IGAC - CORPOICA, 2002) y se determina con la agrupación de las unidades cartográficas de suelos (UCS), según las clases agrológicas establecidas y teniendo en cuenta la observación de los limitantes de uso determinadas previamente. Así, mediante la interpretación de las características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de los suelos y la evaluación de características externas como relieve, pendientes, erosión, inundaciones, pedregosidad y clima, se constituyen los criterios para cada unidad de tierras por su Capacidad de Uso.

Contemplando lo anterior, a través de una matriz en el programa Microsoft Excel (ver Anexo C), que contiene los parámetros definidos por la Metodología del IGAC (IGAC, 2010), y se alimenta con la información secundaria suministrada en los Estudio Generales de Suelos y Zonificación de Tierras de los departamentos de Tolima (IGAC, 2004) y Cundinamarca (IGAC, 2000), con la información levantada en campo y con los resultados de los análisis fisicoquímicos determinados en laboratorio para los 7 puntos de monitoreo de suelos, se determina finalmente la clasificación agrológica de los mismos. Aunque el nivel de detalle en los estudios de suelos es menor que el de este estudio, las comparaciones permiten finalmente tener un acercamiento a lo observado en campo y así, definir lo más acertado para cada unidad de suelo.

Para el AI abiótica de la Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot; se identificaron suelos de las Clases Agrológicas 2, 3, 6, 7 y 8. En la Tabla 59, se relaciona cada unidad de suelo con la clasificación agrológica final definida, igualmente la descripción de la aptitud general de uso de dichos suelos y el uso potencial que se determinó según dichas clasificaciones.

Tabla 59 Aptitud de Uso de Los Suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot

Símbolo	Clase Agrológica	Descripción	Uso potencial principal	Área (ha)	%
VterVAa2	2es-1	Ubicados en zonas planas y ligeramente planas; de clima cálido húmedo; con posibilidad de riego para los cultivos; suelos moderadamente profundos, bien drenados, de texturas finas y medianas, ligeramente ácidos a neutros; de contenido bajo en materia orgánica y de fertilidad moderada; presentan erosión superficial de grado moderado.	Agricultura, Cultivos transitorios intensivos CTI	7,2	2,4
VterVAb2		Limitados principalmente por precipitaciones muy deficientes para los cultivos durante una parte del año. Son mecanizables, pero requieren riego y fertilización controlados. Dadas las condiciones propias del área de estudio, el uso principal más adecuado para estos suelos es la agricultura intensiva de orientación comercial o la ganadería intensiva para producción de leche; con utilización de pasturas mejoradas y Rotación de cultivos. Es necesaria la aplicación de enmiendas y fertilizantes y el empleo controlado de prácticas de mecanización agrícola.			
VterWQa2	3sc-1	Tierras de zonas ligeramente inclinadas, de clima cálido seco, suelos superficiales, bien drenados, de texturas finas a gruesas, reacción ácida y fertilidad moderada a baja, erosión moderada. El principal limitante lo constituyen las deficientes precipitaciones la mayor parte del año. Son fácilmente Mecanizables pero requieren riego, fertilización y control de erosión. Recomendados principalmente para agricultura semiintensiva de orientación comercial con cultivos propios de clima cálido y ganadería extensiva para producción de carne; con rotación de cultivos, fertilización, implementación de sistemas suplementarios de riego y pastoreo controlado de ganado. Controlar las quemadas.	Agricultura, Cultivos transitorios semiintensivos CTS	23,0	7,7
MsieWAe2	6ps-1	Tierras de climas cálido, seco y cálido, húmedo; de relieves ligeramente escarpados; suelos moderadamente superficiales, de moderada a alta fertilidad, moderadamente erosionados y bien a excesivamente drenados.	Agricultura, Cultivos permanentes semiintensivos CPS	39,5	13,2
MlaoWAe2		Limitados por la pedregosidad y las escasas precipitaciones durante el año; No son mecanizables.			
MlpdVAe2		Por las condiciones del área de estudio y las limitaciones propias de esta clase agrológica, el uso principal recomendado para estos suelos serían los cultivos de semibosque, ganadería semiintensiva y uso forestal; reforestación, fortalecimiento y favorecimiento de la regeneración espontánea de la vegetación natural. Requieren fertilización y prácticas de manejo para prevenir la erosión.			
MsieVAe2					

Símbolo	Clase Agrológica	Descripción	Uso potencial principal	Área (ha)	%
MclcWAe2	7s-1	Tierras de relieve ligeramente escarpado; de clima cálido seco; suelos pedregosos y moderadamente erosionados; superficiales, de moderada a alta fertilidad y excesivamente drenados.	Conservación, Sistemas forestales protectores FPR	47,1	15,8
MlcpWAe2		Las principales limitaciones de estos suelos corresponden a las deficientes precipitaciones en uno de los semestres del año y la erosión en grado moderado.			
MlesWAe2		Por las características propias del área de estudio y las limitaciones de la clase agrológica, se consideran áreas aptas para uso forestal protector, así como regeneración y mantenimiento de la vida silvestre con reforestación de zonas desprovistas de vegetación.			
MlpdWAe2					
MclcWAe3	7es-1	Tierras de relieve ligeramente escarpado; de climas cálido seco; suelos pedregosos y severamente erosionados; superficiales, de moderada a alta fertilidad y excesivamente drenados.			
MlpdWAe3		Las principales limitaciones de estos suelos corresponden a las deficientes precipitaciones en uno de los semestres del año y la erosión en grado severo. Al igual que la clase agrológica descrita anteriormente, las fases de suelos descritas aquí, se consideran áreas aptas para uso forestal protector, así como regeneración y mantenimiento de la vida silvestre con reforestación de zonas desprovistas de vegetación.			
MclcWaf2	7ps-1	Tierras de relieve moderadamente escarpado, de climas cálido seco y cálido húmedo; suelos muy superficiales, de moderada a alta fertilidad, moderadamente erosionados y excesivamente drenados.	Conservación, Conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación CRE	126,1	42,3
MlcpWaf2		Limitados por las pendientes que oscilan entre 50 y 75%, la erosión moderada y deficientes precipitaciones en uno de los semestres del año. Tierras aptas para reforestación con especies resistentes a la sequía. Se debe evitar la tala y la quema para favorecer la regeneración de la vegetación natural.			
MlesWaf2					
MlaoWaf2					
MsieWaf2					
MsieVaf2					
MlesWaf3	7pes-1	Los suelos agrupados en ésta clase agrológica, unidad cartográfica de suelo presentan condiciones similares a las de los suelos descritos en la clase 7-ps, pero con una erosión superficial en grados severo y muy severo, por lo que no se considera actualmente que tengan una aptitud de uso agropecuario; su usos deben encaminarse a la conservación y recuperación natural de especies herbáceas y forestales, para preservar posibles nacimientos de agua y fomentar la preservación de la vida silvestre.			
MlaoWaf3					
MlpdVaf4					
MsieVaf4					
MclcWag2	8ps-1	Tierras de relieves fuertemente escarpados, suelos muy superficiales, moderadamente erosionados y con frecuentes afloramientos Rocosos.			
MlcpWag2		No son aptas para ninguna explotación agropecuaria o forestal. Es necesario dejar			
MlesWag2					

Símbolo	Clase Agrológica	Descripción	Uso potencial principal	Área (ha)	%
MlaoWAg2		prosperar la vida silvestre y proteger las fuentes de agua, la flora y la fauna.			
MsieWAg2					
MlesVAg2					
MlpdVAg2					
MsieVAg2					
MlcpWAg3					
MlesVAg4	8pes-1	Tierras de relieves fuertemente escarpados, suelos muy superficiales, severa y muy severamente erosionados y con frecuentes afloramientos rocosos.			
MlpdVAe4		Tampoco son aptas para ninguna explotación agropecuaria o forestal. Su uso debe encaminarse a la recuperación y fomento de la vida silvestre y protección de fuentes hídricas, así como de la flora y la fauna.			
MlpdVAg4					
MsieVAg4					
Otras Áreas	Ríos (50 m)	Comprende las zonas cubiertas por agua continental de origen natural, representadas en la zona de estudio principalmente por el río Sumapaz	Cuerpos de agua naturales CAN	38,7	13,0
	Zonas urbanas	Corresponde a los centros poblados de la zona, en donde se llevan a cabo actividades comerciales, vivienda, recreativas entre otras propias del uso urbano del suelo.	Asentamiento, Residencial ARE	4,3	1,4
	Zonas industriales o comerciales		Asentamiento, Industrial/Comercial AIC	0,1	0,0
	Red vial y territorios asociados	Se refiere a la vía e infraestructura vial existente al interior del área de estudio.	Infraestructura, Transporte ITR	11,3	3,8
	Zonas de extracción minera	Corresponde a las áreas que se están dedicando a actividades de exploración y explotación minera principalmente aluvial.	Minería, Materiales de construcción MMC	1,2	0,4
TOTAL				298,34	100

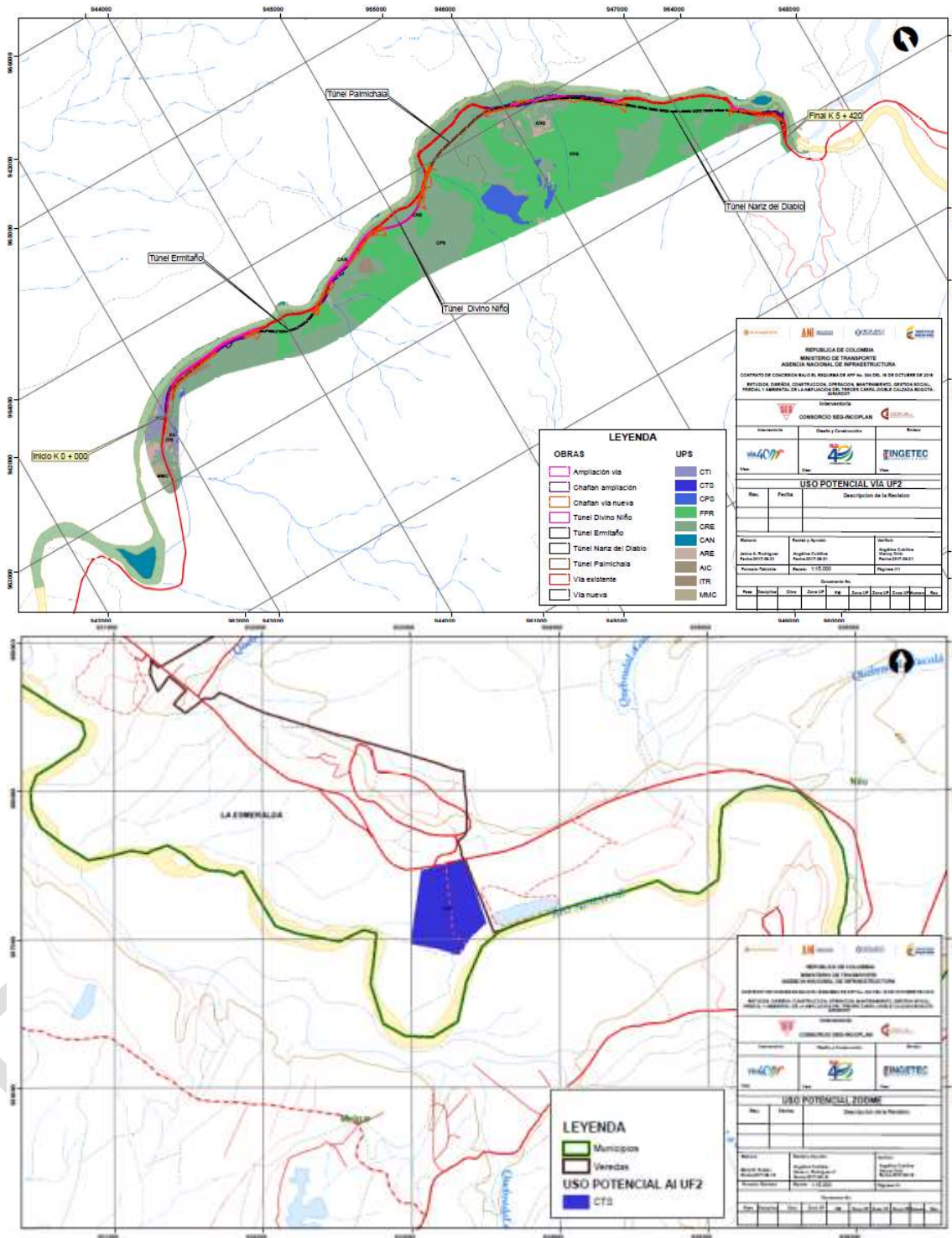
Fuente: INGETEC, 2017 con información IGAC, 2000 e IGAC, 2004

De acuerdo con la capacidad de uso determinada se establecieron los siguientes usos potenciales para los suelos en el área de influencia del medio abiótico:

- Agricultura
- Agricultura
- Agricultura
- Conservación
- Conservación
- Conservación
- Asentamiento
- Asentamiento
- Infraestructura
- Minería
- Cultivos transitorios intensivos (CTI)
- Cultivos transitorios semiintensivos (CTS)
- Cultivos permanentes semiintensivos (CPS)
- Sistemas forestales protectores (FPR)
- Conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)
- Cuerpos de agua naturales (CAN)
- Residencial (ARE)
- Industrial / Comercial (AIC)
- Transporte (ITR)
- Materiales de construcción (MMC)

PRELIMINAR

Figura 55 Mapa de aptitud de uso de los suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



Fuente: Elaboración INGETEC, 2017 con información IGAC, 2000 e IGAC, 2004

5.1.4.4. Uso actual de los suelos en el área de estudio

Existen numerosas acepciones que se asignan a los términos “Uso” y “Cobertura” los cuales dependen de la disciplina dentro de la cual se emplean. Así, el termino cobertura se aplica en un todo o en parte a algunos de los atributos de la tierra y que en cierta forma ocupan una porción de su superficie, por estar localizados sobre esta. El término uso se aplica al empleo que el hombre da a los diferentes tipos de coberturas, cíclica o permanentemente, para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (IGAC - CORPOICA, 2002).

Lo anterior hace referencia a la forma como las comunidades hacen el aprovechamiento del territorio, principalmente de las coberturas de la tierra. El uso del suelo puede evidenciarse a través de métodos indirectos utilizando información proveniente de los sensores remotos como aerofotografías, imágenes satelitales, que sirven para determinar los tipos de coberturas de la tierra; a partir de la información de coberturas se puede inferir el tipo de uso que se está realizando en una determinada región.

Al igual que en el ítem de uso potencial, para la definición de uso actual de los suelos, se tienen en cuenta los grupos y subgrupos de uso de suelos establecidos por el ANLA y conforme a la metodología desarrollada por el IGAC (ver Tabla 60). Sin embargo, y contemplando lo resuelto por la Resolución 2182 de 2016, donde se modifica y consolida el modelo de almacenamiento geográfico (geodatabase), se proponen y adicionan los dominios necesarios en las tablas de dominios (“Dom_Uso” y “Dom_TipoUso”) que hagan referencia a los usos del suelo no agropecuario como zonas urbanas, transportes (vías) y zonas de extracción minera.

Tabla 60 Usos de Los Suelos

Grupo (Uso)	Subgrupos (Tipo de Uso)
Agrícola	Cultivos transitorios intensivos
	Cultivos transitorios semiintensivos
	Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos
	Cultivos semipermanentes y permanentes semiintensivos
Agroforestal	Silvoagrícola
	Agrosilvopastoril
	Silvopastoril
Ganadera	Pastoreo intensivo y semiintensivo
	Pastoreo extensivo
Forestal	Producción
	Producción-protección
	Protección
Conservación	Forestal protectora
	Recursos hídricos
	Recuperación

Fuente: IGAC - CORPOICA, 2002.

El uso actual del suelo corresponde al empleo que se le está dando a cada área y da indicios del grado de intervención antrópica del área de influencia del medio abiótico; dado que se construye con base a un mapa escala 1:10.000, con un área mínima de delimitación de 0,25 Ha.

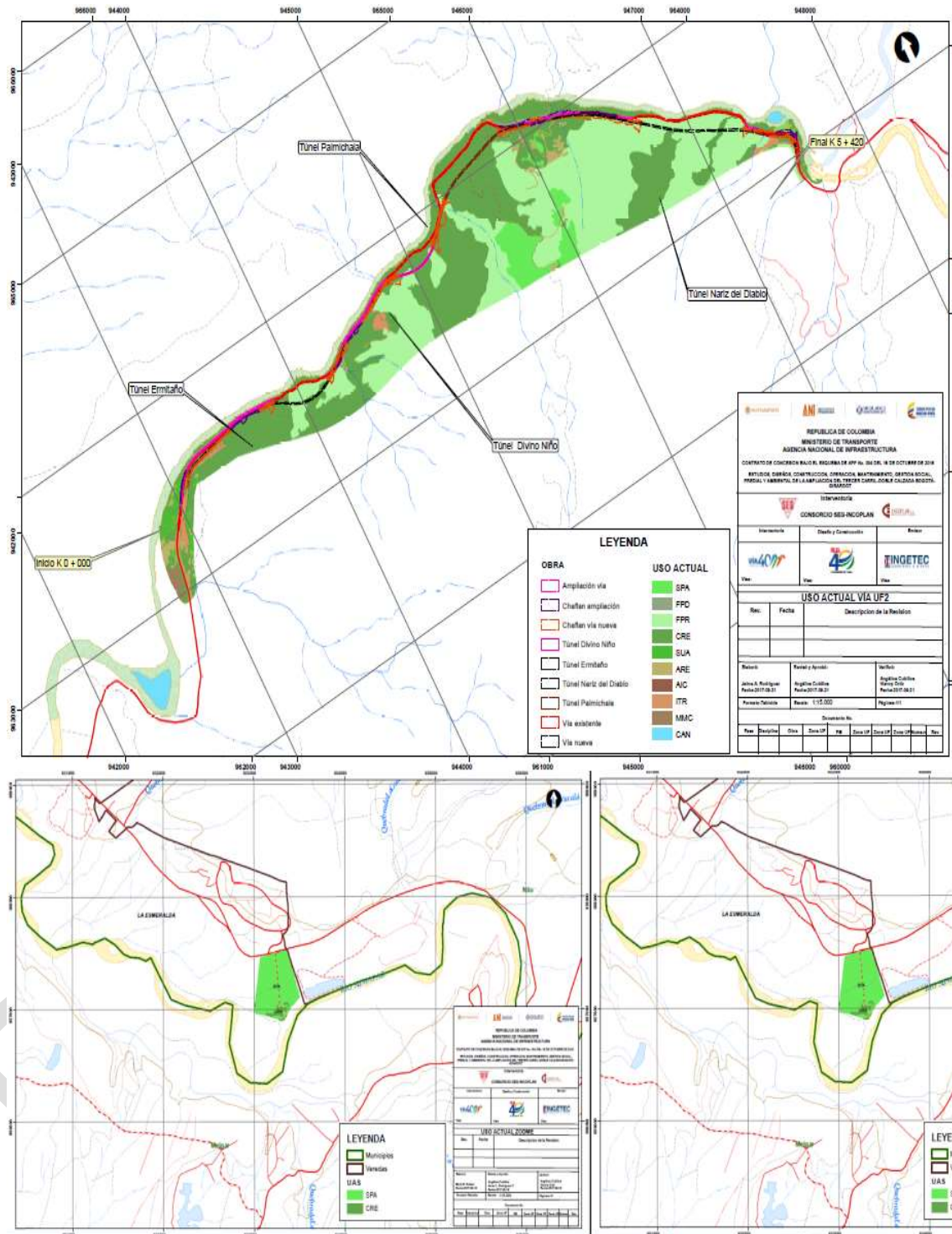
El uso actual del suelo el cual se encuentra definido por las actividades a las que la zona está sometida en el momento del desarrollo de la fase de campo y según las coberturas vegetales presentes definidas por el sistema Corine Land Cover escala 1:10.000, la foto interpretación y la verificación en campo. En la Tabla 61 y la Figura 56, se describen e ilustran los usos actuales del suelo para el AI del medio abiótico.

Tabla 61 Mapa uso actual de los suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot

Código cobertura	Descripción	Uso actual		Sigla Uso	Área (ha)	%
		Grupo	Subgrupo			
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	Agroforestal	Sistemas silvopastoriles	SPA	33,7	11,3
232	Pastos arbolados					
233	Pastos enmalezados					
231	Pastos limpios					
315	Plantación forestal	Forestal	Sistema forestal productor	FPD	1,3	0,4
312	Bosque abierto	Conservación	Sistemas forestales protectores	FPR	97,2	32,6
332	Afloramientos rocosos		Conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación	CRE	108,9	36,5
322	Arbustal					
314	Bosque de galería y/o ripario					
333	Tierras desnudas y degradadas					
323	Vegetación secundaria o en transición					
142	Instalaciones recreativas		Sin uso agropecuario	SUA	3,3	1,1
141	Zonas verdes urbanas					
112	Tejido urbano discontinuo	Asentamiento	Residencial	ARE	4,3	1,4
121	Zonas industriales o comerciales		Industrial	AIC	0,1	0,0
122	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Infraestructura	Transporte	ITR	11,3	3,8
131	Zonas de extracción minera	Minería	Materiales de construcción	MMC	1,2	0,4
511	Ríos (50 m)	Cuerpos de Agua Naturales	Cuerpos de Agua Naturales	CAN	37,0	12,4
TOTAL					298,34	100

Fuente: INGETEC, 2017 con información IGAC, 2000 e IGAC, 2004

Figura 56 Mapa de uso actual de los suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



Fuente: INGETEC, 2017

5.1.4.5. Conflictos de Uso de los suelos en el área de estudio

Los conflictos de uso de la tierra son el resultado de la discrepancia entre el uso que el hombre hace actualmente del medio natural y aquel que debería tener de acuerdo con la oferta ambiental. Se originan por diversas causas entre las que sobresalen la desigualdad en la distribución de tierras y el manejo no planificado de la relación uso - tierra en una determinada región. Los conflictos del uso de la tierra se presentan cuando las tierras son utilizadas inadecuadamente ya sea por sobreutilización o subutilización.

En la determinación de conflictos, se aplica el procedimiento, que se está utilizando en el país para generar la información de conflictos de usos del territorio. Se compara espacialmente mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG) el mapa de usos actuales versus el mapa de capacidad de uso (clases agrológicas) o uso potencial y se analiza con una matriz de doble entrada las unidades resultantes (ver Figura 58). El objetivo es identificar aquellas unidades espaciales en las cuales los usos actuales corresponden con la capacidad de uso del territorio, y en donde esto ocurre, no hay conflictos de uso; cuando los usos actuales no corresponden con la capacidad de uso del territorio se presenta el conflicto de uso.

La correspondencia indica que el suelo está siendo utilizado adecuadamente, situación que se define como el equilibrio y significa que el uso existente o actual en el suelo presenta exigencias iguales a su oferta ambiental. Aquellos suelos donde el agroecosistema existente corresponde con la vocación del uso potencial o con un uso compatible, sin causar deterioro ambiental y manteniendo actividades adecuadas y concordantes con la productividad natural de las tierras. Estos suelos se definen entonces como lugares geográficos en los cuales existen las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de los usos actuales, por lo cual se recomienda evitar que entren en algún tipo de conflicto. Cuando se presentan diferencias entre el uso actual y el potencial se dan dos escenarios:

- **Subutilización del suelo:** Hace referencia al uso actual que es menos intensivo que el uso potencial. Cuando el agro-ecosistema existente corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso, si se compara con la mayor capacidad productiva de las tierras.
- **Sobreuso del suelo:** Cuando las exigencias del uso actual o cobertura vegetal existente son mayores que la oferta productiva del suelo, de acuerdo con sus características agroecológicas. En estas tierras se hace un aprovechamiento intenso de la base natural de recursos, sobrepasando su capacidad natural productiva y propiciando graves riesgos de tipo ecológico y social. Por sobreuso se presentan varios niveles de diferencias que dan lugar a conflictos tales como los que se relacionan en la Tabla 62.

Tabla 62 Tipos de Conflictos de Uso del Suelo

Tipos de conflicto	Sigla
Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	A
Conflicto por subutilización ligera	S1
Conflicto por subutilización moderada	S2
Conflicto por subutilización severa	S3
Conflicto por sobreutilización ligera	O1
Conflicto por sobreutilización moderada	O2
Conflicto por sobreutilización severa	O3

Fuente: IGAC - CORPOICA, 2002.



Con el fin de evaluar la concordancia, compatibilidad o discrepancia en el uso, mediante el proceso de confrontar ordenadamente cada tema: Vocación de Uso (Capacidad de uso de las tierras) vs Uso Actual, y con base en el capítulo IV de la Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia (IGAC - CORPOICA, 2002), se toma como referencia la matriz de decisión, mencionada previamente y resumida para los conflictos de uso presentados en el área de influencia abiótica en la Figura 57.

Al hacer uso de la matriz mencionada, y de acuerdo con la capacidad agrológica y el tipo de uso actual del suelo ya definidos, se calificaron las variables correspondientes a estos parámetros, dando como resultado 6 categorías de conflicto de uso, que dependen principalmente del uso y manejo de los suelos y del manejo adecuado de los recursos naturales renovables y no renovables, que permiten la concordancia y el equilibrio sistémico de la zona (Ver Tabla 63 y Figura 57).

Figura 57 Matriz de Decisión Para Determinación de Conflictos de Uso de los Suelos

VOCACION DE USO			USO ACTUAL				
			AGROFORESTAL	FORESTAL	CONSERVACION		
TIPO PRINCIPAL DE USO			Sistemas silvopastoriles	Sistema forestal productor	FPR	CRH	CRE
AGRÍCOLA	Cultivos transitorios intensivos	CTI	S3	S3	S3	S3	S3
	Cultivos transitorios semiintensivos	CTS	S2	S3	S3	S3	S3
	Cultivos permanentes semiintensivos	CPS	S1	S3	S3	S3	S3
CONSERVACIÓN	Sistemas forestales protectores	FPR	O3	O2	A	A	A
	Cuerpos de Agua Naturales o Artificiales	CRH	O3	O2	A	A	A
	Conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación	CRE	O3	O2	A	A	A

Fuente: IGAC - CORPOICA, 2002.

Tabla 63 Conflictos de Uso de los Suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot

Uso potencial	Uso actual	Áreas (ha)	Conflicto de uso	Área Conflicto (ha)	%			
CAN	CAN	37,0	Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado A	204,10	68,4			
	CRE	1,8						
	SUA	0,0						
CRE	CRE	67,2						
	FPR	57,5						
	SUA	0,1						
FPR	CRE	14,6						
	FPR	25,5						
	SUA	0,3						
CPS	SPA	5,4				Conflicto por subutilización ligera S1	5,41	1,8
CTS		21,6				Conflicto por subutilización moderada S2	21,60	7,2
CPS	CRE	19,5	Conflicto por subutilización severa S3	42,63	14,3			
	FPR	14,2						
	SUA	0,4						
CTI	CRE	4,4						
	SPA	0,2						
CTS	SUA	2,6						
CTS	CRE	1,4	Conflicto por sobreutilización moderada O2	1,27	0,4			
CRE	FPD	0,2						
FPR		1,1						
CRE	SPA	1,1	Conflicto por sobreutilización severa O3	6,49	2,2			
FPR		5,4						
AIC	AIC	0,1	Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	16,84	5,6			
ARE	ARE	4,3						

Uso potencial	Uso actual	Áreas (ha)	Conflicto de uso	Área Conflicto (ha)	%
ITR	ITR	11,3	A		
MMC	MMC	1,2			
TOTAL				298,34	100

Fuente: Elaboración INGETEC, 2017 con información IGAC, 2000 e IGAC, 2004

Tierras sin conflicto de uso (A)

Bajo este título se califica a las tierras donde el agro-ecosistema existente guarda correspondencia con la vocación de uso principal. El uso actual no causa deterioro ambiental, lo cual permite mantener actividades adecuadas y concordantes con la capacidad productiva natural de las tierras. Lo anterior igualmente indica que, los suelos en el AI abiótica, cuya aptitud de uso se sugiere para actividades conservacionistas y de preservación de los recursos naturales, están siendo utilizados actualmente en estas mismas actividades, o actividades concordantes con la oferta ambiental, por lo que se considera que no se está generando un desgaste inadecuado del recurso edáfico; en el área de influencia para el medio física, suman un total de 204,1 ha, que corresponden a un 68,4% del AID Física.

Bajo esta categoría también se incluyen las áreas sobre las cuales existen asentamiento, infraestructuras de origen antrópico y zonas de extracción minera (16,84 ha) y que no se consideran unidades de suelos.

Subutilización ligera (S1) y moderada (S2)

Suelos cuyo uso actual está por debajo, de la clase de vocación de uso principal recomendada, de acuerdo con la capacidad de producción de las tierras. En el área de estudio se ubican suelos que de acuerdo con su potencial tienen una aptitud de uso para sistemas cultivos semiintensivos permanentes y transitorios, pero se encuentran actualmente bajo usos menos intensos a su vocación como lo son los sistemas silvopastoriles.

El conflicto de uso por Subutilización ligera (S1) representa en el área de estudio, un total de 5,41 ha, para un 1,8% del área influencia directa física del proyecto; mientras que el conflicto de uso por Subutilización moderada (S2), se manifiesta en el área proyectada para la adecuación del ZODME, en un total de 21,6 ha, para un 7,2% del AID física del proyecto.

Subutilización severa (S3)

Son tierras en donde el uso actual está muy por debajo, en tres o más niveles, de la clase de vocación de uso principal recomendada. En el AID física, representa suelos que de acuerdo con su potencial tienen una aptitud de uso para actividades agrícolas intensivas y semiintensivas, pero actualmente se encuentran bajo de conservación y recuperación de los recursos naturales, como los sistemas forestales protectores y las áreas sin uso agropecuario; comprenden un área total de 42,63 ha, que representan 14,3% del AID física.

Sobreutilización moderada (O2)


Tierras cuyo uso actual está por encima en 2 niveles de la clase de vocación recomendada de acuerdo con su capacidad de uso. En aquellas zonas podría darse la posibilidad encontrar rasgos visibles de deterioro de los recursos tales como la presencia de procesos erosivos activos. En el AID física, se ubica en tierras con vocación conservacionista (recuperación y forestal protectora), con usos actuales de sistemas forestales productores. Las tierras con categoría de conflicto O2 se ubican en pequeñas áreas al norte y del área de estudio oriente, y suman un total de 1,27 ha y representan apenas 0,4% del área total de estudio.

Sobreutilización severa (O3)



Tierras cuyo uso actual supera en tres o más niveles la clase de vocación de uso principal recomendada, presentándose evidencias de degradación avanzada del recurso, como procesos erosivos severos o disminución marcada de la productividad de las tierras. En el AID física, comprende zonas con vocación conservacionista, bajo usos silvopastoriles. Ocupan un área total de 6,49 ha (2,2% del área estudiada).

PRELIMINAR

 5.1.4.6. Conflictos de Uso de los suelos con respecto al ordenamiento territorial

Considerando la información obtenida para el uso actual de los suelos, se procedió a revisar y comparar la información y reglamentación referente a usos de los suelos, contenidas en los instrumentos de ordenamiento territorial de los municipios pertenecientes al área de influencia, con el fin de identificar áreas de protección o con reglamentación especial definidas por los municipios y luego, poder establecer conflictos de uso de los suelos entre lo establecido por los municipios y lo determinado para el presente estudio.

En el municipio de Icononzo, según el acuerdo N° 003 de 2007, por el cual se adopta el EOT municipal (Municipio de Icononzo, 2007), de acuerdo con el plano de zonificación ambiental, el AID del proyecto intercepta con:

- Una zona denominada como “centro poblado rural (El Boquerón)”, en la cual actualmente además de los asentamientos y la infraestructura vial existente, se presentan también usos compatibles de conservación.
- Áreas de especial significancia ambiental - Protección absoluta manejo especial (TPA), descritas como zonas de protección especial, vida silvestre, bancos de flora y fauna, ecoturismo, investigación, rondas de ríos y quebradas; y Áreas de amenaza natural (SP), definidos como sectores susceptibles a procesos de remoción en masa donde hay acción antrópica, uso intensivo y corrientes hídricas. En estas áreas dentro del AID del proyecto, actualmente se están presentando usos compatibles de conservación recuperación y sistemas forestales protectores.

Para el municipio de Melgar, se revisó la información contenida en el Acuerdo 029 de 2006, por el cual se ajusta y complementa el PBOT para el Municipio (Municipio de Melgar, 2006), y se realiza la comparación entre los usos actuales determinados para el municipio en el año 2006, contra los usos actuales definidos para el presente estudio; con esta comparación se pueden identificar:

- áreas identificadas como de conservación en el 2006, que se mantienen bajo la misma tendencia, con sistemas forestales protectores y áreas de conservación recuperación.
- Áreas identificadas como de actividad agropecuaria mayor y actividad agropecuaria menor las cuales se encuentran en la actualidad bajo usos conservacionistas, agroforestales y residenciales.
- Área identificada como “Vías”, en donde actualmente se ubican algunos asentamientos residenciales, la red vial, una cantera y áreas de conservación.

En cuanto al municipio de Nilo, se toma como referencia el Acuerdo 019 de 2013, por el cual se modifica el EOT y se homologan los acuerdos 004 de 2001 y 006 de 2005 (Municipio de Nilo, 2013), de acuerdo al mapa de zonificación rural, se identifica que el área de influencia del proyecto intercepta con:

- Zonas agropecuarias tradicionales, cuyos usos actuales conservacionistas y agroforestales (silvopastoriles) son compatibles con lo dispuesto por el municipio.
- Corredores viales de servicios, cuyos usos actuales son principalmente sistemas silvopastoriles.



5.1.4.7. Vulnerabilidad de los suelos a la contaminación por las actividades del proyecto

El análisis se orienta a evaluar la vulnerabilidad del suelo frente a situaciones de contaminación asociadas a metales pesados. En los puntos de monitoreo establecidos para la caracterización agrológica de los suelos al interior del área estudiada, se tomaron adicionalmente muestras integradas de los materiales presentes en el perfil, con el fin de realizar análisis químicos para determinar presencia de contaminantes en la condición actual de los suelos; dichos análisis fueron realizados por el laboratorio LMB LABORATORIOS S.A.S., siguiendo los métodos analíticos consignados a continuación en la Tabla 64

Tabla 64 Parámetros analizados dentro del Monitoreo de Suelos

Ensayo	Método	Unidades
Arsénico Total	Absorción atómica - generación de hidruros - USEPA 3050B (1996)	mg As/kg
Cadmio Total	Absorción atómica - USEPA 3050 B (1996)	mg Cd/kg
Cobre Total	Absorción atómica - USEPA, 3050B (1996)	mg Cu/kg
Mercurio Total	Absorción atómica - Vapor frío - CFIA Amend No. 412/02 de 1999	mg Hg/kg
Níquel Total	Absorción atómica - USEPA, 3050B (1996)	mg Ni/kg
Plomo Total	Absorción atómica - USEPA 3050B (1996)	mg pb/kg

Fuente: LMB LABORATORIOS S.A.S., 2017

Actualmente, el país no cuenta con legislación vigente que regule los contenidos de metales pesados en los suelos (Mahecha Pulido, Trujillo González, & Torres Mora, 2015) para evaluar la alteración del recurso suelo y comparar los análisis de suelo con los parámetros analizados en las muestras tomadas. Por tal razón, el establecimiento de la contaminación no debe realizarse de manera genérica para todos los suelos, sino que hay que tener presente el tipo, la composición y el uso actual o potencial de cada uno, dado que el contenido natural de metales pesados en suelos es muy variable, en la medida que en algunos sitios los niveles de fondo podrán ser superiores o inferiores (Rueda Saa, Rodríguez Victoria, & Madriñán Molina, 2011). De esta forma, los resultados obtenidos de los suelos del área de influencia proyecto de Ampliación Tercer Carril – Doble Calzada Bogotá - Girardot, se evalúan con los criterios de Guidelines British Columbia.

El documento técnico de estándares de Guidelines British Columbia para la gestión de la contaminación (Ministry of Environment Waste Management Program, 1990), contiene una lista de estándares de investigación y remediación numérica para contaminantes que pueden estar contenidos en los suelos.

Los estándares de investigación son concentraciones de contaminantes que cuando se exceden, requieren una investigación detallada para evaluar el grado de contaminación y la naturaleza de cualquier peligro, así como acciones para reducir la exposición de seres humanos u otros receptores a los contaminantes. Estas acciones pueden incluir actividades de limpieza, contención, creación de barreras, cambio en el uso de la tierra u otras formas de mitigación. Para el presente análisis se toma como referencia los niveles A y B que se detallan a continuación:

- Nivel A:** Este nivel representa los límites de detección analítica alcanzables para compuestos orgánicos en el suelo y niveles de fondo naturales de metales e inorgánicos. Para suelos con concentraciones en este nivel o menores, se consideran no contaminados. Para el uso del suelo residencial el nivel A representa el estándar de investigación.

Para suelos que contienen contaminantes en concentraciones mayores que el nivel A, pero menores que el nivel B, el suelo se considera ligeramente contaminado, pero no se requiere remediación.
- Nivel B:** Este nivel es un valor intermedio, aproximadamente 5 a 10 veces superior al nivel A. Para usos de la tierra residenciales y recreativos, este nivel es el estándar de remediación, mientras que para el exclusivo uso de suelo comercial o industrial es el estándar de investigación.

Para suelos que contienen contaminantes con concentraciones que exceden el nivel B, pero menores que el nivel C, en usos de la tierra residenciales o recreativos, el suelo se considera contaminado y requiere

remediación a niveles inferiores al nivel B; No se requerirá remediación si las tierras se emplean exclusivamente para actividades comerciales o industriales.

En la Tabla 65 (ver Anexo C) se presentan los resultados de análisis de laboratorio de los suelos del área de influencia del proyecto y se observa el comportamiento de los análisis con respecto a las criterios mencionados anteriormente. Los suelos analizados, reportan concentraciones que se ajustan a los criterios que establece en las normativas.

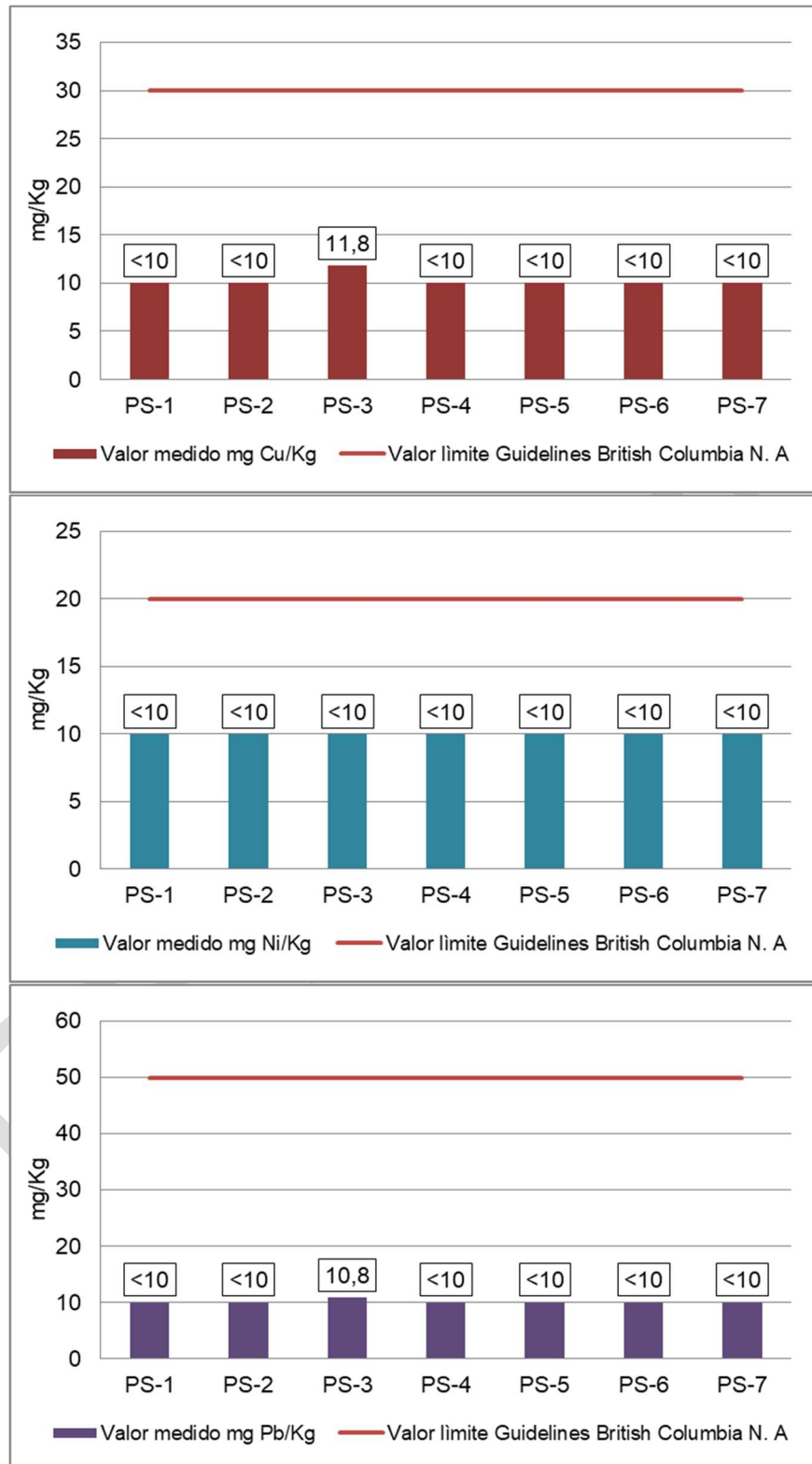
Tabla 65 Resultados de metales pesados analizados dentro del Monitoreo de Suelos

Análisis de metales	Unidad	Identificación de la muestra							Guidelines British Columbia	
		PS-1	PS-2	PS-3	PS-4	PS-5	PS-6	PS-7	Nivel A	Nivel B
Arsénico total	mg/Kg	2,48	< 2	< 2	< 2	2,83	6,68	2,19	5	30
Cadmio total	mg/Kg	< 2,5	3,78	3,59	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	1	5
Cobre total	mg/Kg	< 10	< 10	11,81	< 10	< 10	< 10	< 10	30	100
Mercurio total	mg/Kg	0,12	0,13	0,15	0,34	< 0,1	0,14	< 0,1	0,1	2
Níquel total	mg/Kg	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	20	100
Plomo total	mg/Kg	< 10	< 10	10,79	< 10	< 10	< 10	< 10	50	500

Fuente: LMB LABORATORIOS S.A.S., 2017

Guidelines British Columbia Criterio Nivel A, cumple con los parámetros de Cobre, Níquel y Plomo (Figura 59), en todos los suelos analizados en el área de influencia del proyecto Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot, reportan concentraciones que se ajustan a los criterios que establece en la normativa referenciada.

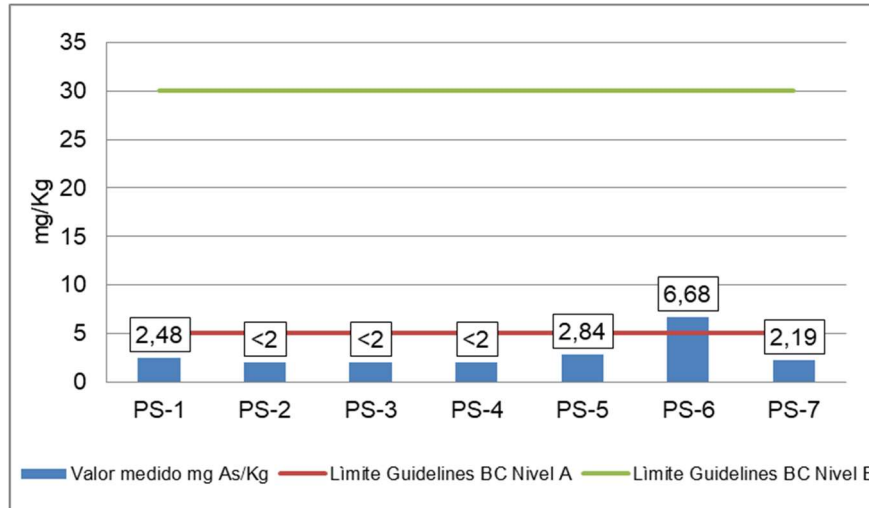
Figura 59 Cobre, Níquel y Plomo en suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



Fuente: Elaboración INGETEC, 2017 con información LMB LABORATORIOS S.A.S., 2017

El arsénico (Figura 60) también cumple con los parámetros de Guidelines British Columbia Criterio Nivel A, excepto en el punto PS-6, donde se reporta una concentración de 6,68 mg As/kg frente al valor de referencia que es de 5 mg As/kg, sin embargo no alcanza a estar cerca del valor del nivel B; en PS-6 se considera el suelo ligeramente contaminado por arsénico, pero no se requiere remediación.

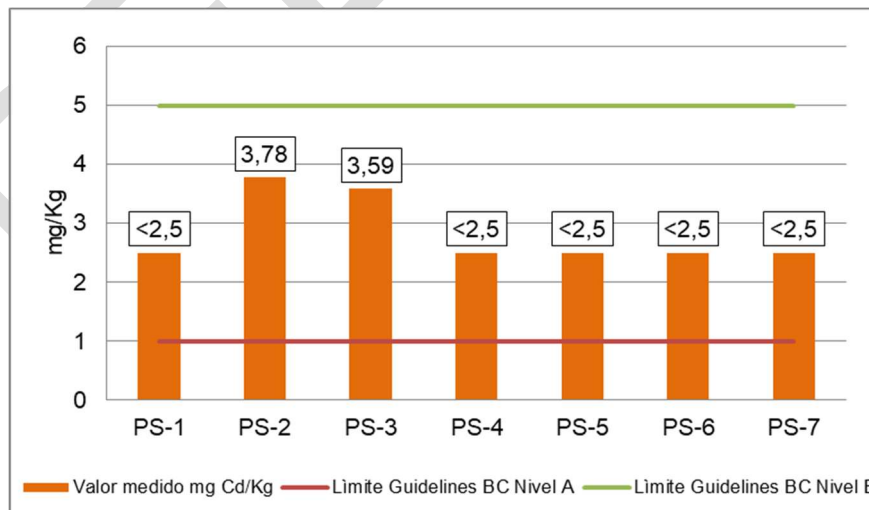
Figura 60 Arsénico en suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



Fuente: Elaboración INGETEC, 2017 con información LMB LABORATORIOS S.A.S., 2017

En cuanto al cadmio en todos los puntos de monitoreo de suelos (Figura 61), reporta valores por encima del nivel A, pero inferiores al nivel B, por lo que también se consideran suelos ligeramente contaminado por cadmio, pero no requieren remediación.

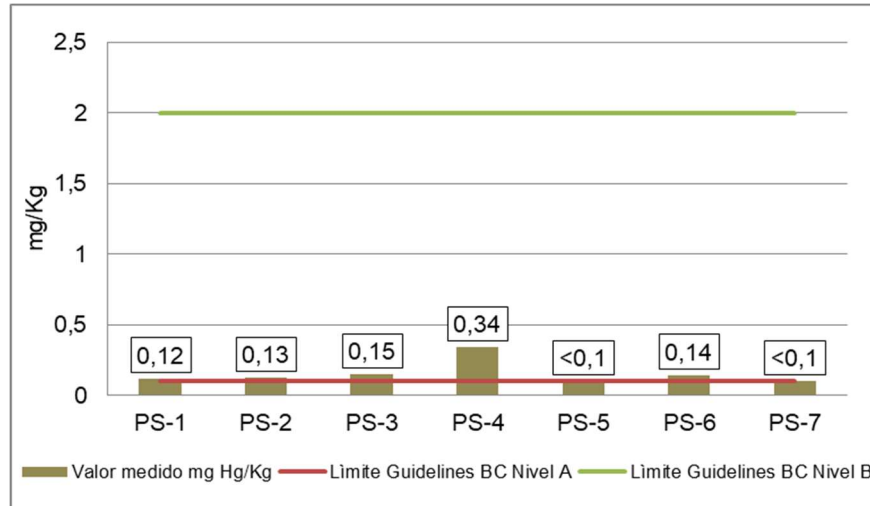
Figura 61 Cadmio en suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



Fuente: Elaboración INGETEC, 2017 con información LMB LABORATORIOS S.A.S., 2017

Finalmente con respecto al mercurio (Figura 62), se reportan valores superiores al Nivel A excepto en los puntos PS-5 y PS-7, donde son inferiores, los valores donde se detectó la presencia del contaminante, están muy por debajo del nivel de referencia B, es decir que estos suelos se encuentran ligeramente contaminado por mercurio, pero tampoco requieren de prácticas de remediación.

Figura 62 Mercurio en suelos AI - Unidad Funcional 2, Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



Fuente: Elaboración INGETEC, 2017 con información LMB LABORATORIOS S.A.S., 2017

PRELIMINAR

5.1.5. Hidrología

Para realizar el análisis hidrológico del área de estudio (Unidad Funcional 2) se identificaron los cauces principales ubicados en el alineamiento de la vía o de la infraestructura asociada. Una vez identificados estos cauces, se localizaron las estaciones hidrométricas más cercanas para determinar el régimen hidrológico, y los caudales característicos de las corrientes a la altura del proyecto Tercer Carril.

5.1.5.1. Recopilación y análisis de información existente

Para realizar la caracterización hidrológica del área de estudio (Unidad Funcional 2), se recopiló la información existente de la zona en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) correspondiente a los registros de Precipitación y caudales, cuyas características se presentan en la Tabla 66 y su localización en la Figura 63.

Tabla 66 Estaciones meteorológicas e hidrométricas utilizadas en el estudio

Código	Estación	Tipo	Coordenadas		Altitud (msnm)	Periodo de registro	Entidad que opera
			Este	Norte			
21185040	Apto Santiago Vila	MET	920014.79	964568.00	305	1960-2015	IDEAM
21195080	Base Aérea Melgar	CO	937902,3	957561,6	319	1973-2011	IDEAM
21190300	El Salero	PM	941256,3	960026,0	650	1971-2012	IDEAM
21195060	Pandi	CO	954490.08	955394.96	950	1969-2015	IDEAM
21197010	El Profundo	HA	952608.34	937220.40	1860	1959-2015	IDEAM
21197030	La Playa	LG	953012.78	955343.52	750	1965-2014	IDEAM
21197150	El Limonar	LG	939711.08	959808.92	405	1965-2014	IDEAM
21197080	Hda La Bonanza	LG	968247.33	978313.09	1520	1994-2014	IDEAM
21197110	Silvania	LG	965956.69	978734.83	1480	1952-2012	IDEAM

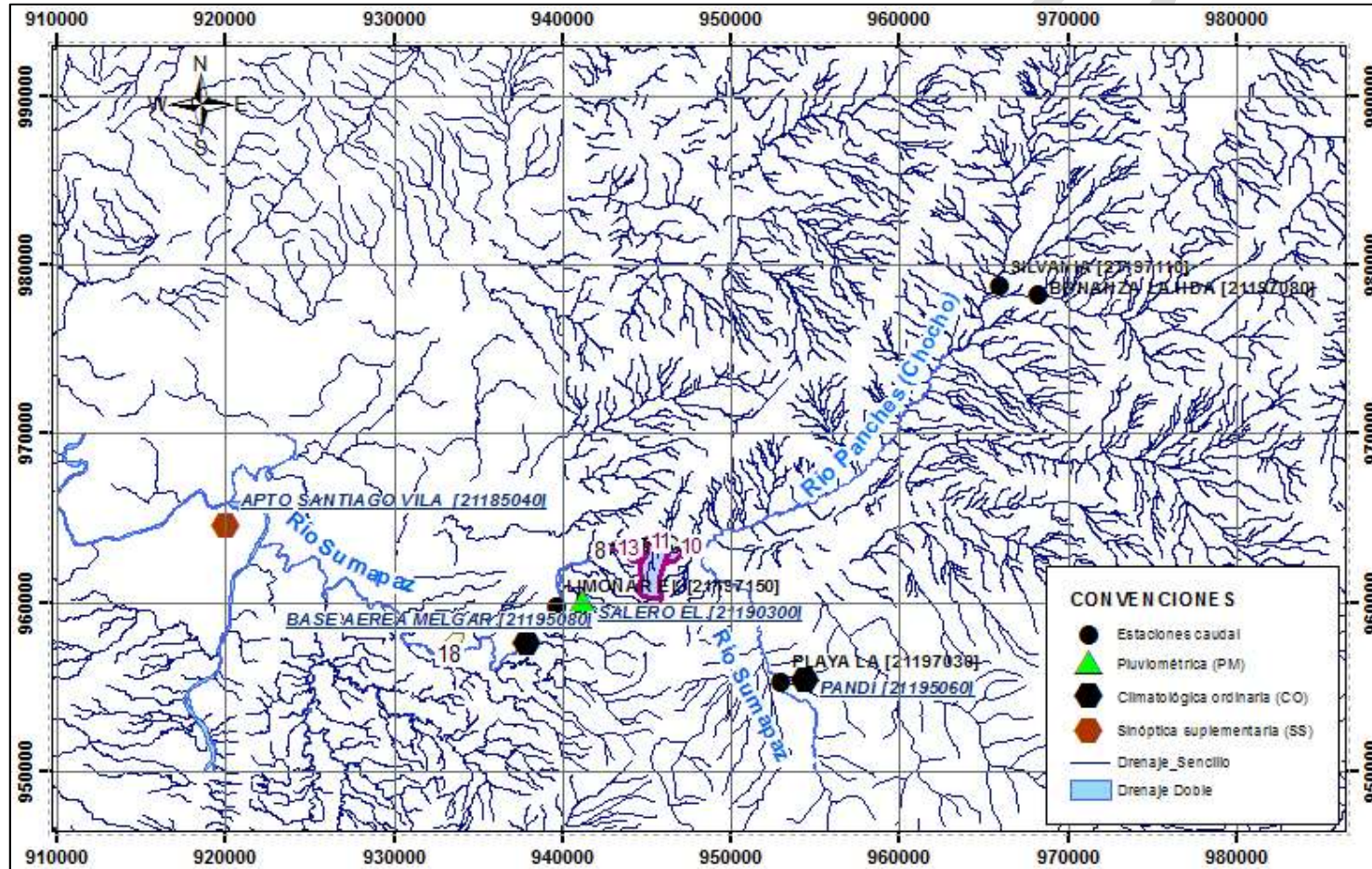
Fuente: INGETEC, 2017

5.1.5.2. Red Hidrográfica y áreas de cuencas hidrológicas

La zona de estudio se localiza entre los municipios de Melgar e Icononzo en el departamento del Tolima, el cauce principal corresponde al Río Sumapaz cuya cuenca hidrográfica hace parte de la hoya hidrográfica del Río Magdalena, se ubica al sur-occidente del departamento de Cundinamarca, su extensión es de 2532.14 km² y ocupa el 13.5% del área de jurisdicción CAR.

A partir de la cartografía IGAC escala 1:25000, se realizó la delimitación de las cuencas hidrográficas sobre las que el alineamiento de la vía o del túnel presenta cruces, y se evidencia a nivel general en la Figura 63.

Figura 63 Localización de estaciones en la zona de estudio



Fuente: INGETEC, 2017

Para cada una de las cuencas se realizó la identificación de los sistemas lenticos y loticos que conforman la red hidrográfica del área de estudio, los cuales se describen a continuación:

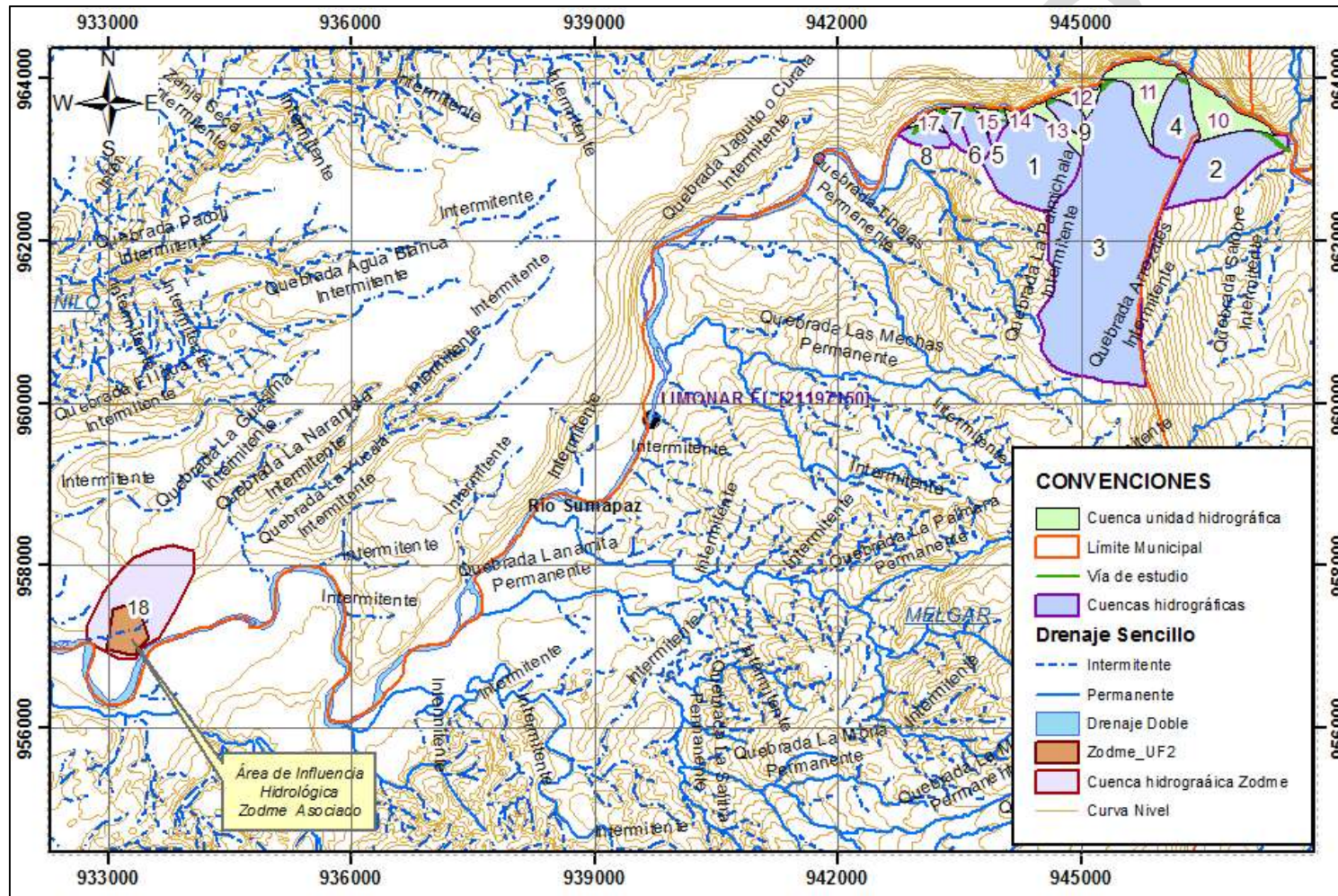
- **Sistemas Lenticos:** Son cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir como ciénagas, lagos, lagunas o pantanos. Teniendo en cuenta esta definición, en la cartografía IGAC escala 1:25000 no se evidencia la existencia de estos sistemas.
- **Sistemas Lóticos:** Son todas las masas de agua que se mueven continuamente en una misma dirección, es decir, tienen un movimiento definido y un avance irreversible, estas pueden ser de flujo permanente o intermitente. Dentro de este sistema presente en el área de estudio se encuentran la Qda. La Cascada, Qda. La Palmichala y otros cauces sin nombre registrado que drenan sobre la margen Izquierda del Río Sumapaz.

Se identifican diecisiete zonas en el área de la unidad funcional analizada y uno en el área del Zodme (ver Figura 64 y Figura 65). Las características de estas zonas se relacionan a continuación en la Tabla 67.

Tabla 67 Características de las cuencas

Identificador de cuenca.	Zona de estudio	Red Hidrográfica	Área de la cuenca (km ²)	Perímetro de la cuenca (km)
1	Vía	Qda. La Cascada	0,98	3,68
2	Vía	Intermitente	0,77	4,04
3	Vía	Qda. La Palmichala	3,97	9,56
4	Vía	Intermitente	0,42	2,82
5	Vía	Intermitente	0,06	1,17
6	Vía	Intermitente	0,16	1,65
7	Vía	Intermitente	0,11	1,52
8	Vía	Intermitente	0,13	1,55
9	Vía	Intermitente	0,12	1,45
10	Vía	Unidad Hidrográfica	0,35	3,34
11	Vía	Unidad Hidrográfica	0,39	3,38
12	Vía	Unidad Hidrográfica	0,09	1,61
13	Vía	Unidad Hidrográfica	0,11	2,10
14	Vía	Unidad Hidrográfica	0,01	0,54
15	Vía	Unidad Hidrográfica	0,04	1,06
16	Vía	Unidad Hidrográfica	0,02	0,76
17	Vía	Unidad Hidrográfica	0,05	1,30
18	Zodme	Intermitente	1,15	4,22

Figura 64 Localización Red Hidrográfica



Fuente: INGETEC, 2017

5.1.5.3. Patrones de drenaje

Con la información cartográfica, se identificó que la zona presenta un tipo de patrón de drenaje, que corresponden al drenaje dendrítico. El drenaje dendrítico se caracteriza por mostrar una ramificación arborescente en la que los tributarios se unen a la corriente principal. A continuación en la Figura 66 se presenta un esquema del patrón mencionado.

Figura 66 Esquema patrones de drenaje



5.1.5.4. Características morfométricas de las cuencas hidrológicas

Con la información cartográfica se determinaron para cada una de las cuencas las características morfométricas que se describen a continuación.

- Área y perímetro

El área de drenaje es la superficie del terreno que contribuye al escurrimiento, hacia el cauce principal y sus tributarios, delimitada por la divisoria de aguas o línea imaginaria que se ubica en los puntos de mayor elevación topográfica.

El perímetro corresponde a la longitud de la divisoria de aguas que define el área de drenaje.

- Pendiente media

El cálculo de la pendiente media se realizó con cartografía digital a escala 1:100 000 y de acuerdo con el criterio de Taylor y Schwarz, que considera que el río puede estar formado por una serie de tramos de igual longitud o bien por tramos de longitud variable.

Así, la pendiente de la corriente principal, representa un valor medio, ya que cada tramo de río tiene una pendiente propia. En consecuencia, la pendiente media del cauce principal se aproximará más al real, mientras mayor sea el número de tramos seleccionados a lo largo del cauce.

La pendiente media para tramos de longitud variable se calcula con la ecuación:

$$S \text{ media cauce} = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Dónde:

S: pendiente media del cauce

L: longitud total del río

Ln: longitud del tramo n

Sn: pendiente del tramo n

- Tiempo de concentración

El tiempo de concentración (t_c), se define como el tiempo que tarda una gota de agua en viajar desde el sitio más apartado de la cuenca hasta la salida de la misma, por tanto, depende de la distancia a recorrer como de la velocidad de la misma. La velocidad a su vez, depende de un gran número de variables, tales como la forma del cauce, el coeficiente de rugosidad y la pendiente en cada tramo. Por tanto, ante la complejidad de la estimación del tiempo de concentración, se recurre a fórmulas empíricas basadas en la observación.

Para las cuencas en estudio, el tiempo de concentración se calculó utilizando diferentes metodologías con el fin de aumentar el grado de certeza. En la Tabla 68 se resumen las formulaciones empleadas para calcular el tiempo de concentración, así como el autor que los propone y las variables involucradas.

Tabla 68 Fórmulas empleadas para calcular el tiempo de concentración

Fórmula	Ecuación	Parámetros
Kirpich	$T_c = 0,06628 \left(\frac{L_D}{S^{0,5}} \right)^{0,77}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Témez	$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Williams	$T_c = 0,683 \left(\frac{L A^{0,40}}{D S^{0,25}} \right)$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) D = Diámetro de una cuenca circular con área A (km) A = Área de la cuenca (km ²)
Bransby Williams	$T_c = \frac{14,6 L}{A^{0,1} S^{0,2}}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (min) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km ²)
Giandotti	$T_c = \left(\frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{25,3\sqrt{L S}} \right)$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km ²)
Johnstone y Cross	$T_c = 2,6 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,5}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/km)
SCS – Ranser	$T_c = 0,947 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) H = Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente principal (m)

Fórmula	Ecuación	Parámetros
Ventura Heras	$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,75}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Ven Te Chow	$T_c = 0,273 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,64}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos	$T_c = 0,28 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)

Fuente: INGETEC, 2017.

El tiempo de concentración definitivo se estimó mediante la estimación del promedio (μ) y la desviación estándar (σ), descartando los valores fuera del rango $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$ y hallando el promedio con los valores dentro de dicho rango. Se adoptó un tiempo de concentración mínimo de 15 min para cuencas con tiempo de concentración menores a este valor, con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en las cuencas y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría al realizar los análisis con valores menores a este tiempo de concentración.

- Densidad de drenaje

La densidad de drenaje es la relación entre la longitud total de los cursos de agua dentro de la cuenca y el área total de ésta, según la siguiente expresión:

$$Dd = \frac{\sum Lc_i}{A}$$

Donde $\sum Lc_i$, es la longitud total de los cauces de agua en km.

Por lo general la densidad de drenaje toma valores que van desde 0,5 km/km² (cuencas con drenaje pobre) hasta 3,5 km/km² (cuencas excepcionalmente bien drenadas). Una densidad alta refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación, refleja generalmente áreas con suelos fácilmente erosionables o relativamente impermeables, con pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal. Una cuenca con baja densidad refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta, ocurren en sitios donde los materiales del suelo son resistentes a la erosión o muy permeables.

En nuestro caso, se obtuvieron valores de densidad de drenaje entre 0,3 y 1, lo que indica que las cuencas presentan un drenaje pobre y son en su mayoría intermitentes, a excepción del río Ranchería que tiene una densidad de drenaje de 1,38 que indica que la cuenca es bien drenada.

- Orden de la corriente de Horton

El orden de corriente es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. El procedimiento para esta clasificación es considerar una corriente de orden uno, aquella que no tiene ningún tributario, de orden dos a los que solo tienen tributarios de orden uno, de orden tres a aquellas corrientes con dos o más tributarios de orden dos, etc. El orden de la corriente principal indica la extensión de la red de la corriente dentro de ella. Entre más alto es el orden de la cuenca, indica un drenaje más eficiente que desalojará rápidamente el agua.

- Coeficiente de compacidad

El coeficiente de compacidad o índice de Gravelius permite determinar la irregularidad de la cuenca. Se define como la relación entre el perímetro y la longitud de la circunferencia correspondiente a un círculo de igual área de la cuenca, según la siguiente expresión:

$$K_C = 0,282 \frac{P}{A^{0,5}}$$

Donde P, es el perímetro, y A, es el área de la cuenca. Cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad.

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación determinados por la FAO (1985):

- Clase KC1: Rango entre 1,00 y 1,25. Corresponde a forma redonda a oval redonda.
- Clase KC2: Rango entre 1,25 y 1,50. Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.
- Clase KC3: Rango entre 1,50 y 1,75. Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.
- Clase KC4: Rango mayor que 1,75. Corresponde a forma rectangular oblonga.

Para las cuencas analizadas se obtuvo coeficientes de compacidad entre 1,05 y 1,77 que corresponden principalmente a cuencas de drenaje transicional y una con drenaje rectilíneo, con formas pertenecientes a las clases KC1, KC2 y KC3.

- Resumen de parámetros morfométricos

En la Tabla 69 se presenta el resumen de los parámetros morfométricos de las cuencas en estudio.

Tabla 69 Parámetros morfométricos cuencas principales

No. cuenca	Área km ²	P km	L km	Z máx msnm	Z mín msnm	Z med msnm	Orden	L drenajes km	Pend. cuenca (%)	Pend. cauce (m/m)	Coef. compacidad	Forma	Densidad de drenaje km/km ²	L recta cauce km	Índice sinuosidad	Tc Adoptado
1	0,98	3,68	1,22	800	350	670,26	2	3,65	60,89222	0,32	1,05	<i>Drenaje transicional</i>	3,736	1,000282	1,220	19
2	0,77	4,04	1,24	850	450	711,06	1	1,24	43,86783	0,30	1,30	<i>Drenaje transicional</i>	1,605	1,150399	1,078	20
3	3,97	9,56	3,91	1150	375	941,79	2	4,29	37,52193	0,18	1,35	<i>Drenaje transicional</i>	1,080	3,460995	1,130	51
4	0,42	2,82	0,75	650	425	631,33	1	0,75	48,82124	0,28	1,22	<i>Drenaje rectilíneo</i>	1,781	0,733813	1,022	15
5	0,06	1,17	0,34	575	350	507,64	1	0,34	74,83563	0,59	1,31	<i>Drenaje transicional</i>	5,345	0,284001	1,197	15
6	0,16	1,65	0,67	650	350	533,33	2	0,87	54,30473	0,34	1,18	<i>Drenaje transicional</i>	5,548	0,562203	1,192	15
7	0,11	1,52	0,54	550	350	464,57	1	0,54	38,713	0,30	1,29	<i>Drenaje transicional</i>	4,879	0,501373	1,077	15
8	0,13	1,55	0,44	400	350	391,57	1	0,44	24,53229	0,14	1,23	<i>Drenaje transicional</i>	3,478	0,370046	1,189	15
9	0,12	1,45	0,20	425	350	507,24	1	0,20	68,18083	0,44	1,16	<i>Drenaje transicional</i>	1,605	0,183275	1,091	15
10	0,35	3,34	0,66	900	425	554,28	1	0,66	68,29308	0,48	1,60	<i>Drenaje rectilíneo</i>	1,902	0,638097	1,034	15
11	0,39	3,38	0,99	650	375	513,05	1	0,99	40,96992	0,20	1,52	<i>Drenaje transicional</i>	2,512	0,839579	1,179	19
12	0,09	1,61	0,27	600	350	464,73	1	0,27	83,04453	0,85	1,51	<i>Drenaje transicional</i>	2,977	0,255245	1,058	15
13	0,11	2,10	0,53	575	325	532,53	1	0,53	54,54859	0,42	1,77	<i>Drenaje rectilíneo</i>	4,765	0,520195	1,019	15
14	0,01	0,54	0,14	425	325	365,97	1	0,14	49,00851	0,63	1,48	<i>Drenaje rectilíneo</i>	13,121	0,136886	1,023	15
15	0,04	1,06	0,27	550	325	436,86	1	0,27	79,09222	0,61	1,51	<i>Drenaje rectilíneo</i>	6,881	0,264686	1,020	15
16	0,02	0,76	0,14	450	325	379,92	1	0,14	59,24393	0,65	1,62	<i>Drenaje rectilíneo</i>	8,084	0,156356	0,895	15
17	0,05	1,30	0,36	450	325	372	1	0,36	23,96544	0,27	1,67	<i>Drenaje rectilíneo</i>	7,520	0,351835	1,023	15
18	1,15	4,22	0,86	375	275	301,97	1	0,86	7,642171	0,28	1,11	<i>Drenaje transicional</i>	0,750	0,81	1,062	15

5.1.5.5. Caudales máximos en las cuencas en estudio

Debido a que en los cauces en estudio no existen estaciones de caudales que permitan determinar los caudales máximos, medios y mínimos, se utilizaron metodologías indirectas basadas en la relación lluvia escorrentía, las cuales se describen a continuación:

A) Método Racional (Áreas de drenaje inferiores 2.5 km²)

Es una metodología comúnmente utilizada en hidrología para generar caudales máximos en cuencas pequeñas o menores donde no existe información hidrométrica; consiste en la estimación del caudal máximo suponiendo una intensidad uniforme de la precipitación durante el tiempo de concentración de la cuenca. La suposición de la uniformidad de la precipitación durante el tiempo de concentración, es una aproximación que se hace teniendo en cuenta que en la realidad un evento de lluvia es uniforme durante el tiempo de concentración de la cuenca. De esta forma, el caudal en un punto dado de la cuenca crecerá paulatinamente hasta alcanzar un valor máximo cuando la totalidad de la cuenca esté contribuyendo a la escorrentía en el sitio de concentración de las aguas. El "Método Racional" se expresa mediante la relación:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Dónde:

Q : Caudal máximo, en m³/s.

C : Coeficiente de escorrentía, adimensional.

I : Intensidad de la lluvia, en mm/h.

A : Área de drenaje, en ha.

- Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía, relaciona el caudal máximo generado producido después de descontar las pérdidas por almacenamiento, retención e infiltración, con la intensidad de precipitación que lo genera, es propio de cada cuenca y depende principalmente del tipo de suelo, de la cobertura vegetal y de la pendiente de la cuenca.

Para el diseño de las obras de drenaje se utilizaron los coeficientes de escorrentía recomendados por Ven Te Chow en su publicación "Hidrología Aplicada", los cuales se presentan en la Tabla estos coeficientes sirvieron para definir los caudales máximos para los diferentes periodos de retorno.

Tabla 70 Coeficientes de Escorrentía Utilizados por el Método Racional

Características de la superficie	Período de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/techo	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Condición pobre (cubierta de pasto menos del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Promedio, 2-7%	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente, superior a 7%	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente, superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Promedio, 2-7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente, superior a 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Promedio, 2-7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente, superior a 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente, superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Bosques							
Plano, 0-2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Promedio, 2-7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente, superior a 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

En el tramo de estudio se identificó el tipo de cobertura predominante entre cultivos transitorios y pastizales, cuyos valores de coeficiente de escorrentía se presentan en la Tabla 71

Tabla 71 Coeficientes de escorrentía adoptados para diferentes períodos de retorno

Cobertura	2 años	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
Cultivos anuales o transitorios - Pastizales	0,35	0,38	0,41	0,43	0,44	0,48	0,51

- Intensidad de la precipitación

Las curvas intensidad duración frecuencia (curvas IDF) constituyen una forma de sintetizar la información de precipitación para las tormentas de corta duración, y en la mayoría de los casos, es el insumo básico para la estimación de tormentas o eventos de diseño en la modelación hidrológica.

Su construcción se puede realizar por dos métodos diferentes dependiendo de la información disponible: a partir de ajustes estadísticos de registros continuos de precipitación (registros pluviográficos), y a partir de curvas con parámetros regionalizados (curvas sintéticas). Para este estudio se elaboraron curvas IDF sintéticas, ya que no se cuenta con registros continuos de precipitación de las estaciones representativas de la zona de estudio en las estaciones sino que se realizan una o dos lecturas diarias (por ejemplo 7:00 a.m. y 5:00 p.m.) de

acuerdo con consultas realizadas a personal especializado del IDEAM y recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial en la Guía de Prácticas Hidrológicas (OMM-N° 168, 1994).

Para el desarrollo de este análisis se utilizó la metodología de Vargas et al., 1998, formulada a partir del análisis de más de 200 curvas IDF y registro pluviométricos concurrentes en Colombia, la cual propone la generación sintética de curvas IDF basada en la regionalización de los coeficientes para la siguiente ecuación:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d N^e P T^f$$

La ecuación relaciona la intensidad de la lluvia, I (mm/h), con la frecuencia o periodo de retorno, T (años), la duración de los eventos, t (horas), la precipitación promedio de las máximas anuales para el período en el que se tiene registro, M, (mm), el número de días de lluvia, N, y la precipitación media anual, PT, (mm). Los coeficientes de la ecuación son reportados en Vargas et al., 1998, y para la zona andina, son los que se presentan en la Tabla 72

Tabla 72 Coeficientes de la ecuación de regionalización de las IDF.

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

En la Tabla 73 se presentan los valores a partir de los cuales se elaboraron las curvas IDF en la estación El Salero.

Se resalta que el valor de precipitación máxima en 24 horas corresponde al promedio de las precipitaciones máximas anuales y no al promedio de la serie mensual de registros.

Tabla 73 Datos de lluvia para elaborar las curvas IDF

Estación	Periodo	Precipitación total anual (PT en mm)	P Máxima en 24h (M en mm)	Número de días de precipitación (N)	Región
El Salero	1971-2012	2205,4	105,8	94	Andina

De acuerdo con la metodología presentada para elaboración de curvas IDF sintéticas, en la Figura 67 se presentan las Curvas IDF obtenidas para las estaciones localizadas en la zona del proyecto y el resumen de datos en la Tabla 74.

Tabla 74 Estación El Salero. Valores de Intensidad-Duración-Frecuencia

Periodo de retorno (Años)	Intensidad (mm/h)											
	Duración (min)											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
2.33	143,9	119,3	91,7	76,0	65,8	58,4	52,9	48,5	44,9	41,9	39,4	37,2
5	166,3	138,0	106,0	87,9	76,1	67,6	61,1	56,0	51,9	48,5	45,6	43,0
10	189,7	157,4	120,9	100,3	86,8	77,1	69,7	63,9	59,2	55,3	52,0	49,1
20	216,5	179,5	137,9	114,4	99,0	87,9	79,5	72,9	67,5	63,1	59,3	56,0
25	225,8	187,3	143,9	119,4	103,3	91,7	83,0	76,1	70,5	65,8	61,8	58,4
50	257,6	213,7	164,2	136,2	117,8	104,6	94,7	86,8	80,4	75,1	70,6	66,7

Periodo de retorno (Años)	Intensidad (mm/h)											
	Duración (min)											
	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
100	293,9	243,8	187,3	155,3	134,4	119,4	108,0	99,0	91,7	85,6	80,5	76,1

Figura 67 Estación El Salero - Curvas IDF

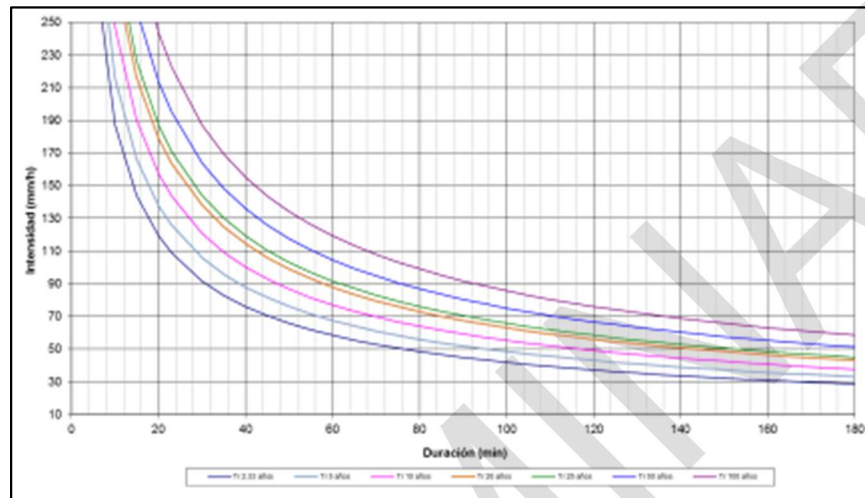


Tabla 75 Intensidades de lluvia para el diseño de las obras de drenaje, tc= 15 minutos.

Estación	Intensidades de diseño (mm/h)						
	Tr 2.33	Tr 5	Tr 10	Tr 20	Tr 25	Tr 50	Tr 100
	Años	Años	Años	Años	Años	Años	Años
El Salero	143,9	166,3	189,7	216,5	225,8	257,6	293,9

Se realizaron polígonos de Thiessen con base en la localización de estaciones presentes en la zona, identificando la influencia de estas estaciones sobre las cuencas con el fin de seleccionar las curvas IDF representativa de cada cuenca.

De acuerdo con los polígonos de Thiessen, las curvas IDF de la Estación El Salero son representativas de todas las cuencas presentes en el tramo UF2.

B) Método del Hidrograma Unitario del SCS (Áreas mayores a 2.5 km²)

En términos generales, un hidrograma unitario es la función de respuesta de pulso unitario para un sistema lineal, y se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de una unidad de exceso de lluvia (precipitación efectiva) generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva (Ven Te Chow, 1994). Las suposiciones del modelo son: i) El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva, ii) El exceso de precipitación está fuertemente distribuido a través de toda el área de drenaje, iii) el tiempo base, del hidrograma unitario resultante de un exceso de lluvia de una duración dada, es constante, iv) las ordenadas de todos los hidrogramas son directamente proporcionales a la cantidad de escorrentía directa, y v) el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de una cuenca.

El SCS propuso un hidrograma sintético triangular cuya geometría (Figura 68) se define con el área y el tiempo de concentración de la cuenca, así:

$$Q_p = 0,2083 \frac{A}{t_p} E$$

Donde A es el área de la cuenca en km², E es la escorrentía unitaria, 1mm, y t_p el tiempo al pico medio desde el comienzo del hidrograma, el cual se obtiene con la expresión:

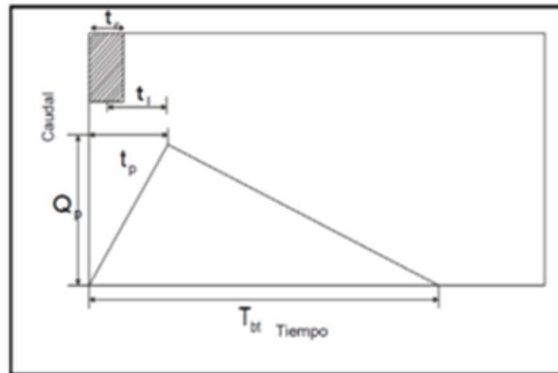
$$t_p = \frac{d}{2} + t_l = \frac{d}{2} + 0,6 \cdot t_c$$

Donde t_l es el tiempo de rezago de la cuenca que corresponde a una fracción (60%) del tiempo de concentración t_c , definido en el capítulo de morfología, y d es la duración de exceso de precipitación unitaria.

Para finalizar la descripción geométrica del hidrograma, el ancho de la base se define como:

$$T_{bt} = \frac{8}{3} t_p$$

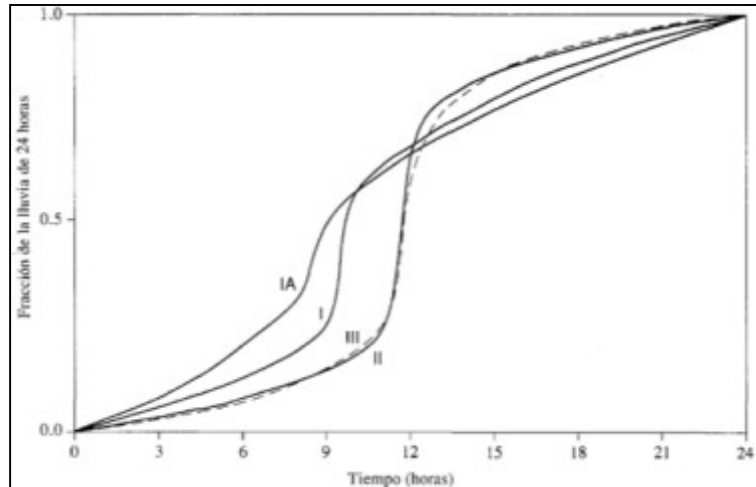
Figura 68 Hidrograma Unitario Triangular del SCS



- Tormenta de diseño

Para la aplicación de modelos lluvia-escorrentía es necesario calcular los hidrogramas de precipitación, que básicamente son el ordenamiento de la precipitación de diseño durante la duración total del aguacero de diseño y el periodo de retorno que se esté analizando. La metodología implementada corresponde a la propuesta por el SCS (Soil Conservation Service), en la cual se distribuye la precipitación de diseño seleccionando uno de los cuatro tipos de tormenta presentados en la Figura 69.

Figura 69 Tipos de distribución de precipitación del SCS.



Teniendo en cuenta que en la zona no se han realizado estudios respecto la distribución de las tormentas se adoptó la metodología desarrollada por el SCS adoptando el hietograma Tipo II porque el aguacero inicia con una intensidad baja y continúa con una intensidad alta, se concentra el 80% de la precipitación en el 30% del tiempo, y posteriormente termina con una intensidad baja. Lo cual representa las condiciones críticas de una tormenta y es representativo de la forma de llover en la zona.

- Distribución espacial de precipitación y reducción por área

Debido a que los registros de precipitación máxima en las cuencas son puntuales por la localización de las estaciones, son máximos en 24 horas y no corresponden a duraciones inferiores de tormentas, se determinó la precipitación máxima promedio sobre las cuencas mediante el uso de diferentes metodologías.

Factores de reducción por área recomendados por el INVÍAS.

Para determinar el factor de reducción por área, el manual de drenajes del INVÍAS recomienda el uso de tres ecuaciones y el uso del estudio realizado por INGETEC en 2005 para la Empresa de Acueducto de Bogotá denominado Estudio y revisión de las curvas IDF y del Análisis Espacial de las Tormentas, curvas PADF para la Sabana de Bogotá – Referencia 2.14 del manual de drenajes.

Las ecuaciones recomendadas por el INVÍAS para determinar el factor de reducción por área son las siguientes:

- ✓ Ecuación de Fhrüling:

$$f(a) = 1,0 - 0,0054A^{0,25}$$

Dónde:

A: Área de drenaje de la cuenca en m².

- ✓ Ecuación del Institution of Civil Engineers – Inglaterra

$$f(a) = 1,0 - 0,0268c^{-0,261} A^{0,387}$$

Dónde:

A: Área de drenaje de la cuenca en km².

Tc: tiempo de concentración de la cuenca en horas (h).

✓ Ecuación según datos de Norteamérica

$$f(a) = 1,0 - 0,05tc^{0,361} A^{0,264}$$

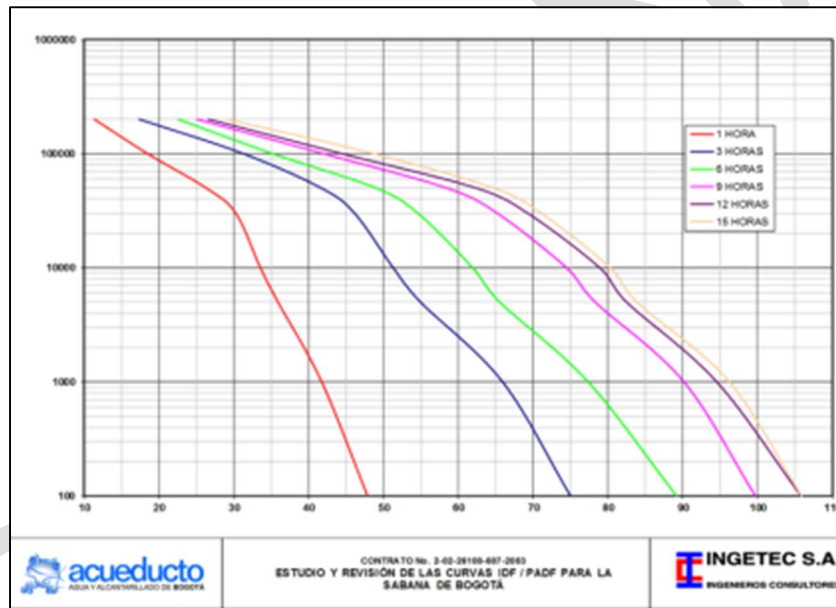
Dónde:

A: Área de drenaje de la cuenca en km².

Tc: tiempo de concentración de la cuenca en horas (h)

En cuanto al uso del estudio realizado por INGETEC en 2005 para el Análisis Espacial de las Tormentas, se presentan a continuación las curvas PADF recomendadas por el INVÍAS, las cuales presentan las curvas de reducción de la lluvia puntual por espacialidad en la cuenca. Ver Figura 70 .

Figura 70 Curvas PADF. Período de retorno de 100 años.



Fuente: Estudio de Análisis Espacial de las Tormentas – Curvas PADF. INGETEC, 2005

El factor de reducción será el resultado de dividir la precipitación correspondiente al área de la cuenca para una duración determinada (en esta caso la duración es igual al tiempo de concentración), sobre la precipitación correspondiente a un área de 1 km² para la misma duración. Para el caso de la cuenca 3, la precipitación correspondiente a un área de 3,97 km² y una duración de 1 hora es de 44 mm y la precipitación para un área de 1 km² para la misma duración es de 48 mm, por tanto el factor de reducción por área será el resultado de dividir 44 mm / 48 mm = 0,92.

A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos a partir del uso de las ecuaciones mencionadas anteriormente y del uso de las curvas PADF.

Tabla 76. Factor de reducción por área.

Cuenca	Características		Ecuación				Factor de reducción
	Área (km ²)	Tc (h)	Fhruling	Institution of Civil Engineers	Datos Norteamérica	Curvas PADF	
C3	3,97	0,87	0,76	0,95	0,93	0,92	0,87

Los resultados muestran que con la ecuación del Institution of Civil Engineers de Inglaterra se presentan los mayores factores de reducción y con la ecuación de Fhrüling los menores. Los valores obtenidos con las curvas PADF son intermedios entre los obtenidos con la ecuación de los datos de Norteamérica y con la ecuación de Fhrüling. Debido a que los resultados de caudales máximos son muy sensibles al factor de reducción por área, y con el fin de no sobredimensionar las obras, se decide eliminar los resultados obtenidos con la ecuación del Institution of Civil Engineers de Inglaterra que son los mayores, y se calcula el factor de reducción como el promedio entre las ecuación de Fhrüling, datos de Norteamérica y curvas PADF.

- Precipitación efectiva

La precipitación efectiva es la precipitación que se convierte en escorrentía directa, por lo tanto, es importante calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha.

El método implementado se denomina “Número de Curva”, propuesto por el SCS; en este método, la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitación) es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN. El número de curva varía en un rango de 1 a 100, existiendo una función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la cuenca hidrográficas: i) tipo de suelo hidrológico, ii) utilización y tratamiento del suelo, iii) condiciones de la superficie del terreno, y (iv) condición de humedad antecedente del suelo. (INVIAS, 2009).

El valor CN corresponde con el número de curva de la metodología del Soil Conservation Service, de acuerdo con el tipo de cobertura vegetal del suelo, y la geología del suelo en la zona de estudio.

En la Tabla 77 se presentan los valores teóricos de CN para diferentes condiciones de suelo.

Tabla 77 Valores de CN II para Diferentes Usos de Tierra

Descripción del uso de la tierra		Grupo Hidrológico del Suelo				
		A	B	C	D	
Tierra cultivada :	sin tratamiento de conservación	72	81	88	91	
	con tratamiento de conservación	62	71	78	81	
Pastizales :	condiciones pobres	68	79	86	89	
	condiciones óptimas	39	61	74	80	
Vegas de ríos :	condiciones óptimas	30	58	71	78	
Bosques :	trocos delgados, cubiertas pobres, sin hierbas	45	66	77	83	
	cubierta buena	25	55	70	77	
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones :	cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80	
	condiciones aceptables :	cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95	
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93	
Residencial :						

Descripción del uso de la tierra	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras :				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

Fuente: INGETEC, 2017

El valor de CNII utilizado corresponde a principalmente a pastizales y cultivos, de grupo hidrológico de suelo B, entre cubierta buena y cubierta pobre, por lo cual se adoptó un valor de CN II = 71.

La lluvia efectiva que causa escorrentía superficial, y la magnitud de las abstracciones de una tormenta, se pueden obtener por el método del Soil Conservation Service, a partir de las siguientes relaciones empíricas:

$$Q = \frac{(P - 0,20S)^2}{P - 0,80S}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Dónde:

Q: escorrentía total acumulada, pulgadas

P: precipitación total del evento, pulgadas.

S: infiltración potencial o retención potencial máxima, pulgadas.

CN: número de curva.

De acuerdo con las metodología y los parámetros morfométricos e hidrológicos de las cuencas en estudio, se estimaron los caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

En la Tabla 78 se presenta el resumen de parámetros empleados para el cálculo de caudales máximos en las quebradas con área mayor a 2,5 km.

Tabla 78 Resumen de parámetros de modelación para estimar caudales máximos en cuencas mayores a 2,5 km² - Hidrograma unitario del SCS

Cuenca	Área (km ²)	Tc (min)	Tlag (min)	CN	Hietograma	Factor de reducción por área	Duración aguacero (horas)
Cuenca 3	3,97	52	31	71	SCS tipo II	0,87	1

A partir de la aplicación del modelo lluvia-escorrentía, se obtuvo los caudales máximos para las cuencas con áreas mayores a 2,5 km² que son presentados en la Tabla 79.

Tabla 79 Caudales máximos asociados a diferentes periodos de retorno en las cuencas analizadas

Sitio	Área (km ²)	Corriente	Q máx (m ³ /s)						
			Tr2,33	Tr5	Tr10	Tr20	Tr25	Tr50	Tr100
Cuenca 3	3,97	Quebrada La Palmichala	37,4	51,5	63,7	76,0	79,9	92,4	105,2

En la Tabla 80 se presenta el resumen de los caudales máximos de las cuencas de estudio con área menor a 2,5 km².

Tabla 80 Caudales máximos de las cuencas de la zona de estudio

Cuenca Hidrog	Área (km ²)	Tc Adoptado	Caudales máximos m ³ /s						
			2,33	5	10	20	25	50	100
cuenca 1	0,98	19	11,33	14,23	17,51	20,95	22,36	27,83	33,73
cuenca 2	0,77	20	8,96	11,25	13,85	16,57	17,69	22,01	26,68
cuenca 4	0,42	15	5,89	7,40	9,10	10,89	11,63	14,47	17,54
cuenca 5	0,06	15	0,89	1,12	1,37	1,64	1,76	2,19	2,65
cuenca 6	0,16	15	2,19	2,75	3,39	4,05	4,33	5,39	6,53
cuenca 7	0,11	15	1,55	1,94	2,39	2,86	3,05	3,80	4,61
cuenca 8	0,13	15	1,77	2,22	2,73	3,27	3,49	4,34	5,27
cuenca 9	0,12	15	1,74	2,19	2,69	3,22	3,44	4,28	5,19
cuenca 10	0,35	15	4,85	6,09	7,50	8,97	9,58	11,92	14,44
cuenca 11	0,39	19	4,57	5,74	7,06	8,45	9,02	11,23	13,61
cuenca 12	0,09	15	1,27	1,59	1,96	2,34	2,50	3,11	3,78
cuenca 13	0,11	15	1,56	1,95	2,40	2,88	3,07	3,82	4,63
cuenca 14	0,01	15	0,15	0,19	0,23	0,28	0,29	0,37	0,44
cuenca 15	0,04	15	0,55	0,69	0,85	1,01	1,08	1,35	1,63
cuenca 16	0,02	15	0,24	0,30	0,37	0,45	0,48	0,59	0,72
cuenca 17	0,05	15	0,67	0,84	1,03	1,24	1,32	1,64	1,99
cuenca 18 (Zodme)	1,15	15	16,05	20,14	24,79	29,66	31,67	39,41	47,77

5.1.5.6. Caudales Medios

Para los análisis de caudales medios se utilizaron los registros de caudal medio mensual de cinco estaciones del IDEAM cercanas a la zona de estudio, las cuales son: (21197010) El Profundo, (21197030) La Playa, (21197150) El Limonar, (21197080) Hda La Bonanza y (21197110) Silvania.

Con esta información se determinó el caudal medio mensual multianual y con el área de drenaje aferente a cada estación se calculó el rendimiento hídrico. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 81.

Tabla 81 Características de las estaciones de caudales

Código	Estación	Área (km ²)	Q (l/s)	R (l/s km ²)	Corriente	Periodo
21197010	El Profundo	993	19354	19	Río Sumapaz	1959-2015
21197030	La Playa	1167	26542	23	Río Sumapaz	1965-2014
21197150	El Limonar	2435	43536	18	Río Sumapaz	1965-2014
21197080	Hda La Bonanza	109	1926	18	Río Barro Blanco	1994-2014
21197110	Silvania	159	3376	21	Río Subia	1952-2012
Promedio=				20		

En términos regionales se observa que el rendimiento hídrico en condiciones medias varía entre 18-23l/s km², siendo el promedio 20 l/s km². Para la zona en estudio se adopta un valor de 21 l/s km² tomando como referencia los registros de la estación Silvania bajo el criterio de menor área de drenaje y mayor longitud en el periodo de registro (60 años).

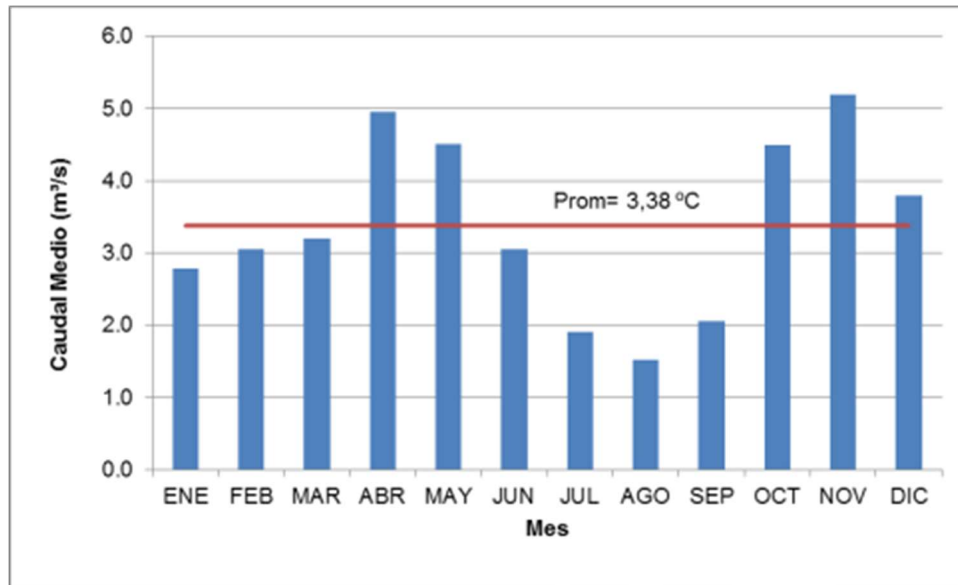
En la Tabla 82 se presentan los caudales medios de las cuencas en estudio, calculadas a partir de sus áreas aferentes y el promedio del rendimiento hídrico (relación de caudal medio y área de drenaje) de las estaciones de caudales (ver Tabla 82), debido a que no se dispone de información hidrológica directamente registrada. Los números de cuenca se relacionan en la Tabla 82.

Tabla 82 Caudales medios de las cuencas de la zona de estudio

Cuenca Hidrográfica	Área (km ²)	Q medios (l/s)
cuenca 1	0,98	20.51
cuenca 2	0,77	16.23
cuenca 3	3,97	83.41
cuenca 4	0,42	8.85
cuenca 5	0,06	1.34
cuenca 6	0,16	3.29
cuenca 7	0,11	2.32
cuenca 8	0,13	2.66
cuenca 9	0,12	2.62
cuenca 10	0,35	7.29
cuenca 11	0,39	8.28
cuenca 12	0,09	1.90
cuenca 13	0,11	2.34
cuenca 14	0,01	0.22
cuenca 15	0,04	0.82
cuenca 16	0,02	0.36
cuenca 17	0,05	1.01
cuenca 18 (Zodme)	1,15	24.09

Tomando como referencia los registros de la estación Silvania se determinó el caudal medio mensual multianual que presenta la distribución temporal presentada en la Figura 71.

Figura 71 Distribución temporal de caudales medios



De acuerdo con esta distribución el régimen de caudales es de tipo bimodal dado que presenta dos periodos por encima del promedio y dos periodos por debajo. El periodo con caudales superiores está comprendido entre abril y mayo y octubre a diciembre, siendo noviembre y abril los meses más húmedos. El periodo con caudales inferiores está comprendido entre enero a marzo y junio a septiembre, siendo agosto el mes más seco.

PRELIMINAR

5.1.6. Calidad de agua

5.1.6.1. Cuerpos de agua continentales

Con el propósito de evaluar la calidad del agua en el área de influencia del Proyecto y estimar los potenciales impactos sobre la misma por su desarrollo, se realizaron monitoreos y análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos a partir de muestreos en puntos localizados sobre el río Sumapaz y quebradas tributarias ubicadas en el área del proyecto.

Los monitoreos fueron realizados por la empresa: AMBIUS S.A.S. la cual llevo a cabo la campaña de muestreo en temporada seca (agosto 2017). Los reportes y certificados de los laboratorios se presentan en el Anexo C.

5.1.6.1.1. Marco Normativo

En Colombia, los usos permitidos de acuerdo con la calidad del agua de las fuentes superficiales están establecidos por la siguiente norma:

- Decreto 1076 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. En el Capítulo 3 sobre, Ordenamiento del Recurso hídrico y vertimientos, en la sección 9 con los siguientes artículos:
 - Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico
 - Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
 - Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.
 - Artículo 2.2.3.3.9.6. Criterios de calidad para uso pecuario.
 - Artículo 2.2.3.3.9.7. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario.
 - Artículo 2.2.3.3.9.8. Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto secundario

En la Tabla 83 se presentan los límites permisibles establecidos para los diferentes usos según el Decreto 1076 de 2015.

Tabla 83 Límites permisibles Decreto 1076 de 2015

Artículo		2.2.3.3.9.3	2.2.3.3.9.4	2.2.3.3.9.5	2.2.3.3.9.6	2.2.3.3.9.7	2.2.3.3.9.8
		Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico	Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico	Criterios de calidad para uso agrícola	Criterios de calidad para uso pecuario	Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario	Criterios de calidad para fines recreativos
Parámetro	Unidad						
pH	Unidades de pH	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	N.E*	5,0 - 9,0	5,0 - 9,0
Coliformes Totales	NMP/100 ml	20000	1000	N.E*	N.E*	1000	5000
Coliformes Fecales	NMP/100	2000	N.E*	N.E*	N.E*	200	N.E*
Coliformes Temotolerantes		N.E*	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Compuestos fenólicos	mg/L	0,002	0,002	N.E*	N.E*	0,002	N.E*
Tensoactivos (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	N.E*	N.E*	0,5	N.E*

Artículo		2.2.3.3.9.3	2.2.3.3.9.4	2.2.3.3.9.5	2.2.3.3.9.6	2.2.3.3.9.7	2.2.3.3.9.8
		Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico	Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico	Criterios de calidad para uso agrícola	Criterios de calidad para uso pecuario	Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario	Criterios de calidad para fines recreativos
Parámetro	Unidad						
Nitritos	mg/L	1	1	N.E*	10	N.E*	N.E*
Nitratos	mg/L	10	10	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Turbiedad	UJT	N.E*	10	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Cianuro	mg/L	0.2	0.2	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Cloruros	mg/L	250	250	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Sulfatos	mg/L	400	400	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Sulfuros	mg/L	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Berilio	mg/L	N.E*	N.E*	0.1	N.E*	N.E*	N.E*
Cromo Hexavalente	mg/L	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Plata	mg/L	0.05	0.05	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Vanadio	mg/L	N.E*	N.E*	0.1	N.E*	N.E*	N.E*
Bario	mg/L	1	1	N.E*	N.E*	N.E*	N.E*
Selenio	mg/L	0.01	0.01	0.02	N.E*	N.E*	N.E*
Cobalto	mg/L	N.E*	N.E*	0.05	N.E*	N.E*	N.E*
Mercurio	mg/L	0.002	0.002	N.E*	0.01	N.E*	N.E*
Níquel	mg/L	N.E*	N.E*	0.2	N.E*	N.E*	N.E*
Arsénico	mg/L	0.05	0.05	0.1	0.2	N.E*	N.E*
Cadmio	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.05	N.E*	N.E*
Hierro	mg/L	N.E*	N.E*	5	N.E*	N.E*	N.E*
Cobre	mg/L	1	1	0.2	0.5	N.E*	N.E*
Plomo	mg/L	0.05	0.05	5	0.1	N.E*	N.E*
Cromo	mg/L	0.05	0.05	0.1	1	N.E*	N.E*
Cinc	mg/L	15	15	2	2	N.E*	N.E*

(N.E*) No especificado en la norma.

5.1.6.1.2. Metodología

El trabajo de campo se efectuó entre los días 8 de agosto y 8 de septiembre de 2017 en tres (3) puntos sobre el río Sumapaz, 9 en cuerpos de agua en la margen del río que incluyen un (1) punto léntico y ocho (8) lóticos, Todos los trabajos se efectuaron dentro de los municipios del Boquerón y Melgar en el departamento del Tolima.

Este trabajo se desarrolló principalmente en dos etapas:

- Etapa de preparación

En la etapa de preparación se ajustan los procedimientos esenciales para llevar a cabo de una manera satisfactoria los demás procesos articulados al estudio. En ésta se lleva a cabo toda la planeación y programación para que la fase de campo se desarrolle sin ningún inconveniente (Figura 72).

- Etapa de campo

Para todos los puntos sobre los hidrosistemas se llevó a cabo la toma de muestras para la caracterización fisicoquímica y bacteriológica. La toma de muestras se realizó siguiendo el instructivo del procedimiento del laboratorio AMBIUS S.A.S. (Muestreo de Aguas I-PMO01-01). El trabajo de campo desarrollado para la toma de mediciones in situ y colecta de muestras de agua para los posteriores análisis de laboratorio, se llevó a cabo por personal de la empresa AMBIUS S.A.S., con base en las disposiciones de la EPA, en los textos de la APHA-AWWA-WPCF; APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation), en el Standard Methods Edición 22 (2012) y en la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales (2010).

Figura 72 Actividades de la etapa de preparación



Fuente: Ambius S.A.S. 2017.

Para la toma de las muestras de agua se tomaron muestras integradas en los puntos ubicados sobre el río Sumapaz ya que permitía el procedimiento, sobre los demás puntos se realizaron tomas puntuales. Para esto se hizo uso de un balde previamente purgado, llenando los diferentes recipientes de vidrio ámbar o plástico

opaco según se requiriera (Fotografía 65). Las mediciones de los parámetros fisicoquímicos como temperatura, conductividad y oxígeno disuelto se realizaron *in situ* con la ayuda de un equipo multiparámetro marca HACH®, HQ40d; el cual se calibró previamente y fue verificado en campo (Fotografía 66) (Anexo C).

En el caso de los parámetros bacteriológicos como coliformes, y la toma de muestras para grasas y aceites se realizó directamente de la fuente de agua en cada punto de muestreo de aguas superficiales, esto de acuerdo a los protocolos de muestreo en los que se define este criterio (Fotografía 67).

Fotografía 65 Toma de muestras de agua superficial.



Fuente: Ambius S.A.S., 2017.

Fotografía 66 Toma de mediciones *in situ*.



Fuente: Ambius S.A.S., 2017.

Fotografía 67 Toma de muestra de coliformes y grasas y aceites.



Fuente: Ambius S.A.S., 2017.

5.1.6.1.3. Parámetros analizados

Los parámetros fisicoquímicos analizados son los establecidos en la Tabla 5 de los Términos de Referencia Resolución 0751 de 2015²,

A continuación en la Tabla 84, se resume la información correspondiente al trabajo de campo ejecutado, indicando el parámetro, tipo de muestreo, envase y preservación utilizados para cada uno de los parámetros a caracterizar.

Tabla 84 Variables evaluadas y tipo de muestreo realizado.

PARÁMETRO	ENVASE	PRESERVACIÓN	TIPO DE PUNTO
			SUP: Superficial
Acidez total	Plástico	Refrigerada	●
Alcalinidad total	Plástico	Refrigerada	●
Arsénico	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●

² Términos de referencia para la elaboración del Estudio de impacto Ambiental – EIA en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles.

PARÁMETRO	ENVASE	PRESERVACIÓN	TIPO DE PUNTO
			SUP: Superficial
Bario	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●
Cadmio Total	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●
Cobre Total	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●
Coliformes Fecales Termotolerantes	Bolsa Estéril tipo Nasco	Refrigerada	●
Coliformes Totales	Bolsa Estéril tipo Nasco	Refrigerada	●
Color Real	Plástico Ámbar	Refrigerada	●
Cromo Total	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●
DBO5	Plástico Ámbar	Refrigerada	●
DQO	Vidrio Ámbar	Refrigerada y acidificada	●
Dureza Cálcica	Plástico	Refrigerada	●
Dureza Total	Plástico	Refrigerada	●
Fenoles totales	Vidrio Ámbar	Refrigerada y acidificada	●
Fósforo total	Plástico	Refrigerada	●
Grasas y Aceites	Vidrio	Refrigerada y acidificada	●
Mercurio Total	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●
Niquel Total	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●
Nitrógeno Total	Plástico	Refrigerada	●
Plata Total	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●
Plomo Total	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●
Selenio Total	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●
Solidos Suspendidos Totales	Vidrio Ámbar	Refrigerada	●
Turbidez	Plástico	Refrigerada	●
Zinc Total	Plástico	Refrigerada-Acidificado	●
Conductividad	-	-	●
Oxígeno Disuelto	-	-	●
pH	-	-	●
Solidos Disueltos Totales	-	-	●
Solidos Sedimentables	-	-	●
Temperatura muestra	-	-	●

Fuente: Ambius S.A.S., 2017. Chemilab S.A.S., 2017.

5.1.6.1.4. Puntos de Monitoreo

La ubicación de los puntos de monitoreo fue producto de un trabajo integrado entre INGETEC y CR40, estos puntos se definieron inicialmente por este consultor y se verificaron en la salida pre campo, finalmente los puntos definidos para el análisis fueron: tres (3) puntos sobre el río Sumapaz, 9 en cuerpos de agua en la

afluentes del río, ocho (8) lóticos y se incluyó un (1) punto léntico, en la Tabla 85 se muestran las coordenadas de ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua superficial:

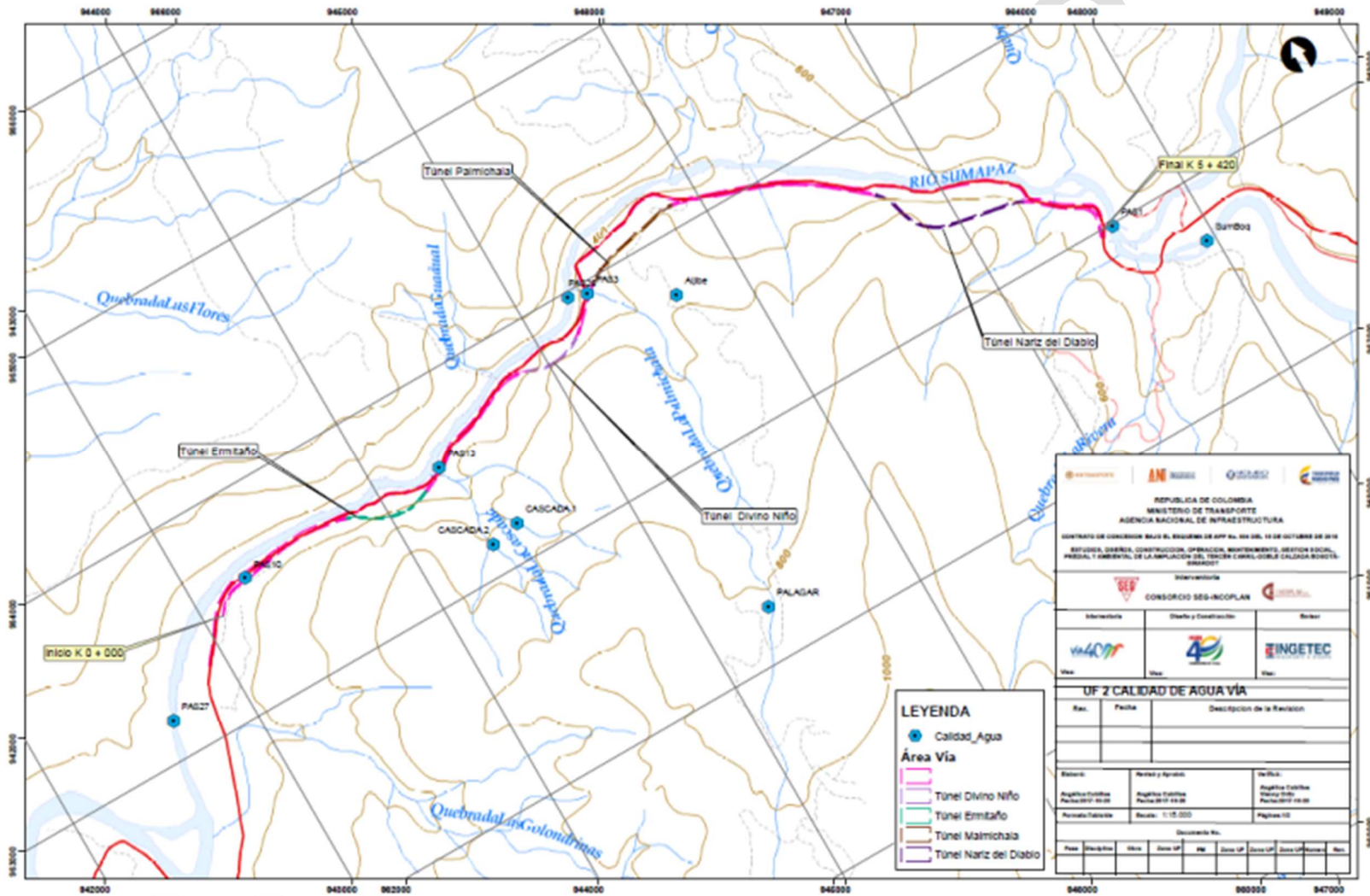
Tabla 85 Localización de los puntos de monitoreo de calidad de agua superficial UF2

ID	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS PLANAS		LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA
		ESTE	NORTE	(MUNICIPIO / DEPARTAMENTO)
AGUAS SUPERFICIALES				
PAS1	Río Sumapaz aguas arriba	947607	962992	Boquerón /Tolima
PAS26	Río Sumapaz-Túnel	945233	963976	
PAS27	Río Sumapaz aguas abajo	942642	963179	
PAS3	Quebrada la Palmichala	945323	963947	
PAS10	Drenaje NN3	943267	963591	
PAS13	Qda. La Cascada	944313	963585	
CASCADA 1	Qda. La Cascada 1	944499	963176	
CASCADA 2	Qda. La Cascada 2	944351	963148	
SumBoq	Río Sumapaz Boquerón	947956	962709	
PALAGAR	La Palmichala aguas arriba	945321	962251	
Aljibe	Aljibe	945680	963732	
ZODME	Río Sumapaz Zodme	932740	956712	

Fuente: Ambius S.A.S., 2017

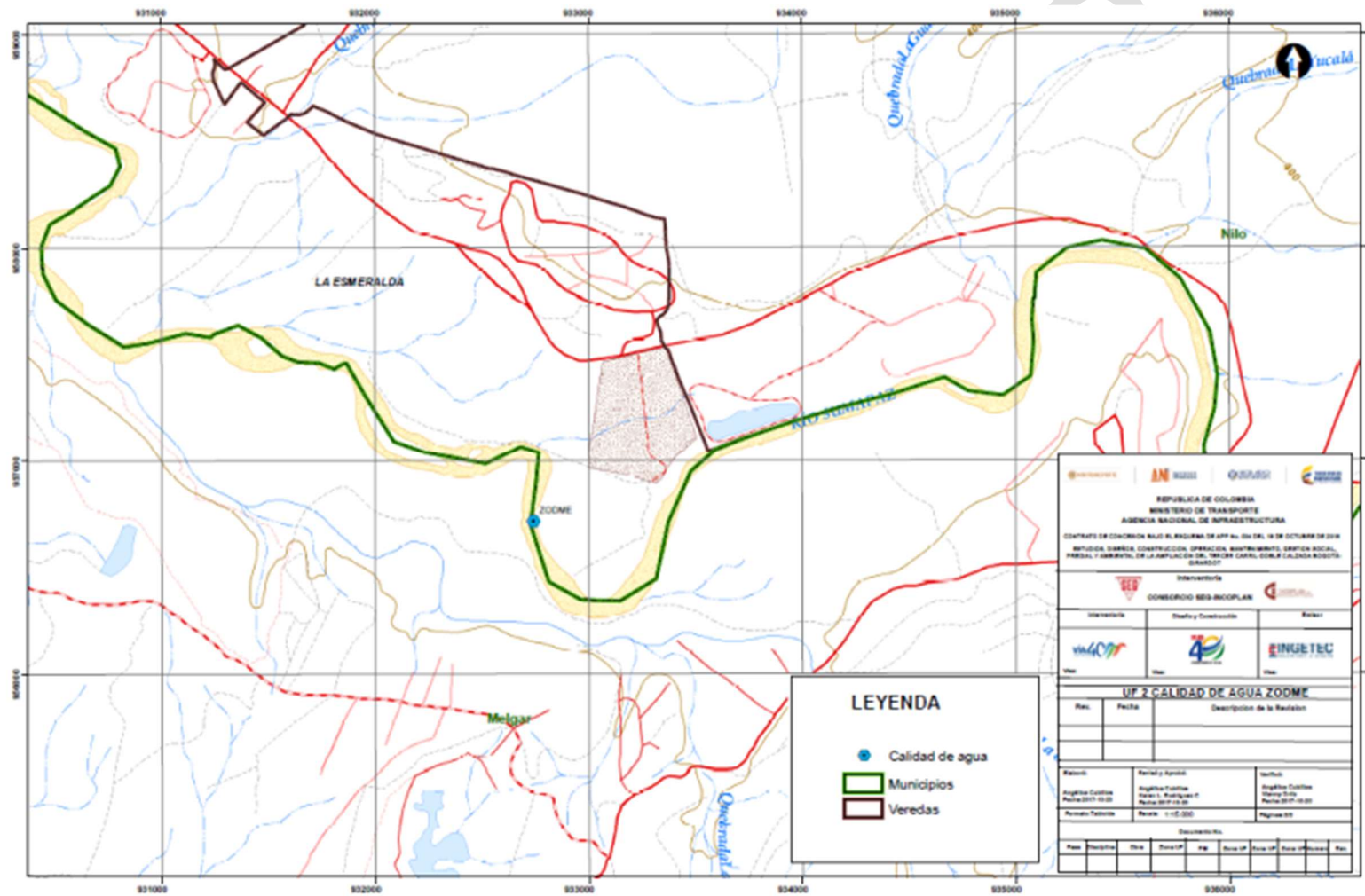
A continuación en la Figura 73 y Figura 74 y el Plano G-HID-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2521-A0 se muestra la localización de las estaciones de calidad de agua referenciadas en el presente estudio.

Figura 73 Localización de las Estaciones de calidad de agua EIA UF2 (Área de la vía)



Fuente: INGETEC, 2017.

Figura 74 Localización de las Estaciones de calidad de agua EIA UF2 (ZODME)






Fuente: INGETEC, 2017.




- Descripción del área y de la localización de las estaciones




La cuenca del río Sumapaz se encuentra localizada al sur-occidente del departamento de Cundinamarca, su nombre se debe a su lugar de nacimiento en el Páramo de Sumapaz, con una extensión es de 2532,14 Km². La cuenca limita al norte con la Cuenca del Río Bogotá y Cuenca Río Magdalena Vertiente Oriental (Cundinamarca), al sur con el departamento de Huila, por el oriente con el Departamento del Meta y parte de la Cuenca del Río Bogotá y la del Río Blanco y finalmente por el occidente con el Departamento de Tolima, sirviendo de límite natural entre los departamentos de Cundinamarca y Tolima (CAR-Cundinamarca, 2015). Los monitoreos se realizaron durante mediados de agosto y los primeros días del mes de septiembre evidenciándose una temporada seca, con algunas lluvias en los días de septiembre. En la Tabla 86, se presentan las descripciones de cada una de las estaciones de monitoreo acompañadas de los respectivos registros fotográficos.

Tabla 86 Descripción puntos de monitoreo de aguas superficiales

PUNTO DE MUESTREO	DESCRIPCIÓN Y REGISTRO FOTOGRÁFICO	
AGUAS SUPERFICIALES		
PAS1-Río Sumapaz aguas arriba	 <p data-bbox="453 1098 1417 1234">Estación ubicada sobre el Río Sumapaz, aguas abajo del puente del Boquerón. El agua es turbia de color café y se percibe el olor característico de aguas residuales domésticas. El fondo está compuesto de rocas y arena y en las orillas se presentan cantos rodados, y se evidencian grandes rocas en medio de la corriente. El flujo es constante y de corriente fuerte con una amplitud de 15m aproximadamente.</p>	
PAS26-Río Sumapaz-Túnel	 <p data-bbox="453 1560 1417 1669">Estación ubicada sobre el río Sumapaz hacia la parte media del tramo ocupado por el túnel del Sumapaz. El agua es de color café turbio con flujo constante de agua y corriente fuerte. El ancho del río en este tramo es de aproximadamente 25m. Fondo rocoso – arenoso con presencia de grandes rocas en medio del flujo y en las orillas.</p>	

PUNTO DE MUESTREO	DESCRIPCIÓN Y REGISTRO FOTOGRÁFICO	
AGUAS SUPERFICIALES		
<p>PAS27-Rio Sumapaz aguas abajo</p>	 <p>Este punto de monitoreo está ubicado sobre el río Sumapaz aguas abajo del tramo comprendido por el túnel del Sumapaz. El ancho es de aproximadamente 20m, con agua café turbia, flujo constante pero corriente media. El fondo está compuesto de rocas y arena, con presencia de rocas grandes en medio y en las orillas. Se observó la presencia de un drenaje cercano a una de las orillas con bastante flujo y de color amarillo. Cerca a este se evidenció la presencia de grúas y volquetas con material extraído del río.</p>	
<p>PAS3-La Palmichala</p>	 <p>Esta estación se ubicó sobre la quebrada La Palmichala la cual cae de una cascada alta hacia el sitio en el que pasa la vía, durante el monitoreo el flujo fue muy bajo encontrándose agua empozada con muy bajo flujo en la parte baja. El agua cae a lo largo de vegetación colgante de color transparente y sin solidos evidentes. En la parte baja se evidencia contaminación por basura, presencia de llantas usadas y demás objetos ajenos al ecosistema.</p>	
<p>PAS10-Drenaje NN3</p>	 <p>Estación ubicada en un drenaje del túnel de Sumapaz rodeado de vegetación de pequeñas plantas y árboles grandes típicos de la región. El agua es transparente con flujo constante, el fondo está compuesto por pequeñas rocas, arena y hojas caídas. Se evidencia la presencia de una manguera para captación de algunos habitantes del sector. Este drenaje desemboca en el río Sumapaz.</p>	

PUNTO DE MUESTREO	DESCRIPCIÓN Y REGISTRO FOTOGRÁFICO	
AGUAS SUPERFICIALES		
<p>PAS13-Qda. La Cascada</p>	 <p>Drenaje del túnel Sumapaz que atraviesa con un pequeño puente la vía principal. Es un cuerpo de agua pequeño con flujo constante pero muy baja corriente. El color del agua es transparente pero con una capa a manera de nata blanca – iridiscente y se evidenció olor a material en descomposición. El fondo es rocoso – arenoso y desemboca a pocos metros sobre el río Sumapaz.</p>	
<p>CASCADA 1-Qda. La Cascada 1</p>	 <p>Quebrada pequeña de agua transparente de menos de 1m de ancho y con flujo de agua constante. El fondo es rocoso – arenoso y se encuentra rodeado de espesa vegetación típica de la región. Está ubicado lejos de la vía principal en la parte alta de la montaña.</p>	
<p>CASCADA 2--Qda. La Cascada 2</p>	 <p>Quebrada pequeña de agua transparente de no más de 1m de ancho y con bajo flujo de agua pero constante. El fondo está compuesto de rocas – arena y se encuentra rodeado de espesa vegetación típica de la región. Está ubicado lejos de la vía principal en la parte alta de la montaña cerca del punto Cascada 1.</p>	
<p>SumBoq-Río Sumapaz Boquerón</p>		

PUNTO DE MUESTREO	DESCRIPCIÓN Y REGISTRO FOTOGRÁFICO
AGUAS SUPERFICIALES	
	<p>Estación ubicada sobre el río Sumapaz a la altura del Boquerón, antes de la zona urbanizada. En este punto el río tiene un ancho de entre 15m y 20m, el agua es color café turbio, el fondo es rocoso – arenoso, se encuentran en medio y las orillas rocas grandes, el flujo de agua es constante y fuerte.</p>
<p>PALAGAR- La Palmichala aguas arriba</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p>Punto ubicado sobre la quebrada La Palmichala aguas arriba atravesando una vía veredal, en el momento del monitoreo se encontró muy bajo flujo de agua y varios sectores empozados. El agua presenta un color transparente algo turbia.</p>
<p>Aljibe</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Cuerpo de agua pequeño ubicado cerca de una vía veredal dentro de un predio privado. Profundidad aproximada de 1m y ancho no mayor a 2m. El agua es de color verdoso turbio, fondo lodoso y se encuentra rodeado de espesa vegetación típica de la región.</p>
<p>ZODME-Río Sumapaz Zodme</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p>Sector del río Sumapaz ubicado en la salida de su paso por el municipio de Melgar, de gran amplitud y color del agua café turbio, fondo rocoso – arenoso. En las orillas se encontraron estrechas playas de rocas y arena con vegetación compuesta de árboles altos típicos de la región.</p>

Fuente: Ambius S.A.S., 2017

5.1.6.1.5. Resultados y discusión.

Aunque actualmente la norma que reglamenta los usos del agua y determina demás disposiciones relacionadas con este recurso es el Decreto 1076 de 2015 – Capítulo 3 – Secciones 2 y 9, que referencia todavía el Decreto 3930 de 2010 para las definiciones de los usos del agua, así como también considera de manera transitoria el Decreto 1594 de 1984 para los límites permisibles de los diferentes usos del recurso hídrico. Por lo anterior los

límites de comparación que se incluyen en el presente documento, corresponden a los establecidos en el Decreto 1594 de 1984, ya que a la fecha todavía no se han definido los criterios de calidad para el uso de las aguas y actualmente se considera el régimen de transición establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.1. del Decreto 1076 de 2015 (Capítulo 3 – Sección 9).

El uso del agua para consumo humano y doméstico, hace referencia a su empleo en actividades como fabricación o procesamiento de alimentos, bebida directa y satisfacción de necesidades domésticas, tales como higiene personal y limpieza. Por otro lado, el uso del agua para preservación de flora y fauna, se refiere a su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres, y de sus ecosistemas asociados. Por uso agrícola, se entiende su empleo para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias, mientras que el uso pecuario corresponde al uso del agua para el consumo del ganado en sus diferentes especies y otras actividades conexas o complementarias.

Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos ocupaciones de cauce

Los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados en las estaciones caracterizadas se presentan en la Tabla 87 donde se incluye la respectiva comparación con los criterios de calidad permisibles del recurso hídrico de acuerdo con el uso (consumo humano y doméstico, uso agrícola y preservación de flora y fauna) estipulado en la normatividad ambiental vigente (artículos transicionales del Decreto 1076 de 2015; artículos 2.2.3.3.2.1., 2.2.3.3.9.9.3, 2.2.3.3.9.9.4., 2.2.3.3.9.9.5., 2.2.3.3.9.9.6., 2.2.3.3.9.9.10.).

Tabla 87 Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos analizados en los puntos monitoreados, incluyendo la comparación con los criterios de calidad permisibles (Decreto 1076 de 2015) para consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario y preservación de fauna y flora.

PARÁMETRO	UNIDADES	PAS1	PAS26	PAS27	PAS3	PAS10	PAS13	ALJIBE	SUMBOQ	PALAGAR	CASCADA 1	CASCADA 2	ZODME	Decreto 1076 de 2015 MADS		
														Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4	Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6	Artículo 2.2.3.3.9.10
														Consumo humano / Uso doméstico	Uso agrícola / pecuario	Preservación Flora y Fauna
Acidez total	mg CaCO3/L	7,69	9,23	7,18	6,15	15,4	9,23	8,72	<2,54	<2,54	18,5	7,18	8,2	N.E.	N.E.	N.E.
Alcalinidad total	mg CaCO3/L	15,2	13,7	15,7	17,6	44,1	31,4	75,5	8,27	<6,040	46,5	75,5	8,27	N.E.	N.E.	N.E.
Arsénico Total	mg As/L	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,05	0,1/0,2	N.E.
Bario Total	mg Ba/L	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	1,0	N.E.	N.E.
Cadmio Total	mg Cd/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01/0,05	N.E.
Cobre Total	mg Cu/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	N.E.
Coliformes Fecales Termotolerantes	NMP/100mL	100	41	10	120	100	1204	41	160	20	980	41	160	2.000*	1.000/N.E.	N.E.
Coliformes Totales	NMP/100mL	7330	663	384	173290	9110	14700	16160	10462	8664	120330	16160	10462	20.000*/1.000**	5.000/N.E.	N.E.
Color Real	UPC	34,4	40,6	53,9	51,5	<5,0	13,3	107	47,6	35,2	25	107	47,6	75* / 20**	N.E.	N.E.
Cromo Total	mg Cr/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,05	0,1/1,0	N.E.
DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	mg O2/L	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	11,2	<5,0	<5,0	<5,0	11,2	<5,0	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg O2/L	13,4	13,1	17,5	17,5	<5,00	6,81	44,1	33,2	82,7	30,6	44,1	33,2	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza Cálctica	mg CaCO3/L	<5,00	7,98	<5,00	<5,00	16,7	12,5	16,9	13,6	<5,00	56,5	16,9	13,6	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza Total	mg CaCO3/L	14,1	17,9	12,2	11,4	32,7	27,7	38,4	19,2	16	61,7	38,4	19,2	N.E.	N.E.	N.E.
Fenoles totales	mg Fenol /L	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	N.E.	N.E.	N.E.
Fósforo total	mg P/L	0,505	0,205	<0,07	0,299	0,562	0,537	<0,07	0,106	0,302	0,717	<0,07	0,106	N.E.	N.E.	N.E.
Grasas y Aceites	mg/L	1,24	0,885	0,535	0,451	0,426	0,738	18,7	1,86	0,953	17,1	18,7	1,86	N.E.	N.E.	N.E.
Mercurio Total	mg Hg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,002	N.E./0,01	N.E.
Niquel Total	mg Ni/L	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno total	mg N/L	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	22,6	<3,00	<3,00	N.E.	N.E.	N.E.
Plata Total	mg Ag/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	N.E.	N.E.	N.E.
Plomo Total	mg Pb/L	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05	5,0/0,1	N.E.
Selenio Total	mg /L	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	N.E.	N.E.	N.E.
Zinc Total	mg Zn/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	15	2,0/25,0	N.E.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	42,5	50	24	15	<10,0	<10,0	39	<10,0	11	18,5	15	<10,0	N.E.	N.E.	N.E.
Turbidez	NTU	28,7	33,8	31,8	15,1	1,43	2,45	37,8	6	26,4	10,7	3,24	23	10**	N.E.	N.E.
Temperatura	°C	24	23,8	24,4	24,2	28,5	24,8	25,9	22,4	24,5	26,5	25,3	29,6	N.E.	N.E.	N.E.

PARÁMETRO	UNIDADES	PAS1	PAS26	PAS27	PAS3	PAS10	PAS13	ALJIBE	SUMBOQ	PALAGAR	CASCADA 1	CASCADA 2	ZODME	Decreto 1076 de 2015 MADS		
														Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4	Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6	Artículo 2.2.3.3.9.10
														Consumo humano / Uso doméstico	Uso agrícola / pecuario	Preservación Flora y Fauna
pH	Unidades	6,4	7	6,4	6,3	7,2	6,2	7	6,7	5,6	7,2	6	6	5,0 - 9,0*/6,5 - 8,5**	4,5-9,0	4,5-9,0
Oxígeno disuelto	mg/L	8,1	8,3	8,1	4,9	7,1	5,3	0,3	8,3	3,5	7	6,6	7,7	N.E.	N.E.	4
Conductividad	µS/cm	71,8	56,7	37,9	52,8	115,3	90,9	160,1	60,7	58,8	139,3	52,5	107	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos disueltos	mg/L	33,7	27,4	17,9	24,8	54,5	42,9	75,9	28,6	27,3	66,1	22,4	48,6	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos sedimentables	mg/L-h	0,3	0,5	0,2	0,4	<0,1	0,1	0,2	0,1	0,9	0,5	0,1	0,2	N.E.	N.E.	N.E.

Fuente: Ambius S.A.S., 2017

PRELIMINAR

- Componente Agua

El análisis para cada cuerpo de agua estudiado se divide en varios componentes, como se presenta en la Tabla 88

Tabla 88 Categorías para el análisis de cuerpos de agua.

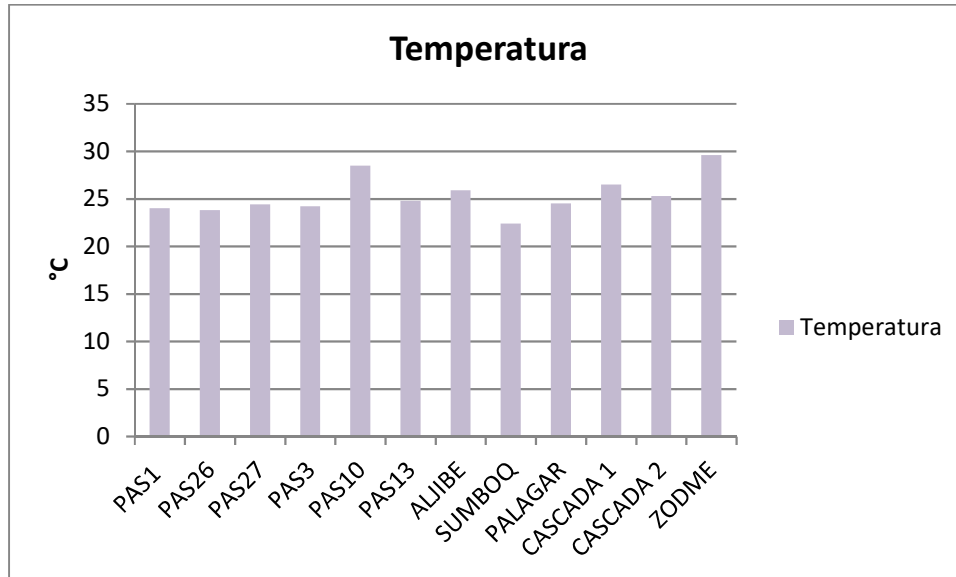
Características físicas	Temperatura
Contaminación orgánica	Oxígeno disuelto – OD Demanda bioquímica de oxígeno – DBO5 Demanda química de oxígeno – DQO Color real Grasas y aceites Coliformes fecales, totales
Nutrientes	Formas de fósforo (total) Formas de nitrógeno (total, nitritos y nitratos)
Sólidos y turbiedad	Sólidos (suspendidos, disueltos, totales y sedimentables) Turbiedad
Conductividad y pH	Conductividad Ph
Sistema carbonatico	Alcalinidad Total Acidez total Bicarbonatos Dureza cálcica Dureza Total Calcio Disuelto y Magnesio disuelto
Cloruros	Cloruros
Fenoles	Fenoles Totales
Metales y Metaloides	Mercurio Cromo Hierro Arsénico Bario Cadmio Cobre Níquel Plata Plomo Selenio Cinc

Fuente: INGETEC 2017

Características físicas

Temperatura

Figura 75 Valores de temperatura registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

La temperatura, está determinada por la cantidad de energía calórica que es absorbida por un cuerpo de agua y su valor depende de la profundidad y hora de toma (Roldan, 1992). Los sistemas fluviales muestran generalmente, frente a otros sistemas acuáticos como los lagos, notables fluctuaciones diarias en la temperatura del agua debido a su menor profundidad e inercia térmica (Margalef, 1983). En general este parámetro tiene incidencia sobre todos los procesos biológicos, así como en el comportamiento de otras variables fisicoquímicas como el oxígeno disuelto, pH, conductividad. Igualmente, incrementos en la temperatura aumentan la solubilidad de ciertos compuestos químicos, y en general disminuye la solubilidad de gases, especialmente la del oxígeno disuelto (Justic et al., 1996).

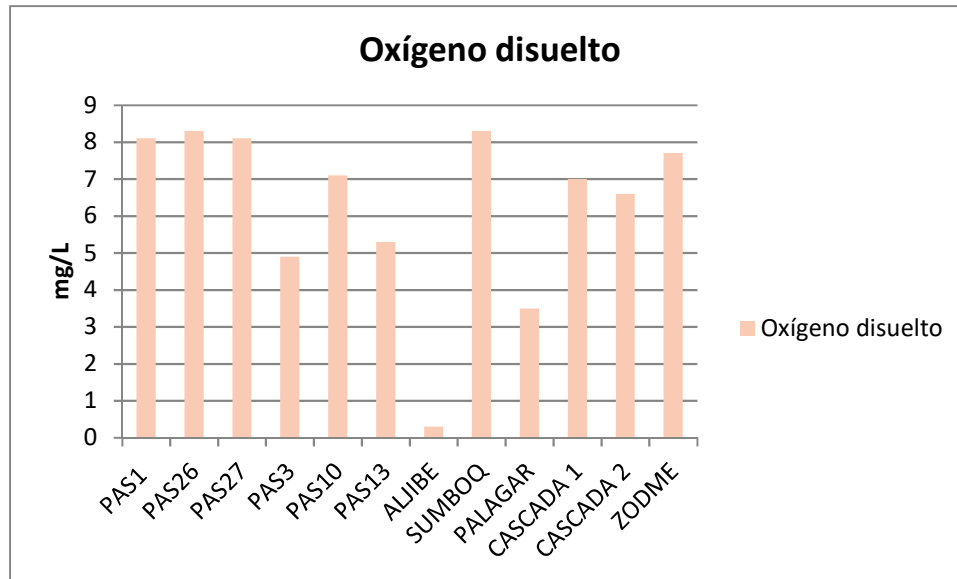
En las estaciones evaluadas se registraron valores entre 22,4°C y 29,6°C, acorde con el clima cálido de la región en donde se realizaron los monitoreos. Como se puede observar en Figura 75, la estación ZODME fue la que registró el mayor valor de todas, esto probablemente es debido a las condiciones de luz y poca sombra a las que se ve expuesto este punto en el día, así como por la hora de toma de la muestra la cual se realizó en horas de la tarde, donde la masa de agua ha recibido mayor energía calórica durante el día.

Indicadores de contaminación orgánica

Oxígeno disuelto (OD)

El Oxígeno Disuelto (O.D.) es uno de los indicadores más importantes de calidad del agua. La fuente principal de O.D. es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento en los lagos (Roldán, 2003). Otras fuentes de oxígeno son la precipitación pluvial, la fotosíntesis, los afluentes y la agitación moderada (Roldán y Ramírez, 2008). En general las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo, indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.

Figura 76 Valores de Oxígeno Disuelto (OD) registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

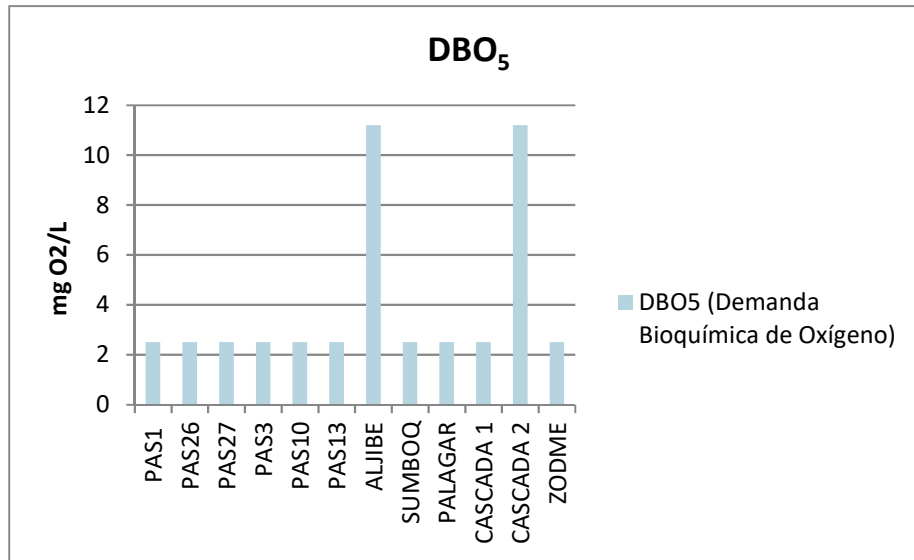
Como se puede observar en la Figura 76 las concentraciones de oxígeno disuelto que se reportaron en los cuerpos de agua, se encuentra en un rango de 0,3 a 8,3 mgO₂/L. De acuerdo a lo establecido en el Decreto 1076 de 2015, los valores obtenidos en las estaciones (PAS1, PAS 26, PAS 27, PAS3, PAS 10, PAS 13, SUMBOQ, CASCADA 1, CASCADA 2 Y ZODME) dan cumplimiento a lo establecido en la normatividad ambiental vigente definida para la preservación de flora y fauna (OD ≥ 4 mg/L). Considerando lo anterior, la disponibilidad de oxígeno en estos cuerpos de agua monitoreados es suficiente para el adecuado desarrollo de la vida acuática en dichos ecosistemas. Por otra parte, en las estaciones PALAGAR Y ALJIBE los valores registrados para este parámetro no presentan las condiciones óptimas para el uso del recurso, presentando indicios de contaminación.

DBO₅ y DQO

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es la medida de la concentración de oxígeno requerido por los microorganismos para degradar y estabilizar la materia orgánica biodegradable o carbonácea en condiciones aeróbicas. Se mide en cinco (5) días a 20 °C y es en general una indicación indirecta del carbono orgánico biodegradable presente en una masa de agua, por lo que da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas (Roldan y Ramírez, 2008).

En el caso de la demanda química de oxígeno (DQO), este es un parámetro analítico de contaminación, que mide el contenido de materia orgánica en una muestra de agua mediante oxidación química, representando así el contenido de materia orgánica total del agua (Roldan y Ramírez, 2008). Esta es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico.

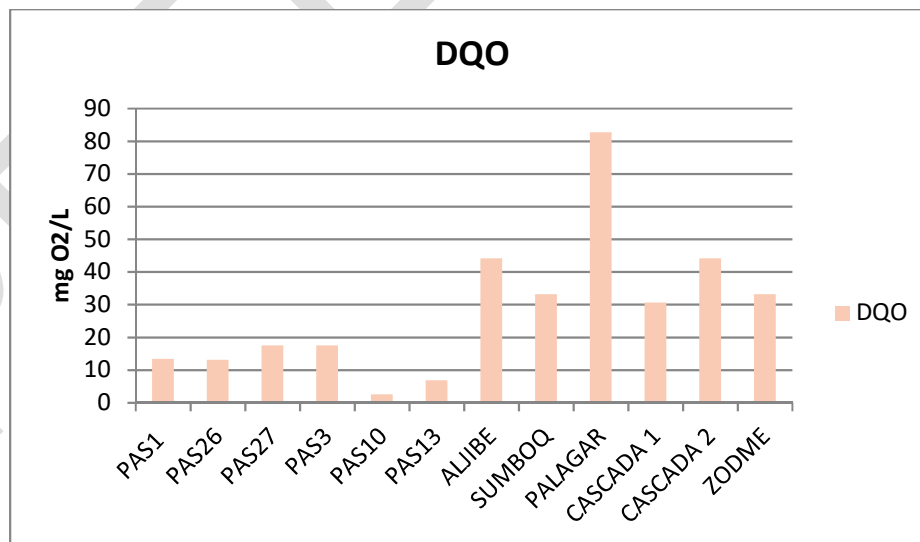
Figura 77 Valores de DBO₅ registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

Como se observa en la Figura 77 en las estaciones (PAS1, PAS 26, PAS27, PAS3, PAS10, PAS13, SUMBOQ, PALAGAR, CASCADA 1 Y ZODME) se presenta para el periodo seco concentraciones de DBO menores a 3 mg/L, lo que indica baja concentración de materia orgánica. Sin embargo, las estaciones (ALJIBE y CASCADA2) se registran concentraciones de DBO mayores de 11 mg/L, valores que reflejan una actividad por descomposición de materia orgánica. De acuerdo con lo anterior, se puede considerar indicio de contaminación por descarga momentánea de aguas residuales domésticas que probablemente está asociada a las comunidades presentes en el área de estudio.

Figura 78 Valores de DQO registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

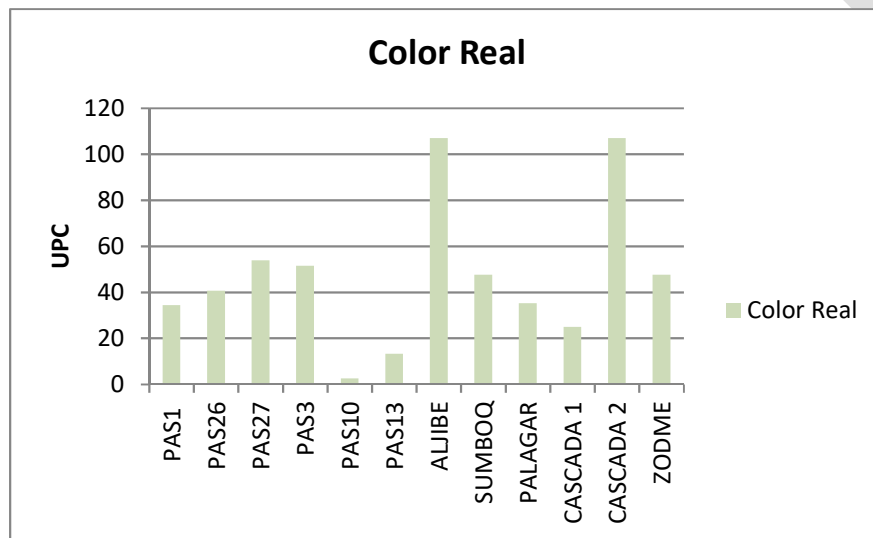
Los registros de DQO estuvieron entre 2,5y 82,7 mg/L siendo el valor más bajo para PAS10, mientras que el más alto se obtuvo en PALAGAR (Figura 78). De acuerdo con esto se puede considerar indicio de

contaminación por descarga momentánea de aguas residuales domésticas que probablemente está asociada a las comunidades presentes en el área de estudio.

Color real

Aunque el color y la turbidez difieren entre sí, se tratan conjuntamente ya que ambos interfieren en la transmisión de la luz en las aguas naturales y, por consiguiente, regulan los procesos biológicos que en ella se realizan. El color de un cuerpo está constituido por la luz no absorbida (Roldán, 2003), diferenciándose el color causado por la materia en suspensión que es llamado color aparente, del color debido a extractos vegetales u orgánicos, que son coloidales, al que se llama color real o verdadero (Clair et al., 2000).

Figura 79 Valores de Color Real registrados EIA UF2



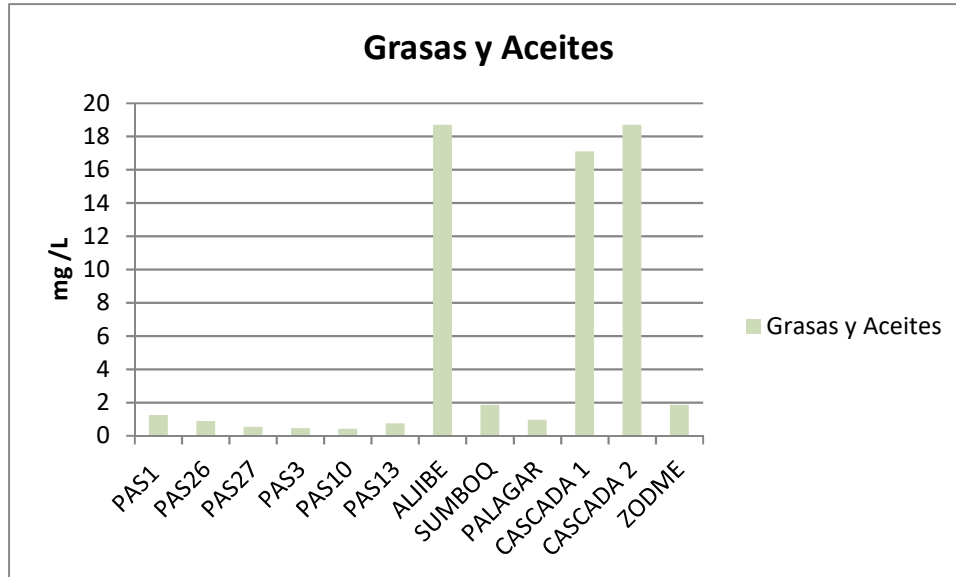
Fuente: INGETEC, 2017.

Para el color real (Figura 79) el máximo registro lo exhibió los puntos ALJIBE Y CASCADA 2 con 107UPC, excediendo el valor normativo. En general el agua de la mayoría de puntos están con concentraciones por debajo de los límites establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015, para el consumo humano y uso doméstico previo tratamiento convencional (<75 UPC). Esto a excepción de los puntos (PAS 10 y PAS 13) donde este parámetro fue indetectable (<5 UPC y 13,3 UPC) estaciones para las cuales solo sería necesario una desinfección previa de acuerdo con el límite de 20 UPC que establece la normatividad.

Grasas y Aceites

La presencia de grasas y aceites puede ser consecuencia de una condición natural asociada a la descomposición de materia orgánica de origen vegetal que se da en los cuerpos hídricos. En este caso particular la presencia de estos parámetros los valores registrados se encontraron niveles en un rango de 0,426 a 1,86 mg/L para la las estaciones (PAS 1, PAS 26, PAS 27, PAS3, PAS10, PAS13, PALAGAR y ZODME).En los puntos (ALJIBE, CASCADA 1 y CASCADA 2) este parámetro presentó valores superiores hallándose muy por encima del rango anteriormente descrito. Para este parámetro no se tiene restricción respecto al uso del recurso hídrico con fines de consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario o preservación de fauna y flora, según la normatividad ambiental. En general al momento del monitoreo, no se observó capa visible de grasas sobre los cuerpos de agua, sin embargo los valores detectados en las pruebas realizadas por el laboratorio pueden deberse a una condición natural del medio gracias a la degradación natural de material vegetal y animal en la cual algunos ácidos grasos y lipídicos son liberados al medio incrementando el contenido de estos compuestos orgánicos; esto se asocia a lo hallado en estas estaciones de monitoreo donde fue evidente el alto contenido de material vegetal en descomposición (Ver Figura 80).

Figura 80 Valores de Grasas y Aceites registrados EIA UF2

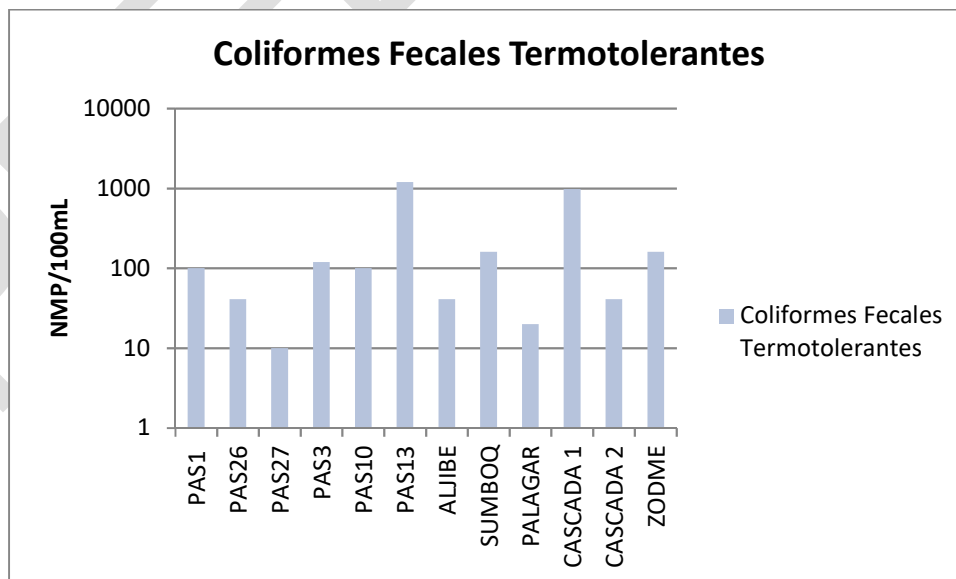


Fuente: INGETEC, 2017.

Coliformes fecales y coliformes totales

Respecto a la carga bacteriológica del agua, se encuentran los análisis de coliformes fecales y totales. Los coliformes son un grupo de bacterias que por sí mismos no constituyen organismos patógenos, pero se monitorean porque se asocian a menudo con organismos que lo son, convirtiéndose en indicadores de contaminación fecal en las fuentes de agua. Estas bacterias viven comúnmente en intestinos de humanos y otros organismos de sangre caliente, y gracias a que son más resistentes que las bacterias patógenas, la ausencia de éstas da indicios de que el agua es bacteriológicamente segura para la salud humana.

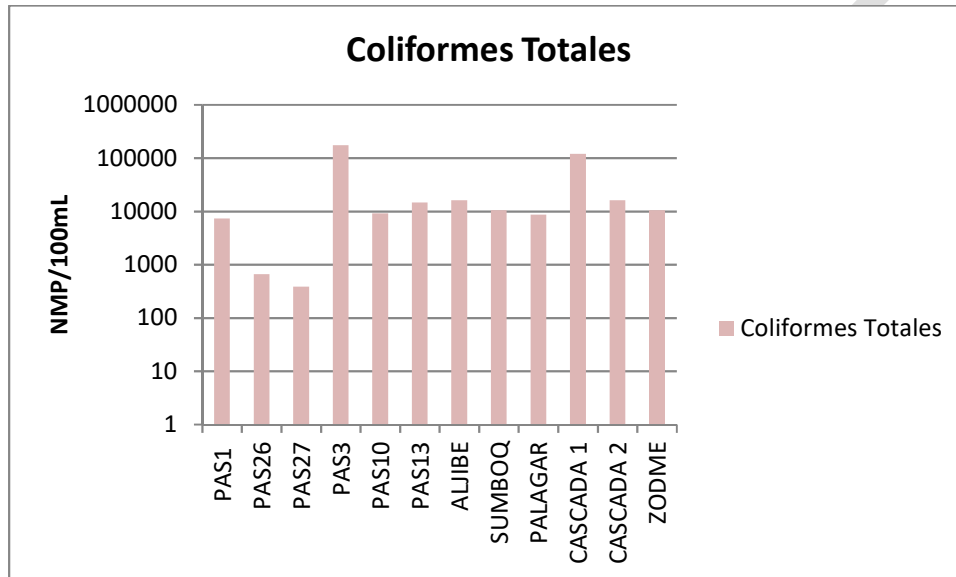
Figura 81 Valores de Coliformes fecales registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

Para este tipo de grupo coliformes se encontró con valores entre 10 NMP/100 mL y 1204 NMP/100mL siendo la estación PAS 13 la que presentó una mayor carga de este tipo de microorganismos y la estación Cascada 1 con 980 NMP/100 mL lo que se relaciona con el drenaje de aguas del túnel Sumapaz (Figura 81). Con referencia a la normatividad ambiental vigente el uso del recurso proveniente de las distintas fuentes evaluadas con fines de consumo humano y/o uso doméstico se restringe, ya que la presencia de este tipo de coliformes hace necesario un tratamiento más activo que uno convencional si se quiere hacer uso del recurso con los fines antes descritos.

Figura 82 Valores de Coliformes totales registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

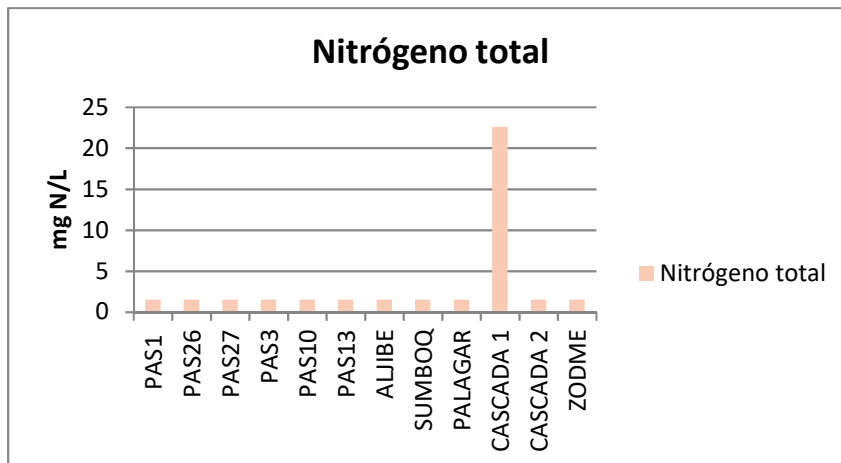
Con relación a los coliformes totales (Figura 82), las concentraciones halladas en las distintas estaciones de monitoreo estuvieron en una escala de 384 NMP/100mL a 173290 NMP/100mL siendo para este caso la estación PAS3 la que registró un mayor contenido de este tipo de microorganismos. La presencia de coliformes de tipo total es aceptable para la mayoría de las estaciones, teniendo en cuenta que la normatividad ambiental vigente define un valor de 20000 NMP/100mL como máximo permitido para uso del recurso con fines de consumo humano previo a un tratamiento convencional, en el caso de PAS 3 y CASCADA 1 se requiere de desinfección. Para el uso del recurso con fines domésticos se requiere tratamiento convencional en la mayoría de las estaciones ya que sobrepasan el límite de 1000NMP/mL, exceptuando el caso de PAS27 y PAS26 donde se encontraron los valores más bajos.

Nutrientes

Nitrógeno Total

Los nitritos (NO₂), nitratos (NO₃) y el nitrógeno total son formas inorgánicas que presenta el nitrógeno en las aguas naturales. Algunos organismos como microalgas, macrófitas y bacterias, toman estos nutrientes y los reincorporan en forma de aminoácidos, bases nitrogenadas, carbohidratos, etc. El nitrato es una de las formas solubles del nitrógeno de mayor asimilación por parte de las plantas y algas. Adicionalmente, los nitratos son indicadores de la actividad bacteriológica. Por otro lado, los nitritos indican presencia de detergentes y fertilizantes.

Figura 83 Valores de Nitrógeno total registrados EIA UF2



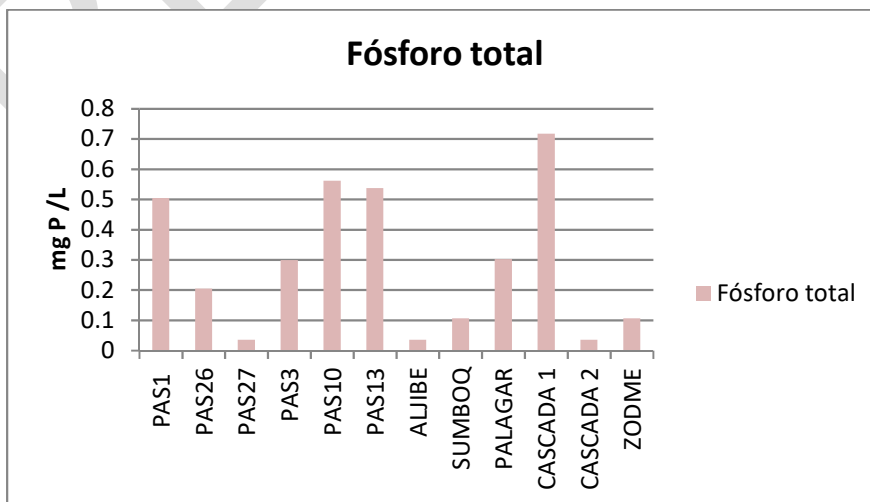
Fuente: INGETEC, 2017.

El nitrógeno total está compuesto de nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato (Sierra, 2011). Como generalidad en el caso del nitrógeno total, se registraron valores (<3 mg/L) de para las estaciones (PAS1, PAS26, PAS27, PAS3, PAS10, PAS13, ALJIBE, SUMBOQ, PALAGAR CASCADA 2 Y ZODME). El mayor valor se presentó en Cascada 1 con 22,6 mg/L, siendo este valor lo que podría atribuirse a aportes a este cuerpo de agua de tipo agrícola o aportes naturales por la vegetación asociada a los cauces de estos ecosistemas. Para este parámetro no se tiene restricción respecto al uso del recurso hídrico con fines de consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario o preservación de fauna y flora, según la normatividad ambiental.

Fosforo total

El fósforo total encierra todas las formas de fósforo presentes: fósforo orgánico, inorgánico y los fosfatos. Son elementos que se encuentran comúnmente en los sistemas acuáticos, el fósforo inorgánico y los fosfatos son considerados macronutrientes y su presencia en los sistemas acuáticos es importante para la productividad primaria del fitoplancton y plantas, sin embargo, cuando se encuentra en gran abundancia es indicativo de condiciones eutróficas.

Figura 84 Valores de Fósforo total registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

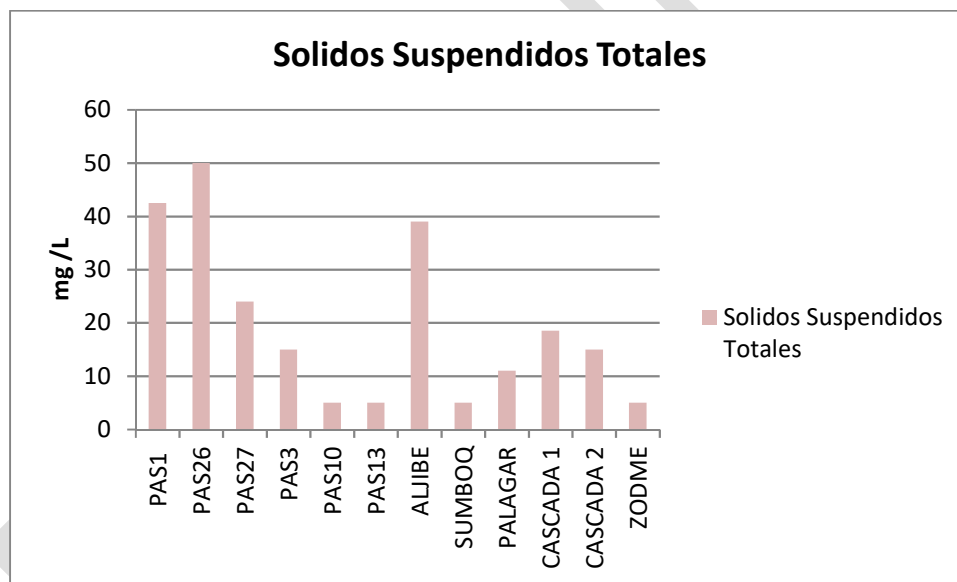
En los puntos monitoreados, tres se registraron valores para el fósforo total (<0.07 mg/L) estaciones PAS27, ALJIBE Y CASCADA 2; el punto CASCADA 1 registró el valor más alto con una concentración de 0,717 mg/L, seguido del punto PAS 10 con un valor de 0,562 mg/L, evidenciando en estos dos puntos una afectación por fósforo, pudiéndose presentar para estos puntos posibles procesos de eutrofización ya que se reportan valores superiores a 0.1 mg/L (CEPIS, 2001). Este parámetro no tiene restricción para su uso en el consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario o preservación de fauna y flora según la legislación ambiental.

Cabe aclarar que el estado eutrófico en el punto de monitoreado en el CASCADA 1, se refiere a la susceptibilidad por acumulación de nutrientes. Se determina que solo se puede hablar de eutrofización propiamente dicha en sistemas lénticos, ya que el estado natural del sistema lótico no permite el establecimiento en masa de micro biota acuática.

Sólidos suspendidos totales, Sólidos disueltos totales, Sólidos sedimentables y Turbidez

Teniendo en cuenta la presencia de los diferentes tipos de sólidos en las aguas superficiales, es importante indicar que los sólidos disueltos totales representan la concentración de sustancias o minerales disueltos en las aguas naturales, mientras que los sólidos suspendidos corresponden al material particulado que se mantiene en suspensión en el agua. Por su parte, los sólidos sedimentables comprenden los sólidos suspendidos que se precipitan, y los sólidos totales comprenden la sumatoria de los diferentes tipos de sólidos en el agua.

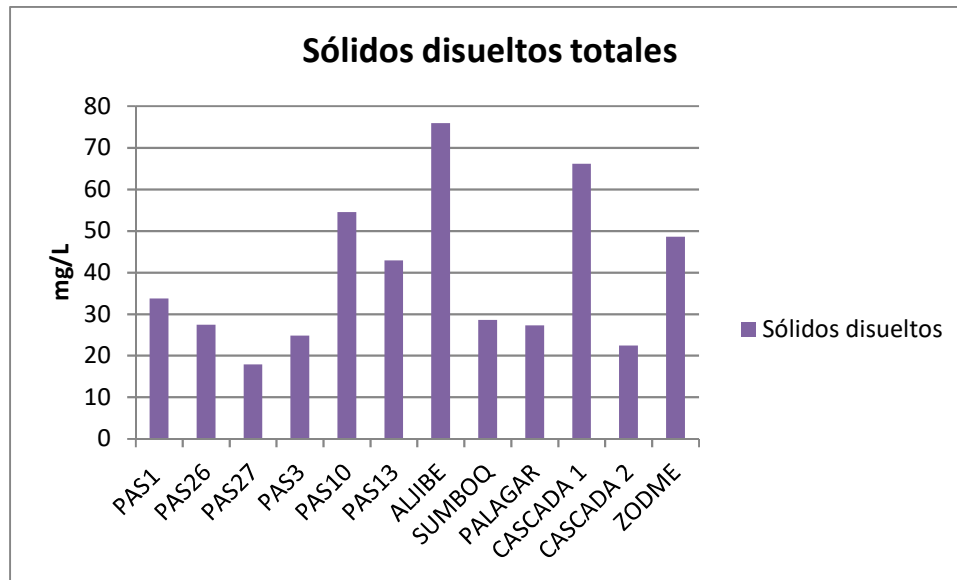
Figura 85 Valores de Sólidos suspendidos totales registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

Para el parámetro Sólidos suspendidos totales se encontraron valores indetectables (<10 mg/L) para las estaciones PAS 10, PAS 13, SUMBOQ Y ZODME, las estaciones con los valores más altos fueron: PAS 1, PAS 26 y ALJIBE. Este parámetro no tiene restricción para su uso en el consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario o preservación de fauna y flora según la legislación ambiental.

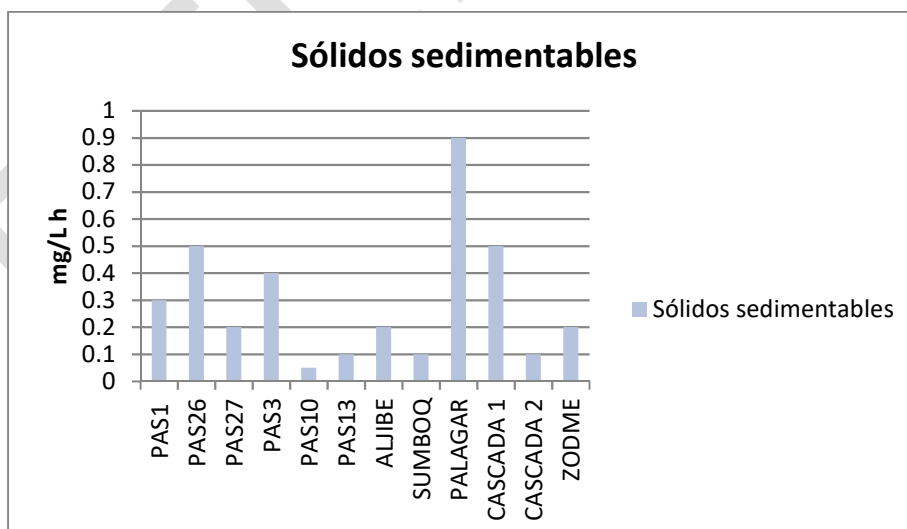
Figura 86 Valores de Sólidos disueltos registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

El parámetro sólidos disueltos totales registró valores entre 17,9 y 75,9 mg/L, presentándose el mayor valor en el Aljibe. Este parámetro no tiene restricción para su uso en el consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario o preservación de fauna y flora según la legislación ambiental.

Figura 87 Valores de Sólidos sedimentables registrados EIA UF2



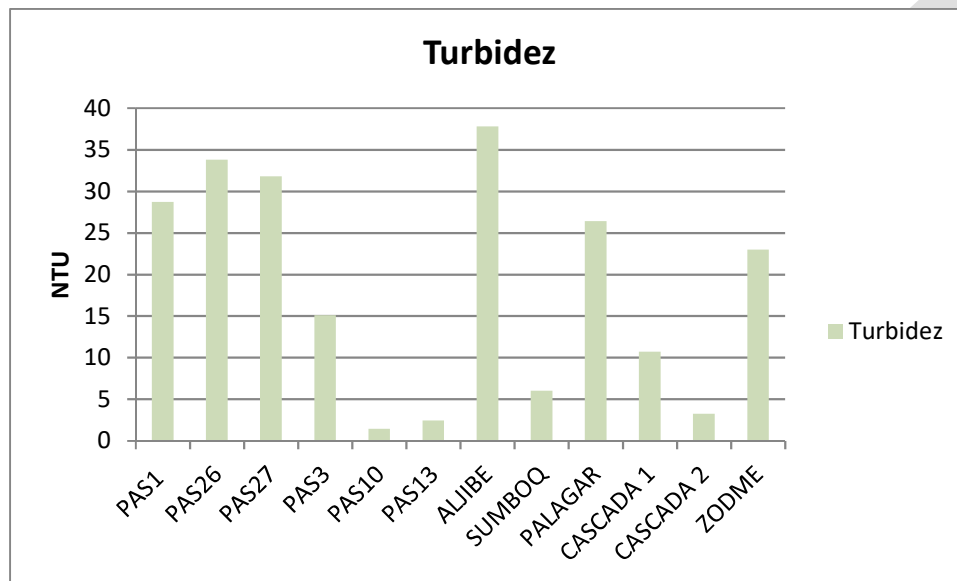
Fuente: INGETEC, 2017.

Con relación a los sólidos sedimentables se observó para la estación PAS10 un valor indetectable (<1,0 ml/L-h), y para las demás estaciones se encontraron registros bajos entre 0,1 ml/L-h y 0,9 ml/L-h, teniéndose la mayor cantidad de partículas sedimentables para la estación PALAGAR (Figura 87). En general se registraron

concentraciones bajas de sólidos sedimentables, que son acordes a las características que normalmente muestran los cuerpos de agua dulceacuícolas.

La turbidez define el grado de opacidad producido en el agua por materia particulada en suspensión. Debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua, puesto que limita la transmisión de luz en ella (Roldán, 2003).

Figura 88 Valores de Turbidez registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

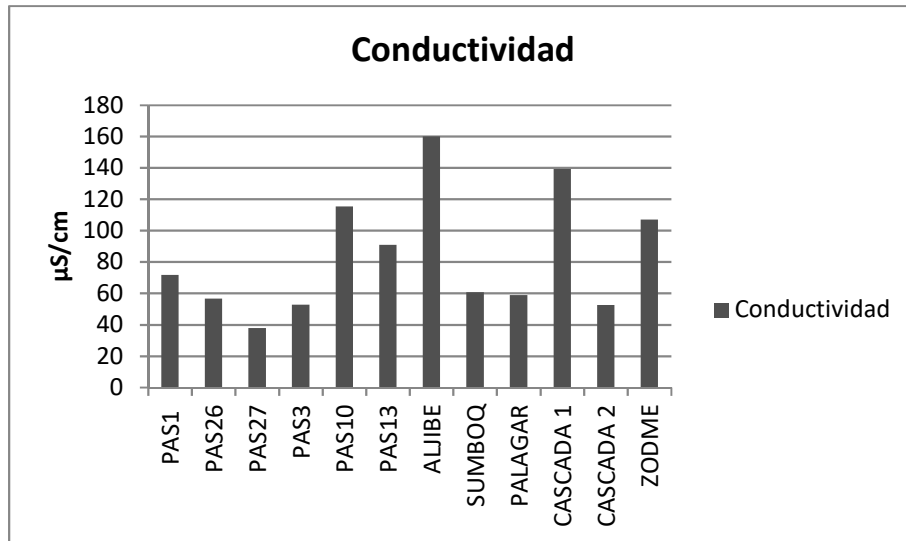
Para los puntos muestreados, se presentaron valores en un amplio rango donde la estación ALJIBE (37,8 NTU) mostró el mayor registro, mientras que en PAS10 (1,43 NTU) se encontró la menor concentración; Al comparar estos resultados de turbiedad con la normatividad ambiental vigente (Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del decreto 1076 de 2015), la mayoría de los puntos superan el máximo permitido de 10 NTU para consumo humano y uso doméstico a excepción de PAS10, PAS13 y SUMBOQ. Esto determinaría la necesidad de realizar más que una desinfección en todos los puntos evaluados, excepto los últimos indicados, antes de hacer uso del recurso para los fines descritos.

Conductividad y pH

Conductividad

La conductividad de las aguas es un parámetro utilizado como indicador de salinidad y consecuentemente, de la calidad general de las mismas (Sánchez-Díaz y Castillo-Martín, 2005). Este parámetro mide la capacidad del agua para transferir corriente eléctrica, la cual se incrementa principalmente con el contenido de iones disueltos y la temperatura.

Figura 89 Valores de Conductividad registrados EIA UF2



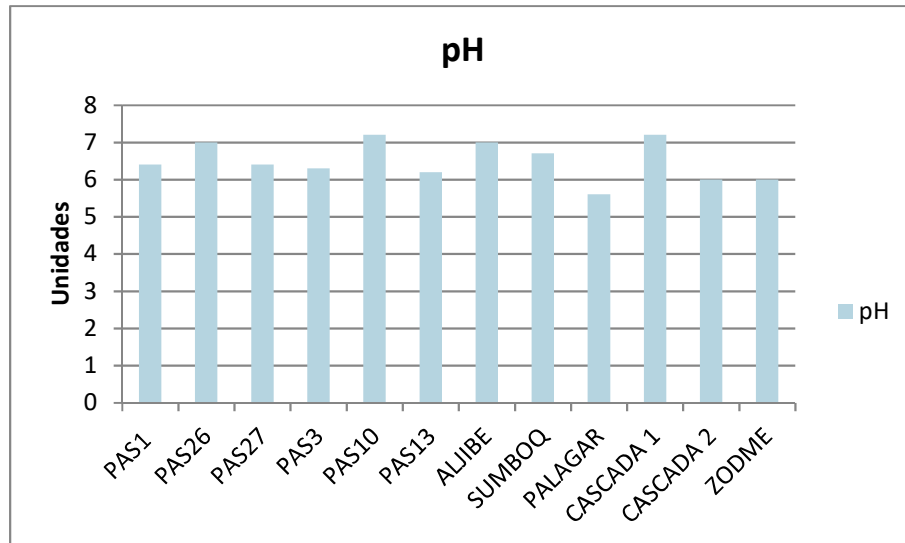
Fuente: INGETEC, 2017.

Para los cuerpos de agua evaluados esta variable se encontró con valores moderados en un rango entre 37,9 $\mu\text{S/cm}$ y 160,1 $\mu\text{S/cm}$ (Figura 89), el punto ALJIBE fue el de mayor conductividad en el agua como consecuencia de su bajo nivel y condición natural de sistema lenticó sin flujo de agua, donde cualquier aporte ajeno al sistema incide directamente en este parámetro que se incrementa cada vez más cuando el volumen hídrico se reduce. Este parámetro no tiene restricción para su uso en el consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario o preservación de fauna y flora según la legislación ambiental.

pH

El pH es una abreviatura para representar el potencial de hidrogeniones del agua, estando íntimamente relacionado con los cambios de acidez, basicidad y con la alcalinidad. Es de mencionar que este parámetro puede ser modificado por actividad biológica o por intercambio de CO_2 con el aire (Roldán, 2003).

Figura 90 Valores de pH registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

El pH de los puntos evaluados estuvo entre 5,6 y 7,2 unidades (Figura 90), presentando una tendencia ácida, la estación PARAGAR, obtuvo el menor registro reportado en este muestreo y que puede deberse a su bajo nivel de agua donde influyen los sedimentos que por naturaleza tiende a ser ácidos, más cuando han recibido aportes en periodos lluviosos de los suelos aledaños. Para este punto sería necesario realizar un tratamiento convencional para poder hacer uso del agua con fines de consumo humano y/o uso doméstico.

Sistema Carbonático

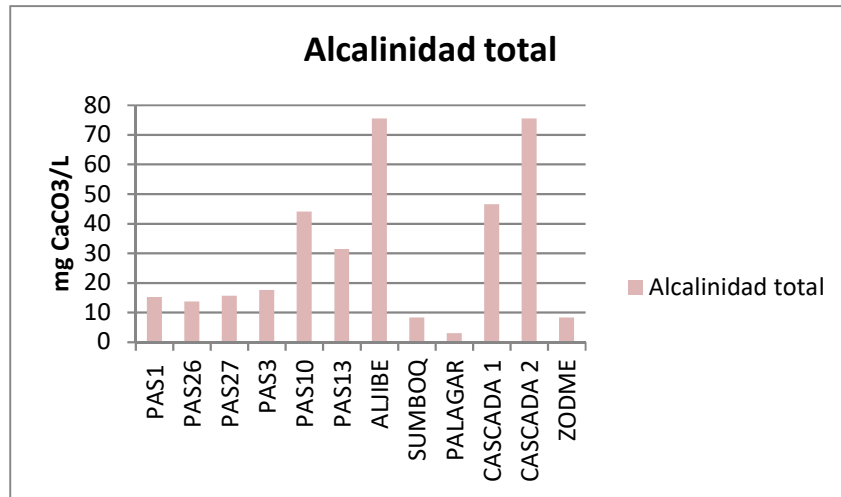
Alcalinidad Total

La alcalinidad en el agua es entendida como la capacidad que tiene para neutralizar los ácidos. Este parámetro puede considerarse como la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente, sales de ácidos débiles o bases fuertes. En las aguas naturales la alcalinidad se debe a la presencia de iones CO_3^{2-} y HCO_3^- los cuales ingresan al agua debido a la acción del CO_2 sobre los materiales naturales del suelo (Sierra, 2011).

Para las estaciones monitoreadas (Ver Figura 91) los mayores valores de alcalinidad se presentan en Aljibe (75,5 mg $CaCO_3/L$), Cascada 2 (75,5 mg $CaCO_3/L$) y Cascada 1 con un valor de (46,5 mg $CaCO_3/L$). Para este parámetro la estación ALJIBE registró el valor más alto, lo que argumenta propiedades tampón a las aguas de este sistema permitiendo estabilidad en el pH. Para la estación PALAGAR el valor de alcalinidad arrojó valores indetectables (<6,04 mg $CaCO_3/L$). En general los resultados de alcalinidad se consideran normales al no ser muy bajos que podría asociarse a aguas corrosivas (<20 mg/L) y por el contrario encontrarse en el rango de 30 a 90 mg/L que se considera como acorde para aguas dulces.

Este parámetro no tiene restricción para su uso en el consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario o preservación de fauna y flora según la legislación ambiental.

Figura 91 Valores de Alcalinidad total registrados EIA UF2



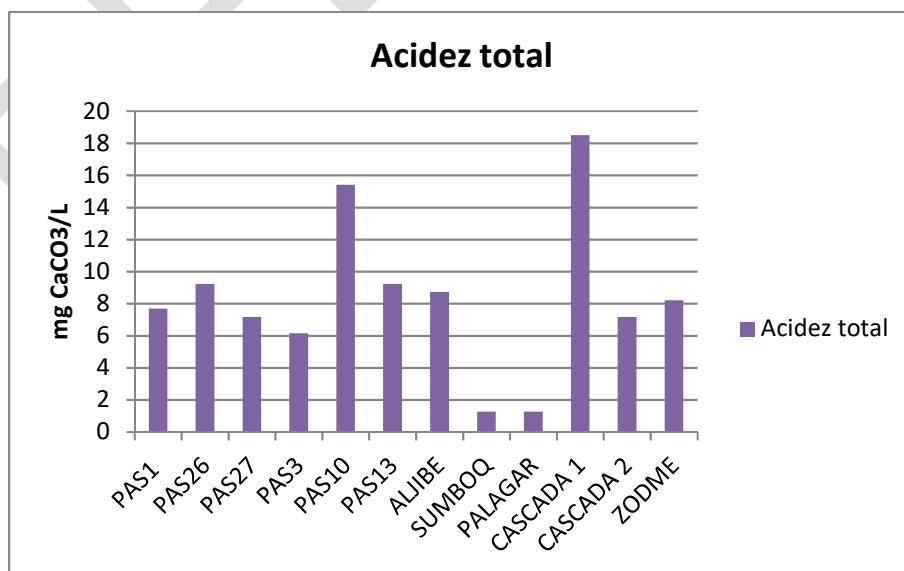
Fuente: INGETEC, 2017

Acidez Total

Respecto al parámetro acidez, generalmente se considera que todas las aguas que tienen un pH inferior a 8,5 unidades tienen acidez. La acidez en las aguas naturales es ocasionada por la presencia de CO₂ o la presencia de un ácido fuerte (H₂SO₄, HNO₃, HCl). Es de mencionar que el CO₂ es un componente normal de las aguas naturales. La condición ácida del agua también puede presentarse debido a que el CO₂ se produce en la descomposición biológica de la materia orgánica (Sierra, 2011).

En las estaciones evaluadas (Ver Figura 92) se obtuvieron valores indetectables para las estaciones SUMBOQ y PALAGAR (<2,54 mg CaCO₃/L), el resto de las estaciones reporta valores entre 6,15 y 18,5 mg CaCO₃/L, siendo la estación CASCADA 1 la que registra el mayor valor.

Figura 92 Valores de Acidez total registrados EIA UF2

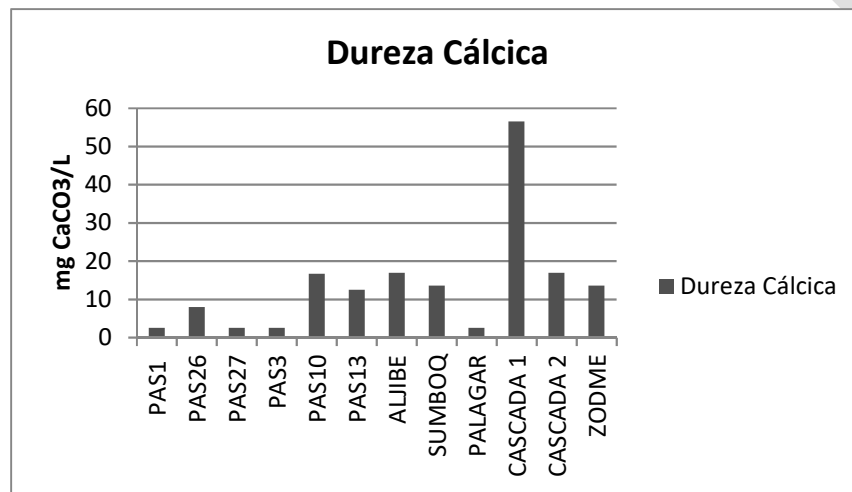


Fuente: INGETEC, 2017.

Dureza cálcica y Dureza total

La dureza cálcica está determinada por la cantidad de carbonato de calcio presente en el agua, considerando los rangos para la interpretación de este parámetro según Roldan y Ramírez (2008), que establece agua blanda desde los 0 a 75mg CaCO₃, se determina que puntos evaluados poseen una dureza muy baja o agua blanda, posiblemente como resultado de la disolución de los iones y las condiciones naturales que conforman los cauces evaluados. La estación que presenta mayor valor de este parámetro es CASCADA 1 con 56,5 mg CaCO₃/L.

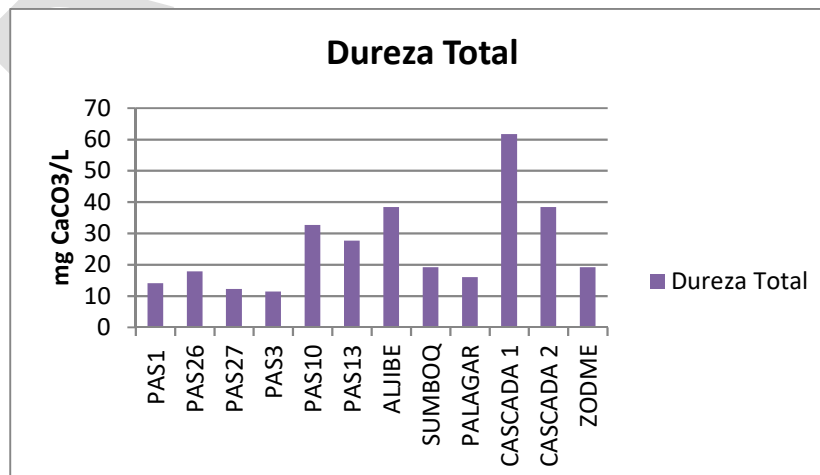
Figura 93 Valores de Dureza cálcica total registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

En el caso de la dureza total, está determinada por la presencia de cationes bivalentes en el agua, principalmente Ca₂ y Mg₂ y cuyo proceso se da naturalmente en el agua con el ingreso de dichos iones producto del proceso de disolución de las formaciones rocosas presentes en el suelo (Sierra, 2011). En el monitoreo, este parámetro presentó valores entre 11,4 y 61,7 mg CaCO₃/L, presentando el mayor valor para la estación CASCADA 1.

Figura 94 Valores de Dureza total registrados EIA UF2

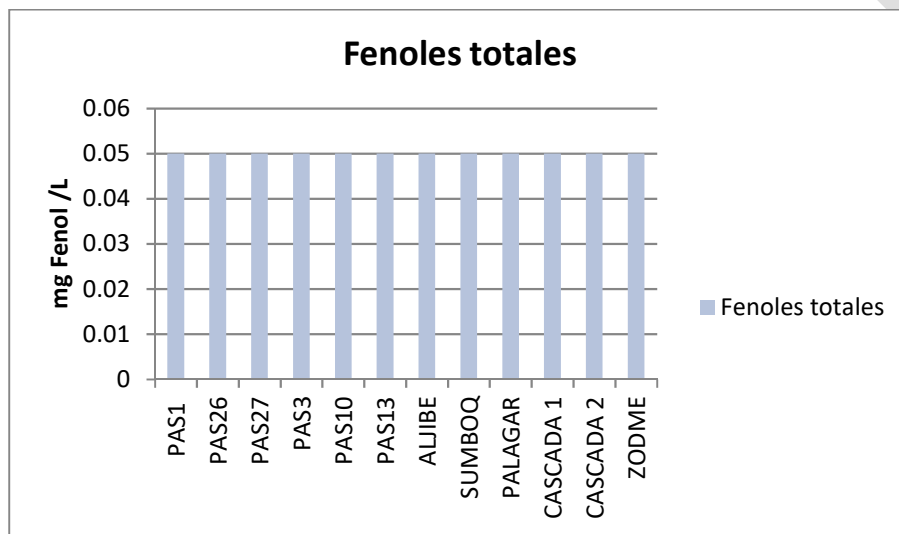


Fuente: INGETEC, 2017.

Fenoles Totales

La presencia de fenoles en el medio ambiente se deben al resultado de procesos naturales durante la descomposición de materia orgánica o la síntesis de clorados por los hongos y las plantas así mismo se derivan de la producción y el uso de numerosos plaguicidas, biosidas fenólicos y pesticidas (Michalowicz y Duda, 2006). Para el presente estudio este parámetro fue indetectable (<0,1 mg/L) en las estaciones monitoreadas. Además es de mencionar que respecto a esta variable no tienen límites definidos para su uso en el consumo humano, uso doméstico, agrícola, pecuario o preservación de fauna y flora según la normatividad ambiental.

Figura 95 Valores de Fenoles Totales registrados EIA UF2



Fuente: INGETEC, 2017.

Metales y Metaloides

Los metales generalmente se encuentran en concentraciones consideradas trazas en los sistemas naturales y algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida, por lo cual la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de las algas. No obstante, varios de estos metales, como los que poseen un peso molecular muy alto, cuando sus concentraciones son muy elevadas pueden resultar perjudiciales para los organismos.

El grupo de metales evaluados dentro del muestreo son: arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, y zinc. Los valores presentados están por debajo de los límites de detección a excepción del Registro PAS1 en Plomo que registró un valor de 0.001y en ningún caso, ningún parámetro sobrepasa los límites establecidos por la normativa ambiental para el uso del recurso en el consumo humano y/o fines domésticos, o para su uso agrícola y/o pecuario.

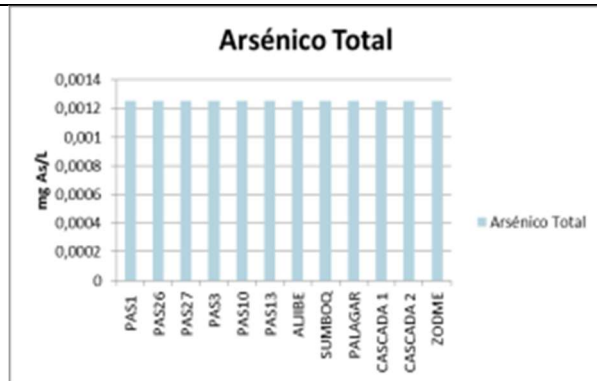


Figura 96 Valores de Arsénico Total registrados EIA UF2

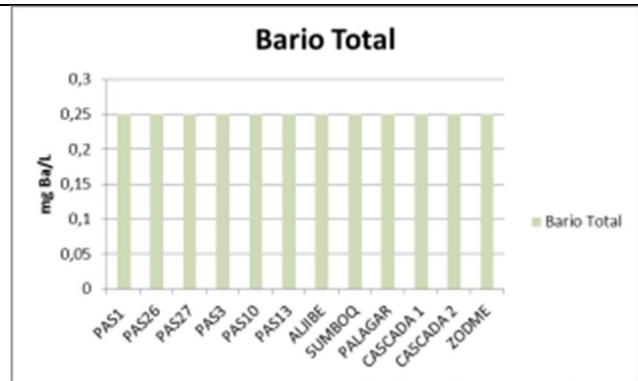


Figura 97 Valores de Bario Total registrados EIA UF2

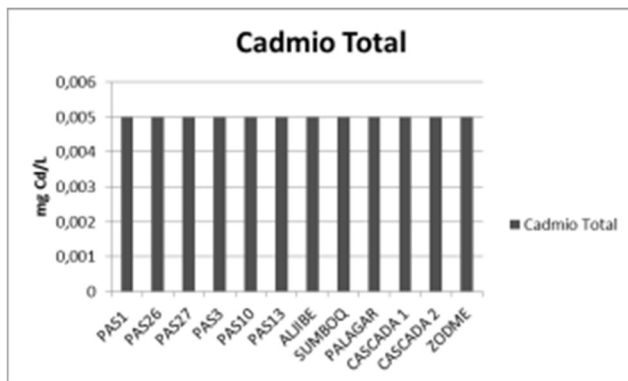


Figura 98 Valores de Cadmio Total registrados EIA UF2

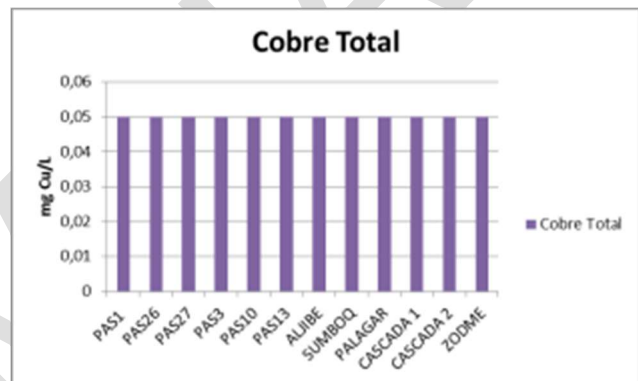


Figura 99 Valores de Cobre Total registrados EIA UF2

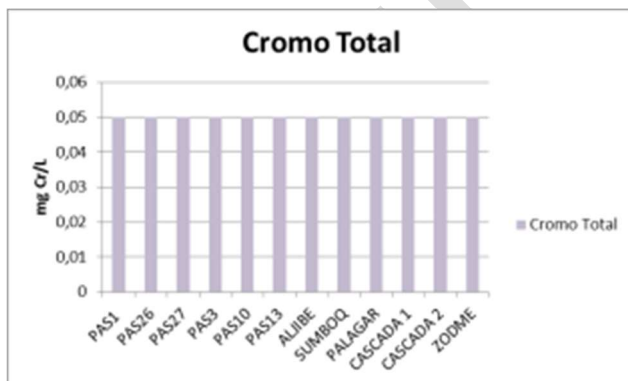


Figura 100 Valores de Cromo Total registrados EIA UF2

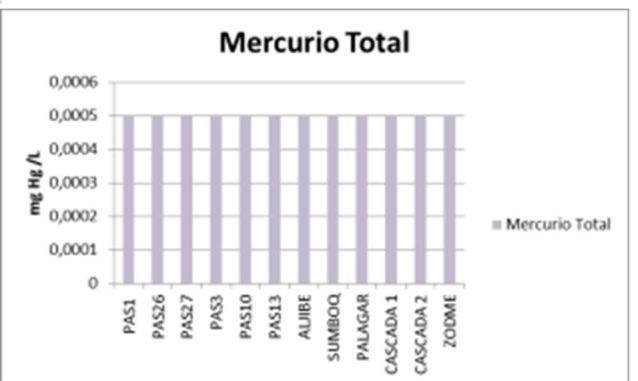


Figura 101 Valores de Mercurio Total registrados EIA UF2

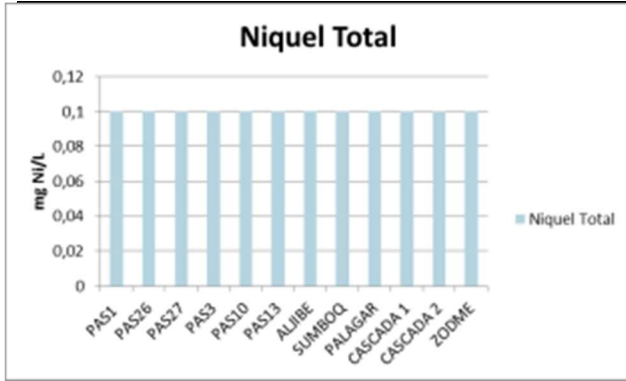


Figura 102 Valores de Niquel Total registrados EIA UF2

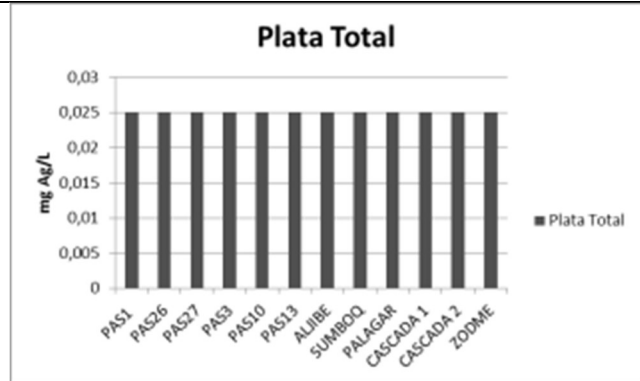


Figura 103 Valores de Plata Total registrados EIA UF2

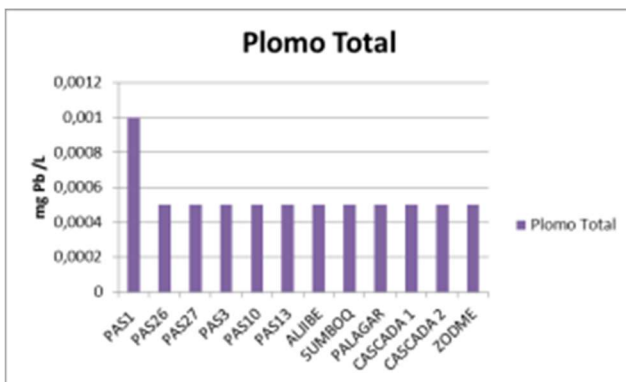


Figura 104 Valores de Plomo Total registrados EIA UF2

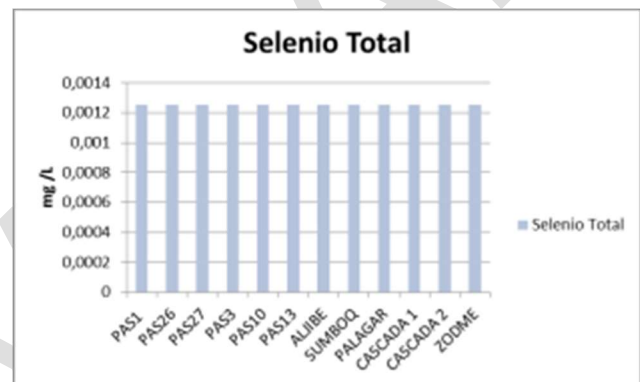


Figura 105 Valores de Selenio Total registrados EIA UF2

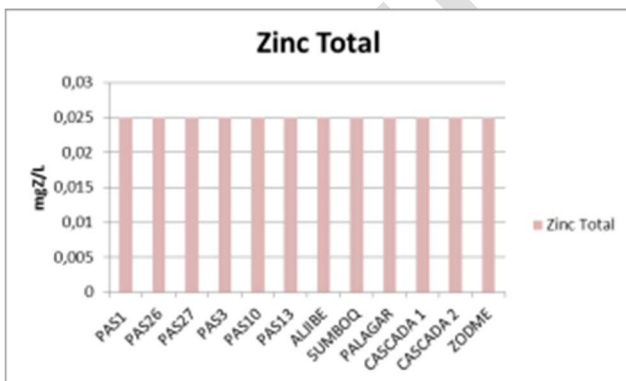


Figura 106 Valores de Zinc Total registrados EIA UF2

Fuente: INGETEC, 2017.

5.1.6.1.6. Índices

Se efectuó una interpretación del estado de los cuerpos de agua analizados a partir del cálculo de los siguientes índices: Índice de Langelier, Índice de Calidad del Agua – ICA, Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua – IACAL y el Índice de la Capacidad de Buffer (Tampón),

Para esto se tuvo en cuenta los resultados fisicoquímicos y bacteriológicos obtenidos en los puntos monitoreados.

- Índice de Langelier

La determinación del índice de Langelier se realiza usando la siguiente ecuación:

$$IL = pH_A - pH_s$$

En donde IL es el Índice de Langelier (adimensional), pH_A es el pH actual del agua (unidades de pH) y pH_s es el pH de saturación o pH al cual se logra el equilibrio calcocarbónico del agua (unidades de pH). El valor de pH_s se calcula con la siguiente ecuación:

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

En donde A (adimensional), B (adimensional), C (adimensional) y D (adimensional) se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{\log(SDT) - 1}{10}$$

$$B = -13,12 \times \log(T + 273) + 34,55$$

$$C = \text{Log}(\text{Dureza Cálctica})$$

$$D = \text{Log}(\text{Alcalinidad})$$

Siendo SDT la concentración de sólidos disueltos totales en la muestra de agua (mg/l), T la temperatura del agua (°C), DC la dureza cálcica -para las muestras el cálculo se realiza con dureza total y cálcica- (mg CaCO₃/l) y ALC la alcalinidad (mg CaCO₃/l). Para el cálculo de los sólidos disueltos totales - SDT puede utilizarse la siguiente aproximación:

$$SDT = \text{Conductividad Eléctrica} \times 0,64$$

En donde SDT está dado en mg/l y CE (conductividad) está dada en µS/cm. Para aguas dulces (lagunas, lagos, ríos, arroyos) es más adecuado usar un factor de 0,5.

La clasificación general del índice de Langelier se presenta en la

Tabla 89 Clasificación del Índice Langelier

Índice de Langelier	Clasificación
IL = 0	Agua en equilibrio químico
IL < 0	Agua con tendencia a ser corrosiva
IL > 0	Agua con tendencia incrustante

Fuente: (Arnalich, 2008)

El cálculo del índice de Langelier, determinó que las aguas de todos los cuerpos tienen tendencia a ser corrosivas. Lo que indica que tienen la capacidad de disolver metales presentes en los cuerpos de agua. En la Tabla 90 se presentan los valores obtenidos en cada punto para el índice de Langelier.

Tabla 90 Resultados Índice Langelier

ID	PUNTO	Temperatura	pH	Conductividad	Dureza cálcica (mg CaCO3/l)	Alcalinidad (mg CaCO3/l)	Sólidos Disueltos (mg/l)	A	B	C	D	pH (unidades de pH)	Índice de Langelier	Índice de Langelier
PAS1	Río Sumapaz aguas arriba	24	6,4	71,8	2,5	15,2	35,9	0,056	2,107	0,398	1,182	9,883	-3,483	Agua con tendencia a ser corrosiva
PAS26	Río Sumapaz-Túnel	23,8	7	56,7	7,98	13,7	28,35	0,045	2,111	0,902	1,137	9,418	-2,418	Agua con tendencia a ser corrosiva
PAS27	Río Sumapaz aguas abajo	24,4	6,4	37,9	2,5	15,7	18,95	0,028	2,100	0,398	1,196	9,834	-3,434	Agua con tendencia a ser corrosiva
PAS3	La Palmichala	24,2	6,3	52,8	2,5	17,6	26,4	0,042	2,104	0,398	1,246	9,802	-3,502	Agua con tendencia a ser corrosiva
PAS10	Drenaje NN3	28,5	7,2	115,3	16,7	44,1	57,65	0,076	2,022	1,223	1,644	8,531	-1,331	Agua con tendencia a ser corrosiva
PAS13	Qda. La Cascada	24,8	6,2	91	12,5	31,4	45,45	0,066	2,092	1,097	1,497	8,864	-2,664	Agua con tendencia a ser corrosiva
CASCADA 1	Qda. La Cascada 1	25,9	7	160,1	16,9	75,5	80,05	0,090	2,071	1,228	1,878	8,356	-1,356	Agua con tendencia a ser corrosiva
CASCADA 2	Qda. La Cascada 2	22,4	6,7	60,7	13,6	8,27	30,35	0,048	2,138	1,134	0,918	9,435	-2,735	Agua con tendencia a ser corrosiva
SumBoq	Río Sumapaz Boquerón	24,50	5,6	58,8	2,5	3,02	29,4	0,047	2,098	0,398	0,480	10,567	-4,967	Agua con tendencia a ser corrosiva
PALAGAR	La Palmichala aguas arriba	26,5	7,2	139,3	56,5	46,5	69,65	0,084	2,060	1,752	1,667	8,024	-0,824	Agua con tendencia a ser corrosiva
Aljibe	Aljibe	25,30	6	52,5	16,9	75,5	26,25	0,042	2,083	1,228	1,878	8,319	-2,319	Agua con tendencia a ser corrosiva
ZODME	Río Sumapaz Zodme	29,6	6	107	13,6	8,27	53,5	0,073	2,001	1,134	0,918	9,323	-3,323	Agua con tendencia a ser corrosiva

Fuente: INGETEC, 2017.

- Índice de Calidad del Agua – ICA

Metodología de cálculo

El indicador se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco variables que determinan la calidad de las aguas corrientes superficiales. Las variables son: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y pH.

A continuación en la Tabla 91 se presentan las ecuaciones de referencia para cada una de las variables:

Tabla 91 Ecuaciones para cálculo del Índice utilizado en el ICA

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Oxígeno disuelto (OD)	<p>Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.</p> $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * I_{OD})$ <p>Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%.</p> $I_{OD} = 1 - (0,01 * I_{OD} - 1)$
Sólidos Suspendidos Disueltos (SST)	<p>La presencia de sólidos suspendidos en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente.</p> <p>El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula así:</p> $I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * SST)$ <p>Si $SST \leq 4,5$, entonces $I_{SST} = 1$</p> <p>Si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$</p>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<p>La DBO refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente acidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no y la materia inorgánica.</p> $\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } I_{DQO} = 0,91$ $\text{Si } 20 < DQO \leq 25, \text{ entonces } I_{DQO} = 0,71$ $\text{Si } 25 < DQO \leq 40, \text{ entonces } I_{DQO} = 0,51$

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
	Si $40 < DQO \leq 80$, entonces $I_{DQO} = 0,26$
	Si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,12$

Fuente: IDEAM

En la Tabla 92, se presentan la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo del ICA.

Tabla 92 Variables y ponderación para el caso de 5 variables

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto , OD	% Saturación	0,2
Sólidos suspendidos Totales , SST	mg/L	0,2
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	0,2
Conductividad eléctrica, CE	μS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Por último, el Índice de calidad del agua que contempla todas las variables, se determina a través de la sumatoria del producto de cada variable por el factor ponderador, como se ilustra a continuación:

$$\sum_{i=1}^n (W * I)$$

El indicador es comparado y clasificado a través de un código de colores que permite emitir señales de alerta, según el nivel de contaminación del cuerpo hídrico, como se muestra en la Tabla 93.

Tabla 93 Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 - 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 - 0,50	Mala	Naranja
0,51 - 0,70	Regular	Amarillo
0,71 - 0,90	Aceptable	Verde
0,91 - 1,00	Buena	Azul

Fuente: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011)

A continuación en la Tabla 94, se presentan los resultados obtenidos para cada punto monitoreado

Tabla 94 Resultados ICA

FUENTE	VALOR ICA	CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA
PAS1-Río Sumapaz aguas arriba	0,78	Aceptable
PAS26-Río Sumapaz-Túnel	0,60	Regular
PAS27-Río Sumapaz aguas abajo	0,77	Aceptable
PAS3-La Palmichala	0,48	Mala
PAS10-Drenaje NN3	0,64	Regular
PAS13-Qda. La Cascada	0,49	Mala

Aljibe	0,41	Mala
SumBoq-Río Sumapaz Boquerón	0,60	Regular
PALAGAR- La Palmichala aguas arriba	0,40	Mala
CASCADA 1-Qda. La Cascada 1	0,63	Regular
CASCADA 2--Qda. La Cascada 2	0,52	Regular
ZODME-Río Sumapaz Zodme	0,54	Regular

Fuente: INGETEC, 2017.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se presenta en la mayoría de puntos cuentan con una calificación entre regular y mala, lo que indica grado de contaminación en estas fuentes, afluentes del río Sumapaz, que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto.

- Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua - IACAL

Este indicador determina la relación entre la carga contaminante y la oferta hídrica de un cuerpo de agua superficial para un año medio, en el cual se consideran cinco (5) variables. Las variables que se utilizan para la estimación del IACAL son DBO, diferencia entre DQO y DBO, SST, NT y PT.

Ecuación para el cálculo del IACAL de cada variable.

$$iacal_{ijt-añomed} = \frac{C_{ijt}}{O_{añomed}}$$

La razón entre la carga contaminante de cada variable y la oferta hídrica de la quebrada (es decir el IACAL de la variable. Véase Figura 107), se encuentra asociada a una categoría de clasificación como se muestra en las siguientes tablas.

Figura 107 IACAL DBO

Rangos $\frac{iacal_{DBO-jt-añomed}}{iacal_{DBO-jt-añosec}}$	Categoría de clasificación $catiacal_{DBO}$	Calificación de la presión
$iacal_{DBO} < 0,14$	1	Baja
$0,14 \leq iacal_{DBO} < 0,40$	2	Moderada
$0,40 \leq iacal_{DBO} < 1,21$	3	Media-Alta
$1,21 \leq iacal_{DBO} < 4,86$	4	Alta
$iacal_{DBO} \geq 4,86$	5	Muy Alta

Figura 108 Diferencia entre DQO y DBO

Rangos $iactal_{DQO-DBO-jt-añomed}$ $iactal_{DQO-DBO-jt-añosec}$	Categoría de clasificación $catiactal_{DQO-DBO}$	Calificación de la presión
$iactal_{DQO-DBO} < 0,14$	1	Baja
$0,14 \leq iactal_{DQO-DBO} < 0,36$	2	Moderada
$0,36 \leq iactal_{DQO-DBO} < 1,17$	3	Media-Alta
$1,17 \leq iactal_{DQO-DBO} < 6,78$	4	Alta
$iactal_{DQO-DBO} \geq 6,78$	5	Muy Alta

Figura 109 Sólidos suspendidos totales

Rangos $iactal_{SST-jt-añomed}$ $iactal_{SST-jt-añosec}$	Categoría de clasificación $catiactal_{SST}$	Calificación de la presión
$iactal_{SST} < 0,4$	1	Baja
$0,4 \leq iactal_{SST} < 0,8$	2	Moderada
$0,8 \leq iactal_{SST} < 1,9$	3	Media-Alta
$1,9 \leq iactal_{SST} < 7,7$	4	Alta
$iactal_{SST} \geq 7,7$	5	Muy Alta

Figura 110 IACAL Nitrógeno total

Rangos $iactal_{NT-jt-añomed}$ $iactal_{NT-jt-añosec}$	Categoría de clasificación $catiactal_{NT}$	Calificación de la presión
$iactal_{NT} < 0,03$	1	Baja
$0,03 \leq iactal_{NT} < 0,06$	2	Moderada
$0,06 \leq iactal_{NT} < 1,14$	3	Media-Alta
$1,14 \leq iactal_{NT} < 0,56$	4	Alta
$iactal_{NT} \geq 0,56$	5	Muy Alta

Figura 111 Fósforo total

Rangos $iactal_{PT-jt-añomed}$ $iactal_{PT-jt-añosec}$	Categoría de clasificación $catiactal_{PT}$	Calificación de la presión
$iactal_{PT} < 0,005$	1	Baja
$0,005 \leq iactal_{PT} < 0,014$	2	Moderada
$0,014 \leq iactal_{PT} < 0,036$	3	Media-Alta
$0,036 \leq iactal_{PT} < 0,135$	4	Alta
$iactal_{PT} \geq 0,135$	5	Muy Alta

EL IACAL de una fuente hídrica se encuentra numéricamente definido por “el promedio de las categorías de clasificación (catiactal) asignadas a los cocientes que surgen de dividir las cargas de cada una de las cinco variables fisicoquímicas, por la oferta hídrica superficial” (IDEAM, 2012), como se presenta a continuación:

$$IACAL_{jt-añomed} = \frac{\sum_{i=1}^n catiactal_{ijt-añomed}}{n}$$

Ecuación para determinar el IACAL del cuerpo hídrico

En donde, catiactal = categoría de clasificación

n = número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador (n=5). La calificación total del cuerpo hídrico, considerando las cinco (5) variables anteriores, se presenta en la Tabla 95. En los resultados expuestos en la Tabla 95, se presentan los valores obtenidos para el IACAL

Tabla 95 Interpretación del índice de alteración potencial de la calidad del agua.

Rangos $IACAL_{jt-añomed}$	Categoría de clasificación	Calificación de la vulnerabilidad
$1,0 \leq IACAL \leq 1,5$	1	Baja
$1,5 < IACAL \leq 2,5$	2	Moderada
$2,5 < IACAL \leq 3,5$	3	Media-Alta
$3,5 < IACAL < 4,5$	4	Alta
$4,5 \leq IACAL \leq 5,0$	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL. IDEAM.

El IACAL refleja la alteración potencial de la calidad del agua por presión de la actividad socioeconómica, a escala de subzonas hidrográficas, pues se calcula en función de la presión ambiental, entendida como la contribución potencial de cada agente social o actividad humana (población, industria, agricultura, minería) a las alteraciones del medio ambiente por consumo de recursos naturales, generación de residuos (emisión o

vertimiento) y transformación del medio físico. Es decir, es la capacidad de generar un impacto ambiental. La afectación potencial se refiere a la posibilidad de generar un grado de alteración debido a una presión ambiental; por ejemplo, un vertimiento puede generar distintos impactos ambientales en función de diversos factores: la fragilidad del medio receptor, la concentración de presión ambiental en el área (existencia de muchos vertimientos) y la capacidad de recuperación del medio receptor.

En este orden de ideas, como se puede observar en la Tabla 96, la Zubzona hidrográfica denominada 2119 Río Sumapaz, presenta una clasificación general de IACAL entre **MUY ALTA y ALTA**, indicando una alteración potencial de la calidad del agua, por las actividades que allí se desarrollan y afectan directamente el uso y disponibilidad del recurso.

PRELIMINAR

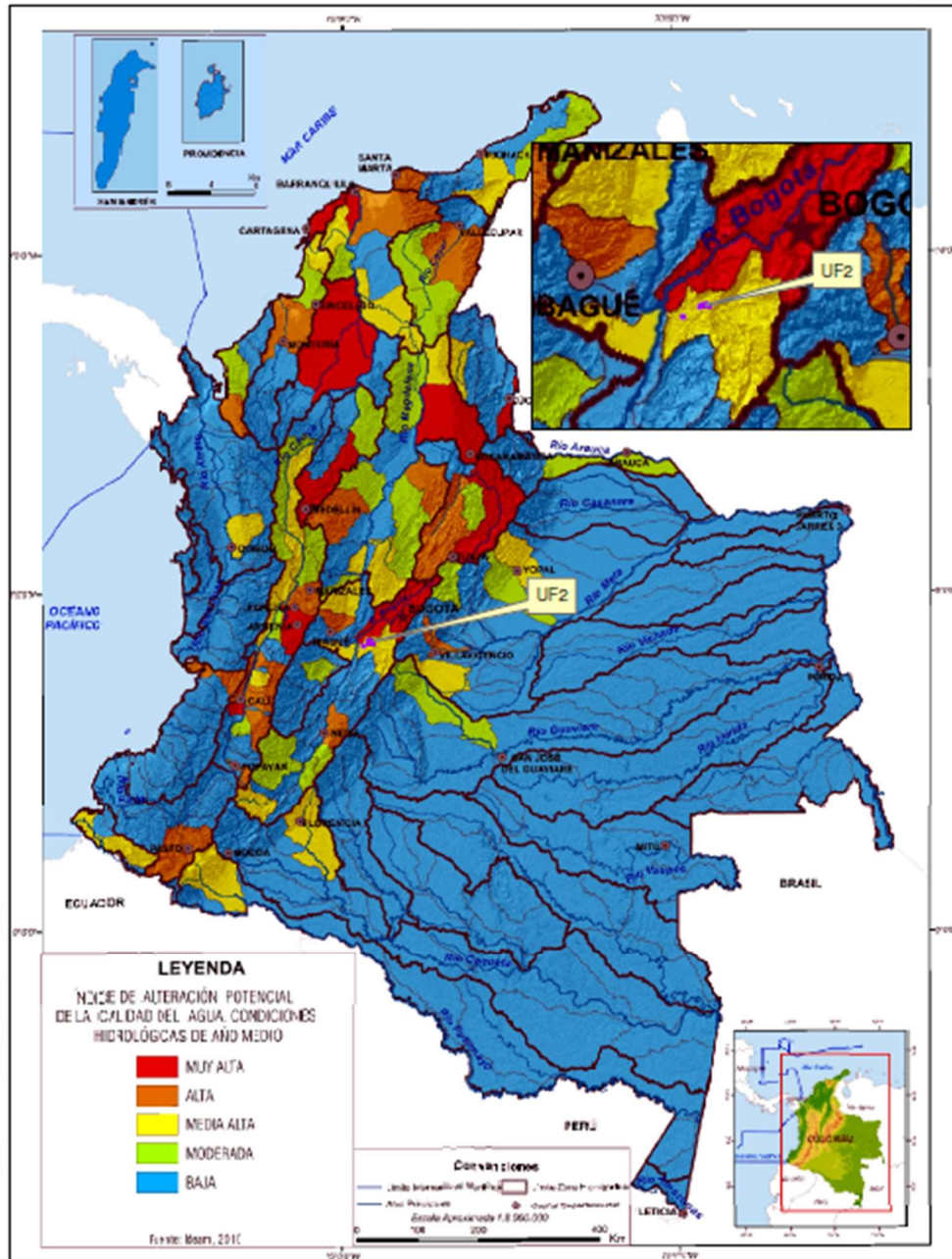
Tabla 96 Resultados del índice de alteración potencial de la calidad del agua IACAL

Zona Hidrográfica	Zubzona Hidrográfica	ID PUNTO	Fuente Monitoreada	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO-DBO (mg/L)	Sólidos Suspendidos Totales	Nitrógeno Total (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Q (m ³ /s)	Oferta Hídrica Hm3/año	CALCULO IACAL	Categoría clasificación IACAL	Clasificación IACAL		
21	Alto Magdalena	2119	Río Sumapaz	PAS1	Río Sumapaz aguas arriba	2,5	13,4	10,9	42,5	1,5	0,505	43,536	1372,951	4,8	5	Muy Alta
				PAS26	Río Sumapaz-Túnel	2,5	13,1	10,6	50	1,5	0,205	43,536	1372,951	4,8	5	Muy Alta
				PAS27	Río Sumapaz aguas abajo	2,5	17,5	15	24	1,5	0,035	43,536	1372,951	4,4	4	Alta
				PAS3	Quebrada la Palmichala	2,5	17,5	15	15	1,5	0,299	0,083	2,617	4,8	5	Muy Alta
				PAS10	Drenaje NN3	2,5	2,5	0	5	1,5	0,562	0,002	0,063	3,8	4	Alta
				PAS13	Qda. La Cascada	2,5	6,81	4,31	5	1,5	0,537	0,0021	0,066	4,4	4	Alta
				CASCADA 1	Qda. La Cascada 1	11,2	44,4	33,2	39	1,5	0,035	0,0021	0,066	4,6	5	Muy Alta
				CASCADA 2	Qda. La Cascada 2	2,5	33,2	30,7	5	1,5	0,106	0,0021	0,066	4,4	4	Alta
				SumBoq	Río Sumapaz Boquerón	2,5	82,7	80,2	11	1,5	0,302	43,536	1372,951	4,8	5	Muy Alta
				PALAGAR	La Palmichala aguas arriba	2,5	30,6	28,1	18,5	22,6	0,717	0,083	2,617	4,8	5	Muy Alta
ZODME	Río Sumapaz Zodme	2,5	33,2	30,7	5	1,5	0,106	43,536	1372,951	1	1	Baja				

Fuente: INGETEC, 2017.

En la Figura 112, se presenta el Mapa No. 1: Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua en condiciones hidrológicas de año medio - Sub-zonas hidrográficas, elaborado por el IDEAM en el 2010. Allí se evidencia que el área del proyecto cuenta con una calificación media alta para el índice IACAL. De acuerdo con los resultados obtenidos en el IACAL en los puntos evaluados, se evidencia semejanza con el mapa nombrado anteriormente, indicando que existe una presión alta de los contaminantes vertidos a los cuerpos de aguas superficiales (materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes) y que afectan las condiciones de calidad de agua.

Figura 112 Índice de alteración potencial de la calidad de agua para Colombia



Fuente: INGETEC a partir de información IDEAM.

- Índice de la capacidad de buffer (tampón)

En relación con la capacidad de buffer, se tomó como parámetro representativo la alcalinidad total, la cual está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y representa el principal sistema amortiguador de las aguas. Cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (acidificación).

Tabla 97 Clasificación de los cuerpos de agua según su alcalinidad total

Descripción	Alcalinidad (mg/L)
Sensibles a contaminación	<20
Mínimo aceptable	20
Pobremente amortiguadas	< 25
Moderadamente amortiguadas	25 - 75
Muy amortiguadas	> 75

Tabla 98 Resultados del índice de la capacidad de buffer (tampón)

ID	PUNTO	Alcalinidad (mg/L)	CAPACIDAD DE AMORTIGUACIÓN (BUFFER O TAMPÓN)
PAS1	Río Sumapaz aguas arriba	15,2	Sensibles a la contaminación
PAS26	Río Sumapaz-Túnel	13,7	Sensibles a la contaminación
PAS27	Río Sumapaz aguas abajo	15,7	Sensibles a la contaminación
PAS3	La Palmichala	17,6	Sensibles a la contaminación
PAS10	Drenaje NN3	44,1	Moderadamente amortiguadas
PAS13	Qda. La Cascada	31,4	Moderadamente amortiguadas
CASCADA 1	Qda. La Cascada 1	75,5	Muy amortiguadas
CASCADA 2	Qda. La Cascada 2	8,27	Sensibles a la contaminación
SumBoq	Río Sumapaz Boquerón	3,02	Sensibles a la contaminación
PALAGAR	La Palmichala aguas arriba	46,5	Moderadamente amortiguadas
Aljibe	Aljibe	75,5	Muy amortiguadas
ZODME	Río Sumapaz Zodme	8,27	Sensibles a la contaminación

Fuente: INGETEC, 2017.

Teniendo en cuenta que el índice de buffer o tampón hace referencia a la calidad de agua como consecuencia de actividades que generan vertimientos de tipo no doméstico; a continuación se describen los resultados obtenidos para este índice:

En los puntos monitoreados, se observa que el 58,33% (7 puntos) presentan una capacidad buffer sensibles a la contaminación, lo que indica que tienen poca resistencia para oponerse a las modificaciones que genera la disminución del pH. El 25% (3 puntos) presentan una capacidad de buffer moderadamente amortiguadora. Y el 16% (2 puntos) presenta una capacidad buffer muy amortiguadas.

5.1.6.2. Componente sedimentos

A continuación se presenta la caracterización de calidad de sedimentos (parámetros fisicoquímicos), correspondiente a los muestreos realizados a lo largo del río Sumapaz

Los monitoreos fueron realizados por la empresa: AMBIUS S.A.S. la cual llevo a cabo la campaña de muestreo en temporada seca, los días 9 y 10 de agosto de 2017. Los reportes y certificados de los laboratorios se presentan en el Anexo C.

5.1.6.2.1. Metodología

- Etapa de preparación

En la etapa de preparación se ajustan los procedimientos esenciales para llevar a cabo de una manera satisfactoria los demás procesos articulados al estudio. En ésta se lleva a cabo toda la planeación y programación para que la fase de campo se desarrolle sin ningún inconveniente (Figura 113).

Figura 113 Actividades de la etapa de preparación



Fuente: Ambius S.A.S. 2017.

- Etapa de campo

Para todos los puntos sobre el río Sumapaz se llevó a cabo la toma de muestras para la caracterización fisicoquímica de sedimentos siguiendo el instructivo del procedimiento del laboratorio AMBIUS S.A.S. (Muestreo de Lodos y Sedimentos I-PMO01-03). El trabajo de campo desarrollado para la toma de muestras para los posteriores análisis de laboratorio, se llevó a cabo por personal de la empresa AMBIUS S.A.S., con base en las disposiciones de la EPA y teniendo en cuenta las metodologías propuestas por ICONTEC (2009) en las Normas Técnicas Colombianas NTC 4113-1, NTC 4113-2, NTC 3656, NTC 4711 y NTC 5667-15, así como la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2010).

Para la toma de las muestras de sedimentos se tomaron muestras integradas en cada uno de los puntos ubicados sobre el río Sumapaz. Para esto se tomaron sobre cada sección transversal varias submuestras haciendo uso de una draga y un balde previamente purgados. Posteriormente con la ayuda de una pala plástica se homogenizó la muestra y se trasladó la misma a bolsas plásticas y demás recipientes requeridos para cada uno de los análisis a realizar posteriormente en el laboratorio (Fotografía 68).

Las muestras fueron rotuladas y almacenadas en neveras isotérmicas con su respectiva refrigeración, registrando correctamente en formatos de campo la información correspondiente como fecha y hora de muestreo, responsable de la toma, origen y otras observaciones pertinentes (Anexo C).

Fotografía 68 Toma de muestras de sedimentos, río Sumapaz.



Fuente: Ambius S.A.S., 2017.

- Etapa de Laboratorio

Los análisis de muestras se realizaron por parte de laboratorios acreditados ante el IDEAM para los diferentes parámetros a evaluar en los sedimentos colectados (Anexo C). A continuación en la Tabla 99, se resume la información correspondiente al trabajo ejecutado, indicando los métodos y técnicas utilizadas, así como el laboratorio que realizó los análisis para cada uno de los parámetros caracterizados.

Tabla 99 Variables evaluadas y tipo de análisis realizado en laboratorio.

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA	LABORATORIO A CARGO DEL ANÁLISIS
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)*	cmol(+)/Kg ss	NTC 5268:2014	Extracción acetato de Amonio 1N pH7,0, Titulometria	CHEMILAB
Carbono Orgánico Total (COT)*	%	Digestión vía húmeda	(Walkley-Black) - Métodos analíticos de laboratorio de suelos - IGAC (Ed. 6 de 2006)	LMB
Cobre Total*	mg CU/KG	Absorción atómica	USEPA 3050B (1996) - APHA-AWWA-WEF SM 3111 (Ed. 22 2012)	LMB
Cromo Total*	mg Cr/KG	Absorción atómica	USEPA 3050B (1996) - APHA-AWWA-WEF SM 3111D (Ed. 22 2012)	LMB
Fenoles	mg Fenol/Kg)	Fotometrico directo	APHA-AWWA-WEF SM 5530 B, C: Phenols - Cleanup Procedure - Fotometrico directo (Modificado) (Ed. 22 2012)	SGS
Grasas y Aceites*	mg/kg	NTC 11464	EPA 9071 B	PRODYCON
Hidrocarburos totales (TPH)*	mg/kg	NTC 11464	EPA 9071 B	PRODYCON
Níquel Total*	mg Ni/KG	Absorción atómica	USEPA 3050B (1996) - APHA-AWWA-WEF SM 3030 - 3111B (Ed. 22 2012)	LMB
Textura - Granulometría*	g	Granulometría de sedimentos mediante tamizado y agitado en columna de tamices	ESCALA UDDEN/WENTWORTH- (NORMA NTC 1522, BALE & KENNY 2005, KENNY & SOTHERAN 2013)	ECOMAR
Zinc Total*	mg Zn/KG	Absorción atómica	USEPA 3050B (1996) - APHA-AWWA-WEF SM 3111B (Ed. 22 2012)	LMB
Densidad Especifica o Peso Especifico	mg/kg	-	LBC 371 Anderson and Wilson	DOCTOR CALDERON
Porosidad	%P/P	Gravimetría	LBC 289	DOCTOR CALDERON
Demanda Béntica de Oxígeno*	g/m2 día	Respirómetro	EPA 1979	MCS
Sulfuro Acido Volátil	mg S2-/L	Yodométrico	SM 4500 S2 F	DOCTOR CALDERON
Potencial Redox	Unidades de pH	Electrometría	SM 2580B	CHEMILAB
Sulfuros en Agua de Poros*	mg S2-/L	Yodométrico	SM 4500 S2 F	CHEMILAB
Nitrógeno Amoniacal en Agua de Poros	mg/L NH3-N	Colorimetría	SM 4500 NH3-B, Asian Journal of Applied Sciences 2009.2, (4):363-371	CHEMILAB

* Parámetro acreditado.

Fuente: Chemilab S.A.S., Prodycon S.A.S., MCS S.A.S., SGS Colombia S.A.S., LMB S.A.S. ECOMAR S.A.S.

- Etapa de análisis

Se efectuó una interpretación de las concentraciones obtenidas para cada uno de los parámetros de sedimentos evaluados, teniendo en cuenta la asociación entre variables y los límites permisibles en normas internacionales y/o valores de referencia de bibliografía especializada.

5.1.6.2.2. Puntos de Monitoreo

La ubicación de los puntos de monitoreo fue producto de un trabajo integrado entre INGETEC y CR40, estos puntos se definieron inicialmente por este consultor y se verificaron en la salida pre campo, finalmente los puntos definidos para el análisis de sedimentos fueron: tres (3) puntos sobre el río Sumapaz, en la Tabla 100 se muestran las coordenadas de ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua superficial:

Tabla 100 Localización de los puntos de monitoreo de sedimentos

ID	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS PLANAS (DATUM MAGNA SIRGAS – ORIGEN BOGOTÁ)		LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA (MUNICIPIO / DEPARTAMENTO)
		ESTE	NORTE	
PAS1 -	Río Sumapaz aguas arriba	947.607	962.992	Boquerón / Tolima
PAS26	Río Sumapaz-Túnel	945.233	963.976	
PAS27	Río Sumapaz aguas abajo	942.642	963.179	

Fuente: Ambius S.A.S., 2017

A continuación en la Figura 114 y el Plano G-HID-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2521-A0 se muestra la localización de las estaciones de calidad de agua referenciadas en el presente estudio

- Descripción del área y de la localización de las estaciones

La cuenca del río Sumapaz se encuentra localizada al sur-occidente del departamento de Cundinamarca, su nombre se debe a su lugar de nacimiento en el Páramo de Sumapaz, con una extensión es de 2532,14 Km². La cuenca limita al norte con la cuenca del río Bogotá y cuenca río Magdalena Vertiente Oriental (Cundinamarca), al sur con el departamento de Huila, por el oriente con el departamento del Meta y parte de la cuenca del río Bogotá y la del río Blanco; finalmente, por el occidente limita con el departamento de Tolima, sirviendo de límite natural entre los departamentos de Cundinamarca y Tolima (CAR-Cundinamarca, 2015). Los monitoreos se realizaron hacia mediados de agosto evidenciándose una temporada seca, donde los niveles del río fueron moderados. En la Tabla 101 se presentan las descripciones de cada una de las estaciones de monitoreo acompañadas de los respectivos registros fotográficos.

Tabla 101 Descripción puntos de monitoreo de sedimentos

PUNTO DE MUESTREO	DESCRIPCIÓN Y REGISTRO FOTOGRÁFICO
<p>PAS1 - Río Sumapaz aguas arriba</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Estación ubicada sobre el río Sumapaz, aguas abajo del puente del Boquerón. El agua es turbia de color café y se percibe el olor característico de aguas residuales domésticas. El fondo está compuesto de piedras y arena, mientras que en las orillas se presentan cantos rodados con grandes rocas que se distribuyen en todo su cauce (en medio de la corriente y en sus orillas). El flujo de agua es constante y de corriente fuerte con una amplitud de 15m aproximadamente.</p>
<p>PAS26 - Río Sumapaz-Túnel</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Estación ubicada sobre el río Sumapaz hacia la parte media del tramo ocupado por el túnel del Sumapaz. El agua es de color café turbio con flujo continuo y corriente fuerte. El ancho del río en este tramo es de aproximadamente 25m. El fondo es rocoso – arenoso con presencia de grandes rocas en medio del flujo y en las orillas, conservando características muy similares al punto anterior.</p>

PUNTO DE MUESTREO	DESCRIPCIÓN Y REGISTRO FOTOGRÁFICO	
PAS27 - Río Sumapaz aguas abajo	 <p data-bbox="451 583 1421 825">Este punto de monitoreo está ubicado sobre el río Sumapaz aguas abajo del tramo comprendido por el túnel del Sumapaz. El ancho es de aproximadamente 20m, con agua café turbia, flujo constante pero corriente media. El fondo está compuesto de piedras y arena, con presencia de rocas grandes en el medio del cauce y en las orillas (similar a los demás puntos evaluados). Se observó la presencia de un drenaje cercano a una de las orillas con bastante flujo y de color amarillo. Cerca a este punto se evidenció la presencia de grúas y volquetas con material extraído del río.</p>	

Fuente: Ambius S.A.S., 2017.

5.1.6.2.3. Resultados y discusión.

En la Tabla 102 se presentan los valores de las concentraciones obtenidas de las variables fisicoquímicas reportadas por los laboratorios.

Tabla 102 Resultados de parámetros fisicoquímicos en sedimentos analizados en los puntos monitoreados.

PARÁMETRO	PAS1	PAS26	PAS27	UNIDADES
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)*	3,08	2,58	2	cmol(+)/Kg ss
Nitrógeno amoniacal (Amonio) en Agua de Poros*	0,122	0,243	0,131	mg NH3-N/L
Potencial REDOX	287,9	330,4	298,1	mV
Sulfuros en Agua de Poros*	0,5	0,5	0,5	mg S ²⁻ /L
Demanda Béntica	0,01702	0,01667	0,06755	g/m ² día
Grasas y Aceites	31	31	56	mg/kg
Hidrocarburos Totales TPH	10	10	10	mg/kg
Sulfuro Acido Volátil	2,08	2,5	2,5	mg/kg
Densidad específica	3,33	3	2,73	g/cm ³
Porosidad	12	35	40	%P/P
Carbono orgánico total (COT)	0,06	0,07	0,11	%

Cobre Total	48,382	5	5	mg Cu/Kg
Cromo Total	32,4	20,8	16,1	mg Cr/Kg
Níquel Total	10,95	5	5	mg Ni/Kg
Zinc Total	99,022	86,47	61,458	mg Zn/Kg
Fenoles	0,0785	0,0785	0,0785	mg Fenol/Kg

Fuente: Chemilab S.A.S., Prodycon S.A.S., MCS S.A.S., SGS Colombia S.A.S., LMB S.A.S.

- Marco normativo

Se debe tener en cuenta que la normativa nacional no contempla valores de concentraciones límite en sedimentos de fondo presentes en fuentes hídricas. Como información principal de referencia se toman las Guías ambientales canadienses de calidad en sedimentos para la protección de la vida acuática del Consejo Canadiense de Ministerios del Ambiente (Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME, (1999 Actualizado en 2001)), para las que se establecen límites en los sedimentos de fondo de fuentes hídricas superficiales según los efectos biológicos adversos que se esperan.

Estas guías toman dos índices principales para determinar si la concentración encontrada de cierto compuesto en los sedimentos, puede o no causar efectos biológicos adversos. El índice ISQG (del inglés Interim Sediment Quality Guidelines) establece el umbral máximo para que no se ha evidenciado efectos biológicos adversos. El índice PEL (del inglés Probable Effects Level) establece los valores para los cuales se evidencia frecuentemente efectos biológicos adversos.

Los valores de referencia que se tomarán para el análisis realizado en los sedimentos de fondo del río Sumapaz

Tabla 103 Guías ambientales canadienses de calidad en sedimentos para la protección de la vida acuática

Variables	Símbolo	Unidades	Agua Dulce (ISQG) ¹	Agua Dulce (PEL) ²
			Valor	Valor
Cromo	Cr	mg/kg	37,3	90
Cobre	Cu	mg/kg	35,7	197
Cinc	Zn	mg/kg	123	315
Fenoles		mg/kg	Sin Datos	Sin datos

1. De la sigla en inglés *Interim Sediment Quality Guidelines* (ISQG) corresponde al umbral para el cual no se esperan efectos biológico adversos si los valores están por debajo del mismo.

2. De la sigle en inglés *Probable Effects Levels* (PEL) corresponde a las concentraciones para las que se encuentran frecuentemente efectos biológicos adversos.

Fuente: Guías Canadienses de calidad en sedimentos para la protección de la vida acuática, (CCME) <http://ceqg-rqpe.ccmec.ca/en/index.html#void>

- Granulometría

El análisis del tamaño del grano (granulometría) proporciona información importante sobre la procedencia de los sedimentos, el transporte y las condiciones de deposición (Blott y Kenneth, 2001). Para los sedimentos analizados en el área de interés se tiene que entre el [48,16% - 79,25%] de partículas son de tamaños mayores a 2 mm, entre [0,26% - 16,24%] son contenido de arena (predominantemente arenas gruesas) y finalmente los

lodos conforman entre [0,49% - 2,62%] (Tabla 104 Granulometría realizada para los puntos de monitoreo.). Esta distribución de partículas del sedimento, clasifica a los tres (3) puntos evaluados como "Gravas-arenosas" (Figura 115).

Tabla 104 Granulometría realizada para los puntos de monitoreo.

TAMAÑO DE GRANO (mm)	CLASIFICACIÓN TIPO DE GRANO	PESO SEDIMENTO (g)		
		PAS1	PAS26	PAS27
Fracción mayor a 2	Grava	48,16	79,25	78,13
Fracción entre 2-1	Arena gruesa	16,24	12,56	12,23
Fracción entre 1-0,5	Arena gruesa	12,26	4,42	3,51
Fracción entre 0,5-0,25	Arena media	10,93	2,16	2,38
Fracción entre 0,25-0,125	Arena media	7,51	0,86	1,82
Fracción entre 0,125-0,063	Arena fina	2,28	0,26	0,95
Fracción < 0,063	Lodos	2,62	0,49	0,98

Fuente: ECOMAR S.A.S., 2017.

Figura 115 Perfiles granulométricos de las estaciones de muestreo.

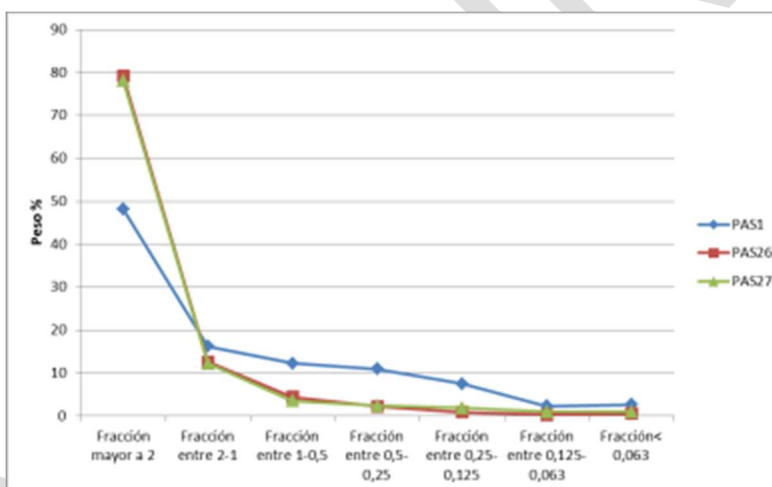


Figura 116 Diagrama triangular de distribución de los sedimentos según su grupo textural. Punto rojo: ubicación de las estaciones PAS1, PAS 26 y PAS27.



Fuente: Ambius S.A.S.-2017.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el perfil granulométrico de las estaciones. PAS1, PAS26 y PAS27, demuestra que la textura predominante en los sedimentos analizados es de grava con partículas de granos mayores a 2mm (Figura 8).

Capacidad de intercambio catiónico

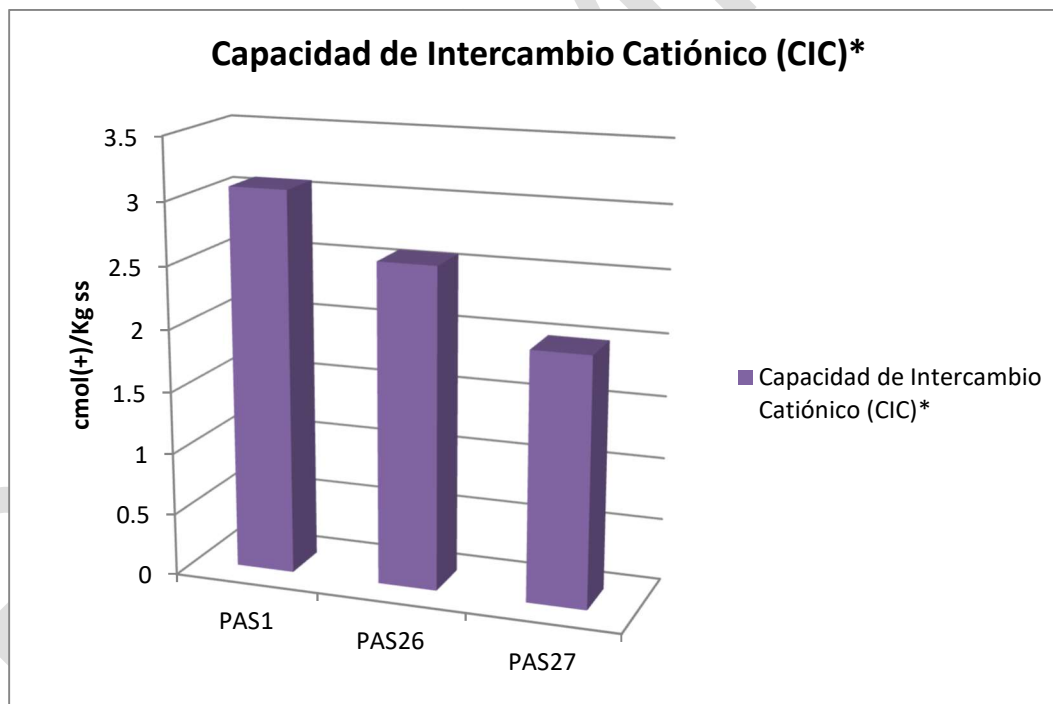
La CIC refleja la suma total de los cationes intercambiables de un suelo. Cuanto mayor es la CIC mayor es la cantidad de cationes que éste puede retener (adsorber). Los suelos o sedimentos difieren en su capacidad de retener cationes intercambiables.

La CIC depende sobre todo de la cantidad y tipo de arcillas y del contenido de materia orgánica presentes en el suelo o sedimento (Fernández-Linares et al., 2006). La medida de la CIC es la expresión de la máxima cantidad de cationes que pueden absorber 100 gr de suelo o sedimento, este parámetro está directamente relacionado con los valores de pH, pues a pH bajos los iones H+ están fuertemente retenidos en las superficies de las partículas, dificultando el intercambio de iones.

El intercambio iónico también influencia la adsorción o desorción de metales pesados en el suelo, dependiendo principalmente de la carga del catión. La CIC identificada en la zona de estudio, disminuye la posibilidad de formar complejos metálicos, que minimice la biodisponibilidad de los metales pesados.

Según los resultados obtenidos de 2,0 a 3,08 cmol(+)/Kg ss se evidencia la baja capacidad de intercambio catiónico en los sedimentos de las estaciones analizadas (Ver Figura 117),

Figura 117 Valores de Capacidad de Intercambio Catiónico encontrados en los sedimentos.



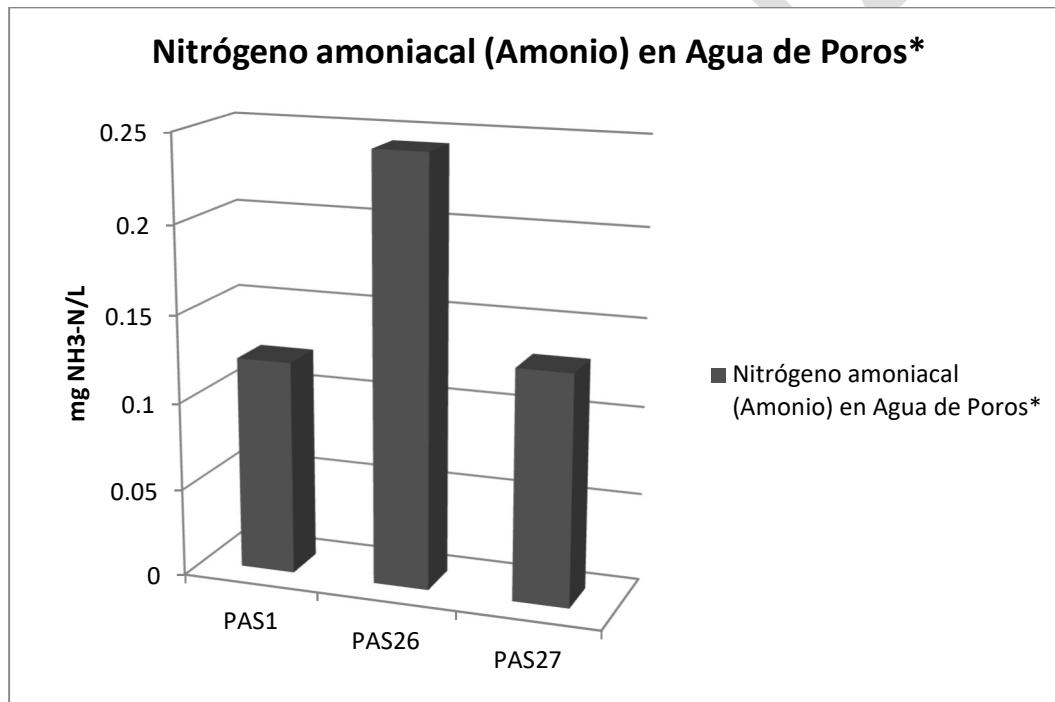
Fuente: INGETEC, 2017

Nitrógeno amoniacal (Amonio) en Agua de Poros

Los nutrientes se generan por vertimientos directos procedentes de la industria, la agricultura y las aguas residuales y son transportados por los ríos y por los depósitos atmosféricos. El catión del nitrógeno amoniacal o amonio indica contaminación con fertilizantes y heces; el anión de nitrito indica actividad bacteriológica; el anión de nitrato indica contaminación agrícola; la variable de nitrógeno total identifica la suma del nitrógeno orgánico (proteínas y ácidos nucleicos) en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc. y el ión amonio, los cuales pueden ser nitrificados (se transforma en nitritos y nitratos) dentro de las plantas de tratamiento (Quintero-Rendón et al., 2010).

Los resultados de nitrógeno amoniacal analizados en las muestras tomadas sobre el río Sumapaz variaron en un rango de 0,122 mg/L y 0,243 mg/L (Figura 118), registrándose el mayor valor para PAS26 y el menor para PAS1. En términos generales estos resultados se consideran bajos, lo cual determina que el sedimento no se mantiene en su totalidad bajo condiciones anóxicas/anaerobias, lo cual se da por el flujo continuo de agua y el intercambio gaseoso que se puede presentar entre la columna de agua y el sedimento.

Figura 118 Valores de Nitrógeno amoniacal encontrados en los sedimentos.



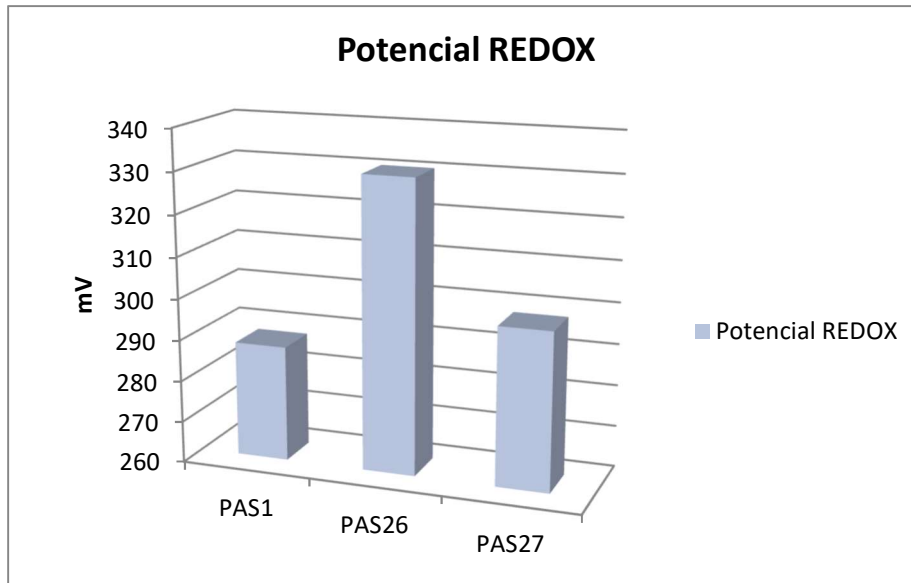
Fuente: INGETEC, 2017.

Potencial Redox

El potencial redox (Eh) es análogo al pH, el cual mide la actividad del hidrogeno, mientras que Eh la actividad de los electrones, ambos son afectados por la concentración de oxígeno disuelto en el medio circundante. Es por esto que en medios con bajos registros de potencial redox (sedimentos reductores) encontramos bajas concentraciones de oxígeno, iones y moléculas importantes para los organismos. Dicha relación se encuentran en sistemas acuáticos con marcada estratificación termal, eutróficos y cuerpos de agua contaminada (Valdes, 2004; Holmer y Kristensen. 1996).

Los resultados de potencial redox reportados para las estaciones monitoreadas sobre el río Sumapaz se encontraron dentro de un rango de 287,9 a 330,4 mV, siendo este último valor el mayor, correspondiente a la estación PAS26, (Ver Figura 119)

Figura 119 Valores de Potencial Redox encontrados en los sedimentos.

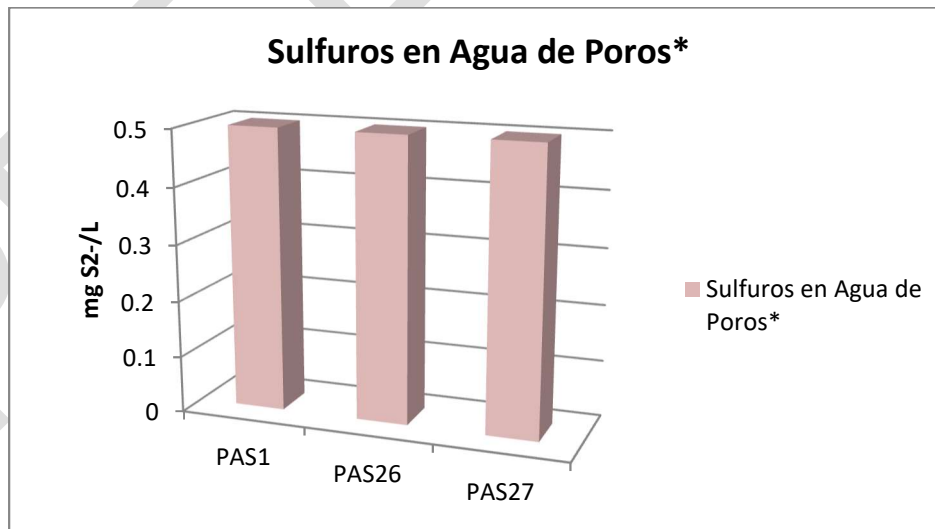


Fuente: INGETEC, 2017.

Sulfuros en agua de poros

Los sulfuros en los sedimentos controlan la disponibilidad de los metales, el sulfuro producido en los sedimentos a consecuencia de la reducción del sulfato es tóxico para algunas macrófita, Se ha demostrado que el sulfuro es fitotóxico y en consecuencia puede afectar los procesos metabólicos que pueden reducir el crecimiento y la supervivencia de algunos microorganismos (Carlson et al. 1994, Borum et al. 2005, Calleja et al. 2007).

Figura 120 Valores de Sulfuros de agua en poros encontrados en los sedimentos.



Fuente: INGETEC, 2017.

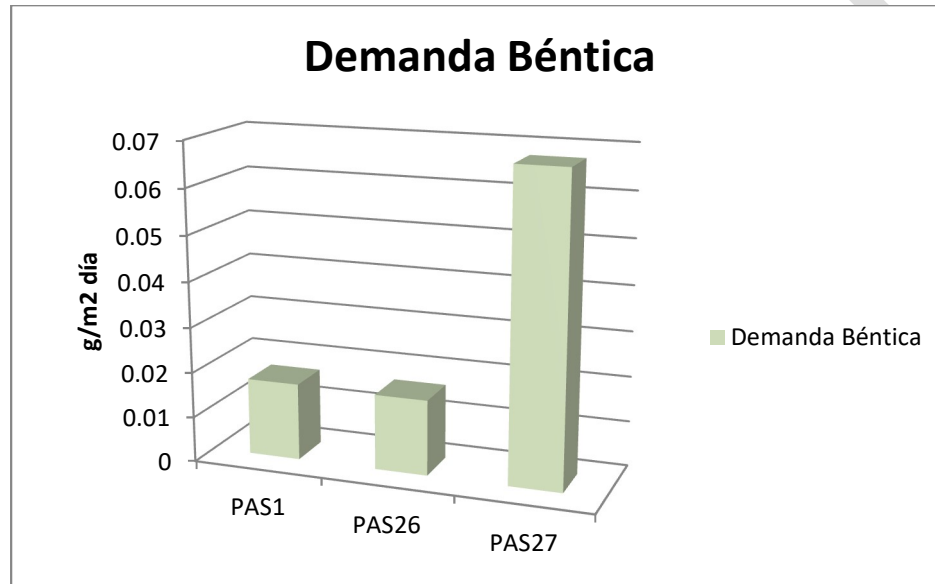
Los valores en las estaciones monitoreadas registraron concentraciones indetectables con la técnica analítica utilizada (<1,0 mg/L) en los puntos evaluados sobre el río Sumapaz. (Ver Figura 120)

Demanda béntica

La cantidad de oxígeno disuelto que es consumido por la materia orgánica y los sedimentos es también conocida como demanda béntica de oxígeno. La determinación del valor de este parámetro permite cargar datos reales a un modelo de calidad de aguas, permitiendo una mayor exactitud en la predicción del comportamiento de la fuente hídrica que se esté estudiando (López Martínez, et al., 2009).

Para las estaciones de sedimentos se reportaron valores para la demanda béntica de oxígeno entre 0,017 y 0,068 g/m² día, encontrándose el mayor registro para PAS27, (Ver Figura 121).

Figura 121 Valores de demanda béntica encontrados en los sedimentos.

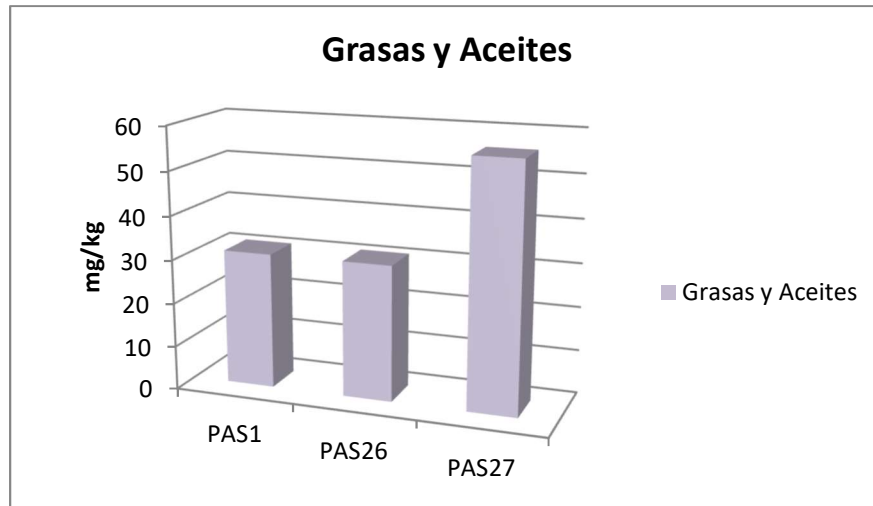


Fuente: INGETEC, 2017.

Grasas y aceites

Las cantidades de estos componentes en las muestras analizadas sobre el río Sumapaz estuvieron en un rango de 31 a 56 mg/Kg, siendo el mayor valor para PAS27 (Ver Figura 122). Estas concentraciones reportadas muy posiblemente tienen un origen natural propio de las características del lecho del cuerpo de agua.

Figura 122 Valores de grasas y aceites encontrados en los sedimentos.



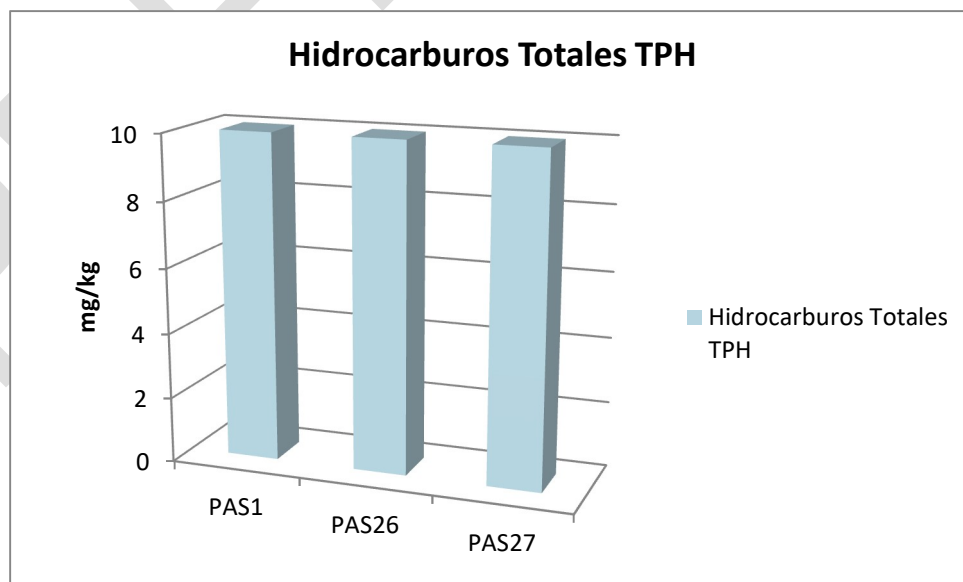
Fuente: INGETEC, 2017.

Hidrocarburos Totales

El término hidrocarburos totales (HCT) se emplea para describir un grupo de compuestos orgánicos que provienen del petróleo crudo. Es importante entender que los HCT son una mezcla compleja que típicamente contiene cientos de compuestos, entre los que existen hidrocarburos alifáticos (de cadena simple, ramificados, cicloalcanos y alcanos) y compuestos aromáticos (benceno, alquilbenceno, naftaleno, PAH, etc.) (Galán et al., 2003). Debido a las bajas polaridades las solubilidades de los HCT en agua son bajas, por lo cual presentan una mayor afinidad hacia la materia orgánica (PRASA, 2007)

La concentración reportada de los HTC para las tres estaciones evaluadas fue de 10 mg/kg como se puede observar en la Figura 123

Figura 123 Valores de HTC encontrados en los sedimentos



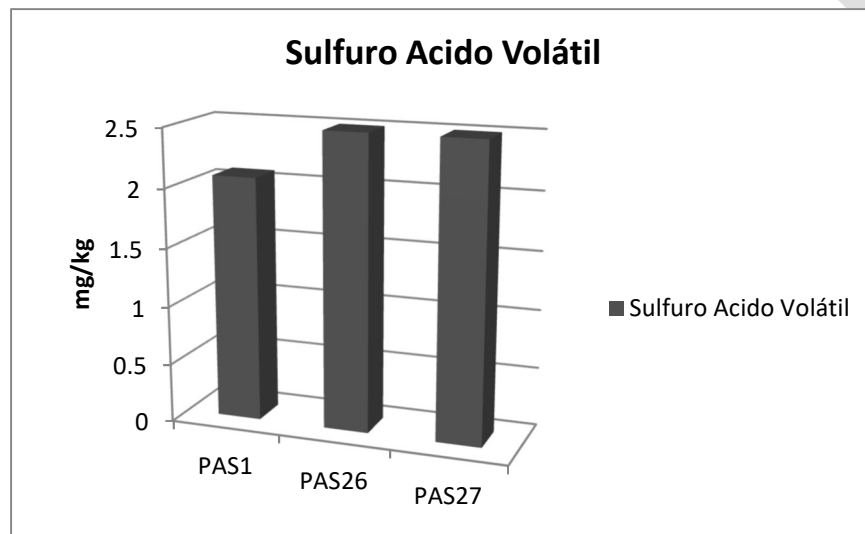
Fuente: INGETEC, 2017.

Sulfuro ácido volátil

El contenido de sulfuro ácido volátil (SAV) en un sedimento es un factor clave para determinar la biodisponibilidad de algunos metales. Este hecho se debe a que cuando los metales se liberan y se hacen biodisponibles, reaccionan con el FeS, el mayor componente del sulfuro ácido volátil, para formar sulfuros metálicos poco biodisponibles. De este modo, los sulfuros ácidos volátiles actúan como un tampón ante la liberación de metales.

Los valores de SAV registrados en las estaciones monitoreadas sobre el río Sumapaz, se encontraron en un rango de 2,08 a 2,5 mg/Kg, valor más bajo fue para PAS1 como se puede observar en la Figura 124.

Figura 124 Valores de Sulfuros ácidos volátiles encontrados en los sedimentos.



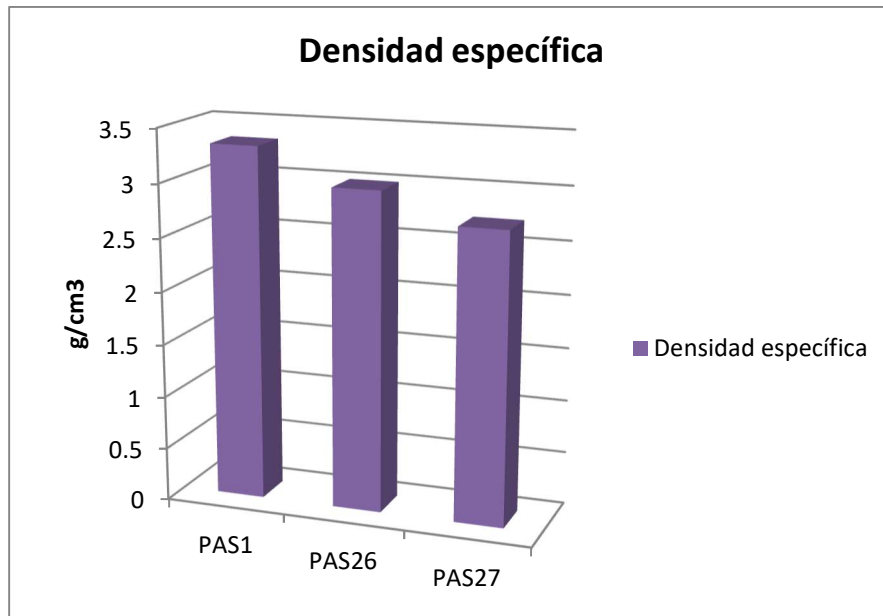
Fuente: INGETEC, 2017.

Densidad específica

La densidad esta inversamente relacionada con la porosidad y por ello ésta determinación proporciona información importante sobre las propiedades físicas del suelo, tales como aireación, movimiento del agua, como también el crecimiento radicular (Acosta y Montilla, 2011).

Los resultados de densidad son acordes para sedimentos conformados por partículas de grano medio y grande como fue lo encontrado en los tres puntos evaluados, con resultados entre 2,73 y 3,33 g/cm³, teniéndose el mayor valor en PAS1 como se puede observar en la Figura 125.

Figura 125 Valores de Densidad específica encontrados en los sedimentos.

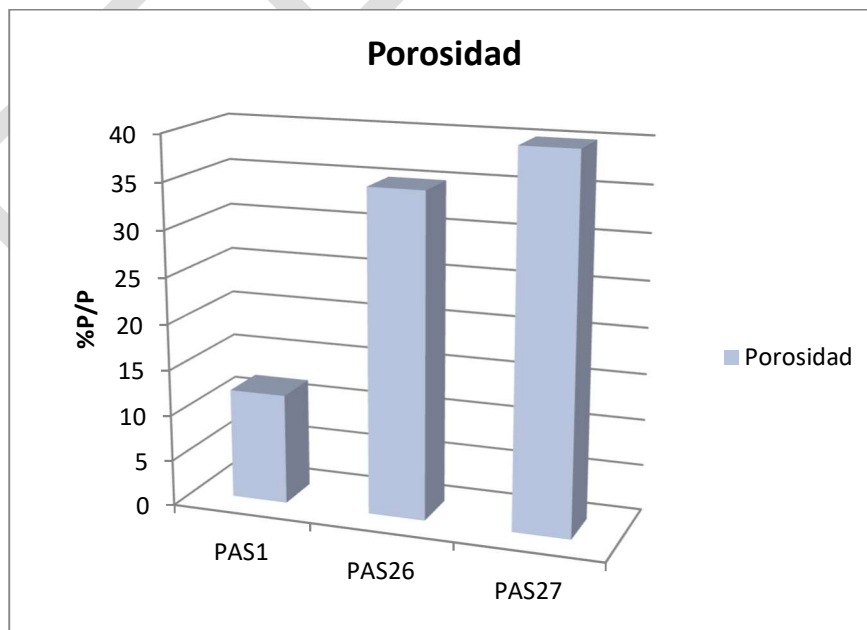


Fuente: INGETEC, 2017.

Porosidad

La porosidad es un indicador de la cantidad de poros que tiene un terreno y del volumen relativo que ocupan los mismos, y como tal, del estado del suelo para dejar pasar las raíces o de la mayor o menor permeabilidad del mismo (Acosta y Montilla, 2011). Dentro de las estaciones monitoreadas PAS 27 presenta el mayor porcentaje de porosidad con el 40%. (Ver Figura 126)

Figura 126 Valores de Porosidad encontrados en los sedimentos.



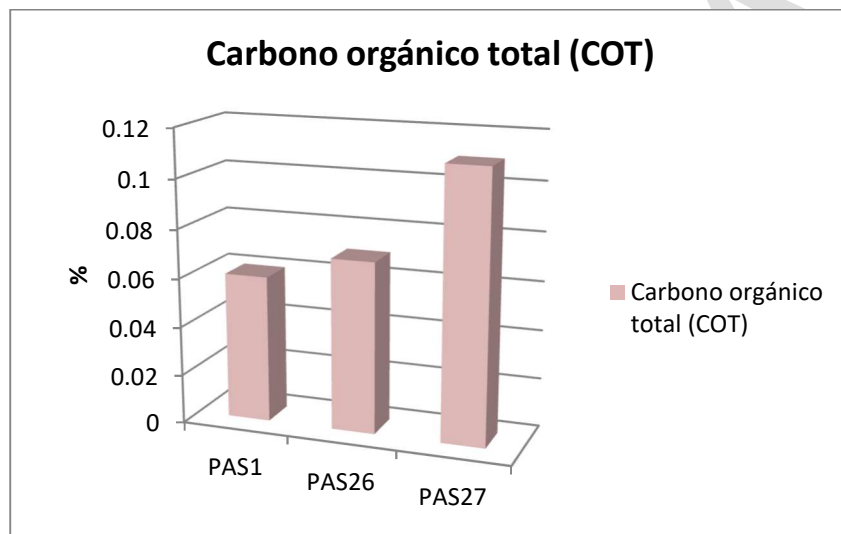
Fuente: INGETEC, 2017.

Carbono orgánico total

La materia orgánica evaluada en términos de carbono orgánico total en los sedimentos está compuesta por una mezcla compleja que incluye lípidos, carbohidratos, proteínas, aminoácidos, materiales húmicos y compuestos derivados de clorofila, entre otros. Adicionalmente se encuentra fuertemente influenciada por diversos factores como la producción biológica derivada del metabolismo del fitoplancton y del zooplancton y de la actividad microbiana, el aporte fluvial y los desechos industriales. Sin embargo, la materia orgánica que se deposita en los sedimentos es la fracción más resistente que sobrevive a la degradación en las capas superiores de la columna de agua (Morris y Culkin, 2007).

La concentración reportada de carbono orgánico total en las tres estaciones evaluadas presentó un rango entre 0,06 y 0,11 % encontrando un resultado mayor en la estación PAS27. (Ver Figura 127)

Figura 127 Valores de carbono orgánico total encontrados en los sedimentos.

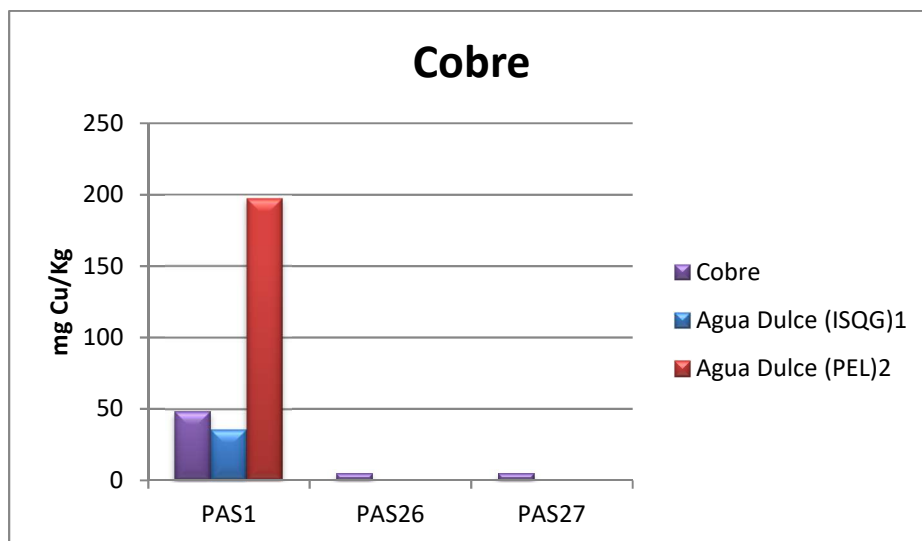


Fuente: INGETEC, 2017.

Cobre

El cobre es un oligoelemento esencial que puede ser tóxico para la biota acuática en concentraciones elevadas. Debido a su afinidad por la materia orgánica, tiende a acumularse en los sedimentos, convirtiéndolos en una ruta importante de exposición para los organismos acuáticos (Mulligan et al., 2010; CCME, 1999). En las estaciones de monitoreo PAS26 y PAS27 este oligoelemento fue indetectable mediante la técnica de análisis empleada para su evaluación (<10 mg/kg), mientras que en la estación PAS1 se registró una concentración de 48,38 mg/kg, en comparación con los límites establecidos por los índices ISQG y PEL citados de las Guías ambientales canadienses de calidad en sedimentos para la protección de la vida acuática del Consejo Canadiense de Ministerios del Ambiente, como se puede observar en la Figura 128 este valor supera el índice ISQG, en un 135%, esperándose efectos biológicos adversos por la presencia de este elemento.

Figura 128 Valores de cobre total encontrados en los sedimentos.



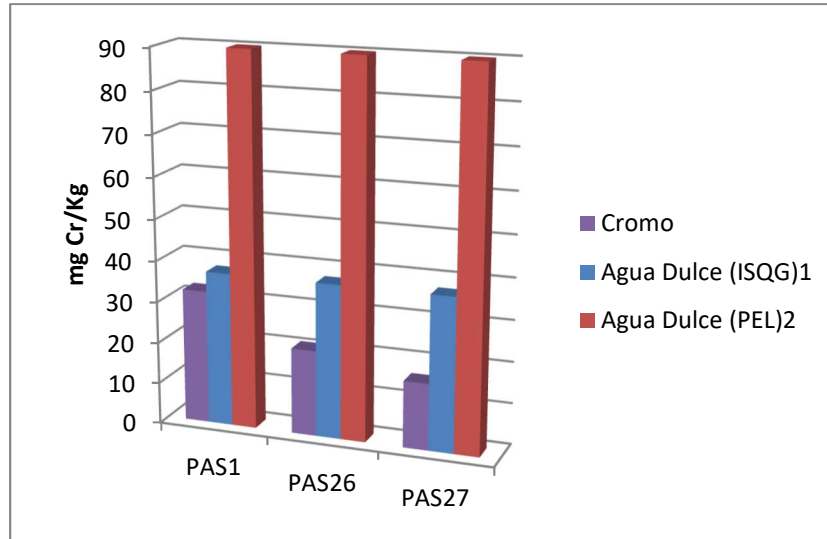
Fuente: INGETEC, 2017.

Cromo

El cromo total, en medios naturales, se compone de la suma del cromo trivalente y el hexavalente, que se diferencian por sus características fisicoquímicas, movilidad, toxicidad y biodisponibilidad. Los compuestos de cromo hexavalente son más solubles, por tanto están más disponibles en el subsuelo y los medios acuáticos (Wang y Choi, 2013).

La concentración de cromo total en los sedimentos del área de estudio estuvo entre 16,1 y 32,4 mg/Kg siendo el mayor valor para PAS1, en comparación con los límites establecidos por los índices ISQG y PEL citados de las Guías ambientales canadienses de calidad en sedimentos para la protección de la vida acuática del Consejo Canadiense de Ministerios del Ambiente, como se puede observar en la Figura 129, ninguno de los valores analizados supera los valores de los índices.

Figura 129 Valores de cromo encontrados en los sedimentos.

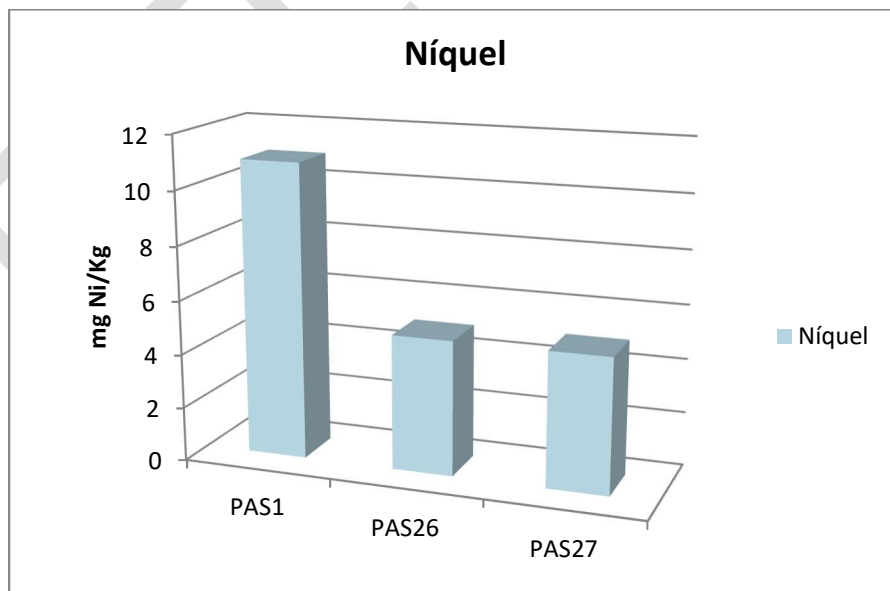


Fuente: INGETEC, 2017.

Níquel

Las concentraciones de níquel encontradas fueron indetectables (<10 mg/Kg) según la técnica analítica utilizada para las estaciones PAS26 y PAS27, mientras que nuevamente el punto PAS1 mostró un valor detectable de 10,95 mg/Kg (Ver Figura 130).

Figura 130 Valores de níquel encontrados en los sedimentos.



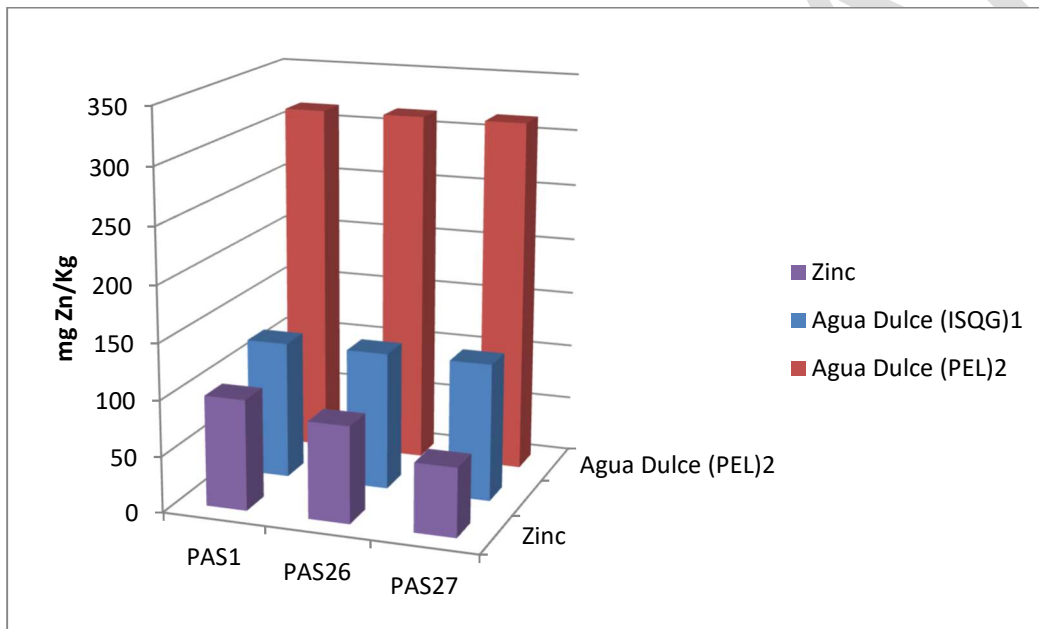
Fuente: INGETEC, 2017.

Zinc

En cuanto al zinc, al igual que el cobre es un oligoelemento esencial para el metabolismo de la mayoría de los microorganismos, sin embargo este puede ser toxico para la biota acuática en concentraciones elevadas. La fuerte afinidad del zinc por los óxidos de hierro, óxidos de manganeso y la materia orgánica hace que se precipite sobre la capa superficial de los sedimentos (Mulligan et al., 2010; CCME, 1999).

La concentración de zinc estuvo entre 61,45 y 99,02 mg/kg para los sedimentos evaluados en el río Sumapaz, encontrando en la estación PAS1 la mayor concentración; en comparación con los límites establecidos por los índices ISQG y PEL citados de las Guías ambientales canadienses de calidad en sedimentos para la protección de la vida acuática del Consejo Canadiense de Ministerios del Ambiente, como se puede observar en la Figura 131, ninguno de los valores analizados supera los valores de los índices.

Figura 131 Valores de Zinc encontrados en los sedimentos.

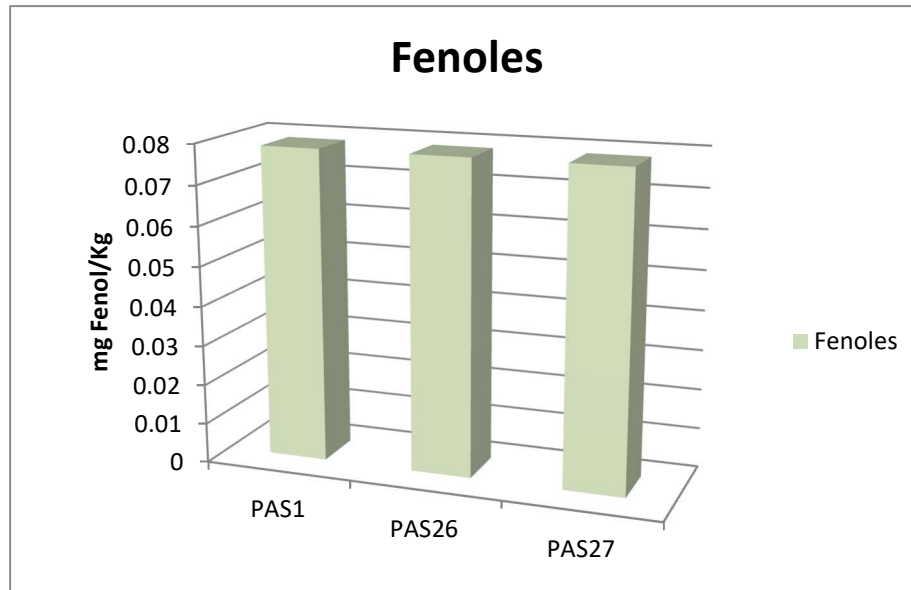


Fuente: INGETEC, 2017.

Fenoles

En el presente estudio los resultados obtenidos para las estaciones monitoreadas sobre el río Sumapaz fueron indetectables (<0,157 mg/Kg) con la técnica analítica utilizada (Ver Figura 132), lo que en general implica una muy baja concentración de estos compuestos en las muestras de sedimentos analizados. Las Guías ambientales canadienses de calidad en sedimentos para la protección de la vida acuática del Consejo Canadiense de Ministerios del Ambiente no especifican valores de este parámetro como se puede observar en la Figura a continuación.

Figura 132 Valores de fenoles encontrados en los sedimentos.



Fuente: INGETEC, 2017.

5.1.7. Usos del agua

5.1.7.1. Usuarios formales

La identificación de usos y usuarios en el área de influencia del proyecto, se realizó a partir de información suministrada por las Autoridades Ambientales competentes: CORTOLIMA y CAR y a partir de la información registrada en campo por los especialistas en un ejercicio de reconocimiento. Este ejercicio se realizó para validar la existencia de usuarios en las corrientes de agua intervenidas por el proyecto, entender sus relaciones con dichos cuerpos de agua, los bienes que reciben de ellos y la forma como establecen su uso.

CORTOLIMA, mediante comunicación escrita No 100.03.3.1 del 26 de septiembre de 2017, informa que se registran para el municipio de Melgar 151 concesiones y para el municipio de Iaconzo 43 concesiones vigentes, en la Tabla 105 muestra por tipo de fuente los litros concedidos. No fue posible cartografiar esta información, ya que la Autoridad Ambiental no referenció puntos de coordenadas dentro de la base de datos entregada.

Tabla 105 Caudales concedidos por cuerpos de agua

Municipio	Cuerpo de Agua	L/s Concedidos
MELGAR	Directos Magdalena	0,719
	OTROS	2,14
	POZOS SUBTERR.	22,13
	Quebrada Aguadulce	0,2
	Quebrada Altamira	5
	Quebrada Arrozales	5,638
	Quebrada Inali	40,386
	Quebrada La Apicala	1411,952
	Quebrada La Guaduala	15,36
	Quebrada La Palmara	85,509

Municipio	Cuerpo de Agua	L/s Concedidos
	Quebrada Madroñala	1,65
	Quebrada Palmas	27,786
	Rio Juan Lopez	2
	Rio Sumapaz	0,17
ICONONZO	Directos Magdalena	3,7
	POZOS SUBTERR.	0,591
	Quebrada De La Balsa	14
	Quebrada Grande	0,48
	Quebrada Guatoche	0,989
	Quebrada La Apicala	54,943
	Quebrada La Laja	11,685
	Quebrada La Vieja	5,14
	Quebrada La Volcana	0,23
	Rio Cunday	2
	Rio Juan Lopez	8,259
	Rio Sumapaz	0,73
	Total	1723,387

Fuente: INGETEC a partir de información CORTOLIMA.

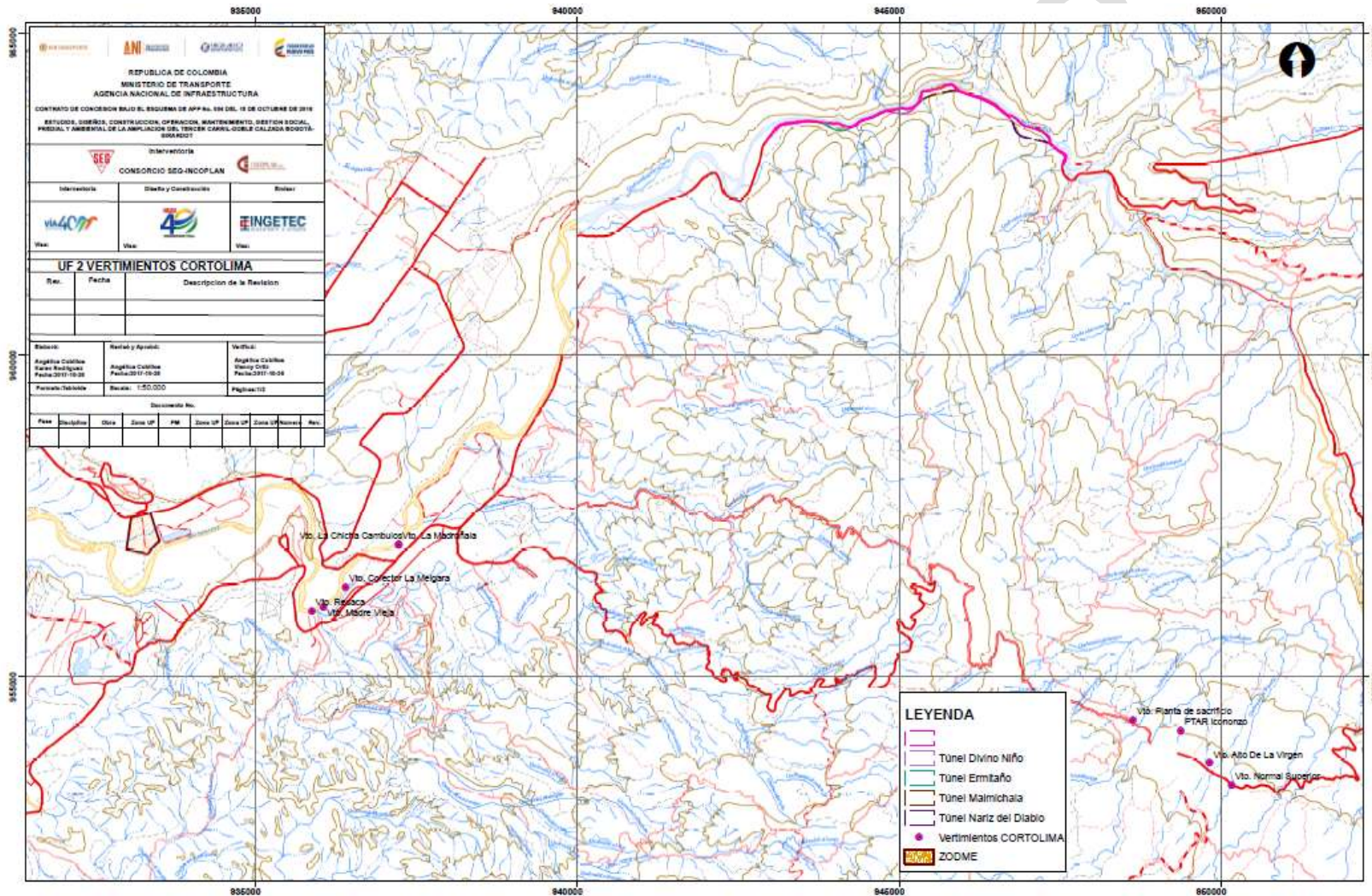
Con respecto a los vertimientos, como se puede observar en la Figura 133, se registran cinco puntos de vertimiento para el municipio de Melgar y cuatro puntos para el municipio de Icononzo, estos puntos no se encuentran dentro del área de influencia definida para el proyecto.

Tabla 106 Puntos de vertimiento autorizados ante CORTOLIMA

MUNICIPIO	X	Y	Q. VERTIMIENTO (l/s)	ALTURA (msnm)	NOMBRE VERTIMIENTO	FUENTE RECEPTORA
MELGAR	937217,85	957051,90	3,78	372	Vto. La Madroñala	RIO SUMAPAZ
	937217,85	957051,90	16,00	356	Vto. La Chicha Cambulos	RIO SUMAPAZ
	936398,24	956402,50	0,59	337	Vto. Colector La Melgara	RIO SUMAPAZ
	935870,27	956019,52	68,2	303	Vto. Resaca	RIO SUMAPAZ
	936047,03	956076,84	10,61	341	Vto. Madre Vieja	(BARRIO SICOMORO)
ICONONZO	949371,655	954169,081	10,94	1274	PTAR Icononzo	Q. JUAN LOPEZ
	949819,179	953661,673	0,38	1296	Vto. Alto De La Virgen	Q. JUAN LOPEZ
	950157,619	953312,527	NA	1295	Vto. Normal Superior	Q. JUAN LOPEZ
	948629,711	954335,083	NA	1342	Vto. Planta de sacrificio	Q. JUAN LOPEZ

Fuente: CORTOLIMA, 2017.

Figura 133 Usuarios registrados en CORTOLIMA Vs Área de Influencia del proyecto



.Fuente: INGETEC a partir de CORTOLIMA

5.1.7.2. Usuarios no formales

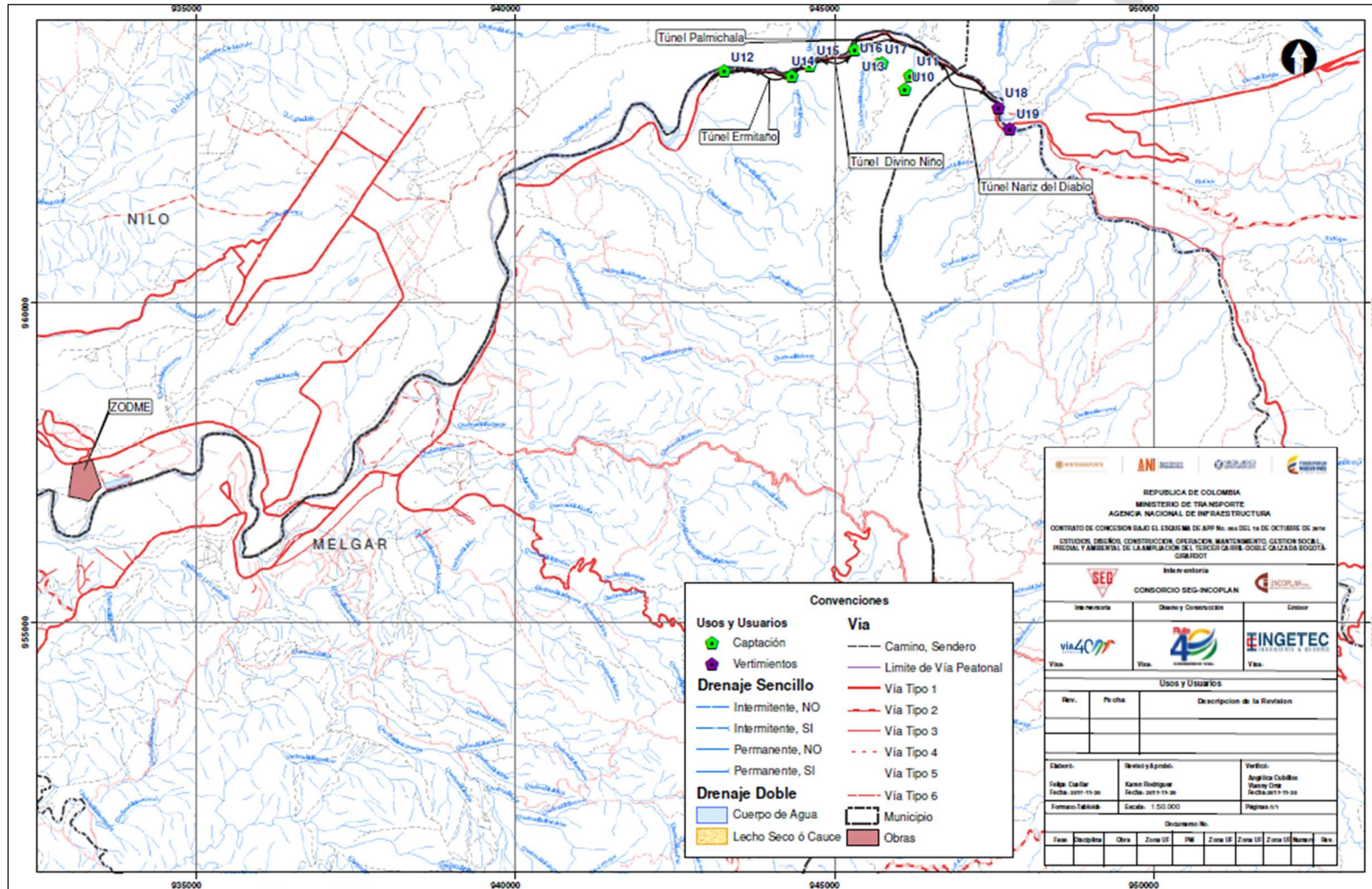
5.1.7.2.1. Agua Superficial

Para la identificación de los usuarios no formales del recurso, se realizó una jornada de campo desarrollada el día 8 de Julio de 2017, identificando los siguientes puntos consignados en la Tabla 107 y la Figura 134 (Ver plano G-HID-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2523-A0):

Tabla 107 Usos y usuarios no formales identificados en campo

ID	NOMBRE	COOR_ESTE	COOR_NORTE
U10	Finca La Selva	946096,162	963333,566
U11	Serranías del Sumapaz	946182,646	963551,609
U12	Caja Inspección - Cerca de Veda. Malachi	943273,113	963619,226
U13	Qda. Palmichala	945317,893	963950,262
U14	Qda. Cascada	944334,516	963547,877
U15	TK Almacenamiento - Ventana	944615,558	963712,65
U16	Nacimiento Predio San Pedro	945742	963755
U17	Aljibe Predio San Pedro	945676	963733
U18	Vertimiento 1	947569,437	963055,269
U19	Vertimiento 2	947745,011	962720,644

Figura 134 Usos y usuarios no formales identificados en campo



Fuente: INGETEC, 2017

Quebrada La Cascada

De acuerdo con lo identificado en el recorrido, la quebrada la Cascada, provee de agua a los establecimientos: Guarapería El Pedregal, Piscina Agua Natural La cascada (se deshabilitado) y Guarapería Piedra Pintada.

En la Guarapería El Pedregal, propiedad del señor Luis Alberto, habitan 8 personas, quienes toman el agua de la quebrada y la utilizan para consumo, aseo y turismo. La conducen a través de una manguera de 3". Y los vertimientos los hacen a esta misma quebrada.

La piscina de agua natural, que utiliza el agua de la quebrada para turismo, se encuentra sellada desde el 5 de junio del 2017.

En la Guarapería Piedra Pintada, se encuentra una vivienda donde habitan dos personas y utilizan el agua para consumo, aseo, lavado de ropas y otras actividades la traen por manguera de 1/2".

Fotografía 69 Quebrada La Cascada



Fotografía 70 Establecimientos que utilizan el agua de la quebrada La Cascada



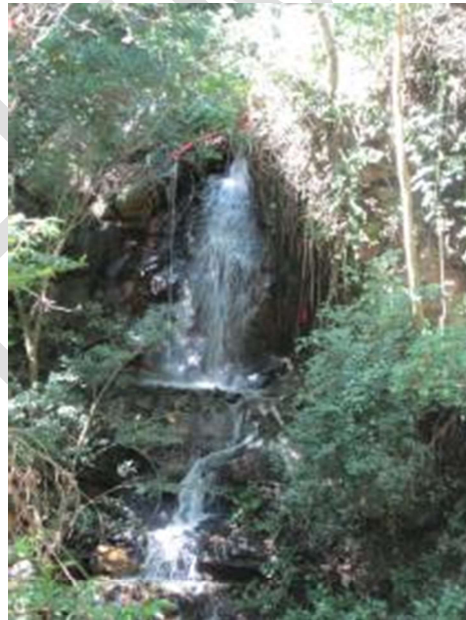
Fotografía 71 Agua de la Qda. La Cascada que se utiliza para turismo



Quebrada Palmichala

La Quebrada Palmichala, de acuerdo con la información aportada por la comunidad no tiene ningún uso en su parte alta; en la parte baja de la ladera dada la configuración de cascadas cerca a la vía actual, se desarrolla actividades de uso industrial y doméstico por personal que transita, y utiliza el agua para lavar sus vehículos y como lugar turístico y recreativo.

Fotografía 72 Quebrada Palmichala



5.1.7.2.2. Aguas captación de agua superficial

A partir de las campañas de campo por parte de los profesionales de INGETEC, en el mes de julio se identificaron los siguientes puntos de captación de agua de escorrentía superficial:

Afloramiento Serranías del Sumapaz

Se presentaron restricciones de acceso a los predios, sin embargo se pudo inspeccionar y verificar el punto de captación de agua de escorrentía superficial por los predios de la Finca La Selva, encontrando una tubería de 2" galvanizada que recorre de una captación hasta un tanque de almacenamiento de 2mx3mx1.50m .

Fotografía 73 Tanque de almacenamiento serranías del Sumapaz



Fotografía 74 Afloramiento de agua - Finca Serranías de Sumapaz



Fotografía 75 Tubería que conduce agua del manantial al tanque de almacenamiento – Finca Serranías del Sumapaz



Fotografía 76 Tubería llegando al tanque de almacenamiento – Finca Serranías del Sumapaz



Finca La Selva

En estos predios se identificó un afloramiento de agua de escorrentía superficial, los habitantes del lugar que utilizan estas aguas para suministro de la casa principal y de los empleados de la finca. De igual manera le suministra agua a la casa de Don Hermes que se encuentra en el cruce de la vía Bogotá – Girardot con Icononzo.

En esta finca habitan 17 personas y la utilizan para consumo, animales, piscina, lavado de casa y ropas.

En la finca se presentan dos tanques de almacenamiento uno muy cerca al afloramiento en piedra y el otro abajo del tarro azul del cual salen dos mangueras.

Los tanques tienen las siguientes medidas: 6.50x3.60x1.50

Fotografía 77 Tanques de Almacenamiento de agua - Finca La Selva



Fotografía 78 Afloramiento de agua en la Finca La Selva



Fotografía 79 Tanques de Almacenamiento de agua - Finca La Selva



Predio San Pedro

Nacimiento de agua de escorrentía superficial ubicado en el predio “San Pedro”, vereda La Reforma, Municipio de Melgar.

Fotografía 80 Nacimiento ubicado en las coordenadas X: 00945742 Y: 00963755



Fuente: INGETEC 2017.

Tanque de almacenamiento ubicado en el predio “San Pedro”, vereda La Reforma, Municipio de Melgar.

Fotografía 81 Aljibe ubicado en las coordenadas X: 00945676 Y: 00963733



Fuente: INGETEC 2017.

5.1.7.2.1. Índices de caracterización del régimen hidrológico

Los índices para toda el área de estudio fueron determinados a partir de los valores reportados en el estudio Nacional del Agua IDEAM, 2014, bajo la subzona hidrográfica denominada (SZH 2119) Río Sumapaz.

Índice de regulación hídrica (IRH)

El índice de regulación hídrica fue estimado a partir de los datos de estaciones hidrológicas en todo el país y representado espacialmente para determinar las subzonas en condiciones de mayor y menor capacidad de retener y regular el agua. En la Figura 135 se presenta la distribución espacial de este índice de acuerdo con los resultados obtenidos en el ENA 2014 (IDEAM, 2014).

El índice de retención y regulación evalúa la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo vegetación con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas de la cuenca. Igualmente, mide la capacidad de retención de humedad en las cuencas con base en la distribución de series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios y permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto. Los rangos van de 0 y 1 y los valores más bajos son los que se interpretan como de menor regulación.

El índice de retención y regulación hídrica se estima mediante la siguiente expresión:

$$IRH = \frac{V_p}{V_T}$$

Dónde:

IRH : Índice de regulación hídrica.

V_p : Volumen del área por debajo del caudal medio (en curva de duración de caudales).

V_T : Volumen total de curva de duración de caudales.

Los rangos fueron establecidos por el IDEAM para facilitar las comparaciones entre áreas y subzonas hidrográficas. A cada rango se le asigna una calificación cualitativa, que se relaciona en la Tabla 108

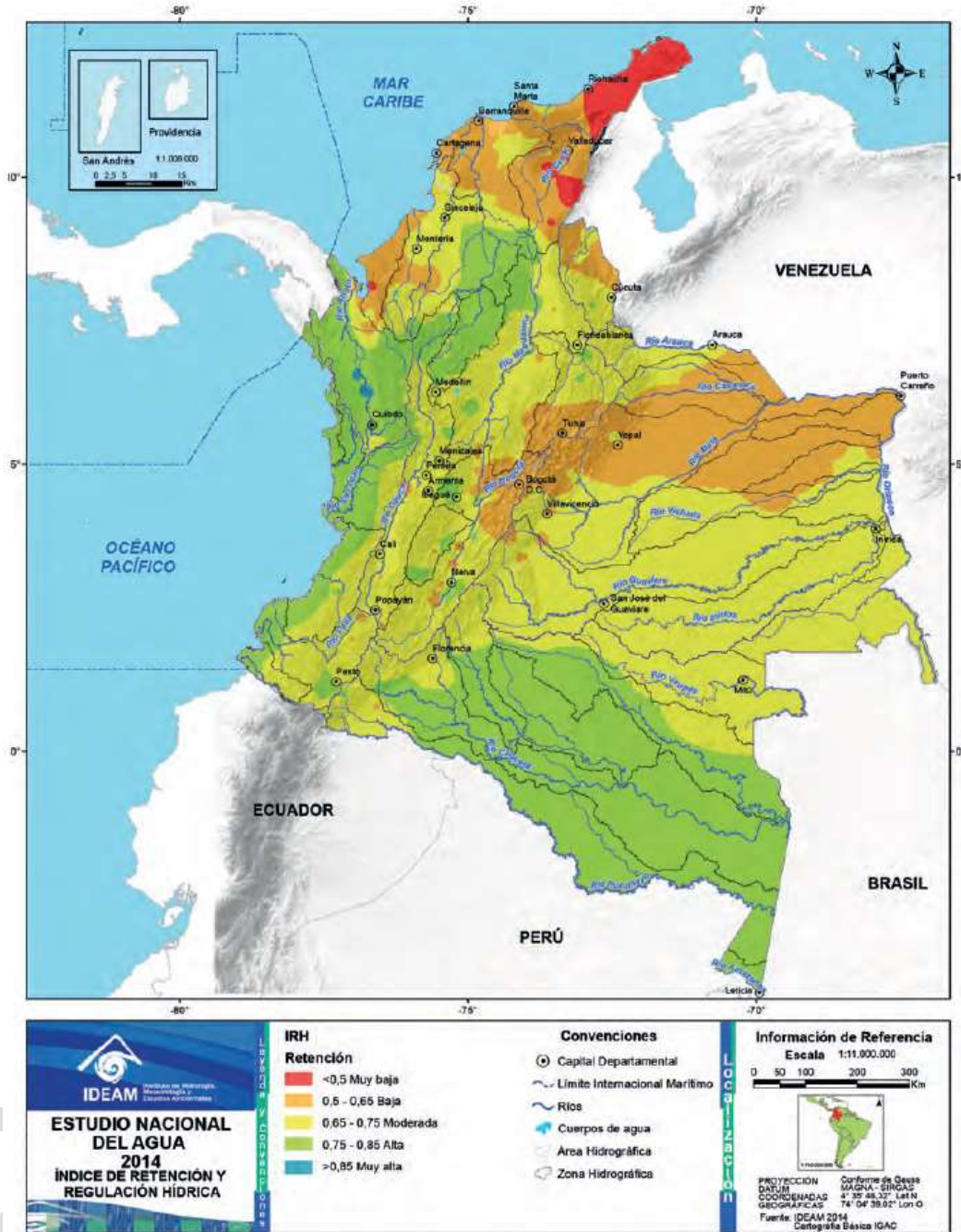
Tabla 108 Calificación de rangos del índice de regulación hídrica

Rango de valores del Indicador	Calificación	Descripción
> 0,85	Muy alta	Muy alta retención y regulación de humedad
0,76 - 0,85	Alta	Alta retención y regulación de humedad
0,66 - 0,75	Moderada	Media retención y regulación de humedad media
0,50 - 0,65	Baja	Baja retención y regulación de humedad
< 0,50	Muy baja	Muy baja retención y regulación de humedad

Fuente: IDEAM, 2010.

PRELIMINAR

Figura 135 Distribución espacial del índice de regulación hídrica en Colombia



Fuente: IDEAM, 2014.

El índice de regulación hídrica correspondiente a las cuencas en estudio se presenta a continuación:

Tabla 109 Índice de regulación hídrica

Cuenca	Q medio (L/s)	Volumen total	Volumen bajo el promedio	Índice de regulación hídrica	Calificación
C1	20.51	2070.79	1278.96	0.62	BAJA
C2	16.23	1637.83	1011.56	0.62	BAJA
C3	83.41	8419.33	5199.94	0.62	BAJA
C4	8.85	332.44	206.74	0.62	BAJA
C5	1.34	134.85	83.86	0.62	BAJA
C6	3.29	332.44	206.74	0.62	BAJA
C7	2.32	234.60	145.89	0.62	BAJA
C8	2.66	268.14	165.61	0.62	BAJA
C9	2.62	264.11	163.12	0.62	BAJA
C10	7.29	735.39	453.15	0.62	BAJA
C11	8.28	835.51	514.85	0.62	BAJA
C12	1.90	192.23	120.85	0.63	BAJA
C13	2.34	235.79	145.90	0.62	BAJA
C14	0.22	22.62	15.09	0.67	MODERADA
C15	0.82	22.62	15.09	0.67	MODERADA
C16	0.36	36.71	21.93	0.60	BAJA
C17	1.01	101.48	68.60	0.68	MODERADA
C18	24.09	2432.19	1502.17	0.62	BAJA

Adicionalmente, los valores reportados en el estudio Nacional del Agua IDEAM, 2014, bajo la subzona hidrográfica denominada (SZH 2119) Río Sumapaz, se presenta a continuación:

SZH	NOMSZH	IRH	
		Valor	Categ.
2119	Río Sumapaz	62,8%	Baja

Debido a que la Autoridad Ambiental (CORTOLIMA) no referenció coordenadas dentro de la base de datos entregada, no es posible cartografiar la información de caudales concedidos por cuerpos de agua. Por lo tanto el Índice de uso del agua y el Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico se toman de los valores reportados en el estudio Nacional del Agua IDEAM, 2014.

Índice de uso del agua

Éste índice hace referencia a la cantidad de agua utilizada por diferentes usuarios en un período determinado y unidad espacial de análisis en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades temporales y espaciales (IDEAM, 2010). En la

Figura 136 se presenta la distribución espacial del uso del agua para un año medio.

El índice de uso del agua es determinado mediante la siguiente expresión

$$IUA = \left(\frac{Dh}{Oh} \right) \times 100$$

Dónde:

Dh: Demanda hídrica sectorial

Oh: Oferta hídrica superficial disponible (ésta última resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental).

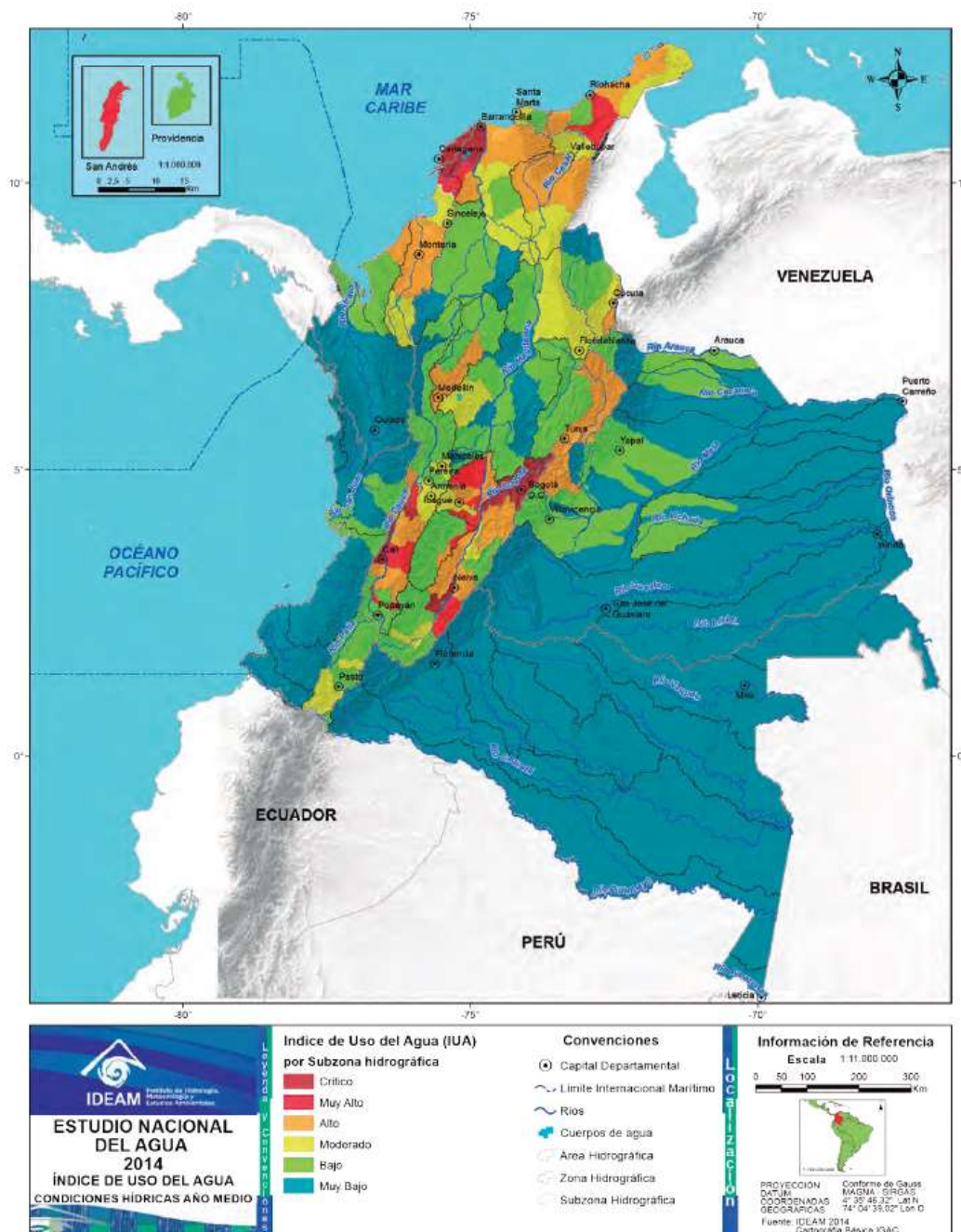
En la Tabla 110 se presentan las categorías en las cuales se puede presentar este indicador.

Tabla 110 Categorías IUA

Rango (Dh/Oh)*100 IUA	Categoría IUA	Significado
> 100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta
50.01 – 100	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20.01 – 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10.01 – 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1.0 – 10.0	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy Bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Fuente: IDEAM, 2010.

Figura 136 Distribución espacial del índice de uso del agua en Colombia



Los valores reportados en el estudio Nacional del Agua IDEAM, 2014, bajo la subzona hidrográfica denominada (SZH 2119) Río Sumapaz para el índice de uso del agua se presenta a continuación:

SZH	NOMSZH	IUA	IUA
-----	--------	-----	-----

		Año medio		Año seco	
		Valor	Categ.	Valor	Categ.
2119	Río Sumapaz	23,96	Alto	63,68	Muy Alto

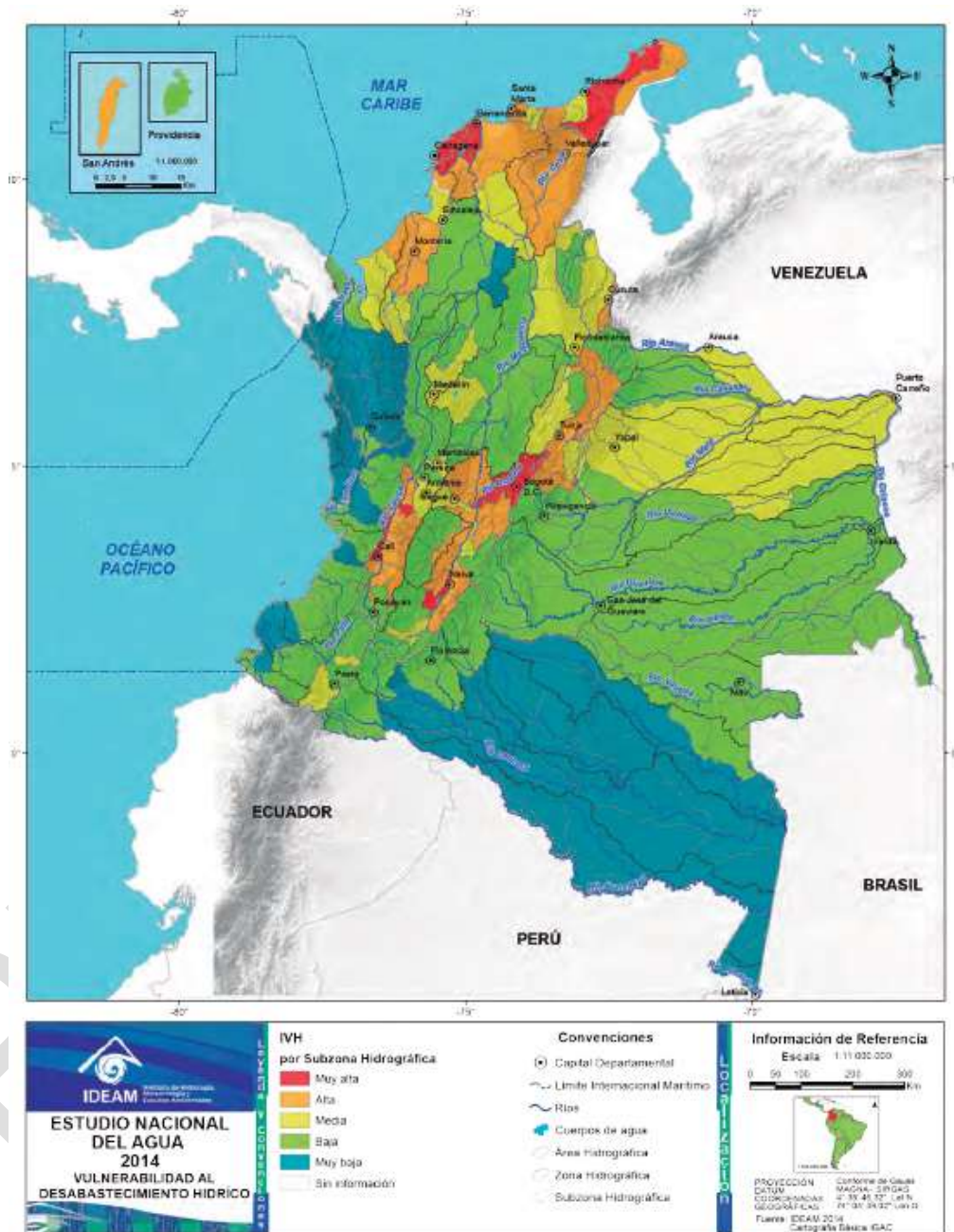
Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico

Este índice mide el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta en el abastecimiento de agua, que ante amenazas como períodos largos de estiaje o eventos como el fenómeno de La Niña, podría generar riesgo de desabastecimiento (IDEAM, 2014). Este índice es determinado a partir de la relación de rangos de índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso del agua (IUA) de acuerdo con la Tabla 111. La representación espacial de este índice se presenta en la Figura 138.

Tabla 111 Calificación de rangos del índice de vulnerabilidad hídrica

Vulnerabilidad del recurso hídrico. Relación IRH - IUA					
IUA Extremo: Porcentaje (Oferta/Demanda)		Índice de regulación			
Rango	Categoría	Alta	Moderado	Baja	Muy Baja
<1	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Media	Media
1-10	Bajo	Baja	Baja	Media	Media
10.1-20	Moderado	Media	Media	Alta	Alta
20.1-50	Alto	Media	Alta	Alta	Muy Alta
50.1-100	Muy Alto	Media	Alta	Alta	Muy Alta
>100	Crítico	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta

Figura 137 Distribución espacial del índice de vulnerabilidad hídrica en Colombia



Los valores reportados en el estudio Nacional del Agua IDEAM, 2014, bajo la subzona hidrográfica denominada (SZH 2119) Río Sumapaz para el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico se presenta a continuación:

SZH	NOMSZH	IVH
2119	Río Sumapaz	Alto

5.1.8. Modelo Hidrogeológico Conceptual - MHC

El Proyecto de ampliación del tercer carril – doble calzada Bogotá-Girardot se gesta a partir de la necesidad imperante de mejorar las condiciones del servicio, de seguridad vial y de ofrecer mayor confort a los usuarios de la infraestructura perteneciente a la Autopista que conecta Bogotá con Girardot. Asimismo, el Proyecto busca armonizar las facilidades existentes y las condiciones operativas y de mantenimiento ejecutadas en la actualidad con los más altos estándares aplicables, así como con las Especificaciones Técnicas constructivas, de operación y de mantenimiento acogidas por la Agencia Nacional de Infraestructura (en adelante ANI) dentro del marco de la estructuración de la cuarta generación (4G) de concesiones viales en Colombia.

En cumplimiento de los términos de referencia para la elaboración de los estudios ambientales para proyectos de construcción de carreteras y/o túneles (ANLA, 2015 Res. 0751 de 2015), el alcance del componente hidrogeológico está enfocado en la identificación y caracterización del agua subterránea y los tipos de acuíferos presentes en el área de influencia, estableciendo una línea base referencial para el posterior monitoreo de este recurso. Para el área de influencia donde se desarrollaran las actividades constructivas se presenta el modelo hidrogeológico conceptual y numérico especialmente para los cuatro túneles cortos proyectados en la Unidad Funcional 2.

La Unidad Funcional 2, objeto de los presentes Estudios ambientales, parte de la información de los estudios de diseño previos Fase III, en los cuales se incluye la construcción de cuatro túneles cortos que suman aproximadamente 2 km de longitud, las especificaciones a nivel de diseño se describen en la Tabla 113

Tabla 112 Características geométricas y técnicas de los cuatro túneles cortos proyectados en la UF-2. Fuente: ANII, 2016. Adaptado y modificado de TAT, 2017.

REQUISITOS TÉCNICOS	TÚNEL 1 ERMITAÑO	TÚNEL 2 DIVINO NIÑO	TÚNEL 3 PALMICHALA	TÚNEL 4 NARIZ DEL DIABLO
K de Inicio – K de Término	K37+610 al K37+920	K38+650 al K38+844	K39+021 al K39+763	K40+598 al K41+378
PP.KK.	K0+810 al K1+241	K1+897 al K2+314	K2+496 al K3+064	K3+932 al K4+723
Longitud de referencia (m)	310	194	742	780
Número de calzadas mínimo (un)	Una	Una	Una	Una
Número de carriles por calzada mínimo (un)	Dos	Dos	Dos	Dos
Sentido de carriles (Uni o bidireccional)	Bidireccional	Bidireccional	Bidireccional	Bidireccional
Ancho de Carril mínimo (m)	3.65	3.65	3.65	3.65
Ancho de Calzada mínimo (m)	8.00	8.00	8.00	8.00
Sobre ancho (bermas) mínimo (m)	0,35	0,35	0,35	0,35
Andenes laterales mínimo (m)	1,00	1,00	1,00	1,00
Acabado de la rodadura (Rígido- flexible)	Rígido	Rígido	Rígido	Rígido
Velocidad de diseño mínimo (Km/h)	60	60	60	60
Radio mínimo (m)	214	214	214	214
Pendiente máxima (% sentido)	3.65%	5.94 %	4.69 %	0.93%
Tipo de Ventilación	Natural	Natural	Natural	Natural
Gálibo mínimo de operación vehicular (m)	5,00	5,00	5,00	5,00
Revestimiento en hastiales y bóveda (m)	0,30 Concreto Convencional	0,30 Concreto Convencional	0,30 Concreto Convencional	0,30 Concreto Convencional
Impermeabilización	De forma general, Geotextil + Lámina PVC	De forma general, Geotextil + Lámina PVC	De forma general, Geotextil + Lámina PVC	De forma general, Geotextil + Lámina PVC

La cota promedio de la rasante de excavación de los túneles cortos está proyectada en la 380 m sobre el nivel del mar, y cuenta con un recubrimiento sobre la misma que varía a lo largo del alineamiento, llegando a alcanzar una altura máxima de tierras sobre la rasante de 135 m. Las pendientes de los túneles son variables según el caso, destacándose los valores de pendiente de 4,60% en el Túnel Palmichala y del orden del 3,50% en el caso del Túnel Ermitaño, que adicionalmente cuenta con un cambio de pendiente a mitad del mismo que genera un punto alto.

De acuerdo con lo plasmado en el Capítulo 3, el área de influencia para el componente hidrogeológico se establece sobre la ladera de la margen izquierda del río Sumapaz, entre éste y el túnel actual Sumapaz; este último se tomará como referencia teniendo en cuenta que los recubrimientos del túnel actual son de una magnitud que no generan impacto hidrogeológico en los niveles piezométricos de la ladera, salvo en las zonas cercanas a los portales de entrada y de salida del mismo. Desde el punto de vista geológico, la estructura asociada a la Falla Melgar marca el límite oeste de la Unidad Funcional 2, la cual corresponde a una estructura regional que se localiza en el K37+200 aproximadamente a 200 m al oeste del Portal Entrada del Túnel Ermitaño. El límite este del área de influencia corresponde al trazo de la Falla 6. Se ubica a unos 100 m al Este del Portal Salida del Túnel Nariz del Diablo, en inmediaciones del portal Boquerón, marca un escarpe pronunciado entre las unidades más blandas de la Formación la Tabla al Este y en las rocas más resistentes del Grupo Olini al Oeste. Esta estructura presenta una expresión regional y discurre paralela a la falla Quinini

La caracterización hidrogeológica para la Unidad Funcional 2 describe las características litológicas, morfológicas e hidrológicas que condicionan el comportamiento de los tipos de materiales y del flujo subterráneo asociado con miras a establecer qué condiciones estimadas se presentarán durante la excavación y operación de los túneles de manera consecuente con los resultados de los estudios de diseño y lo descrito en el numeral 5.1.1 Geología de la LBA. Se incluye el Estudio Hidrogeológico de los túneles cortos, en el que se evalúa el posible impacto que tendrá la ejecución del mismo sobre los recursos hídricos situados en el entorno de cada trazado (véase numeral 5.1.9), procediéndose asimismo a estimar el flujo de agua que se prevé recoger a partir de los sistemas de drenaje e impermeabilización diseñados.

5.1.8.1. Metodología

El plan metodológico para la elaboración del Modelo Hidrogeológico de la Unidad Funcional 2, obedece al desarrollo de las siguientes actividades en un orden lógico y secuencial:

- Revisión de la información suministrada por el Consorcio Ruta 40 de los Estudios y Diseños de la unidad Funcional UF2, la cual se ubica paralela al río Sumapaz con una longitud total de 5,25 km entre las abscisas K37+000 y K42+000 tomando como referencia Melgar al oeste y El Boquerón al este. La compilación y análisis de la información de referencia se realiza con el objetivo de contextualizar las características y condiciones topográficas, geológicas e hidrogeológicas del área de influencia de la Unidad Funcional 2.
- Análisis de la información de referencia para el modelo geológico e hidrogeológico de los cuatro túneles cortos de la UF2; esta etapa parte de los informes geológicos y geotécnicos previos para la zona de estudio. Entre los mismos, cabe destacar el Informe Geológico y Geotécnico del Túnel Actual de Sumapaz (desarrollado por PONCE DE LEON Y ASOCIADOS S.A. INGENIEROS CONSULTORES), el Informe Geomecánico en la Etapa de Factibilidad (elaborado por GEOTUNELES S.A.S.) y la información relacionada con el diseño preliminar de los túneles proyectados, elaborada por Túneles y Asistencia Técnica- TAT. Septiembre de 2017

Adicionalmente, una vez la Concesionaria Vía 40 Express suscribió con la ANI el contrato de APP N° 004 de 2016, se desarrollaron estudios y análisis adicionales a nivel geológico y geotécnico. Para la elaboración del modelo hidrogeológico de la UF-2, se llevó a cabo un análisis y verificación de la información recopilada de la información de los diseños precedentes en la zona de estudio que incluyen las obras existentes (Túnel Sumapaz) y las obras subterráneas proyectadas, que posteriormente se contrasta con la toma de datos en campo y las campañas de investigación del Subsuelo desarrolladas por TAT en virtud de los estudios de diseño y por INGETEC para los estudios ambientales de este tramo.

Como producto final se obtiene una interpretación geológica e hidrogeológica para la zona de estudio, que se espacializa en la cartografía planta perfil geológica e hidrogeológica, así como los aspectos estructurales, y el análisis del comportamiento del flujo subterráneo estimado a lo largo del alineamiento de la UF2.

Se desarrolla e incorpora en la interpretación los datos procedentes de estudios previos en la zona y en túneles registrados en las investigaciones del subsuelo para poder adoptar unos parámetros para los tipos de unidades de roca y los tipos de acuíferos asociados a las obras subterráneas que se encuentran a lo largo del trazado de la UF2.

La información de referencia recopilada y analizada para el desarrollo del Modelo Geológico e Hidrogeológico de la UF-2 corresponde a:

- INGETEC S.A. (1998). Estudios para la Concesión de la carretera Av. Boyacá - Bosa - Granada - Girardot.
- INGEOMINAS (1998). Geología de la Plancha 246 - Fusagasugá a escala 1:100.000. Compilada por Acosta, J. y Ulloa, C.,
- INGEOMINAS (1999). Geología de la Plancha 245 - Girardot a escala 1:100.000.
- INGEOMINAS (1999a). Geología de la Plancha 265 - Icononzo a escala 1:100.000. Compilada por Acosta, J., Caicedo, J.C. & Ulloa, C.
- INGEOMINAS (2000). Geología de la Plancha 264 - Espinal a escala 1:100.000. Compilada por Caicedo, J. C. & Terraza, R.
- INGEOMINAS (2001). Memoria explicativa de la Plancha Geológica 246 - Fusagasugá a escala 1:100.000. 76 p. Compilada por Acosta, J. & Ulloa, C.
- INGEOMINAS (2002). Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Cundinamarca a escala 1:100.000. Compilada por Acosta, J. & Ulloa, C.
- Concesión autopista Bogotá-Girardot – PONCE DE LEON Y ASOCIADOS. Túnel del Sumapaz, informe geológico – Enero de 2005.
- Concesión autopista Bogotá-Girardot – PONCE DE LEON Y ASOCIADOS. Túnel del Sumapaz, informe geotécnico – Julio de 2005.
- ANI – Contrato de concesión bajo el esquema de APP n° 004 del 18 de octubre de 2016 – Apéndice Técnico 1-Alcance del proyecto.
- ANI – Contrato de concesión bajo el esquema de APP n° 004 del 18 de octubre de 2016 – Apéndice Técnico 3- Especificaciones generales.
- ANI-INFRACON- Estudios y diseños en la etapa de factibilidad para el proyecto de ampliación Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot – GEOTUNELES. Túneles Palmichala, Nariz del Diablo, Divino Niño y Ermitaño. Informe Geomecánico – Junio de 2015.
- ANI- CONALVIAS – Ampliación Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. GEOTUNELES BOMA INPASA- Estudio de Geología y Geotecnia. Estudios técnicos para Tramos Nuevos y Mejoramiento. Julio de 2015.
- Túneles y asistencia Técnica- TAT. Ampliación tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Diseño preliminar de portales para los túneles. Septiembre de 2017
- INGETEC S.A. Consorcio Vial Ruta 40 – Estudios, diseños, construcción, operación, mantenimiento, gestión social, predial y ambiental de la ampliación del tercer carril-doble calzada Bogotá-Girardot – INGETEC. Informe final del OTRO SI N° 2 AL CONTRATO N°68IF2C7748-10-2016; Estudio conceptual: Geología estructural y geotecnia de la UF2. Junio de 2017. Informe y Anexos.
- GEOTECNIA ANDINA. Salazar H. (2017) Concepto técnico referente a las estaciones Geomecánicas levantadas a lo largo de los 4 túneles carreteros de la UF2 Informe técnico No. GA-136-CT-GG-001. Campaña Geológica y Geotécnica para el diseño de cuatro (4) túneles nuevos de la Unidad Funcional (UF) 2 Proyecto Ampliación del Tercer Carril de la doble calzada Bogotá-Girardot. Octubre de 2017.

El modelo Geológico-estructural parte de los resultados consignados en el estudio **Informe Conceptual Geológico – Geotécnico UF-2 (OTRO SI N° 2 AL CONTRATO N°68IF2C7748-10-2016 INGETEC, Junio 2017)**, como documentación de la Fase 2 desarrollada por el originador como también información parcial del Concesionario para los cuatro túneles cortos previstos sobre el trazado del tercer carril de la Autopista Bogotá-Girardot; se incluye en el análisis los resultados consignados en el documento elaborado por el Consorcio

INGETEC S.A y BATEMAN CIA LTDA (1998), que incluye los estudios de factibilidad para la Concesión Avda. Boyacá- Bosa- Granada- Girardot, donde involucra el túnel de Sumapaz con una longitud del orden de 4,2 km; los documentos técnicos producidos por GEOTUNELES y Túneles y Asistencia Técnica – TAT en el 2015 y 2017 e información oficial del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000 planchas geológicas 246 y 265 ajustada con datos obtenidos en las diferentes campañas de campo y de investigación del subsuelo.

A partir de este modelo se identificaron las unidades estratigráficas y estructuras presentes en el área de influencia establecida para el componente (véase numeral 5.1.1). Se incluye la información hidrológica correspondiente a series de tiempo de precipitación y caudales, de la base de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) para la región que enmarca el proyecto como fuente de análisis para la hidrología superficial, el inventario de puntos de agua, estudios y campañas de exploración geológica, geotécnica y geofísica, muestreo físico químico de puntos de agua subterránea, mediciones piezométricas y geoprocesamiento para las modelaciones.

5.1.8.1.1. Análisis de la información disponible para el componente geológico e hidrogeológico

Los documentos de referencia para elaborar el Modelo Hidrogeológico Conceptual para la Unidad Funcional 2 se relacionan a continuación:

- Estudios para la Concesión de la carretera Av. Boyacá – Bosa – Granada – Girardot. INGETEC S.A. Diciembre 1998.

En el año 1998, se realizó una evaluación geológica en una longitud de 127 km que incluyó los alineamientos del Túnel de Sumapaz entre Boquerón y Melgar y de las variantes de Lupas, Boquerón y Melgar.

La secuencia estratigráfica descrita en este documento presentó una sectorización del corredor vial de siete tramos, ubicando el tramo seis en el sector del Túnel de Sumapaz con registro niveles de arcillolitas, lutitas, y conglomerados del Cretáceo y Terciario y un depósito coluvial del Cuaternario.

- Ampliación Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Estudio de Geología y Geotecnia- GEOTÚNELES - BOMA - INPASA. Julio de 2015.

El documento describe aspectos geológicos generales con base en información de referencia suministrada por la ANI, para cada túnel y muestra un perfil geológico general definido por GEOTUNELES - BOMA - INPASA, firma diseñadora de la Fase II, con base en información de campo incluyendo información de perforaciones.

- Estudio preliminar realizado en el tramo correspondiente a la ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá - Girardot, e incluye el Diseño preliminar de los portales para los túneles. TAT, 2017

El documento describe aspectos geológicos generales con base en información de referencia suministrada por la ANI, para cada túnel muestra un perfil geológico general con base en información de campo incluyendo información de investigaciones.

La secuencia para cada túnel se define con base en la nomenclatura del SGC, propuesta para la Sabana de Bogotá. Los aspectos geológicos generales para cada túnel describe una secuencia plegada de rocas sedimentarias cretáceas representadas por el Grupo Guadalupe caracterizado por niveles de areniscas arcillolitas, liditas, limolitas y rocas terciarias de la Formación Guaduas (Arcillolita y Arenisca) y la Formación Gualanday (areniscas y conglomerados).

Para la sección del Túnel Divino Niño, el alineamiento muestra una secuencia de rocas sedimentarias cretácicas del Grupo Guadalupe representada por arenisca cuarzosa dura con intercalaciones delgadas de arcillolita y lidita de la Formación Arenisca Labor.

Para la sección del Túnel Palmichala, el alineamiento expone rocas sedimentarias cretáceas de la Formación Villeta representada por una secuencia de lutitas, liditas, limolitas y areniscas, suprayacidas por niveles de areniscas, lutitas, liditas y arcillolitas de la Formación Arenisca Dura, cubiertas en una gran extensión por un depósito de coluvión.

Para la sección del Túnel Nariz del Diablo, el alineamiento presenta una secuencia de rocas sedimentarias cretáceas de la Formación Villeta donde se diferencian niveles de lutitas, liditas, limolitas y areniscas, rocas del Grupo Guadalupe representada por niveles de areniscas arcillolitas, liditas, limolitas y arcillolitas suprayacidas por rocas sedimentarias Terciarias de la Formación Guaduas (Arcillolita y Arenisca) y la Formación Gualanday (areniscas y conglomerados), cubiertas localmente por depósito de coluvión.

- GEOTECNIA ANDINA. Salazar H. (2017) Concepto técnico referente a las estaciones Geomecánicas levantadas a lo largo de los 4 túneles carreteros de la UF2 Informe técnico No. GA-136-CT-GG-001. Campaña Geológica y Geotécnica para el diseño de cuatro (4) túneles nuevos de la Unidad Funcional (UF) 2 Proyecto Ampliación del Tercer Carril de la doble calzada Bogotá-Girardot. Octubre de 2017.

El documento hace parte del análisis Geológico a partir de la campaña geológica y geotécnica para el diseño de los cuatro (4) túneles cortos proyectados en la Unidad Funcional (UF) 2 en el proyecto Ampliación del Tercer Carril de la doble calzada Bogotá-Girardot (Contrato No 68IF2C7748-66-2017); consigna los resultados de la ejecución de campaña geotécnica y el levantamiento geológico de los macizos rocosos aflorantes en los cuatro túneles localizados en la UF-2 entre el municipio de Melgar y Boquerón. Incluye el concepto técnico sobre el levantamiento geológico y las estaciones geomecánicas, con descripciones geológicas de detalle de los afloramientos encontrados, cuyos datos se relacionan en fichas geomecánicas y geológicas donde se agrupa toda la información recolectada en campo por Geotecnia Andina (ver Anexo MH). Con base en lo anterior, el estudio finalmente presenta el agrupamiento por zonas homogéneas en cuanto a las condiciones geomecánicas de los macizos rocosos localizados por túnel proyectado en la UF-2.



5.1.8.2. Hidrología Superficial – Balance Hídrico

La caracterización climatológica e hidrológica del área de estudio se realizó con base en las estaciones operadas por el IDEAM y por CORTOLIMA localizadas en la Cuenca del Río Sumapaz.

5.1.8.2.1. Recarga del Acuífero - Balance Hídrico

Teniendo en cuenta las características hidroclimatológicas de la Cuenca, y con el fin conocer la distribución del agua en la zona de estudio, se realizó el balance hídrico, el cual se basa en el principio de continuidad, resumiéndose mediante la siguiente formulación:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} + \text{Almacenamiento}$$

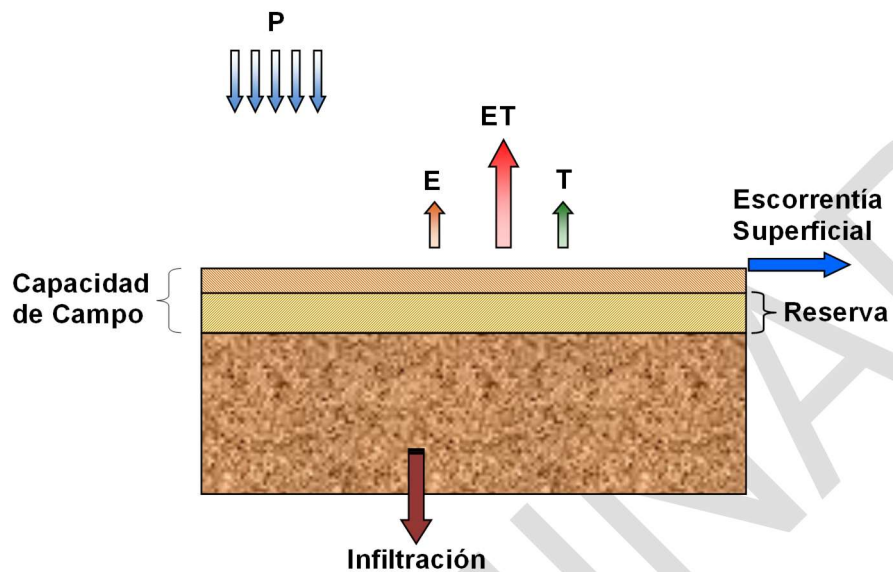
Donde en forma general, las entradas corresponden a la precipitación (P) total media de la cuenca; las salidas corresponden a la combinación de la evaporación y la transpiración de las plantas, denominada evapotranspiración (ET), y a la escorrentía superficial (E); el almacenamiento corresponde al volumen de agua almacenado en las diferentes capas del subsuelo(S).

Teniendo en cuenta las anteriores definiciones la formulación replanteada del balance hídrico, es:

$$P = ET + ES + S$$

La cual se representa esquemáticamente en la siguiente Figura 138.

Figura 138 Esquema de Balance Hídrico.



Fuente: INGETEC, 2017

A continuación se describe la metodología utilizada para realizar el balance hídrico para el área de influencia de la Unidad Funcional 2.

El balance hídrico se realizó por el método directo, el cual supone que el agua precipitada es almacenada en el suelo y se va perdiendo mes a mes hasta agotar la reserva para poder cubrir las necesidades de agua (evapotranspiración), y adicionalmente generar escorrentía superficial en los meses secos. Dicho balance consiste en definir a nivel mensual los siguientes parámetros (en mm):

5.1.8.2.2. Precipitación media mensual (P)

La serie de precipitación media mensual en la cuenca de estudio corresponde a la resultante tras aplicar la metodología de los polígonos de Thiessen que tiene en cuenta todos los registros de cada una de las estaciones y el factor de representatividad de cada una éstas sobre las cuencas en estudio. Para ello, se usó la Estación PM El Salero presente en la zona. El resultado se presenta en la Tabla 113.

Tabla 113 Precipitación mensual media multianual de la cuenca UF2 (período 1971-2012)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
131,6	159,6	237,1	266,9	225,1	122,2	62,8	69,4	181,3	259,1	323,2	167,1	2205,4

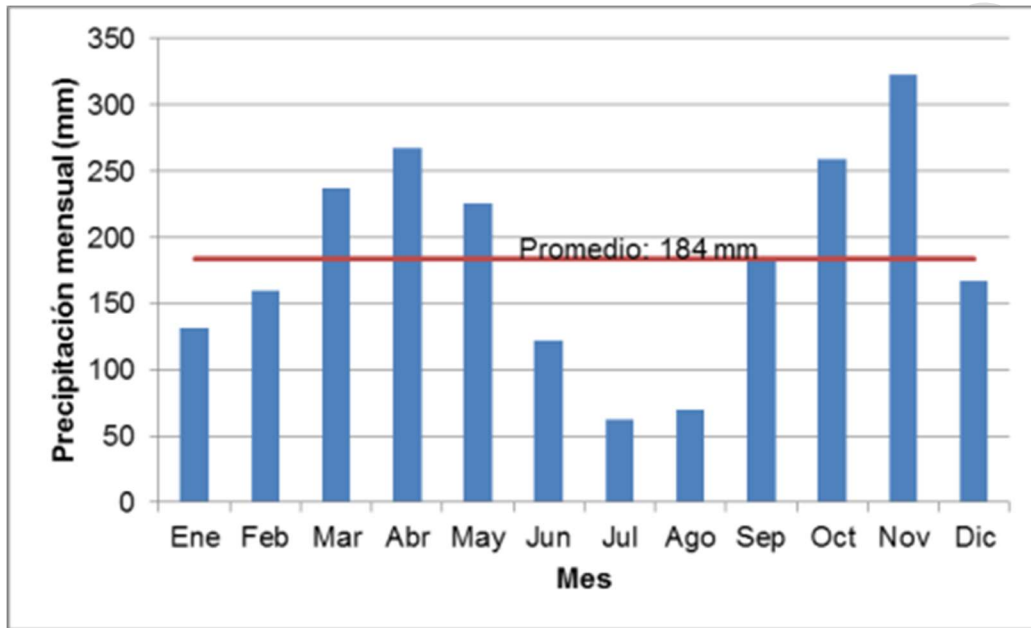
Fuente: INGETEC, 2017

Con los anteriores valores se generó la distribución temporal de la precipitación que es presentada en la Figura 139, donde se concluye que el régimen de precipitación es bimodal, en el cual los periodos de mayor valor de precipitación se presentan entre los meses de marzo a mayo y en los meses de octubre y diciembre.

5.1.8.2.3. Evapotranspiración potencial mensual (ETP)

Teniendo en cuenta la variabilidad altitudinal de la zona en estudio, se determinó la ETP con el promedio de las estaciones localizadas en la cota 305 (Apto Santiago Vila) y 950 (Pandi). La descripción del método utilizado y los resultados obtenidos se presentan a continuación (Figura 139):

Figura 139 Distribución temporal de la precipitación mensual media multianual UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá - Girardot



Fuente: INGETEC, 2017

Método de Penman

La metodología de Penman involucra dos componentes, (i) uno que estima la cantidad de radiación disponible para evaporación mediante un balance energético aproximado, y el segundo (ii) aplica la ecuación de Dalton para la estimación de la evaporación como función del déficit de humedad atmosférico y de la velocidad del viento. Este método utiliza los parámetros de temperatura mínima y máxima, humedad relativa, velocidad del viento, brillo solar y adicionalmente tiene en cuenta la radiación media mensual dependiendo de la latitud.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial por esta metodología, se utilizó el software CROPWAT 8.0, desarrollado por la FAO, cuyos resultados se muestran en la Tabla 114 para la estación Santiago Vila y en la Tabla 115 para la estación Pandi.

Tabla 114 Evapotranspiración potencial (método de Penman). Estación Aeropuerto Santiago Vila. Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot UF-2

Mes	Tmed	HR	VV	BS	RAD	ETP
	(°C)	(%)	(m/s)	(h/d)	(MJ/m ² /d)	mm/mes
Enero	29,1	65	3,2	6,4	18	162,44
Febrero	29,1	66	2,8	6	18,2	144,33
Marzo	28,9	68	2,9	5,2	17,5	154,07

Mes	Tmed	HR	VV	BS	RAD	ETP
	(°C)	(%)	(m/s)	(h/d)	(MJ/m ² /d)	mm/mes
Abril	28,2	72	2,5	5,1	17,2	135
Mayo	27,9	75	1,9	5,5	17,2	127,41
Junio	27,9	71	2	5,8	17,1	126,9
Julio	28,7	64	2,7	6,2	17,8	155
Agosto	29,6	59	2,9	6,3	18,6	174,84
Septiembre	29,2	63	2,9	5,9	18,5	162,6
Octubre	28,1	70	2,6	5,9	18,1	146,32
Noviembre	27,7	74	2,5	6	17,6	129,3
Diciembre	28,3	70	2,4	6,3	17,5	138,26
						1756,47

Tabla 115 Evapotranspiración potencial (método de Penman). Estación Pandi Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot UF-2

Mes	Tmed	HR	VV	BS	RAD	ETP
	(°C)	(%)	(m/s)	(h/d)	(MJ/m ² /d)	mm/mes
Enero	23.9	70	3.2	5.9	17.3	130.82
Febrero	24.1	70	2.8	5.3	17.2	118.577
Marzo	23.9	73	2.9	4.4	16.3	123.38
Abril	23.6	77	2.5	4.1	15.7	108.3
Mayo	23.5	78	1.9	4.2	15.2	104.16
Junio	23.5	74	2	4.5	15.2	103.8
Julio	23.8	69	2.7	4.9	16	123.38
Agosto	24.3	66	2.9	4.6	16.1	132.68
Septiembre	24.3	67	2.9	4.2	15.8	127.5
Octubre	23.5	74	2.6	4.6	16.1	117.49
Noviembre	23.2	77	2.5	5.1	16.2	106.8
Diciembre	23.4	76	2.4	5.7	16.7	112.53
						1409.417

La evapotranspiración en la zona se determinó como el promedio de los resultados obtenidos entre las dos estaciones, véase Tabla 116:

Tabla 116 Evapotranspiración potencial en el área de influencia UF-2 Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot

Mes	ETP
	mm/mes
Enero	146.63
Febrero	131.45

Mes	ETP
	mm/mes
Marzo	138.73
Abril	121.65
Mayo	115.79
Junio	115.35
Julio	139.19
Agosto	153.76
Septiembre	145.05
Octubre	131.91
Noviembre	118.05
Diciembre	125.40
Total	1582.94

Escorrentía mensual (E)

Como se mencionó anteriormente se utiliza como referencia para la zona de estudio los registros de caudales medios mensuales multianuales de la estación Sylvania que convertidos en unidades de escorrentía (mm) se presentan en la Tabla 117.

Tabla 117 Escorrentía en la zona de estudio (mm) Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot UF-2

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
43,777	42,146	56,588	75,875	75,052	47,482	26,735	20,937	29,248	69,641	84,822	61,93723	634,2

Diferencia entre Precipitación (P), Evapotranspiración (ETP) y Escorrentía (E)

Es el balance mensual de entradas y salidas potenciales de agua del suelo. Esta diferencia clasifica los meses en secos ($P - ETP - E < 0$) y en húmedos ($P - ETP - E > 0$).

Almacenamiento del suelo (R)

El almacenamiento o reserva de agua del suelo es la cantidad de agua que un suelo contiene en un momento dado, dicha reserva varía entre un valor de cero (suelo seco) y la capacidad de campo, la cual corresponde a la cantidad de agua que queda en el suelo después de que un exceso de agua ha drenado. Para estimar el almacenamiento, se utilizó como referencia un valor de 100 de acuerdo con lo indicado en el método del balance de Thornthwaite.

En el cálculo del balance hídrico, el almacenamiento del mes "i" (en función de la del mes anterior "i-1") será:

$$\begin{aligned}
 R_i &= R_{i-1} + (P_i - ETP_i - E_i) & \text{si } 0 < R_{i-1} + (P_i - ETP_i - E_i) < CC \\
 R_i &= CC & \text{si } R_{i-1} + (P_i - ETP_i - E_i) > CC \\
 R_i &= 0 & \text{si } 0 > R_{i-1} + (P_i - ETP_i - E_i)
 \end{aligned}$$

Como se aprecia en la fórmula, se necesita la reserva del mes anterior para comenzar el cálculo de la reserva, por ello, se supone que en el mes siguiente al más húmedo el suelo se encuentra saturado y por lo tanto la Reserva es igual a la Capacidad de Campo.

Infiltración (I)

Cuando el suelo está totalmente saturado o a capacidad de campo y existe un aporte adicional del balance de P-ETP-ESC se genera la infiltración. Por tanto:

$$I = R_{i-1} - R_i + (P_i - ETP_i - E_i) \text{ si } R_{i-1} - R_i + (P_i - ETP_i - E_i) > 0$$

$$I = 0 \text{ si } R_{i-1} - R_i + (P_i - ETP_i - E_i) \leq 0$$

Utilización de almacenamiento (UA)

Si el suelo se encuentra totalmente saturado o a capacidad de campo y en los meses siguientes se presenta un balance negativo de P-ETP-ESC se utiliza el almacenamiento hasta agotarlo.

$$UA_i = 0 \text{ si } (P_i - ETP_i - E_i) > 0$$

$$UA_i = |(P_i - ETP_i - E_i)| \text{ si } (P_i - ETP_i - E_i) < 0$$

$$\text{si } R > \square\square\square(P_i - ETP_i - E_i) < 0$$

Déficit de agua (D)

Es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (Evapotranspiración). Por tanto, el déficit de agua es:

$$D_i = 0 \text{ si } (P_i - ETP_i - E_i) > 0$$

$$D_i = |(P_i - ETP_i - E_i)| - UA_i \text{ si } (P_i - ETP_i - E_i) < 0$$

Evapotranspiración Real (ETR)

La ETR es el volumen de agua que realmente se evapo-transpira en el mes, dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la ETP o de referencia o no, por tanto, la ETP_i es siempre mayor o igual que la ETR_i. Por lo tanto

$$ETR_i = ETP_i - D_i$$

Resultados Balance Superficial

Definida la metodología para estimar los parámetros a nivel mensual, se realizó el balance hídrico en la zona de interés, el cual es presentado en las siguientes tablas.

Tabla 118 Balance hídrico en el área de influencia UF-2 Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot UF-2

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PRECIPITACIÓN	131,6	159,6	237,1	266,9	225,1	122,2	62,8	69,4	181,3	259,1	323,2	167,1	2205,4
ETP	146,63	131,45	138,73	121,65	115,79	115,35	139,19	153,76	145,05	131,91	118,05	125,395	1582,9
ESCORRENTIA	43,777	42,146	56,588	75,875	75,052	47,482	26,735	20,937	29,248	69,641	84,822	61,93723	634,2
P-ETP-ESC	-58,8	-14,0	41,8	69,4	34,3	-40,6	-103,1	-105,3	7,0	57,6	120,3	-20,2	
ALMACENAMIENTO	21,0	7,0	48,7	100,0	100,0	59,4	0,0	0,0	7,0	64,6	100,0	79,8	
PERCOLACION	0,0	0,0	0,0	18,1	34,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84,9	0,0	137,3
UTILIZACION ALMACENAMIENTO	58,8	14,0	0,0	0,0	0,0	40,6	59,4	0,0	0,0	0,0	0,0	20,2	193,0

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
DEFICIT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,8	105,3	7,0	0,0	0,0	0,0	156,1
ETR	146,6	131,5	138,7	121,7	115,8	115,4	95,4	48,5	138,0	131,9	118,1	125,4	1426,9

Fuente: INGETEC, 2017

De acuerdo con la tabla anterior la percolación o recarga promedio a las unidades hidrogeológicas es del 6,2% de la precipitación promedio en la zona en estudio.

5.1.8.3. Inventario de puntos de agua subterránea

Con el fin de identificar y realizar el inventario de los puntos de agua presentes en el área de influencia de la UF-2 Portal Entrada Melgar Túnel Sumapaz (Melgar) PR37+0000 hasta Portal Salida (Bogotá) Boquerón Túnel Sumapaz PR42+0000, se realizó una campaña de campo desde el 8 hasta el 20 de julio del 2017. La longitud total del recorrido fue desde Boquerón hasta el portal Melgar del túnel actual sobre la vía existente y hacia la parte alta de la ladera de la margen izquierda del río Sumapaz cuyo límite sur del área de influencia es el alineamiento del túnel actual.

Dentro del plan de trabajo y protocolo de identificación en campo de los tipos de puntos de agua subterránea se parte de la premisa de la siguiente clasificación:

- **Manantial:** es un flujo natural de agua que surge del interior de la tierra desde un solo punto o por un área pequeña. Pueden aparecer en tierra firme o ir a dar a cursos de agua, lagunas o lagos. Los manantiales pueden ser permanentes o intermitentes, y tener su origen en el agua de lluvia que se filtra o tener un origen ígneo.
- **Pozo:** Hoyo profundo que se hace en tierra, especialmente para sacar agua procedente de manantiales subterráneos.
- **Aljibe:** Depósito grande y generalmente bajo tierra que sirve para recoger y conservar el agua, especialmente de lluvia.

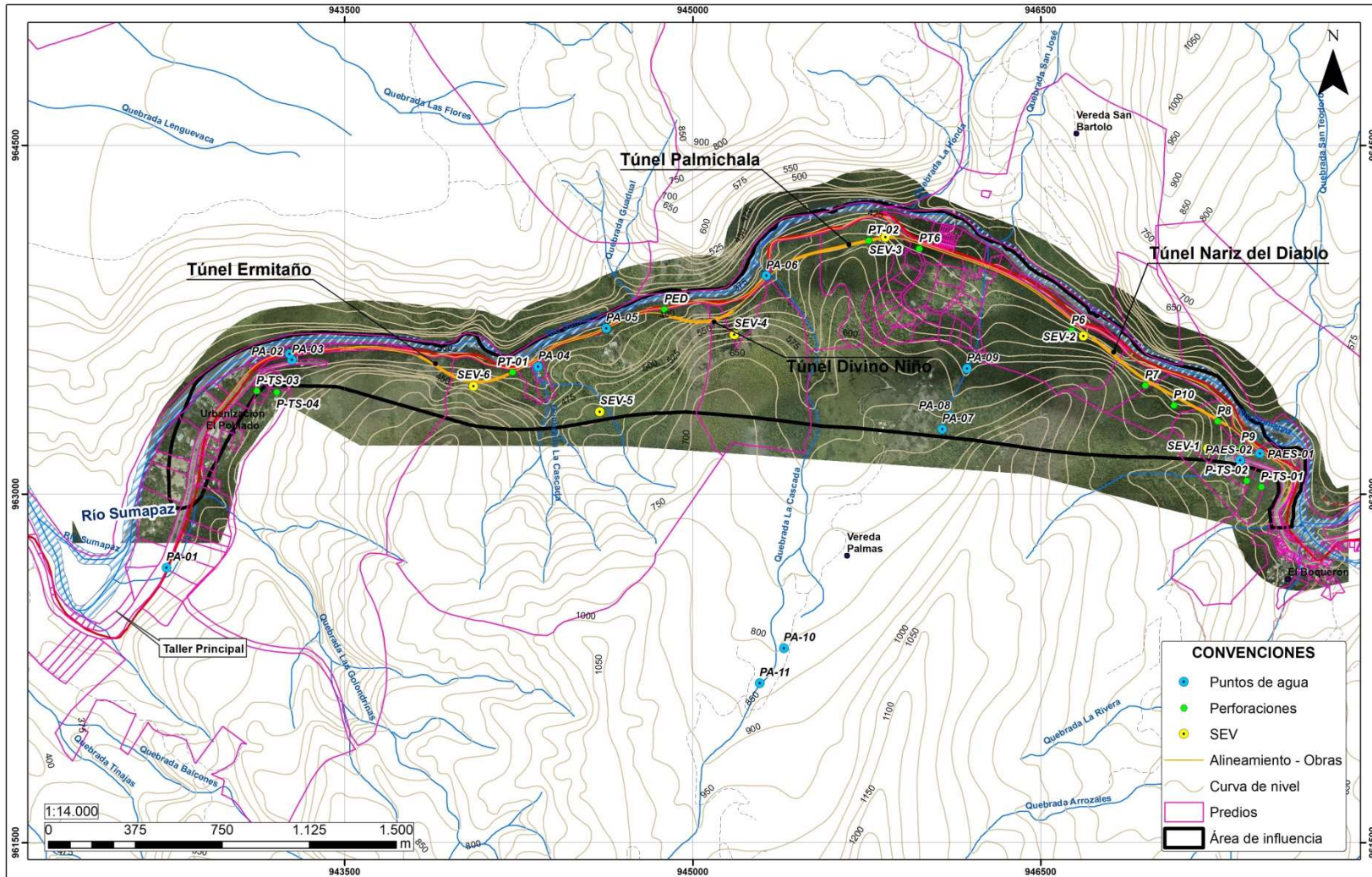
En el inventario no se identificaron puntos de agua subterránea a lo largo del área de influencia del componente en la UF-2; se inventariaron 13 puntos de captación de los cauces superficiales como la quebrada Palmichala y La Cascada y puntos de vertimiento; estos fueron espacializados en la cartografía bajo la codificación (PA) para referirse aquellos puntos que tiene una captación a un cauca superficial y no se consideran como puntos de agua subterránea.

En los puntos de captación de agua superficial identificados (véase numeral 5.1.7) se determinó el tipo de uso y el método de explotación y aprovechamiento del recurso por parte de la comunidad en el área, lo cual se describe en detalle en el numeral 5.1.7.

En cumplimiento del plan metodológico propuesto en el desarrollo del EIA, se realizó la consulta a CORTOLIMA sobre las concesiones vigentes en el área. Mediante comunicación escrita No 100.03.3.1 del 26 de septiembre de 2017, informa que se registran para el municipio de Melgar 151 concesiones y para el municipio de Icononzo 43 concesiones vigentes; no obstante, ninguna de las reportadas por la corporación ambiental se encuentra en el área de influencia del proyecto Unidad Funcional 2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.

Los puntos de captación de agua superficial identificados e inventariados por uso y aprovechamiento de agua superficial se ilustran en la Figura 140 y se resaltan como puntos en azul con la codificación PA-XX y se describen en el capítulo 5.1.7.

Figura 140 Ortofoto que incluye la base predial y la distribución de los puntos de agua superficial identificados en el área de influencia UF-2 Proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Fuente: INGETEC, 2017



5.1.8.4. Exploraciones del subsuelo

Para la obtención de datos adicionales mediante mediciones directas e indirectas conforme a la disposición de los estratos de las unidades de roca aflorantes en la UF-2 y para la caracterización de propiedades geotécnicas de los túneles proyectados, se desarrollaron campañas de exploración del subsuelo mediante la ejecución de sondeos mecánicos a rotación y campañas de investigaciones geofísica (véase numeral 5.1.8.8). Las campañas de investigación geológica geotécnica pueden agruparse en dos fases diferenciadas:

5.1.8.4.1. Primera Fase de Exploración del subsuelo GEOTÚNELES - BOMA – INPASA 2015

Desarrollada en la etapa de factibilidad del proyecto Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot durante el año 2015, compuesta por un total de ocho (8) perforaciones de las cuales la mayoría se sitúan en el Túnel 4 Nariz del Diablo. Estos sondeos se designaron con las letras PT, numerados de modo que se indica en los estudios de Factibilidad Fase II. Sus profundidades alcanzaron desde 15 hasta 70 m de profundidad (véase Anexo MH Exploraciones del Subsuelo). En la Tabla 119, se describe la nomenclatura, localización y profundidad de la campaña 2015.

Tabla 119 Relación de investigaciones del subsuelo – perforaciones estudios Factibilidad UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot GEOTUNELES 2015

SONDEO	TÚNEL	ABSCISA*	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
PT-5A	Palmichala	K39+750	Portal de salida	30 m
PT-6	Nariz del Diablo	K40+606	Portal de entrada	30 m
PT-7		K40+970	Alineamiento Túnel	50 m
PT-8		K41+312	Alineamiento Túnel	50 m
PT-9		K41+460	Portal de salida	30 m
PT-10		K41+120	Túnel	70 m
PSE	Ermitaño	K37+915	Portal de entrada	20 m
PED	Divino Niño	K38+655	Portal de entrada	15 m

*NOTA: Abscisa según datos de estudio de factibilidad Geotúneles 2015

5.1.8.4.2. Segunda Fase de Exploración del subsuelo INGETEC – TAT 2017

En el desarrollo de los estudios ambientales para la Unidad Funcional 2, INGETEC en agosto del 2017 ejecutó dos perforaciones mecánicas; una localizada en el portal de salida del Túnel 1 Ermitaño con una longitud de 24 m y la segunda en el portal de salida del Túnel 3 Palmichala con una longitud de 80 m. Posterior a la recuperación de los núcleos para ensayos de caracterización geomecánica, se instaló un piezómetro en cada una de ellas para la medición de niveles freáticos. En la Tabla 120, se describe la nomenclatura, localización y profundidad de la campaña ejecutada por INGETEC 2017.

Tabla 120 Relación de investigaciones del subsuelo – perforaciones estudios ambientales UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot INGETEC 2017

SONDEO	TÚNEL	PK*	Coord. X	Coord. Y	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
PT-01	Ermitaño	K1+300	944.223	963.523	Portal de salida	24 m
PT-2	Palmichala	K40+606	945.721	964.079	Portal de salida	80 m

Por medio de las exploraciones del subsuelo ejecutadas por INGETEC permitió establecer la distribución y variación litológica en la vertical del depósito coluvial presente en el portal de salida del Túnel 3 Palmichala y a posición de la superficie freática en esta unidad (ver PT-02) y en el Túnel 1 Ermitaño de igual manera las

características entre el depósito coluvial y la posición de la unidad de roca y la superficie freática en el portal de salida. Los resultados obtenidos se resumen a continuación:

- **PT-01 TÚNEL ERMITAÑO (PS):** se evidenció la presencia de un depósito coluvial (Qc) de 8,6 m de espesor, principalmente de textura clasto-soportado conformado por fragmentos angulares, tamaño bloque y grava, desde unos 10 a 50 cm de largo y en mínima proporción fragmentos angulares tamaño grava, hasta de unos 6 cm de diámetro composicionalmente de arenisca cuarzosa de grano fino a medio. El depósito suprayace la Formación Arenisca Media (Ksom), compuesta por cuarzo areniscas de grano fino a medio, de color gris, muy fracturadas a masivas hasta el final de la perforación (24 m). Véase Anexo MH Registros litológicos de perforación; Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0.
- **PT-02 TUNEL PALMICHALA (PS):** se identificó depósito coluvial (Qc) con un espesor 76,3 m, matriz soportado conformado por fragmentos angulares tamaño grava de 0,5 cm a 5,0 cm de diámetro de arenisca cuarzosa y de lidas; presenta una variación granulométrica a los 48,7 m de grano grueso a fino, lo cual le atribuye cambios en la permeabilidad dentro el mismo depósito. A partir de los 76,3 se presenta rocas de la Formación Arenisca Media (Ksom) muy fracturadas hasta el final de la perforación (80 m). Véase Anexo MH Registros litológicos de perforación; Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0.

Entre Julio y Octubre de 2017 Túneles y asistencia Técnica- TAT, ejecutó en esta fase un total de trece (13) perforaciones (sin incluir las que se están llevando a cabo para el diseño de taludes de la UF2) a lo largo de los alineamientos proyectados para los túneles cortos de la UF-2 según la versión de diseño de 30-10-2017.

Los sondeos específicos para el estudio de diseño de los túneles, se designaron con las letras SC, numerados desde el 1 hasta el 13, acorde con el avance a lo largo de cada trazado de túnel corto proyectado en la UF-2. Las profundidades para las exploraciones ejecutadas varían desde 25 m hasta 70 m de profundidad, siendo el sondeo SC-2 inclinado. Ver Tabla 121.

Tabla 121 Relación de investigaciones del subsuelo – perforaciones estudios diseño preliminar Túneles Cortos UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Túneles y asistencia Técnica- TAT 2017

TÚNEL	ID SONDEO	LONGITUD (m)	UBICACIÓN			OBJETIVOS EXPLORACIÓN
			PK	COORD. X	COORD. Y	
Ermitaño	SC-1	30 m	0+775	943.817	963.593	Establecer el contacto entre coluvión y macizo rocoso, y toma muestras para caracterizar la capa superior de coluvión (Qc)
	SC-2	55 m	0+940	943.960	963.511	Toma de muestras para caracterizar la unidad K _{som} y confirmar la ubicación, espesor y características de la falla F1 (Sondeo inclinado 64/298)
	SC-3	30 m	1+195	944.206	963.517	Establecer el contacto entre coluvión y macizo rocoso, y tomar muestras para caracterizar la capa superior de coluvión (Qc)
Divino Niño	SC-4	25 m	1+950	944.898	963.768	Establecer el contacto entre coluvión y macizo rocoso, y tomar muestras para caracterizar la capa superior de coluvión (Qc)
	SC-5	70 m	2+060	945.005	963.742	Toma de muestras para caracterizar la unidad K _{som}
	SC-6	35 m	2+235	945.170	963.787	Establecer el contacto entre coluvión y macizo rocoso, y tomar muestras para caracterizar la capa superior de coluvión (Qc)

Palmichala	SC-7	30 m	2+510	945.373	963.972	Verificar la presencia de coluvión en la zona, y establecer el grado de fracturación y caracterización de la roca en la que se prevé ejecutar el portal
	SC-8	70 m	2+780	945.625	964.061	Toma de muestras para caracterizar la unidad K_{som}
	SC-9	45 m	3+020	945.861	964.104	Establecer el contacto entre coluvión y macizo rocoso, y tomar muestras para caracterizar la capa superior de coluvión (Q_c) y la roca fracturada asociada a la falla de Quinini
	SC-10	35 m	3+040	945.881	964.102	Establecer el contacto entre coluvión y macizo rocoso, y tomar muestras para caracterizar la capa superior de coluvión (Q_c) y la roca fracturada asociada a la falla de Quinini
Nariz del Diablo	SC-11	40 m	4+000	946.723	963.669	Verificar la presencia de coluvión en la zona (caracterizarlo en caso de existir), y realizar ensayos de caracterización de la unidad de roca en que ocupa la parte inicial del túnel (K_{sli})
	SC-12	70 m	4+330	946.893	963.397	Toma de muestras para caracterizar la unidad K_{som}
	SC-13	40 m	4+750	947.299	963.297	Verificar la presencia de coluvión en la zona, y realizar ensayos de caracterización de la unidad de roca en que ocupa la parte inicial del túnel (K_{sls})

5.1.8.4.3. Otras campañas exploratorias

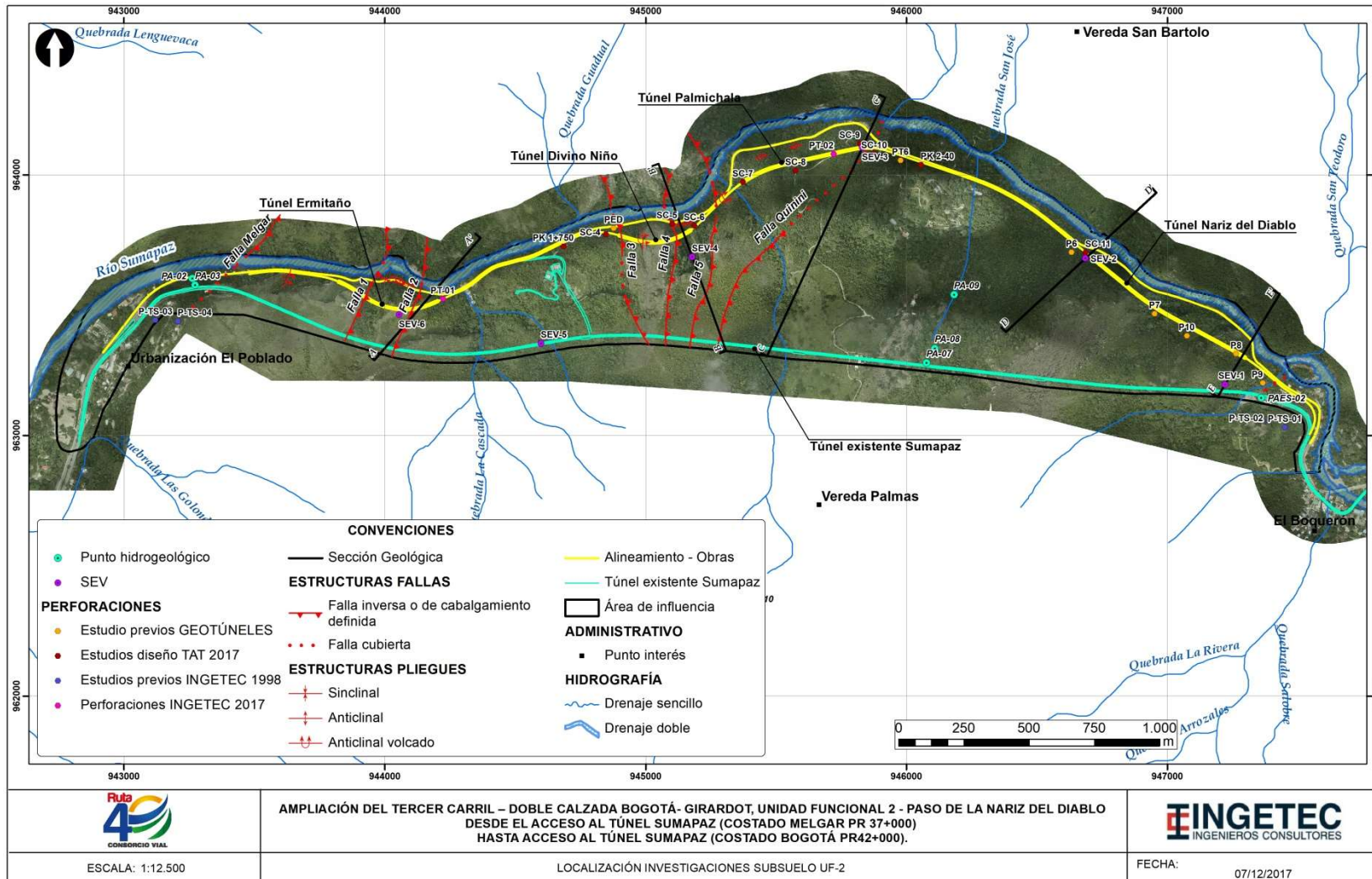
Las exploraciones registradas y analizadas para la interpretación del modelo geológico e hidrogeológico de la Unidad Funcional – 2, incluyen los resultados de las investigaciones del subsuelo ejecutadas en los estudios de factibilidad del Túnel Actual Sumapaz, las cuales se relacionan en la Tabla 122.

Tabla 122 Relación de investigaciones del subsuelo – perforaciones estudios Factibilidad Túnel Actual Sumapaz UF-2. Estudios para la Concesión de la carretera Av. Boyacá – Bosa – Granada – Girardot. INGETEC S.A. Diciembre 1998

SONDEO	TÚNEL	Coord. X	Coord. Y	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)
P-TS-01	Sumapaz Portal Boquerón	947.451	963.030	Portal de entrada	30
P-TS-02	Sumapaz Portal Boquerón	947.389	963.057	Portal de entrada	18
P-TS-03	Sumapaz Portal Melgar	943.121	963.443	Portal de salida	30
P-TS-04	Sumapaz Portal Melgar	943.207	963.438	Portal de salida	25

Los registros de perforación permitieron establecer las características litológicas del depósito de terraza (Q_t) presente en el portal Melgar y las características litológicas del depósito de coluvión que suprayace la Formación Seca (K_{pgs}) en el portal Boquerón. La localización y distribución de las investigaciones del subsuelo desarrolladas en cada una de las campañas anteriormente expuestas se ilustra en la Tabla 142.

Figura 141 Ortofoto que ilustra las exploraciones del subsuelo UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC 2017



5.1.8.4.4. Conclusiones generales de la campañas de investigación del subsuelo

GEOTUNELES BOMA 2015, un total de ocho (8) perforaciones de las cuales la mayoría se sitúan en el Túnel 4 Nariz del Diablo para los estudios de Factibilidad Fase II. Las profundidades de registro litológico alcanzaron desde 15 hasta 70 m de profundidad.

Por medio de las exploraciones del subsuelo ejecutadas por INGETEC permitió establecer la distribución y variación litológica en la vertical del depósito coluvial presente en el portal de salida del Túnel 3 Palmichala y a posición de la superficie freática en esta unidad (ver PT-02) y en el Túnel 1 Ermitaño de igual manera las características entre el depósito coluvial y la posición de la unidad de roca y la superficie freática en el portal de salida.

La perforación PT-01 Túnel Ermitaño (PS), se evidenció la presencia de un depósito coluvial (Qc) de 8,6 m de espesor, principalmente de textura clasto-soportado conformado por fragmentos angulares, tamaño bloque y grava, desde unos 10 a 50 cm de largo y en mínima proporción fragmentos angulares tamaño grava, hasta de unos 6 cm de diámetro composicionalmente de arenisca cuarzosas de grano fino a medio. El depósito suprayace la Formación Arenisca Media (Ksom), compuesta por cuarzo areniscas de grano fino a medio, de color gris, muy fracturadas a masivas hasta el final de la perforación (24 m). Véase Anexo MH Registros litológicos de perforación; Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0.

La perforación PT-02 Túnel Palmichala (PS), se identificó depósito coluvial (Qc) con un espesor 76,3 m, matriz soportado conformado por fragmentos angulares tamaño grava de 0,5 cm a 5,0 cm de diámetro de arenisca cuarzosa y de liditas; presenta una variación granulométrica a los 48,7 m de grano grueso a fino, lo cual le atribuye cambios en la permeabilidad dentro el mismo depósito. A partir de los 76,3 se presenta rocas de la Formación Arenisca Media (Ksom) muy fracturadas hasta el final de la perforación (80 m). Véase Anexo MH Registros litológicos de perforación; Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0.

Entre Julio y Octubre de 2017 Túneles y asistencia Técnica- TAT, ejecutó un total de trece (13) perforaciones a lo largo de los alineamientos proyectados para los túneles cortos de la UF-2 según la versión de diseño de 30-10-2017. Los sondeos específicos para el estudio de diseño de los túneles, se designaron con las letras SC, numerados de forma correlativa desde el 1 hasta el 13 acorde con el avance a lo largo de cada trazado de túnel corto proyectado en la UF-2. Las profundidades para les exploraciones ejecutadas varían desde 25 m hasta 70 m de profundidad, siendo el sondeo SC-2 inclinado.

Las investigaciones del subsuelo ejecutadas en los estudios de factibilidad Túnel Sumapaz proporcionaron información sobre la terraza aluvial ubicada en el portal Melgar y sobre la distribución y variación vertical del depósito coluvial en el portal Boquerón. Las profundidades máximas de las cuatro perforaciones ejecutadas alcanzaron los 30 m de profundidad. Las investigaciones no proporcionaron información sobre niveles freáticos en estos sectores para la caracterización hidrogeológica de la zona saturada en este tipo de acuíferos libres asociados a los depósitos de terraza y de coluvión.



5.1.8.5. Niveles piezométricos

Acorde con los estudios previos y las campañas exploratorias mencionadas en el numeral 5.1.8.4, se determinan las características geológicas de las unidades asociadas a cada uno de los túneles y la unidad hidrogeológica correlacionable de acuerdo con sus particularidades litológicas, de porosidad, permeabilidad, grado de fracturamiento y posición de la superficie piezométrica. En la Tabla 124, se relaciona los resultados obtenidos para los niveles freáticos en cada una de las campañas de prospección realizadas en el 2015 y 2017 en la UF-2.

Tabla 123 Resultados niveles piezométricos obtenidos en las campañas exploratorias 2015 en la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: GEOTUNELES 2015

MEDICION DE NIVELES PIEZOMETRICOS CAMPAÑA 2015								
Túnel	Sondeo	Prof m	Ubicación			Compañía	Nivel de agua	Observaciones
			Abscisa	Coord. X	Y			
Ermitaño	PSE	20	K37+915			Geotecnia Andina Consultores	Seco	Seco. Sin registro de N.F.
Divino Niño	PED	15	K38+655	944.877	963.794	Geotecnia Andina Consultores	4,0	Nivel freático identificado a 4,0 m. Contacto entre Qc y Ksmo
Palmichala	P-5A	30	K39+750			Geotecnia Andina Consultores		Sin registro verificable
Nariz del Diablo	P-6	30	K40+606	946.632	963.702	Geotecnia Andina Consultores	14,0	Registro de N.F. a 14,0 m. Contacto entre Qc y Ksli
	P-7	50	K40+970	946.950	963.466	Geotecnia Andina Consultores	-	Seco. Sin registro de N.F.
	P-8	50	K41+312	947.263	963.312	Geotecnia Andina Consultores	-	Seco. Sin registro de N.F.
	P-9	30	K41+460	947.365	963.201	Geotecnia Andina Consultores	-	Seco. Sin registro de N.F.
	P-10	70	K41+120	947.074	963.382	Geotecnia Andina Consultores	-	Seco. Sin registro de N.F.

Tabla 124 Resultados niveles piezométricos obtenidos en las campañas exploratorias 2017 en la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: CR40, 2017

MEDICION DE NIVELES PIEZOMETRICOS CAMPAÑAS 2017								
Túnel	Sondeo	Long. Prof. m	Ubicación			Compañía	Nivel de agua	Observaciones
			PK	X	Y			
Ermitaño	PT-01	24		944223	963523	INGETEC	8	Nivel freático identificado a 8,6 m. Contacto entre Qc y Ksmo
Divino Niño	SC-4/ C40DT 2- 1+920 CD	25	1+920	944.849	963.769	Geoandina	-	Seco
	SC-6	35	2+235	945.187	963.804	Ausculnova	27,7	Se registra N.F. a los 28 m
	2-1+750	20	1+750	963.724	944.686	Geoandina	19,0	Horizonte de arcillolitas limosas color habano muy húmeda a 19 m.
Palmichala	SC-7	30	2+510	945.372	963.972	Geoandina	-	Seco
	SC-8	70	2+790	945.574	964.015	Ausculnova	≈50,0	Seco hasta los 50 m. (sonda de 50 m).
	SC-9	45	2+987	945.822	964.120	Ausculnova	31,0	Se registra N.F. a los 31 m
	SC-10	45	3+020	945.876	964.081	Ausculnova	37,3	Se registra N.F. a los 37 m
	PT-02	80		945721	964079	INGETEC	31	Reporta piezómetro nivel freático a los 31 m transición granulométrica en el Qc portal salida Tune 3
Talud de corte	2- 40+000CI- 2	27		964.037	946.055	IGR	19,8	Sondeo al margen externo de vía actual. Se registra N.F. a los 20 m
Nariz del Diablo	SC-11	40	3+950	946.686	963.701	Ausculnova	29,7	Se registra N.F. a los 30 m

A partir de los resultados obtenidos de las campañas de investigación del subsuelo se puede concluir:

Para el Túnel 1 Ermitaño de acuerdo con los resultados obtenidos en la perforación PT-01, la superficie piezométrica se ubica entre la zona de contacto discordante entre el acuífero libre representado por el depósito coluvial (Qc) que aflora en el portal de salida (PS) y en las rocas de la Formación Arenisca Media (Ksom); el nivel freático, se encuentra por debajo de la cota de la solera (382,85 msnm) del Túnel 1 proyectado. En la sección longitudinal del Túnel 1 se representan niveles freáticos colgados en la zona de transición litológica de los coluviones y las rocas del Grupo Olini cuyas profundidades varían entre los 4 y 8 m. No se identificaron niveles freáticos por encima de la cota de proyección del túnel en la unidad de la Formación Arenisca Media (Ksom). Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y Anexo MH – Secciones Geológicas numeral 5.1.8.7.

En el Túnel 2 Divino Niño, la superficie piezométrica se localiza por debajo de la cota de la solera (407,94 msnm) del túnel en rocas de la Formación Arenisca Media. Las exploraciones SC-4 y SC-6 no registraron niveles piezométricos en los portales (profundidad máx. 35). Las condiciones geológico estructurales para el tramo que será excavado atravesará la Formación Arenisca Media (Ksom) del Grupo Olini afectadas por las Fallas F1 y F2 la roca se encuentra muy fracturada con replegamientos y zonas de deformación compresiva que favorece la porosidad secundaria efectiva por estas condiciones, lo cual le atribuye a esta unidad una condición de acuífero que favorece la circulación por recarga superficial pero ningún tipo de acumulación de agua subterránea. De acuerdo con la anterior, se estima que la superficie piezométrica se encuentra por debajo de la cota de la solera del túnel 2 proyectado. Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y Anexo MH – Secciones Geológicas numeral 5.1.8.7.

En el Túnel Palmichala se cuenta con los resultados de las exploraciones SC-7, SC-8, PT-02, SC-9, SC-10 y PT-6. Acorde con los resultados obtenidos las excavaciones se realizarán principalmente en las rocas cuarzo areniscas con intercalaciones de limolitas silíceas de la Formación Arenisca Media del Grupo Olini (Ksom); con excepción del portal de salida en su tramo inicial del túnel, que se identificó un depósito coluvial (Qc) cuyo espesor máximo identificado es de 76,3 m. Adicionalmente se resalta en el portal de salida del Túnel 3, se encuentra la Falla Quinini, estructura que pone en contacto la Formación Arenisca Media en el bloque yacente con la Formación Lidita Inferior (Ksli) en el bloque cabalgante. Las unidades cretácicas se encuentran discordantemente cubiertas por el depósito coluvial. En el portal de salida se identificaron dos niveles freáticos, (i) el primero en el depósito coluvial (Qc) corresponde a un nivel freático colgado cuya profundidad varía entre 10 y 31 m; (ii) el segundo a 50 m de profundidad, en el PK2+875 del portal de entrada, el cual se profundiza en la zona de contacto entre el acuífero libre y el acuícluido hasta posiblemente la zona de cizalla de la falla de Quinini. De acuerdo con las exploraciones SC-9 y SC-10 entre el PK2+987 y el PK3+020, en el portal de salida no se registran niveles piezométricos en el acuícluido de la Formación Arenisca Media hasta los 280 m de excavación el cual posiblemente se profundice sobre la zona de deformación de la Falla Quinini. En el portal de salida de acuerdo con las exploraciones SC-9 y SC-10 entre el PK2+987 y el PK3+020, la superficie freática colgada se extiende hasta la superficie de contacto del depósito y la Formación Conejo (Kscn), ubicándose por encima de la cota de la clave del túnel (443,60 msnm). Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y Anexo MH – Secciones Geológicas numeral 5.1.8.7.

Para el túnel Nariz del Diablo, los resultados de las exploraciones P-7, P-8, P-9 y P-10 indican que las excavaciones tanto en el portal de entrada como el portal de salida se localizan en roca; el PE atravesará las liditas inferiores con niveles de chert (Ksli) y el segundo (PS) en las liditas superiores (Ksls) con intercalaciones de lodolitas. Las investigaciones no registraron superficies piezométricas por encima de la solera del túnel proyectado (cota PE 436,94 y cota PS 445,17). Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y Anexo MH – Secciones Geológicas numeral 5.1.8.7.

5.1.8.6. Hidrogeoquímica

La caracterización físico química de las aguas subterráneas proporcionará la evolución de la calidad química de las aguas subterráneas y también a detectar problemas actuales de contaminación, con lo cual se podrán

formular medidas paliativas en el escenario sin proyecto y las implicaciones en el escenario con proyecto. Los análisis de la caracterización definen la calidad actual y la potencialidad de uso del agua.

El plan de trabajo incluye obtener a partir de mediciones directas para muestras de aguas subterráneas en el área de influencia de la UF-2. Los análisis de laboratorio determinaran las propiedades que posee el agua subterránea in-situ.

La caracterización físico - química estará enfocada a determinar los siguientes constituyentes:

- **Constituyentes Principales:** suelen presentarse en concentraciones comprendidas entre 1 y 1000 ppm. Son sodio, calcio y magnesio en el grupo de los cationes, y cloruros, sulfatos y bicarbonatos en el de los aniones.
- **Constituyentes Secundarios:** se presentan en menor frecuencia y en concentraciones entre 0,01 y 10 ppm. En el grupo de los cationes están el hierro, estroncio y potasio; en el de los aniones incluye los carbonatos, nitratos y fluoruros.

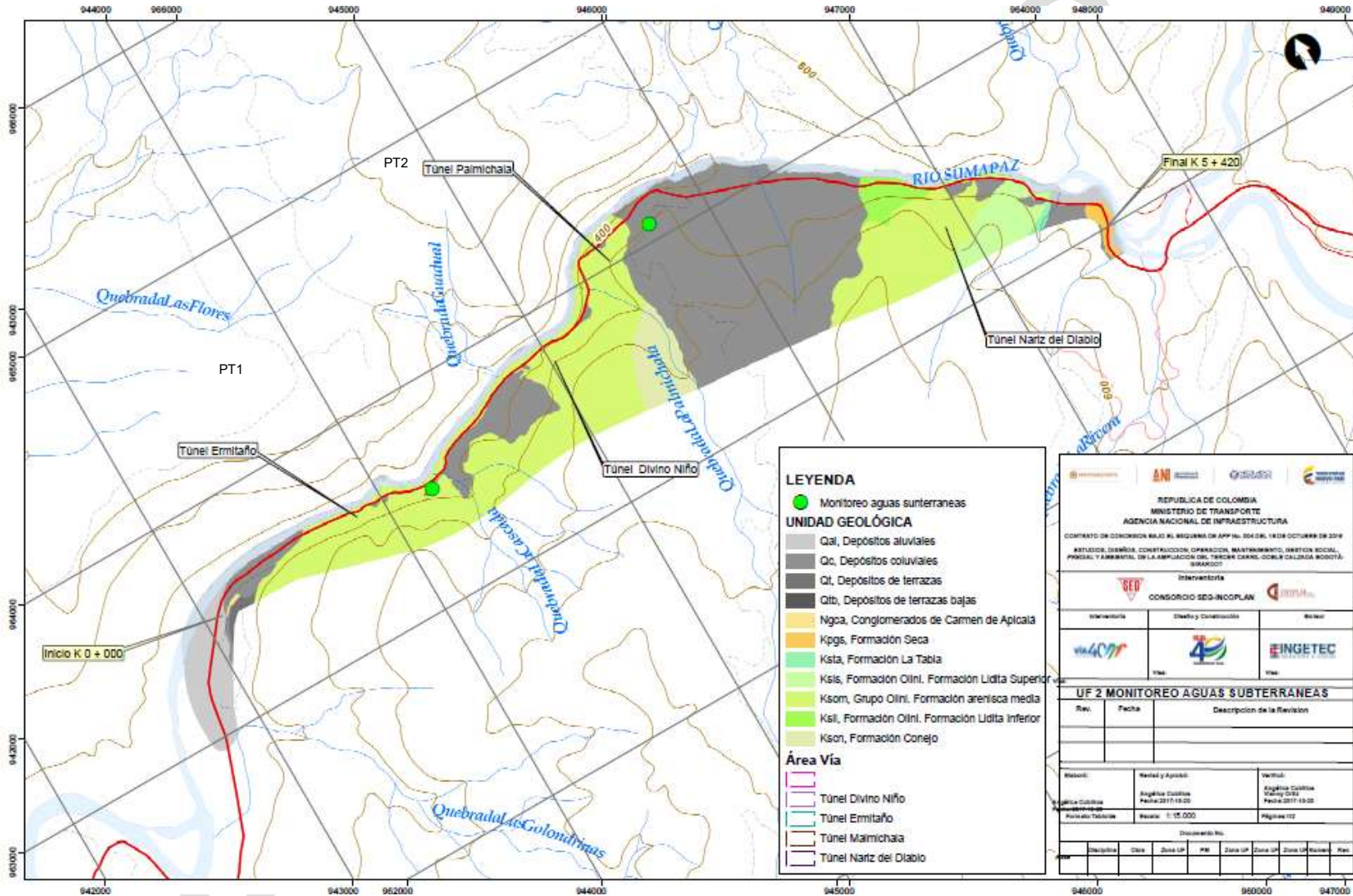
Se realizó la caracterización de aguas subterráneas en dos (2) puntos donde se realizaron las exploraciones del subsuelo PT-01 en el Túnel 1 Ermitaño y PT-02 en el Túnel 2 Palmichala. En la Tabla 125, se relacionan los sitios de muestro y en la Figura 142 se ilustra la localización de los puntos de muestreo físico químico de las aguas subterráneas de la UF-2.

Tabla 125 Descripción de los sitios de muestreo agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot

Municipio/Departamento	Fecha Muestreo	Hora	Punto Muestreo	Coordenada Norte	Coordenada Este	Túnel	Tipo de acuífero asociado
Boquerón/Tolima	08/09/2017	13:00	PT1.	963.517	944.225	Ermitaño Portal de salida	Acuífero Formación Arenisca Media
Boquerón/Tolima	08/09/2017	10:30	PT2.	964.079	945.716	Palmichala Portal de salida	Acuífero libre Deposito Coluvión

Los sitios de muestreo de agua subterránea se localizan en la unidad geológica asociada a la Formación Arenisca Media y a Depósitos Coluviales (ver Tabla 125). La unidad hidrogeológica muestreada en el Túnel Ermitaño corresponde al acuífero con limitados recursos de agua subterránea (Rlas). La unidad hidrogeológica muestreada corresponde a acuífero libre con flujo intergranular y moderada a baja capacidad de infiltración para el Túnel Palmichala.

Figura 142 Localización sitios de muestreo físico químico agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Fuente: INGETEC 2017.

Fotografía 82 Punto Localización Piezómetro PT1 Túnel Ermitaño Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017



Fotografía 83 Punto Localización Piezómetro PT2 Túnel Palmichala Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017



5.1.8.6.1. Calidad del agua subterránea

Toma de muestras

El día 8 de septiembre de 2017, se realizó la campaña de toma de muestras de agua subterránea en los dos sitios de perforación efectuados para los estudios de la Unidad Funcional 2 del proyecto Tercer Carril Bogotá – Girardot. La toma de muestras para análisis de laboratorio, análisis in situ, preservación y transporte se realizó por personal técnico del laboratorio de calidad de agua acreditado para muestreo simple, compuesto e integrado (Ambius S.A.S.). En el Anexo C1 – Reportes de Laboratorio se presenta resolución de acreditación del laboratorio, formatos de campo y resultados.

Para el muestreo, la preservación y manejo de las muestras se siguió la norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-11 (Guía para el muestreo de aguas subterráneas) y NTC-ISO 5667-3 (Directrices para la conservación y el manejo de muestras) respectivamente. Se tuvieron en cuenta también las sugerencias hechas por EL laboratorio, con respecto a la cantidad, y los volúmenes de muestra para analizar varios parámetros a la vez.

Resultados Análisis de laboratorio

El análisis, consistió en determinar las concentraciones de los parámetros analizados los cuales corresponden a temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH, turbidez, acidez, alcalinidad, arsénico, bario, bicarbonatos, cadmio, calcio, carbonatos, cloruros, cobre, coliformes fecales, coliformes totales, color, cromo, DBO, DQO, Dureza cálcica, dureza total, fenoles, fósforo, grasas y aceites, magnesio, mercurio, níquel, nitrógeno, plata, plomo, potasio, selenio, sodio, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sulfato y zinc de las muestras de agua seleccionadas. Los resultados obtenidos para los dos sitios de muestreo se presentan en la Tabla 126

Tabla 126 Resultados calidad de aguas subterráneas UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot

PARAMETRO	UNIDADES	MÉTODO	TÉCNICA	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	RESULTADOS	
					PT1	PT2
Acidez total	mg CaCO ₃ /L	SM 2310 B	Volumétrico	2,54	34,2	22,2
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	SM 2320 B	Volumetría	6,04	48,9	168
Arsénico Total	mg As/L	EPA 7062, SM 3114 C	Digestión- AA - Generación de hidruros	0,0025	<0,0025	<0,0025
Bario Total	mg Ba/L	SM 3030 E, SM 3111 D	Digestión-AA - Llama Oxido Nitros -Acetileno	0,5	<0,500	<0,500
Bicarbonatos	mg CaCO ₃ /L	SM 2320 B	Volumétrico	6	48,9	168
Cadmio Total	mg Cd/L	SM 3030 E, SM 3111 B <0,01	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,01	<0,01	<0,01
Calcio Total	mg Ca/L	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,1	15,6	25,3
Carbonatos	mg CaCO ₃ /L	SM 2320 B	Calculo (Alcalinidad)	6	<6,0	<6,0
Cloruros	mg Cl-/L	SM 4500 Cl-B	Método Argentometrico	9,9	<9,9	<9,9
Cobre Total	mg Cu/L	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,1	<0,1	<0,1
Coliformes Fecales Termotolerantes	NMP/100mL	SM 9223 B modificado	Sustrato Enzimático Multicelda	1	46	31
Coliformes Totales	NMP/100mL	SM 9223 B	Sustrato Enzimático Multicelda	1	299000	118700
Color Real	UPC	SM 2120 C	Colorimetría	5	6,32	17,2
Cromo Total	mg Cr/L	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,1	<0,1	<0,1
DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	mg O ₂ /L	SM 5210 B, ASTM D 888-09 METODO C	Incubación 5 días y Luminiscencia	5	27	9,3
DQO	mg O ₂ /L	SM 5220D	Reflujo cerrado y Colorimétrico	5	273	46,6
Dureza Cálcica	mg CaCO ₃ /L	SM 3500 Ca-B	Volumétrico	5	80,2	112
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SM 2340C	Volumétrico con EDTA	5	132	118
Fenoles totales	mg Fenol /L	SM 5530 B,D	Directo - Colorimetría (Celda 10 mm)	0,1	<0,100	<0,100
Fósforo total	mg P/L	SM 4500 -P B,E	Digestión Colorimetría con Ácido Ascórbico	0,07	0,498	0,427
Grasas y Aceites	mg/L	NTC 3362:2005-06-29, Numeral 4,Método C	Espectrofotometría Infrarrojo	0,2	5,98	2,88
Magnesio Total	mg Mg/L	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama	0,02	2,89	5,13

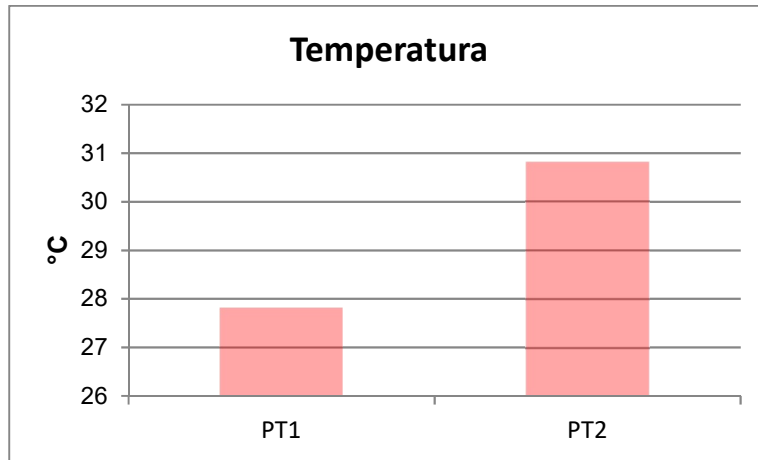
			Aire Acetileno			
Mercurio Total	mg Hg/L	EPA 7471 B SM 3112 B	Digestión-AA - Vapor Frío	0,001	<0,0010	<0,0010
Níquel Total	mg Ni/L	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,2	<0,2	<0,2
Nitrógeno total	mg N/L	Semi-micro Kjeldahl SM 4500-Norg C, SM 4500 NH3 B,C	Digestión - kjeldhal	3	3,33	<3,00
Plata Total	mg Ag/L	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,05	<0,05	<0,05
Plomo Total	mg Pb/L	SM 3030 E SM 3113 B	Digestión - AA - Horno de Grafito (Electrotérmico)	0,001	0,004	0,002
Potasio Total	mg K/L	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,125	6,29	5,61
Selenio Total	mg /L	EPA 7742, SM 3114 C	Digestión- AA - Generación de hidruros	0,0025	<0,0025	<0,0025
Sodio Total	mg Na/L	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,05	8,35	8,06
Sólidos sedimentables	mg/L-h	SM 2540F	Cono Imhoff	0,1	31	2,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SM 2540D	Gravimetría Secado 103-105°C	10	6200	774
Sulfatos	mg SO4/L	SM 4500 SO4 E	Turbidimetría	5	67,2	<5
Turbidez	NTU	SM 2130B	Nefelometría	1	8920	829
Zinc Total	mg Zn/L	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,05	0,28	<0,05
Temperatura	°C	SM 2550 B	Multiparámetro	---	27,8	30,8
pH	Unidades	SM 4500-H+ B	Multiparámetro	---	6,62	7,13
Oxígeno disuelto	mg/L	ASTMD888-12 Met. C	Multiparámetro	---	1,39	2,76
Conductividad	µS/cm	SM 2510 B	Multiparámetro	---	264	402

En áreas no contaminadas el agua de lluvia presenta por lo general sólo una débil mineralización y una ligera o moderada acidez (pH entre 5 y 6), carácter oxidante y gran capacidad. en consecuencia, de alterar los materiales con lo que entre en contacto.

Análisis de Resultados

Como se observa en la Figura 143 la temperatura en las muestras de agua subterránea oscilaron entre 27 y 30°C.

Figura 143 Temperatura en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



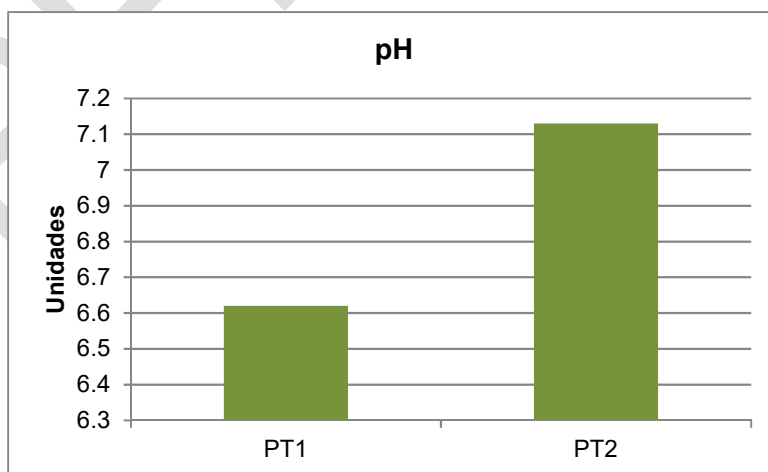
Fuente: INGETEC 2017.

El término pH es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrógeno.

- | | |
|--------|---------------|
| pH = 7 | Aguas Neutras |
| pH < 7 | Aguas ácidas |
| pH > 7 | Aguas básicas |

Las aguas subterráneas (Figura 144) presentan un comportamiento con tendencia a la acidez en la muestra PT1 mientras que en la PT2 presenta tendencia a la neutralidad.

Figura 144 pH en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



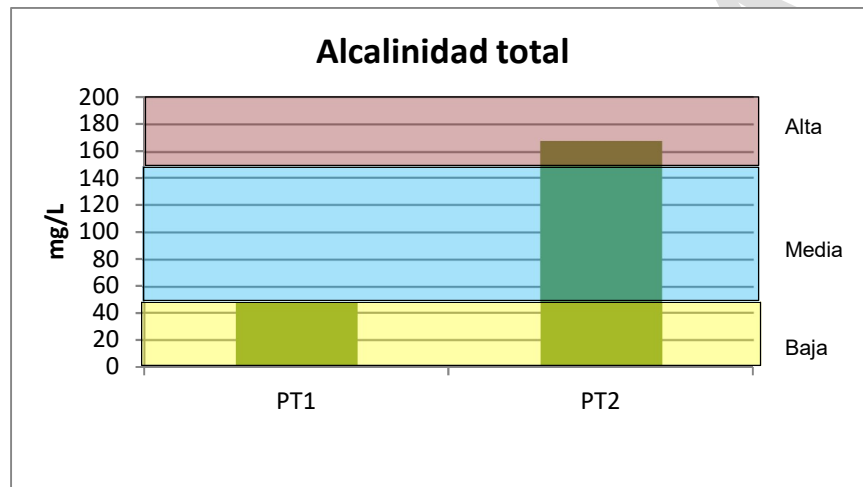
Fuente: INGETEC 2017.

El grado de alcalinidad de las aguas se determina de la siguiente manera:

- Alcalinidad baja: < 50 mg CaCO₃/l
- Alcalinidad media: 50 - 150 mg CaCO₃/l
- Alcalinidad alta: > 150 mg CaCO₃/l

La alcalinidad en los cuerpos de agua se debe a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Como se observa en la Figura 145 el PT1 presenta alcalinidad baja mientras que el PT2 presenta alcalinidad alta, acorde con las concentraciones registradas para bicarbonatos.

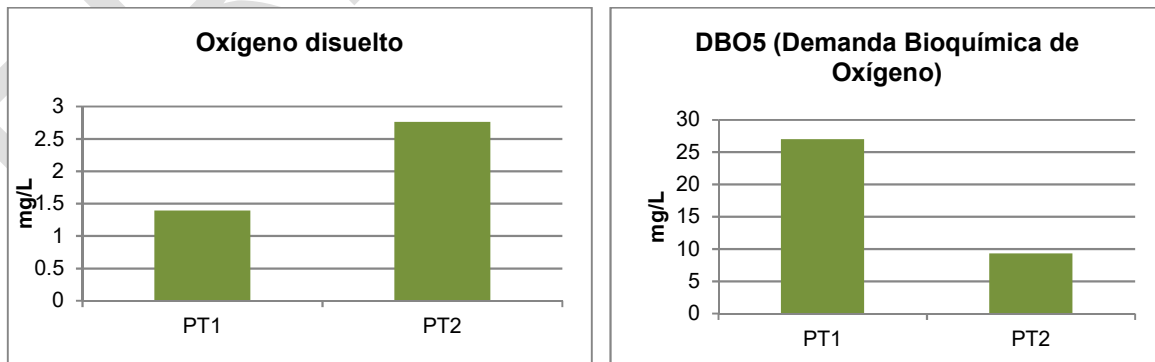
Figura 145 Alcalinidad en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Fuente: INGETEC 2017.

El oxígeno disuelto en los dos sitios muestreados registró valores inferiores a 5mg/l, características de aguas subterráneas. La DBO más elevada se presentó en el punto de agua identificado como PT1.

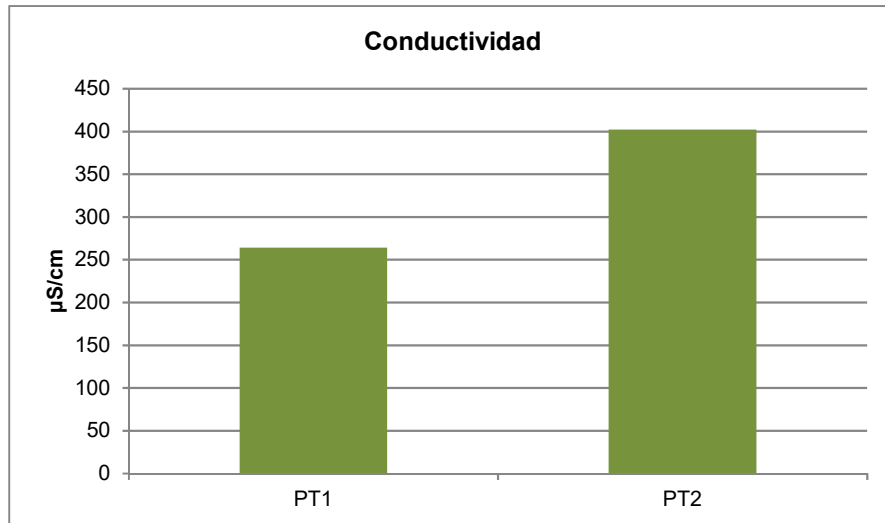
Figura 146 Oxígeno disuelto y DBO en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Fuente: INGETEC 2017.

Los valores de conductividad de las aguas subterráneas naturales varían en aguas dulces entre 100 y 2000 $\mu\text{S/cm}$, situación acorde con los valores obtenidos en la campaña de monitoreo realizada en las dos perforaciones. (Figura 147)

Figura 147 Conductividad en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot

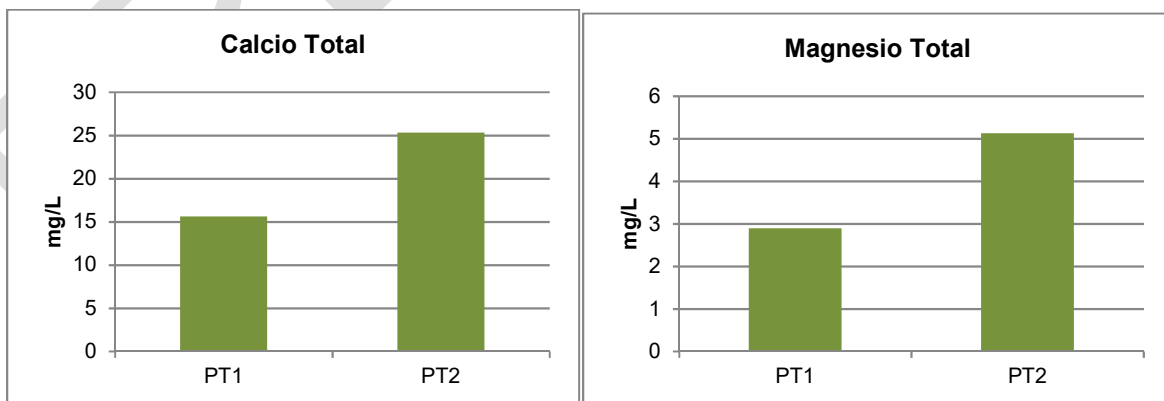


Fuente: INGETEC 2017.

Los iones disueltos en aguas subterráneas mayoritarios corresponden a calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, bicarbonatos y sulfatos.

El ión calcio, suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. El ión magnesio procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos. Como se observa en la Figura 148, las concentraciones de calcio son mayores que las de magnesio.

Figura 148 Calcio y Magnesio en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot

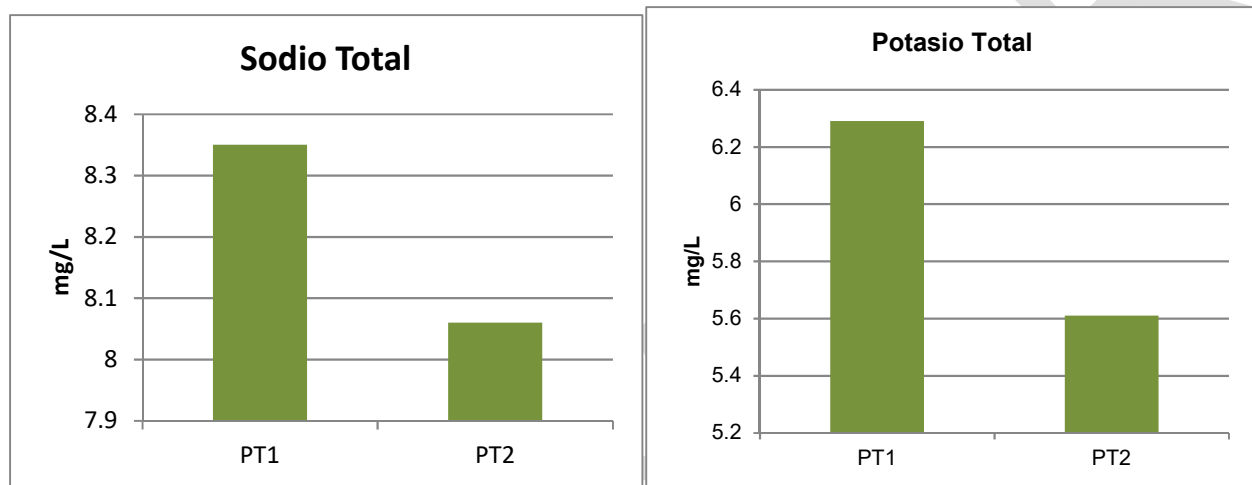


Fuente: INGETEC 2017.

El sodio es un metal muy activo, que no existe libre en la naturaleza. Todas las sales de sodio son muy solubles en agua, por lo que es muy común hallar aguas con sodio. El ión potasio procede de la meteorización de los feldspatos y ocasionalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas, en particular de sales tipo silvina (KCl) o carnalita (KCl MgCl₂). El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico.

El punto de agua PT1 presentó valores más altos de sodio y potasio frente a las concentraciones reportadas para el punto PT2. Véase Figura 149.

Figura 149 Sodio y Potasio en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot

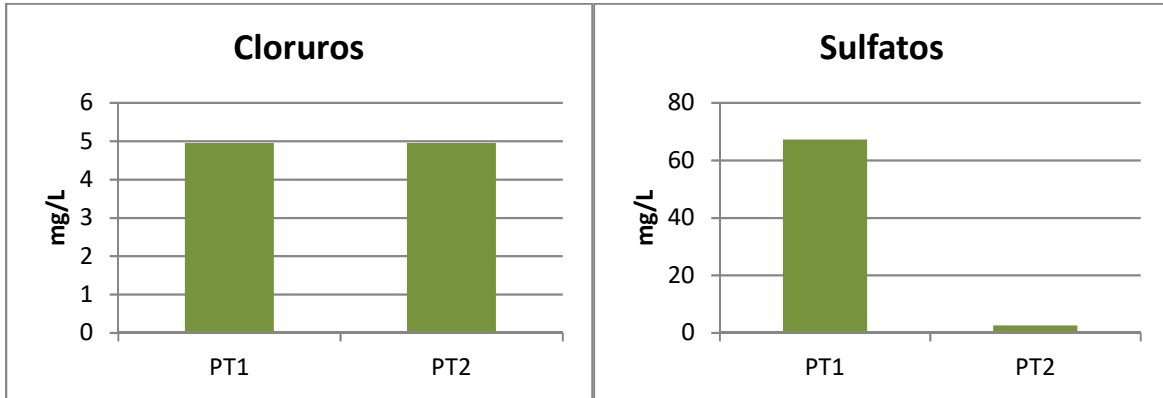


Fuente: INGETEC 2017.

El ión sulfato procede del lavado de terrenos formados en ambiente marino, de la oxidación de sulfuros que se encuentran ampliamente distribuidos en rocas ígneas y sedimentarias, de la descomposición de sustancias orgánicas. etc. Sin embargo, la disolución de yeso (CaSO₄ · 2H₂O) y anhidrita (CaSO₄) y otros tipos de sulfatos dispersos en el terreno, representa frecuentemente el aporte cuantitativamente más significativo de este ión a las aguas subterráneas.

El punto de agua PT1 reportó altos valores de sulfatos a diferencia del PT2; mientras que ambos puntos de monitoreo registraron bajos valores de cloruros (por debajo del límite de detección, según técnica utilizada). Véase Figura 150

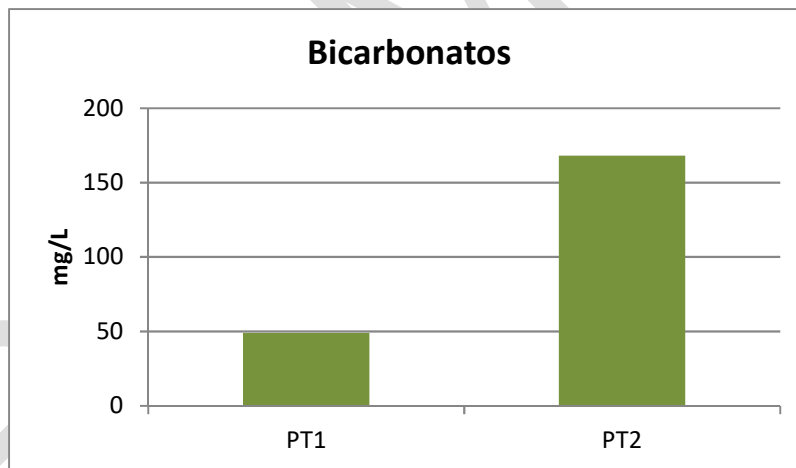
Figura 150 Cloruros y Sulfatos en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Fuente: INGETEC 2017.

Respecto a los bicarbonatos, se presenta mayor concentración en el punto PT2, incidiendo en la alcalinidad alta de esta agua subterránea. Ambos puntos de agua subterránea monitoreados reportaron concentraciones de carbonatos por debajo del límite detectable según técnica utilizada (<6 mg/L).

Figura 151 Bicarbonatos en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Fuente: INGETEC 2017.

Respecto a la presencia de metales pesados y fenoles en las aguas subterráneas, como se observa en la Tabla 126 se evidencia bajas concentraciones con valores por debajo del límite detectable según técnica utilizada.

Composición hidrogeoquímica

El origen de las aguas subterráneas y la composición química primaria se encuentra en el agua lluvia, una vez esta infiltrada dependerá directamente de los minerales con que entre en contacto en el acuífero, y del tiempo de interacción que tenga con ellos, el que puede llegar a ser de miles de años. Así, a mayor tiempo de permanencia en el acuífero, mayor será la cantidad de sales presentes en el agua, debido a la mayor disolución de éstas. Se determina una secuencia entonces, la cual dice que las aguas con menor tiempo de permanencia en el subsuelo serán generalmente bicarbonatadas, y con el paso del tiempo se vuelven sulfatadas y finalmente cloruradas.

Análogamente para los cationes, aguas inicialmente cálcicas pasan a ser magnésicas y luego sódicas:



Este análisis se basa en la relación que tienen los cationes y aniones mayores del agua subterránea con la composición mineralógica de las rocas por las cuales esta circula, incluyendo, además, el tiempo de permanencia y transporte. Los cationes que se analizan son el Calcio (Ca⁺⁺), Magnesio (Mg⁺⁺), Sodio (Na⁺) y el Potasio (K⁺), y los aniones analizados son, el Bicarbonato (HCO₃⁻), los Sulfatos (SO₄⁼) y los Cloruros (Cl⁻).

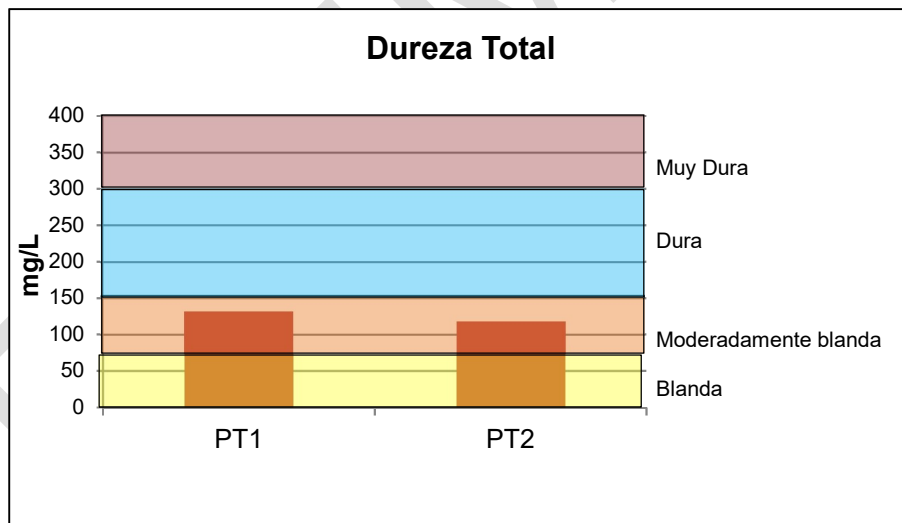
Clasificación por dureza

En términos de dureza, las aguas pueden clasificarse así:

0 - 75 mg/L	Blanda
75 - 150 mg/L	Moderadamente Blanda
150 – 300 mg/L	Dura
>300 mg/L	Muy Dura

Como se observa en la Figura 152 las aguas subterráneas monitoreadas en la unidad funcional 2, en la PT-01 se define como dura (valor obtenido de 132) y para la PT-02 como ligeramente dura (valor obtenido de 118).

Figura 152 Dureza Total en perforaciones agua subterránea UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Fuente: INGETEC 2017.

Clasificación por iones dominantes

La clasificación de las aguas subterráneas por iones dominantes corresponde al anión o catión que sobrepasa el 50% de la suma respectiva. En caso de no sobrepasar el 50%, se nombrarán los iones más abundantes. Para esta clasificación se emplean los diagramas de Piper y Stiff. En la Figura 153 se presenta la clasificación del tipo de agua conforme se ubique en el diagrama.

Figura 153 Tipos de agua Diagrama Piper

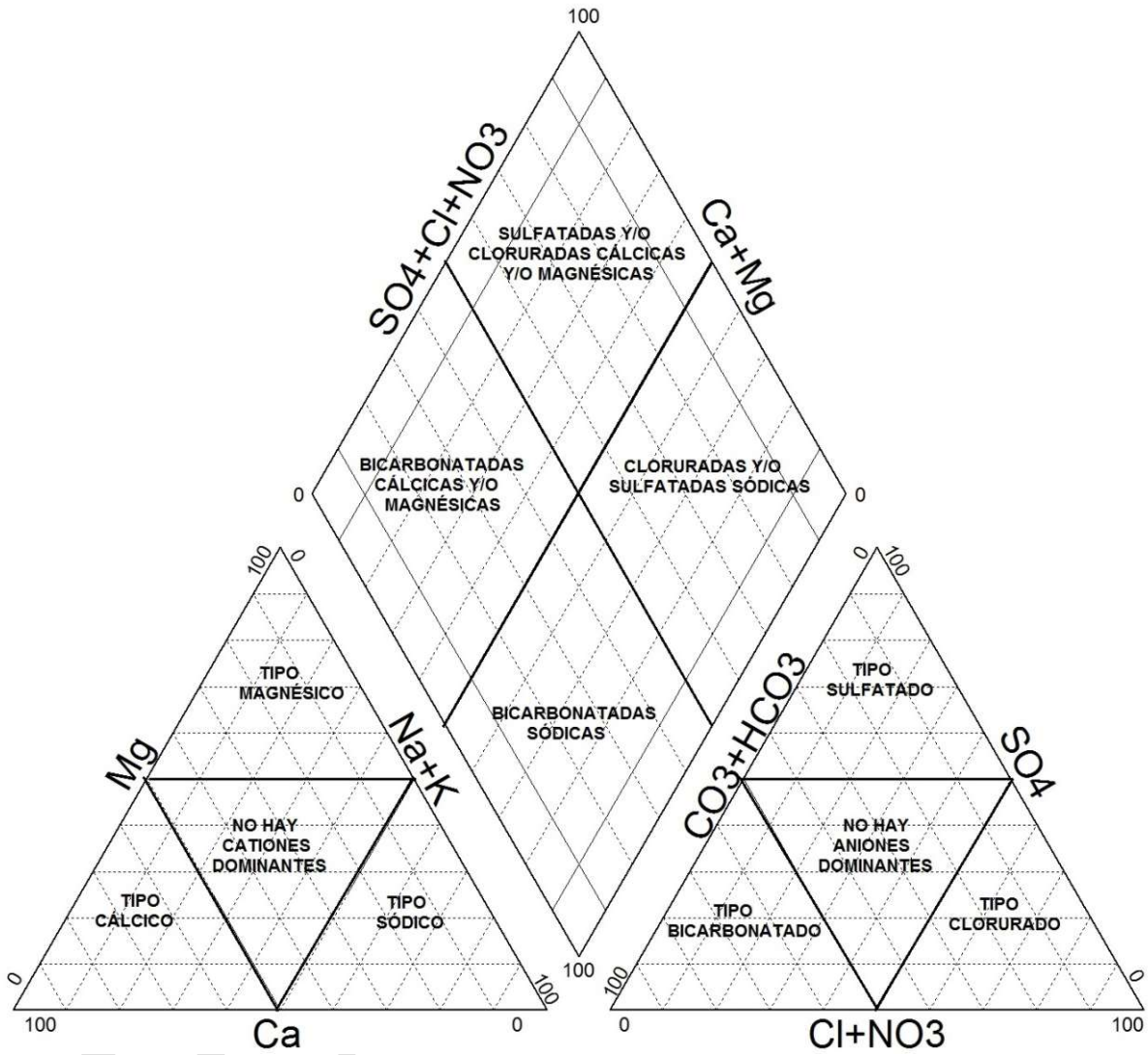
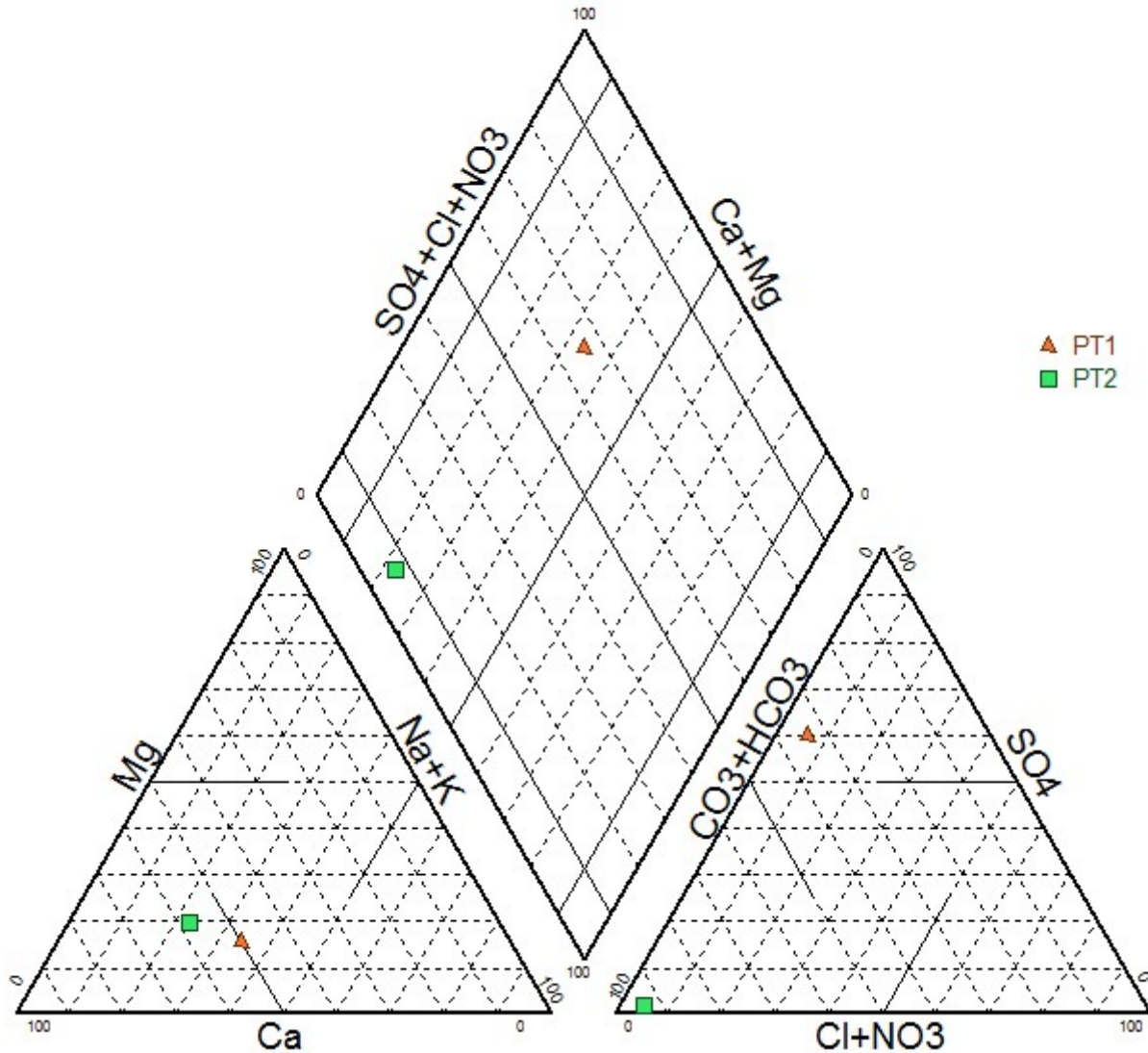


Figura 154 Diagrama Piper aguas subterráneas UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Fuente: INGETEC 2017.

De acuerdo al diagrama obtenido (Figura 154) y a la clasificación establecida en la Tabla 127, se observa que el agua del punto PT1 presenta dominancia de cationes de calcio pero en un porcentaje reducido, mientras que respecto a los aniones el agua se clasifica como sulfatada. El punto PT2 presenta una clasificación bicarbonatada cálcica.

Tabla 127 Composición del agua diagrama Piper UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot

Muestra	Cationes			Aniones		
	Calcio	Magnesio	Sodio + Potasio	Bicarbonatos	Cloruros	Sulfatos
PT1	51%	15%	34%	34%	6%	60%
PT2	58%	19%	22%	94%	5%	2%

Con relación a los cationes las aguas subterráneas en los dos puntos muestreados presentan composición cálcica, cuyas concentraciones se muestran a continuación:

Figura 155 Distribución de cationes en agua subterránea Túnel Ermitaño

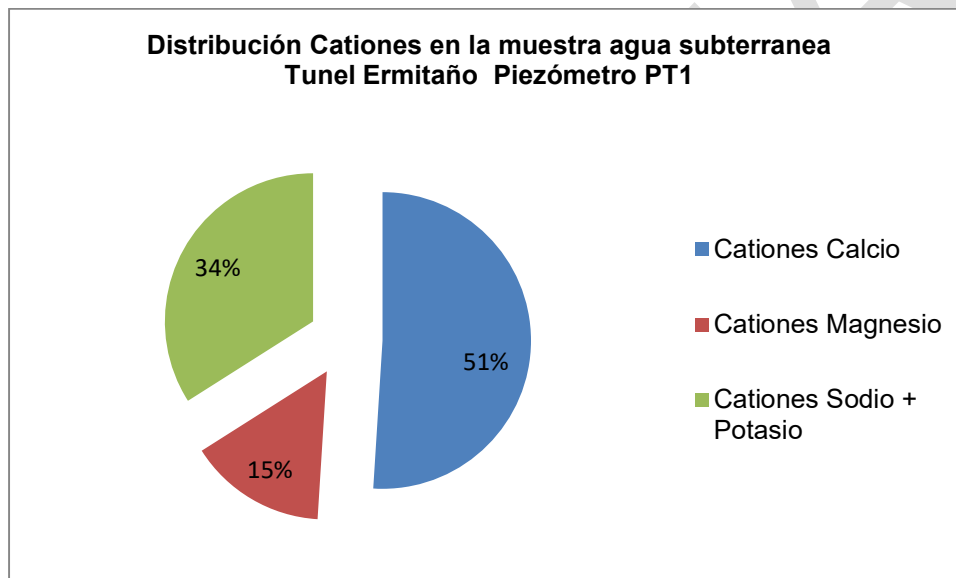
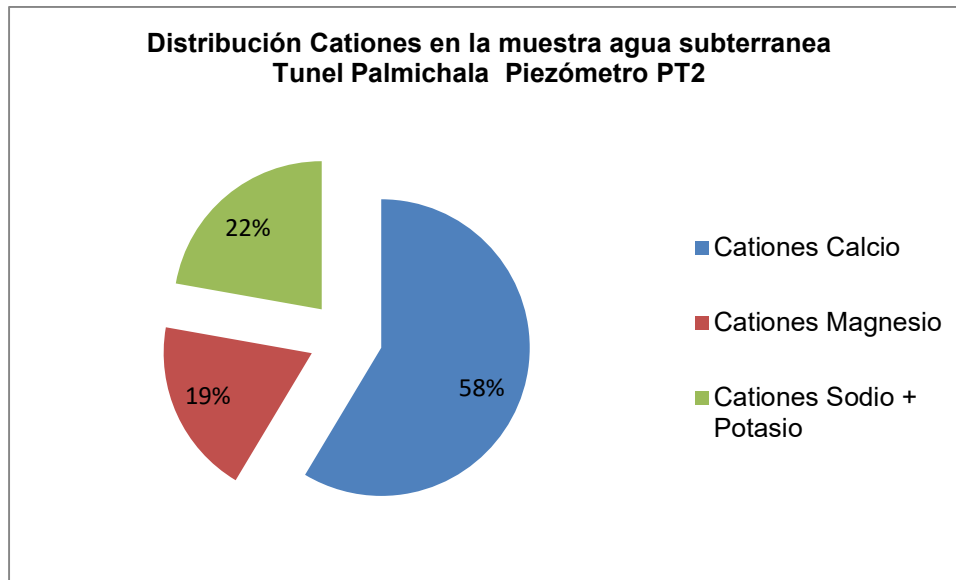


Figura 156 Distribución de cationes agua subterránea Túnel Palmichala



Con relación a los aniones, el punto PT1 se cataloga como aguas sulfatadas y el punto PT2 como aguas bicarbonatadas cuyas concentraciones se muestran a continuación:

Figura 157 Distribución aniones agua subterránea Túnel Ermitaño

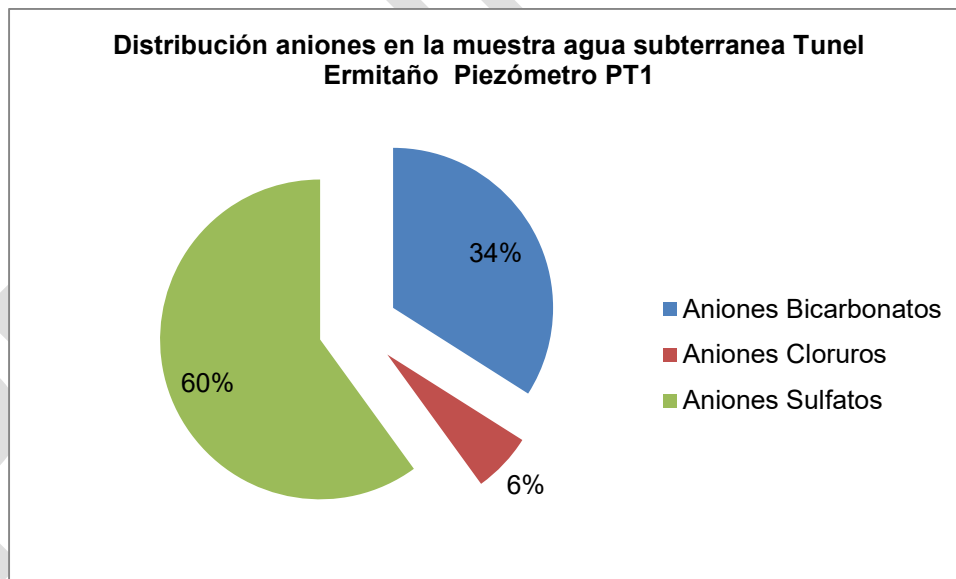


Figura 158 Distribución aniones agua subterránea Túnel Palmichala

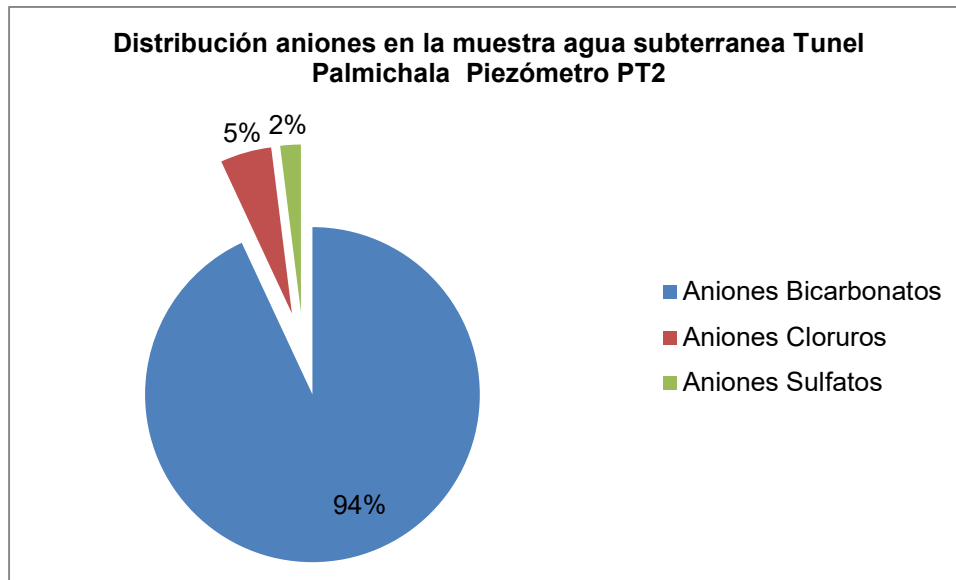
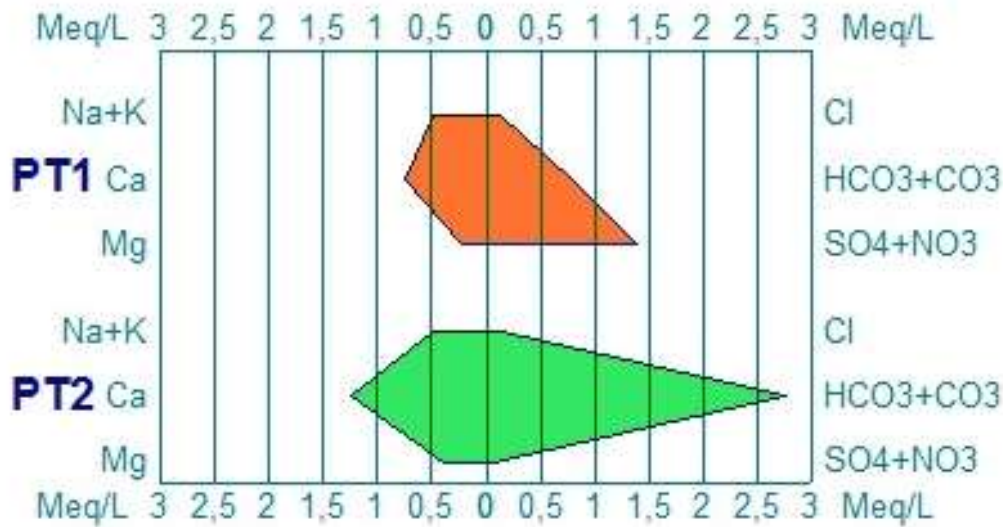


Figura 159 Diagrama Stiff aguas subterráneas UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Fuente: INGETEC 2017.

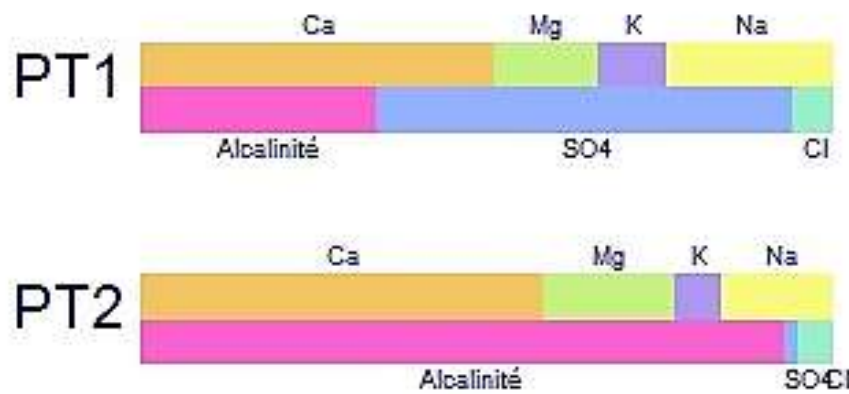
Los diagramas de Stiff nos muestran la clasificación presentada en la Tabla 128

Tabla 128 Composición del agua diagrama Stiff para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot

Punto	Clasificación
PT1	Aguas sulfatadas cálcicas
PT2	Aguas bicarbonatadas cálcicas

En general, se observa que las aguas del punto PT2 presenta una secuencia con predominancia bicarbonatada por lo que se infiere que corresponde a aguas con menor tiempo de permanencia en el subsuelo. El punto PT1 presenta predominancia sulfatada, por lo que se infiere que el agua subterránea en este punto presenta mayor tiempo de permanencia en el subsuelo que las del PT1. Sin embargo, ambos puntos de agua subterránea no presentan un tiempo de permanencia elevado teniendo en cuenta las bajas concentraciones de cloruros reportadas. Este quimismo también se observa en el diagrama de Stabler (Figura 160).

Figura 160 Diagrama Stabler aguas subterráneas UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Fuente: INGETEC 2017.

La predominancia de los bicarbonatos en el punto de agua subterránea PT2, incide en la clasificación de aguas con alta alcalinidad.



Conclusiones

Se realizaron dos puntos de muestreo de caracterización físico químico de las aguas subterráneas en cada uno de los piezómetros instalados, PT-1 Túnel Ermitaño y PT2 Túnel Palmichala. De acuerdo con los resultados de caracterización física química de las dos muestras de agua subterránea para la unidad funcional 2 se establece que:

Según los resultados de pH obtenidos, las aguas subterráneas presentan un comportamiento con tendencia a la acidez en la muestra PT1 mientras que en la PT2 presenta tendencia a la neutralidad.

Los valores de alcalinidad refleja en los cuerpos de agua la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Los resultados indican para la PT-01 alcalinidad baja y para la PT-02 alta. Lo anterior refleja de manera coherente los resultados con la relación litológica de la zona saturada, los valores de alcalinidad para la PT-01 están asociados a ambientes sedimentarios marinos con escaso calcio y magnesio y menor alcalinidad; los valores para la PT-02 reflejan condiciones de origen continental arcillosos más bicarbonatadas cálcicas.

En el punto PT1 presenta valores más altos de sodio y potasio frente a las concentraciones reportadas para el punto PT2. Los valores son coherentes con el tipo de acuífero asociado a cada punto. En el PT1 se relaciona al acuífero de la Formación Arenisca Media cuya composición litológica está constituida por rocas siliciclásticas y calcáreas, mientras la PT2 a un acuífero libre asociado a un depósito coluvial.

El ion sulfato procede del lavado de terrenos formados en ambiente marino. Los resultados obtenidos del ion sulfato reflejan para el PT1 altos valores a diferencia del PT2; mientras que ambos puntos de monitoreo registraron bajos valores de cloruros (por debajo del límite de detección, según técnica utilizada). La escasa concentración de cloruros, calcio y magnesio y valores altos de sulfatos en la PT1 representa claramente las características de las rocas sedimentarias marinas arcillosas de la Formación Arenisca Media (Ksom) donde se encuentra la superficie freática analizada.

Respecto a los bicarbonatos, se presenta mayor concentración en el punto PT2, incidiendo en la alcalinidad alta del agua subterránea en este sitio. Lo anterior, representa la concordancia de los resultados con el ambiente de formación del acuífero libre (Depósito coluvial) que contiene la superficie freática que es de origen continental.

La clasificación según Custodio y Llamas (1976), y según Pérez (1997) para el parámetro de dureza en la PT-01 se define como dura (valor obtenido de 132) y para la PT-02 como ligeramente dura (valor obtenido de 118). Se consideran aguas blandas valores admisibles menores a 100 mg/l.

De acuerdo con los valores obtenidos del color real, las muestras de la PT-01 se clasifican como aptas para el consumo humano. Los valores obtenidos para la PT-02 exceden el valor admisible para ser aptas para consumo humano ya que sobrepasan los 15 UPC. La turbidez para la PT-01 y PT-02 se encuentran dentro de los valores admisibles <2,0 UNC (según la Res. 2115 de 2007).

Las concentraciones de calcio total respecto a las de magnesio y sodio representan el dominio de un ambiente calcáreo.

Las concentraciones de oxígeno disuelto representan un indicador de las condiciones bioquímicas en el sitio respecto a la oxidación de la materia orgánica. Los valores obtenidos para la PT-01 fueron de 1,39 y para la PT-02 de 2,79. Lo anterior refleja que la capacidad de infiltración es más rápida y mayor en el túnel Palmichala ya que los valores son mayores que en la PT-01 con mayor oxidación de la materia orgánica por el oxígeno disuelto.

La muestra PT1 Túnel Ermitaño, presenta dominancia de cationes de calcio pero en un porcentaje reducido, mientras a los aniones el agua se clasifica como sulfatada. La muestra PT2 Túnel Palmichala, presenta una clasificación bicarbonatada cálcica.

5.1.8.7. Modelo geológico

En el trazado de los alineamientos de los cuatro túneles cortos, afloran rocas sedimentarias del Grupo Olini y depósitos cenozoicos de edad Plioceno – Holoceno representados por depósitos coluviales y aluviales a lo largo de la margen izquierda del río Sumapaz (Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0. Mapa Geológico). El estilo estructural del área de influencia es complejo, con presencia de zonas de deformación y alto fracturamiento compresivo en las unidades de roca, que ha dado la configuración actual al sistema montañoso de la cuenca media del río Sumapaz, donde predominan fallas inversas de cabalgamiento con dirección N-NE, así como algunos lineamientos en dirección NW - SE.

Los túneles cortos van a ser excavados en rocas sedimentarias principalmente representadas por rocas del Grupo Olini y la Formación Conejo. Corresponden a estratos competentes de; areniscas con intercalaciones de liditas, limolitas y lutitas. Las areniscas en general se presentan en bancos gruesos o estratificación gruesa, con rocas de resistencia media a alta y módulo relativo medio. El comportamiento de estas rocas tiene tendencia a presentar características de rocas con comportamiento frágil. La descripción en detalle de la geología del área de influencia de la UF-2 se expone en el numeral 5.1.1 Geología.

A continuación se presentan las principales características geológicas - estructurales para cada uno de los túneles cortos proyectados en la Unidad Funcional 2, las cuales definen el modelo geológico estructural del área de influencia (Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0) que constituye el insumo para el modelo hidrogeológico conceptual del proyecto (Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0):

5.1.8.7.1. Túnel Ermitaño

El Túnel Ermitaño atravesará la Formación Arenisca Media del Grupo Olini, afectadas por las fallas F1 y F2. Estas fallas se han cartografiado en campo teniendo en cuenta las zonas de deformación, fracturamiento y cambios en la disposición estructural de los estratos. Estos rasgos son más evidentes en la Falla F1, donde en el bloque yacente, los estratos se presentan verticalizados en contraste con los del bloque colgante, donde se observan suavemente replegados. Ver Figura 161 y Figura 162. Anexo MH - Secciones geológicas Túneles Cortos.

Hacia el portal de salida del túnel se presentan depósitos coluviales locales de baja extensión, cuyo espesor alcanza los 8 m de profundidad con base en la información de subsuelo (Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0. Mapa Geológico) y Anexo MH - Secciones geológicas Túneles Cortos.

5.1.8.7.2. Túnel Divino Niño

En la zona de los portales se identificaron depósitos Coluviales de bajo espesor, con procesos morfodinámicos tipo caídas de bloques de roca debido al fracturamiento ortogonal por los sistemas de discontinuidades que favorece el desprendimiento de bloques angulares a la vía existente. El Túnel del Divino Niño, cortará rocas de la Formación Arenisca Media del Grupo Olini, la cual está afectada por zonas de falla evidenciadas por el aumento del grado de fracturamiento de la roca y por el cambio de la disposición estructural de la estratificación de la formación, la Falla F3 en dirección al portal de entrada y la Falla F4 en dirección al portal de salida (Figura 163 y Figura 164).

Entre ambas fallas (Falla 3 y 4), se observa una estructura anticlinal tumbada y apretada, cuyo eje es paralelo a las fallas mencionadas. Debido a la condición estructural en este túnel por las fallas locales y el plegamiento compresivo evidenciado en el anticlinal tumbado, se presenta un alto fracturamiento en la roca atribuyéndole una mayor porosidad secundaria efectiva. Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0. Mapa Geológico y Anexo MH - Secciones geológicas Túneles Cortos.

Figura 161 Planta perfil Geológico Longitudinal Túnel 1 Ermitaño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

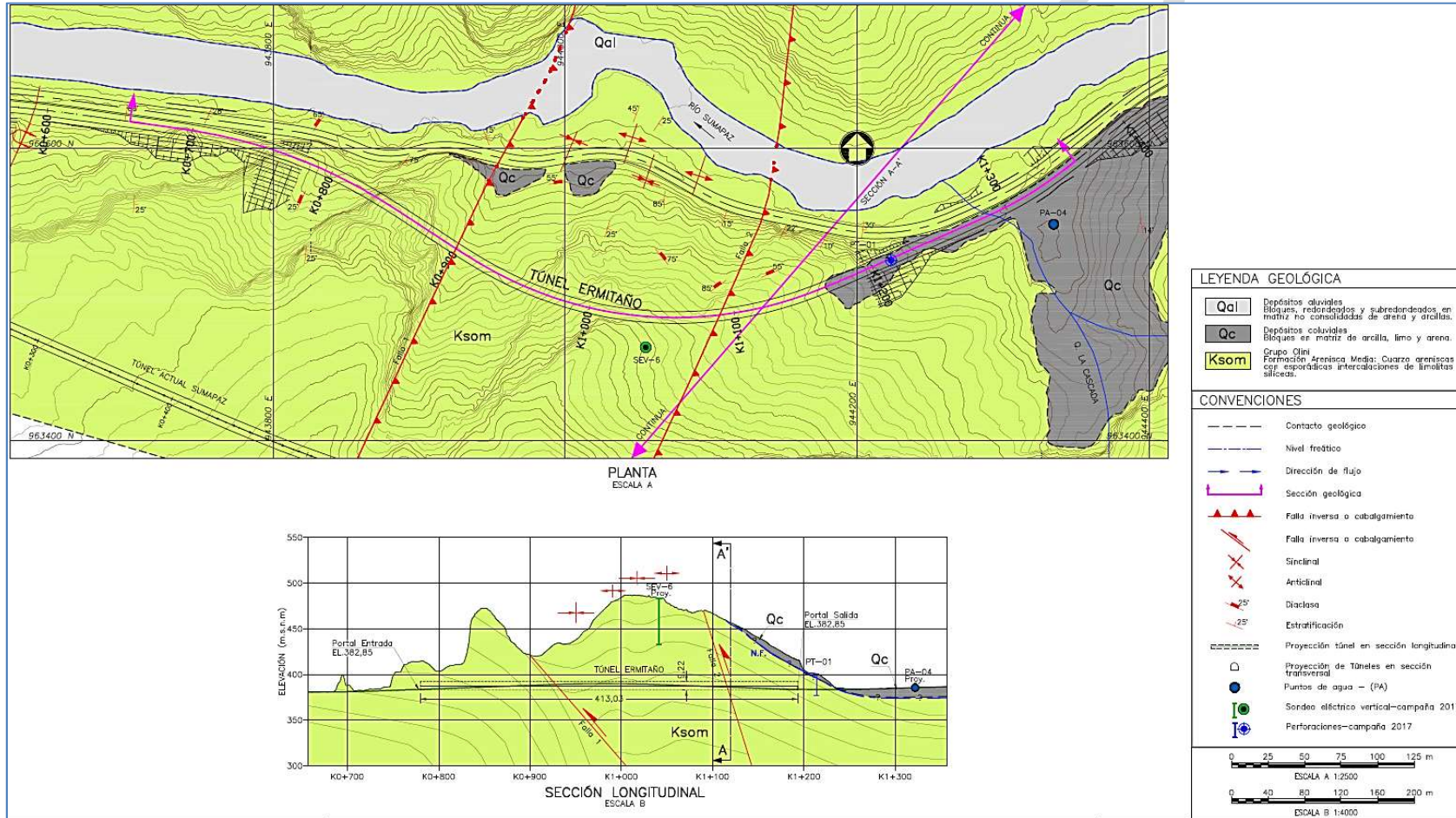


Figura 162 Planta perfil Geológico Transversal Túnel 1 Ermitaño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

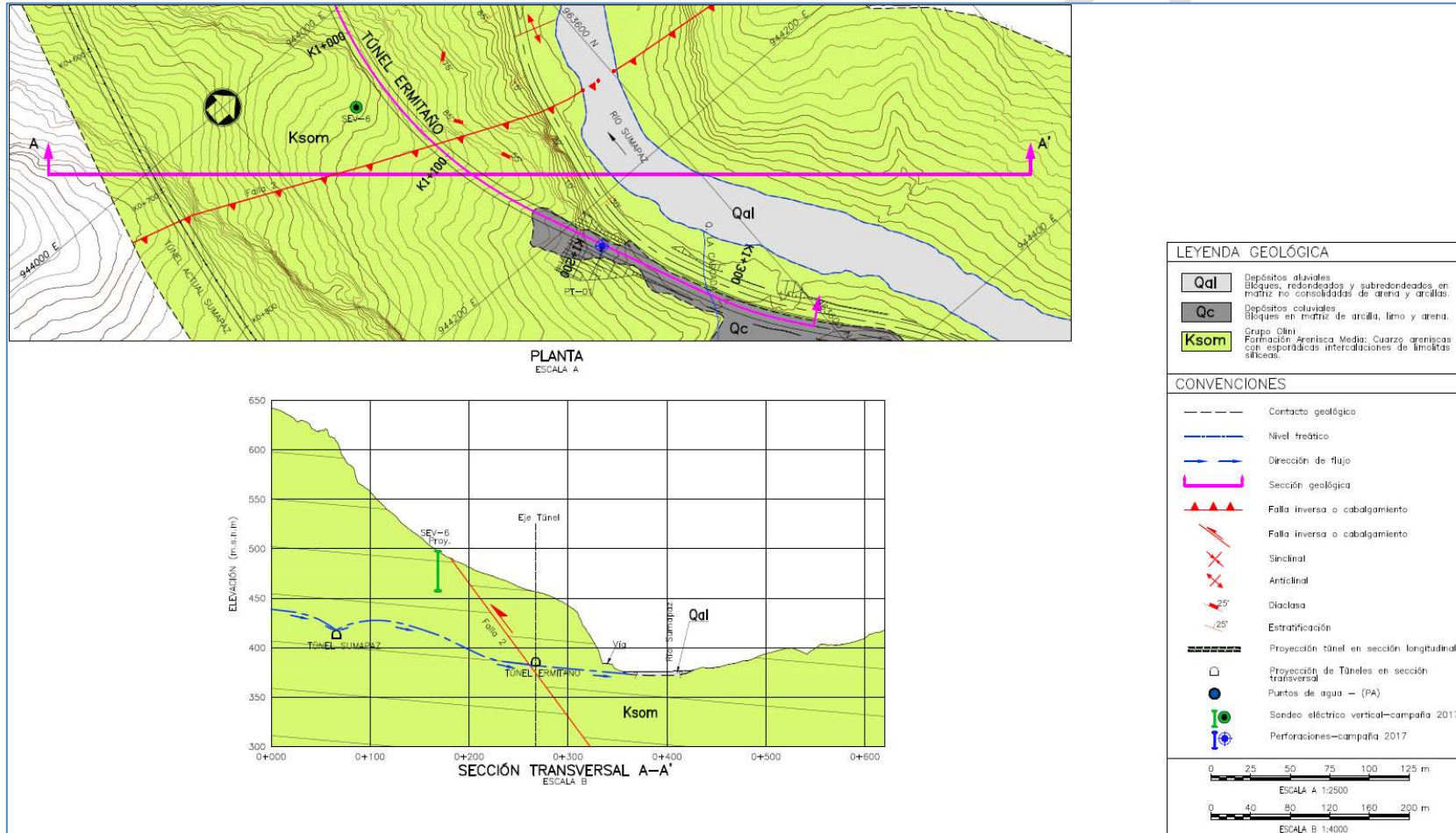


Figura 163 Planta perfil Geológico Longitudinal Túnel Divino Niño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

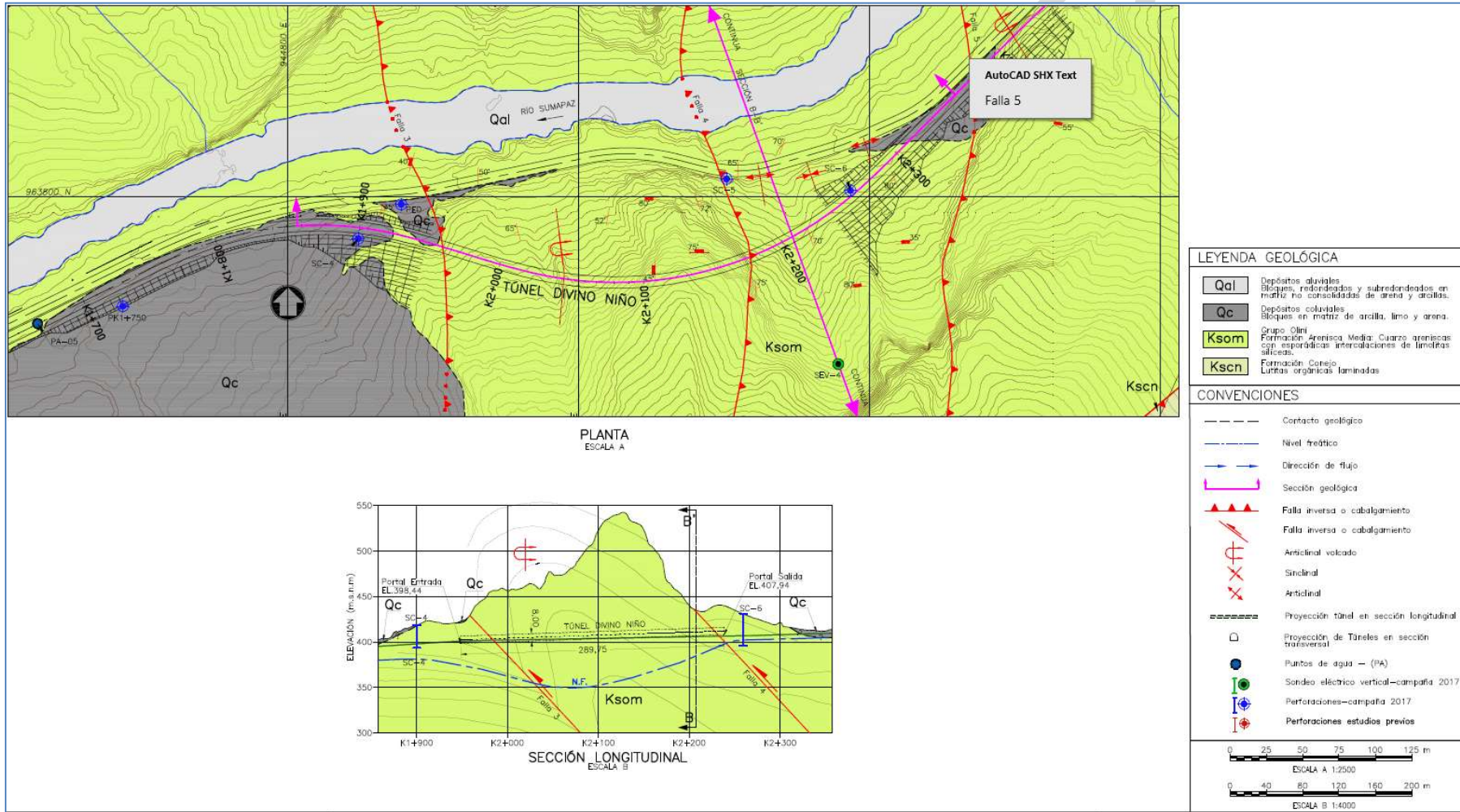
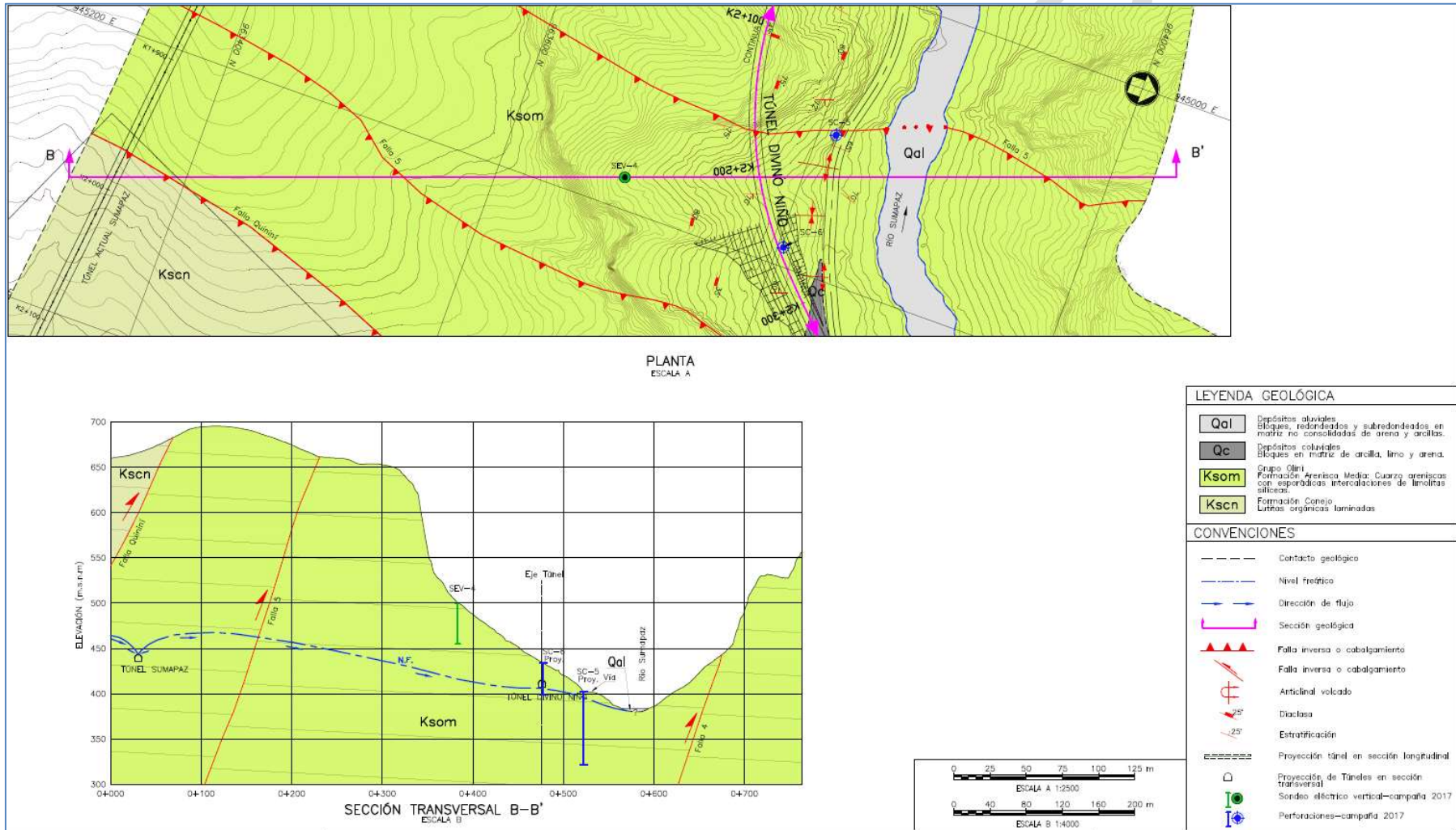


Figura 164 Planta perfil Geológico Transversal Túnel Divino Niño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017



5.1.8.7.3. Túnel Palmichala

Las excavaciones del Túnel Palmichala, se realizarán principalmente en las rocas de la Formación Arenisca Media (Ksom), incluye capas de cuarzo areniscas con intercalaciones de limolitas silíceas; en los sitios de portal del túnel, principalmente en el de salida en los primeros 150 m del tramo inicial de excavación se estableció a partir de las exploraciones del subsuelo ejecutadas que atravesará un depósito coluvial de gran espesor y distribución en planta (véase Figura 165 y Figura 166). Adicionalmente, en el portal de salida se ha interpretado el contacto fallado entre la Formación Arenisca Media (Ksom) en el bloque yacente con la Formación Lidita Inferior (Ksli) en el bloque cabalgante por medio de la Falla Quinini, la cual a su vez está cubierta por el depósito coluvial cuyo espesor se ha estimado entre 30 y 76 m de profundidad acorde con las perforaciones ejecutadas en este sitio. Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0. Mapa Geológico y Anexo MH - Secciones geológicas Túneles Cortos.

El portal de entrada del túnel 3 Palmichala, las rocas de la Formación Arenisca Media (Ksom) del Grupo Olini, presentan una estratificación constante hacia el ESE (ver numeral 5.1.1.1), con variaciones en ángulo hacia el portal de salida donde se ha interpretado una estructura anticlinal tumbada paralela a la Falla F5, en el bloque cabalgante de esta falla (véase Anexo MH - Secciones geológicas Túneles Cortos). El Túnel Palmichala cuenta con seis perforaciones indicadas en la Tabla 119 a la Tabla 122, las cuales permiten establecer con mayor certidumbre la variación vertical y lateral de las unidades geológicas en el Túnel 3 y la estimación de los niveles piezométricos (Figura 167 y Figura 168). Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0. Mapa Geológico.

5.1.8.7.4. Túnel Nariz del Diablo

Acorde con el modelo geológico del área de influencia de la UF-2, las excavaciones del Túnel 4 se realizarán en las rocas sedimentarias de las tres formaciones litológicas que conforman el Grupo Olini (Figura 16 hasta la Figura 169).

Estas unidades presentan estratificación continua con buzamiento entre 35° a 50° hacia el ESE. En el portal de entrada hasta aproximadamente los 220 m iniciales se excavarán en rocas de la Formación Lidita Superior (Ksli), luego se estima que 370 m se desarrollará en rocas de la Formación Arenisca Media (Ksom) y hasta el portal de salida en Rocas de la Formación Lidita Superior (Ksls). Tanto el portal de entrada como el portal de salida se localizan en roca, el primero en las liditas inferiores con niveles de chert y el segundo en las liditas superiores con intercalaciones de lodolitas. En el alineamiento de este túnel, no se evidenciaron estructuras geológicas como pliegues o fallas, las exploraciones no arrojaron registro de niveles freáticos por encima de la cota de la solera del túnel proyectado. Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0. Mapa Geológico y Anexo MH - Secciones geológicas Túneles Cortos.

Figura 165 Planta perfil Geológico Longitudinal Túnel Palmichala con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

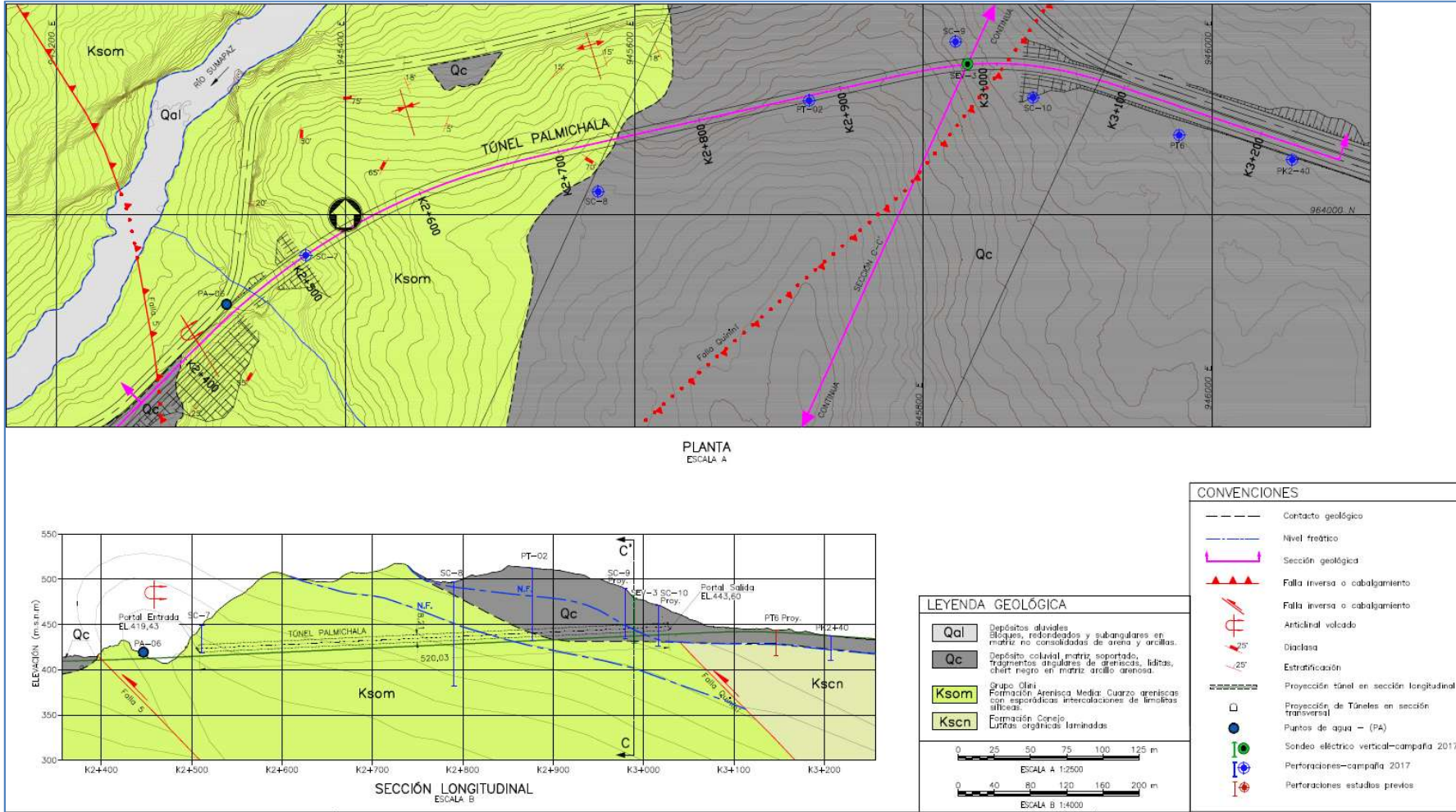


Figura 166 Planta perfil Geológico Transversal Túnel Palmichala con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

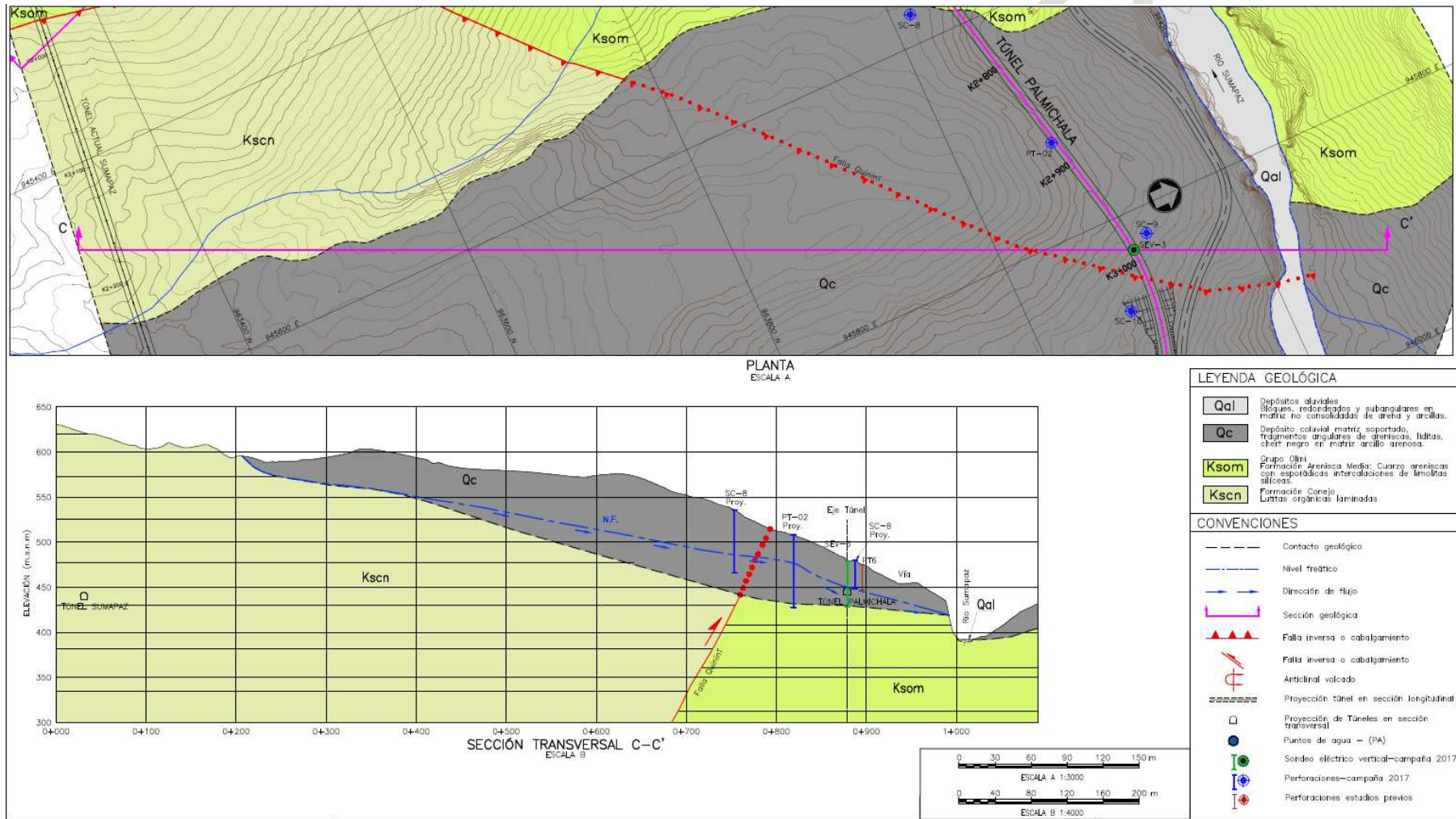


Figura 168 Planta perfil Geológico Transversal Portal de Entrada (PE) Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

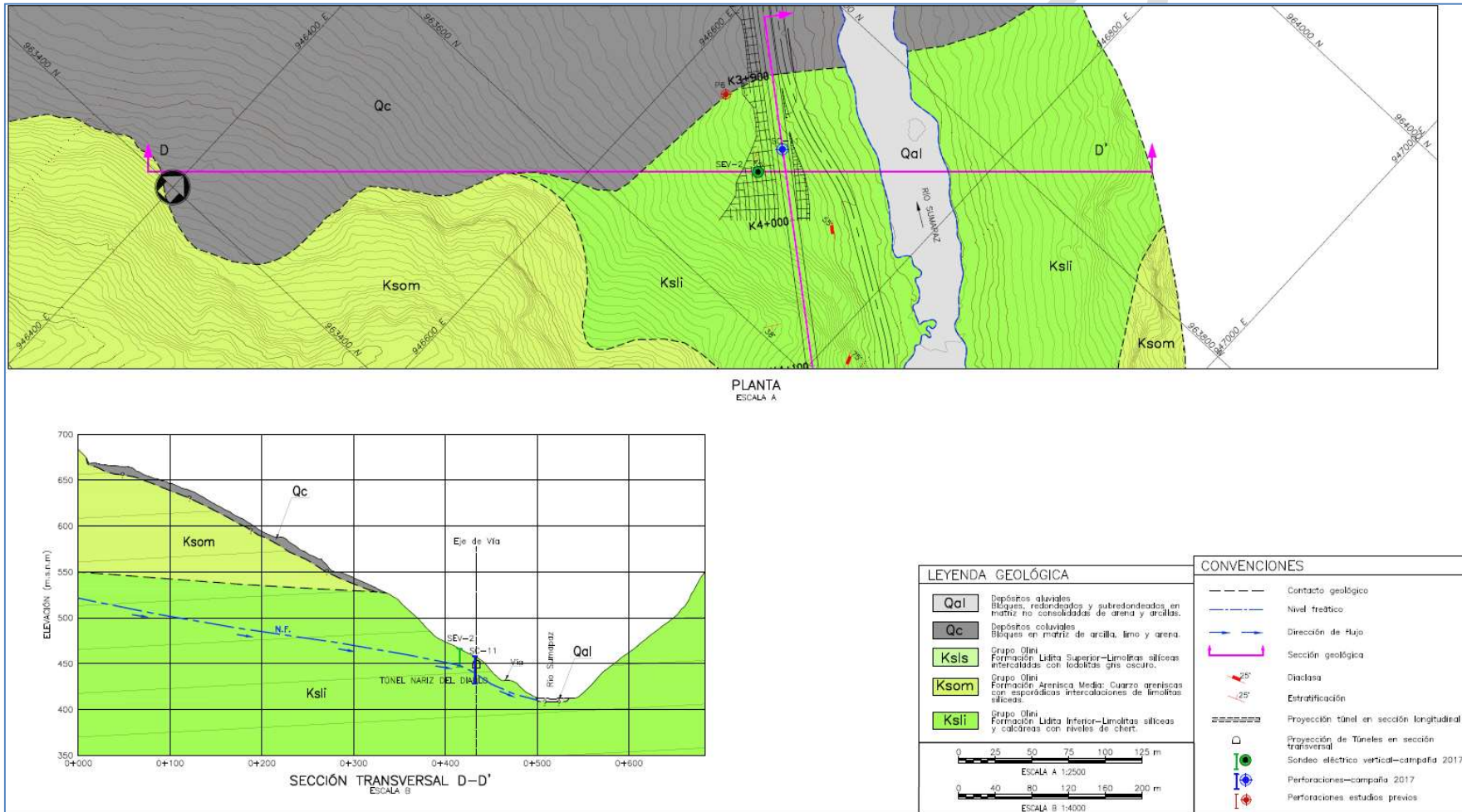
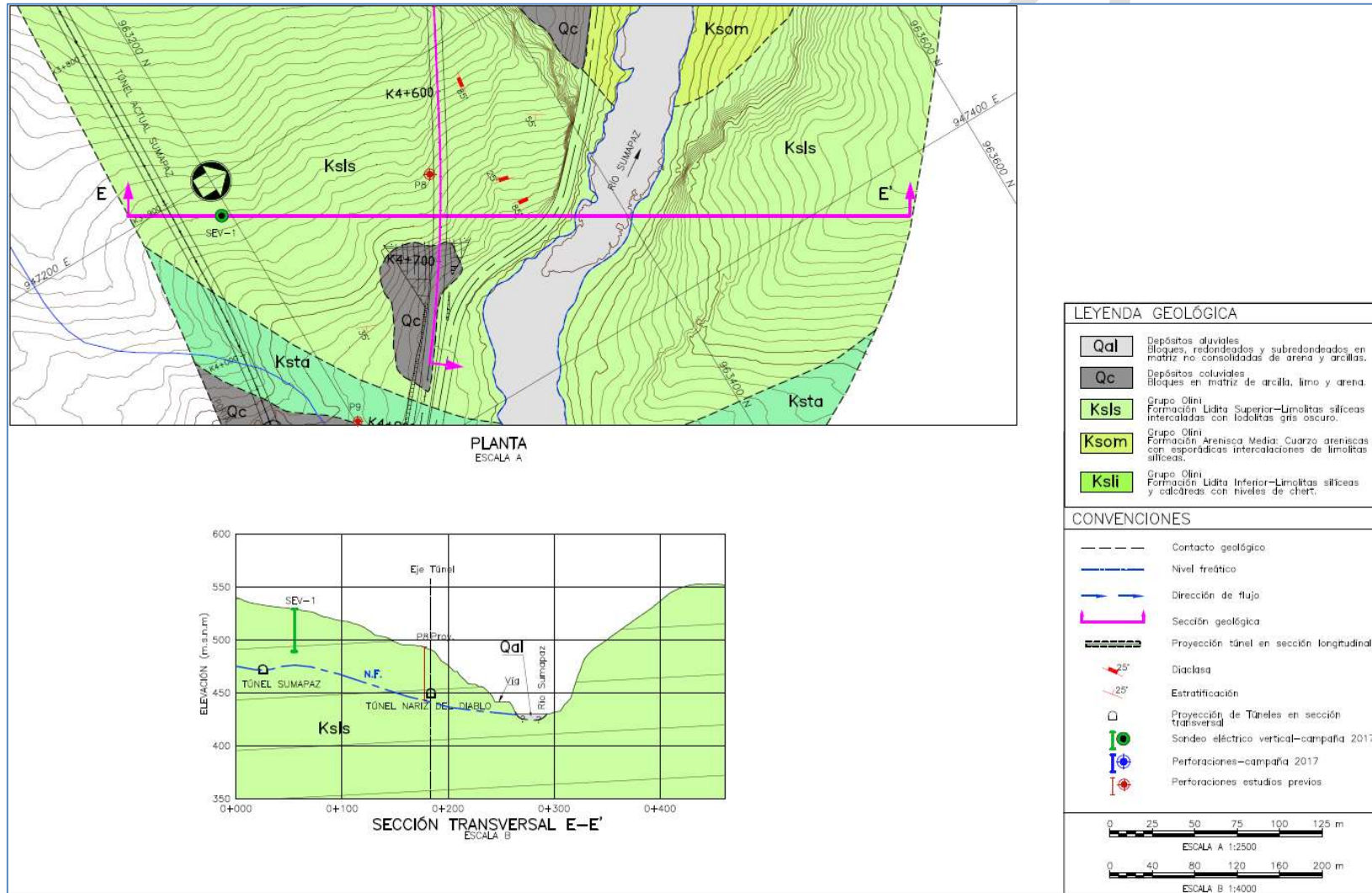


Figura 169 Planta perfil Geológico Transversal Portal de Salida (PS) Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017





5.1.8.8. Estudio Geoeléctrico

Dentro de los métodos geofísicos, la geoeléctrica es la de mayor aplicación para el estudio del subsuelo en la exploración y evaluación de zona acuíferas debido a sus bajos costos, su relativa facilidad de aplicación y la posibilidad de correlación de sus resultados (valores de resistividad) con el grado de saturación de las rocas, cambios litológicos y con la calidad del agua (de salobre a dulce), permite además la discriminación de capas geológicas permeables e impermeables, saturadas y no saturadas.

Para el Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) de la Unidad Funcional 2, se ejecutaron en total seis (6) sondeos eléctricos verticales (SEV) con un alcance entre 20 y 45 m de profundidad. La distribución y localización de las exploraciones geoeléctricas se ilustran en el Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y en el Anexo MH - Registros Geoeléctricos UF-2.

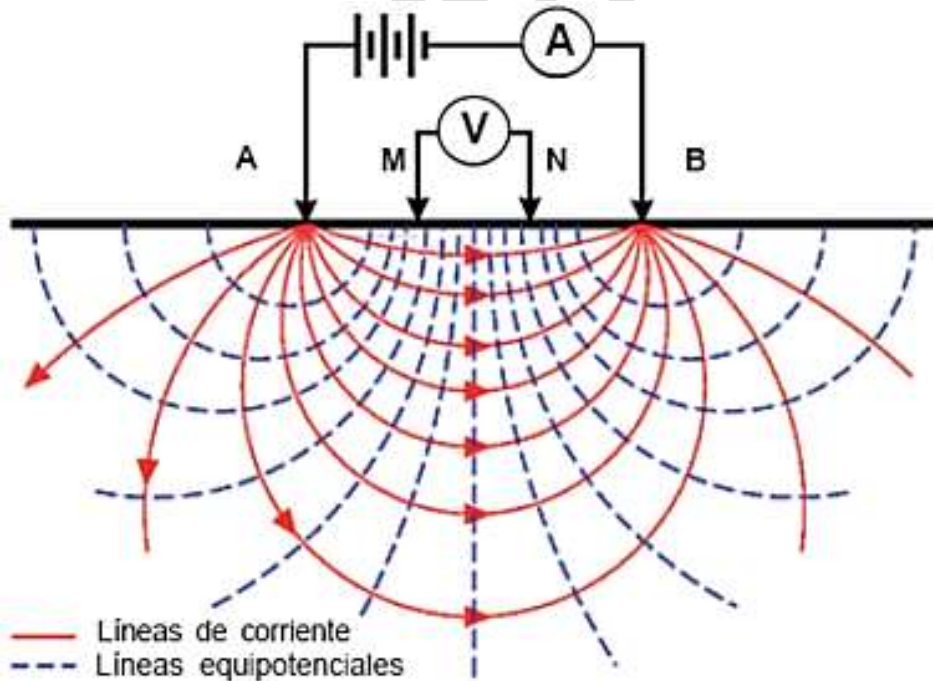
5.1.8.8.1. Metodología Sondeos Eléctricos Verticales – SEV

La metodología aplicada en los SEV, comprende básicamente la adquisición de datos en campo, el procesamiento de la información y la interpretación de la información. La adquisición de los datos en los SEV ejecutados para este proyecto, se realizó con un medidor de resistividad marca Allied Associates, con sus respectivos electrodos y cables para corriente y potencial.

Especificaciones Técnicas SEV

Un SEV se efectúa mediante la disposición de cuatro electrodos (Puntos A, B, M y N en la Figura 170), colocados sobre una superficie en línea recta, de forma simétrica con respecto a un punto central.

Figura 170 Esquema de un Sondeo Eléctrico Vertical - SEV



A través de los electrodos exteriores (A y B) se pasa una corriente eléctrica por el subsuelo y esto produce una caída de potencial entre los 2 electrodos interiores. Para iniciar el sondeo, se colocan los electrodos de corriente a una distancia media ($AB/2$) de 1,5 m y los electrodos de potencial a una distancia media de 0,5 m ($MN/2$). En la distribución Schlumberger, implementada en la investigación geoeléctrica, en cada sondeo se

realizó una serie de medidas aumentando, cada vez la distancia AB. La distancia entre los electrodos de potencial (M y N) se amplía cuando la caída de potencial disminuye de tal manera que se dificulte su lectura.

Para cada lectura de intensidad de corriente y de diferencia de potencial y teniendo en cuenta la distancia en cada punto, se obtiene la resistividad eléctrica específica de acuerdo a la Ley de Ohm.

$$R = \frac{v}{i}$$

La resistividad eléctrica, diferente de la resistencia eléctrica, es el parámetro buscado porque permite caracterizar o distinguir unos materiales de otros (ver Anexo MH - Registros Geoeléctricos UF-2). La resistividad obtenida de un ensayo en campo o sondeo eléctrico vertical (SEV), es en realidad una resistividad aparente teniendo en cuenta que el subsuelo no es homogéneo, ni lineal, ni isotrópico. El paso posterior fue el de realizar la inversión de los datos obtenidos en campo mediante el software RES1D (ver Anexo MH - Registros Geoeléctricos UF-2).

Una sola curva ofrece múltiples posibilidades de interpretación. Para evaluar apropiadamente el área, fue necesario efectuar un número significativo de sondeos con perforaciones para calibrar el modelo geoeléctrico, lo cual permitió reconocer una tendencia en la estructura del subsuelo; los SEV's en el área de influencia del proyecto fueron corroborados con todas las perforaciones ejecutadas en los estudios del túnel actual y las campañas de investigaciones desarrolladas por TAT e INGETEC en el año 2017. Véase Anexo MH – Secciones Hidrogeológicas Túneles Cortos UF-2.

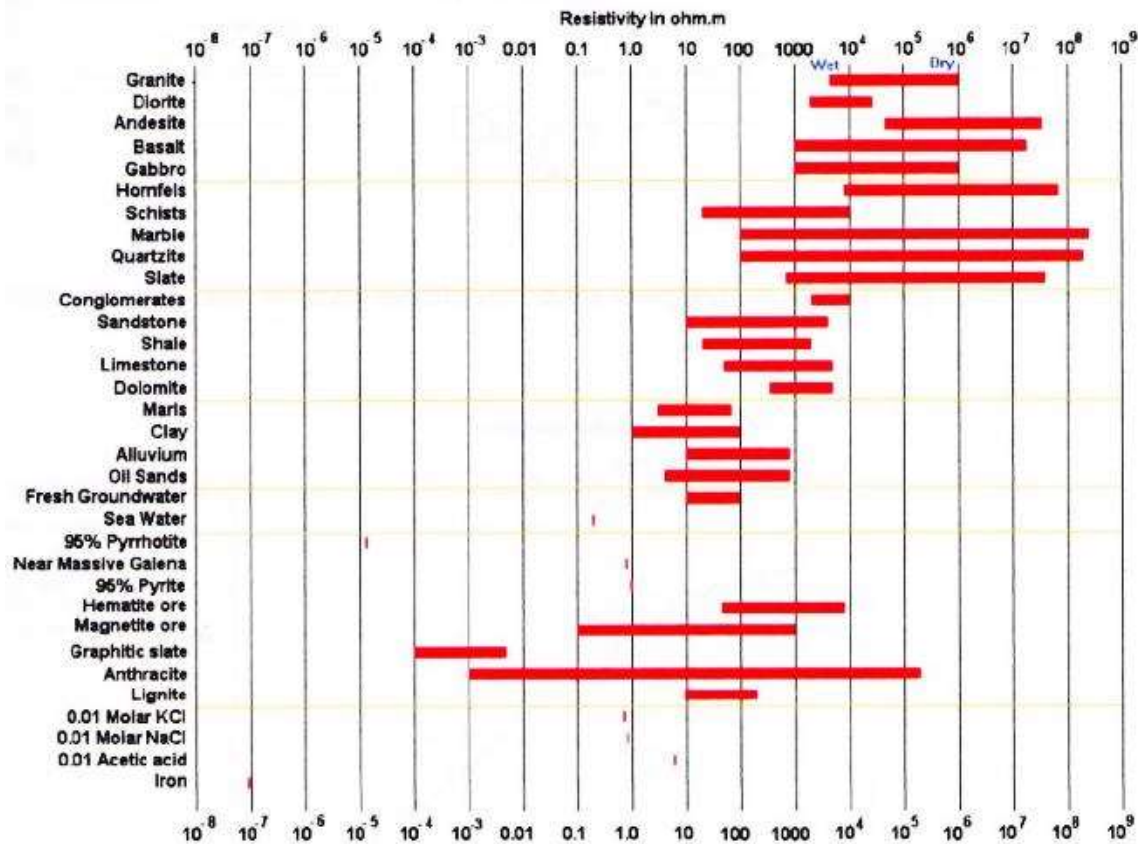
De acuerdo con Keller y Frischknecht 1966, Daniels y Alberty 1966, los valores de resistividad para los diferentes materiales o medio, se establecen como rangos, es decir, no se puede establecer un único valor de resistividad por tipo de material. En el caso del presente estudio, el objetivo fue identificar niveles de agua o acuíferos dentro de la zona de estudio, según los autores antes mencionados valores de resistividad entre 10 y 100 ohm-m son indicadores de agua de acuerdo con el modelo geológico del AI de la UF-2.

Las investigaciones de resistividad eléctrica o geoeléctrica, dan una imagen de la distribución promedio de la resistividad del subsuelo. Para convertir o interpretar esta imagen en una estructura geológica, es muy importante y necesario conocer como varía este parámetro en los diferentes tipos de materiales que constituyen el subsuelo y en las estructuras geológicas del área bajo estudio.

La Figura 171, describe las rocas ígneas y metamórficas que típicamente tienen altos valores de resistividad. La resistividad de estas rocas depende del grado de fracturación y del porcentaje de agua que rellena las fracturas del macizo. Las rocas sedimentarias comúnmente son más porosas y tienen un alto contenido de agua, lo que normalmente hace disminuir los valores de resistividad.

Los suelos húmedos y el agua fresca del terreno presentan valores de resistividad aún más bajos. En los suelos arcillosos, las resistividades son normalmente menores que las correspondientes a suelos arenosos. Sin embargo, se destaca que existe una superposición en los valores de resistividad de las diferentes clases de rocas y suelos. Esto se debe a que este parámetro depende de un número de factores tal como la porosidad, el grado de saturación y concentración de sales disueltas.

Figura 171 Resistividades de algunas Rocas. Fuente: Keller y Frischknecht 1966, Daniels y Alberty, 1966.



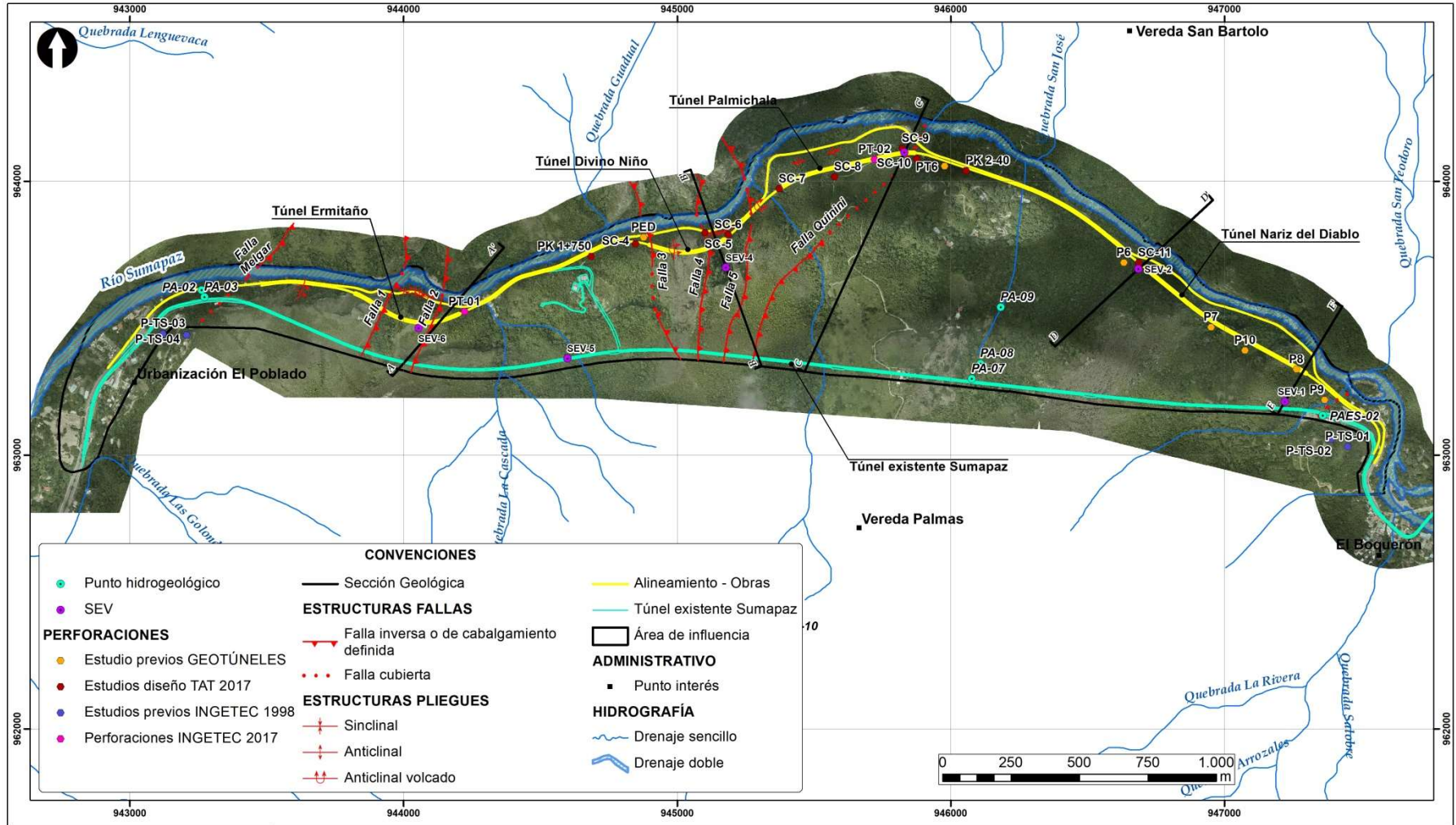
5.1.8.8.2. Exploración geoelectrica

Para el Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC) del área de influencia UF-2, se ejecutaron seis (6) sondeos eléctricos verticales (SEV) con tendidos entre 200 y 250 m (Figura 172). La campaña geoelectrica permitió obtener información de resistividades desde 20 hasta 45 m de profundidad la cual fue verificada con cada uno de los registros litológicos de perforación ejecutados en el área del proyecto. La localización de los SEV's ejecutados en la campaña INGETEC (2017) se describen en la Tabla 129.

Tabla 129 Relación de los Sondeos Eléctricos Verticales – SEV ejecutados en la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

ID	CATEGORIA	COOR_ESTE	COOR_NORTE	OBSERVACIONES
SEV-1	SEV	947.221	963.195	Sondeo Eléctrico Vertical INGETEC Campaña Julio 2017
SEV-2	SEV	946.685	963.679	Sondeo Eléctrico Vertical INGETEC Campaña Julio 2017
SEV-3	SEV	945.831	964.104	Sondeo Eléctrico Vertical INGETEC Campaña Julio 2017
SEV-4	SEV	945.179	963.684	Sondeo Eléctrico Vertical INGETEC Campaña Julio 2017
SEV-5	SEV	944.599	963.352	Sondeo Eléctrico Vertical INGETEC Campaña Julio 2017
SEV-6	SEV	944.055	963.464	Sondeo Eléctrico Vertical INGETEC Campaña Julio 2017

Figura 172 Ortofoto que ilustra la distribución de los Sondeos Eléctricos Verticales – SEV (puntos en morado) ejecutados en el área de influencia de la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017



5.1.8.8.3. Modelo geológico – geoelectrico

Desde el punto de vista hidrogeológico, se pretende con la interpretación de los SEV's ejecutados para el AI, generar un modelo de la composición del subsuelo en profundidad, que permita además, según los contrastes de resistividades, diferenciar tipos de rocas e identificar estratos saturados de agua dulce principalmente.

Las medidas realizadas en campo, se representan en un gráfico logarítmico, donde la distancia AB/2 se ubica en las abscisas, y la resistividad aparente en las ordenadas (Figura 130). La interpretación de estas curvas se realiza en forma manual con la utilización de ábacos o mediante la utilización de software de una manera automática, siendo actualmente la más empleada. Ver Anexo MH - Registros Geoelectricos UF-2.

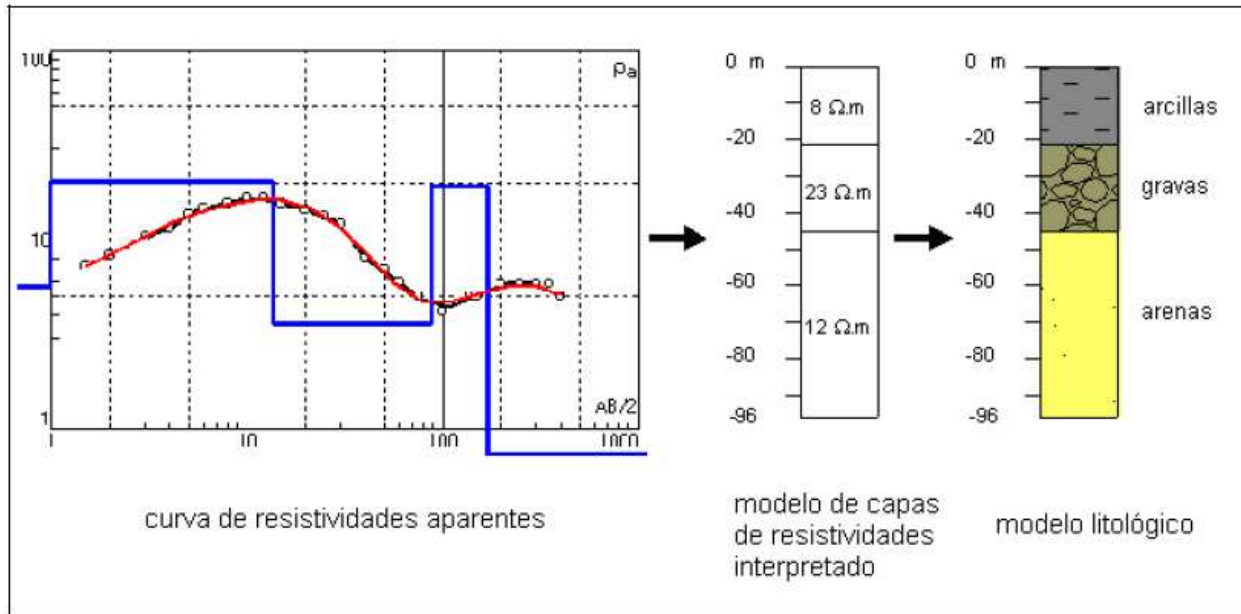
La interpretación genera el modelo de capas de resistividades reales, y posteriormente, con la ayuda de valores tabulados de resistividades para diferentes rocas (Tabla 130), o valores obtenidos directamente en las exploraciones ejecutadas en la zona donde se realizó la prospección (mediante esta correlación se calibra el modelo geoelectrico), se asocia un tipo de roca a dichos valores. La interpretación se muestra en la Figura 173.

Tabla 130 Resistividades y conductividades de algunos tipos de materiales. Fuente: Gasulla, 1999.

Tipo de material	Resistividad (Ohm.m)	Conductividad (Siemens/m)
Rocas Ígneas y metamórficas		
Granito	5000 - 5000000	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalto	1000 - 1000000	$10^{-6} - 10^{-3}$
Pizarra	6000 - 4000000	$2 \times 10^{-8} - 1,7 \times 10^{-3}$
Mármol	$100 - 2,5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Cuarcita	$100 - 2,0 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Esquistos	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0,05$
Rocas Sedimentarias		
Arenisca	$8 - 4 \times 10^3$	$2,5 \times 10^{-4} - 0,125$
Limolitas	$50 - 4 \times 10^2$	$2,5 \times 10^{-3} - 0,02$
Suelos		
Arcilla	1 - 100	0,01 - 1,0
Aluviones	10 - 100	$1,25 \times 10^{-3} - 0,1$
Agua		
Fresca Dulce	10 - 100	0,01 - 0,1
De Mar	0,2	5,0

Se realiza un perfil de las resistividades establecidas para cada uno de los SEV's ejecutados en la UF-2. Las profundidades reportadas en el estudio geoelectrico entre los 2 y 45 m dan una aproximación a un modelo local, que sirve como indicativo del espesor de las capas geoelectricas correlacionables y la diferenciación de las zonas saturadas. A continuación, se exponen los resultados de la interpretación de los sondeos eléctricos verticales y el modelo de capas de resistividades reales y el modelo litológico por SEV; los valores fueron corroborados y calibrados con las exploraciones (perforaciones mecánicas) realizadas en el área de influencia de la UF-2 donde se hace la prospección (calibración).

Figura 173 Esquema de la interpretación a partir de los SEV's con el modelo geológico para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot.

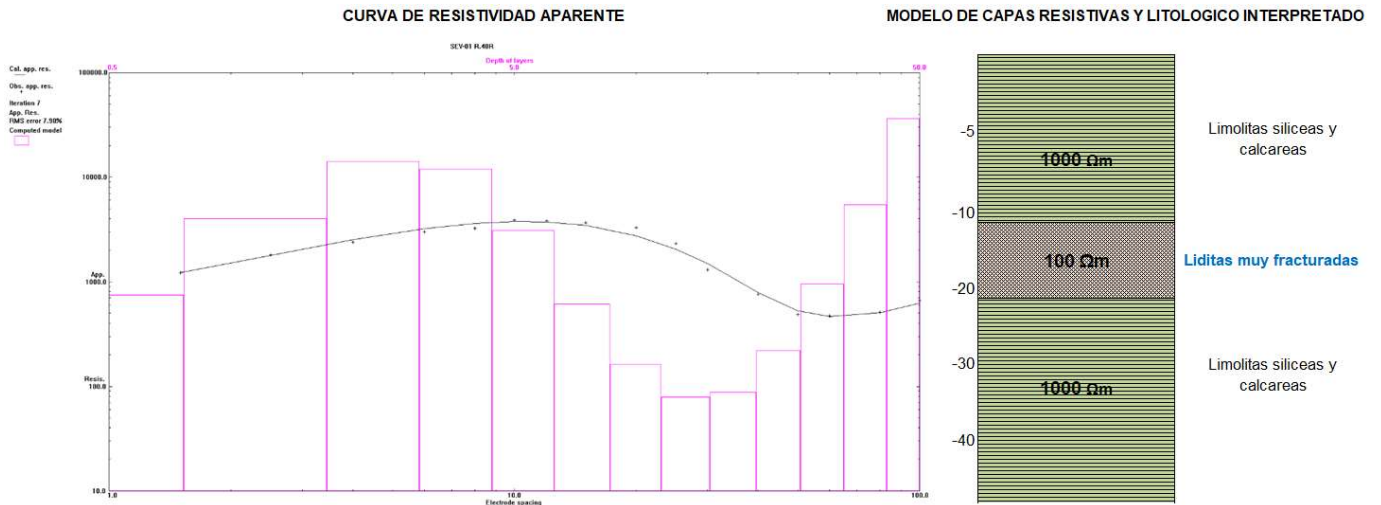


Túnel Nariz del Diablo Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1 Portal de Salida (PS)

Los valores de resistividad encontrados en el portal de salida del Túnel 4, presentan valores entre 100 y 1000 Ohm.m con una profundidad total de alcance del sondeo de 40 m; en algunos casos se tienen valores superiores a los 500 Ohm.m correlacionables con rocas mayor grado de fracturamiento. En el portal de entrada, especialmente marca los estratos de rocas de menor competencia como las limolitas y liditas muy fracturadas de la Formación Lidita Superior (Ksls) véase Anexo MH Secciones Geológicas E-E'. Los valores de 100 Ohm.m pueden corresponder en este sitio a capas de mayor permeabilidad por porosidad secundaria. En la Figura 179 se ilustra el modelo geoelectrico para el PS del Túnel 4.

El modelo geoelectrico se correlacionó con el registro litológico de la perforación P8 Campaña 2015, la cual alcanzó una profundidad máxima de 50 m sin registro de niveles piezométricos.

Figura 174 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Portal de Salida Túnel Nariz del Diablo SEV1 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot

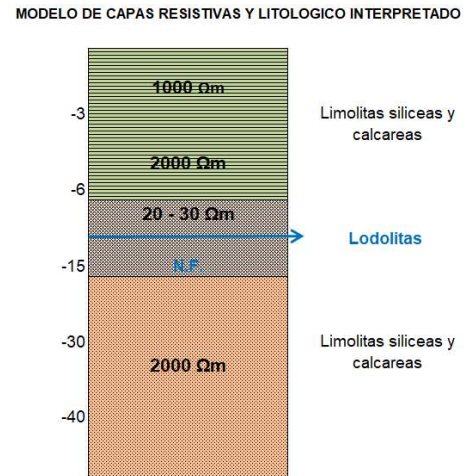
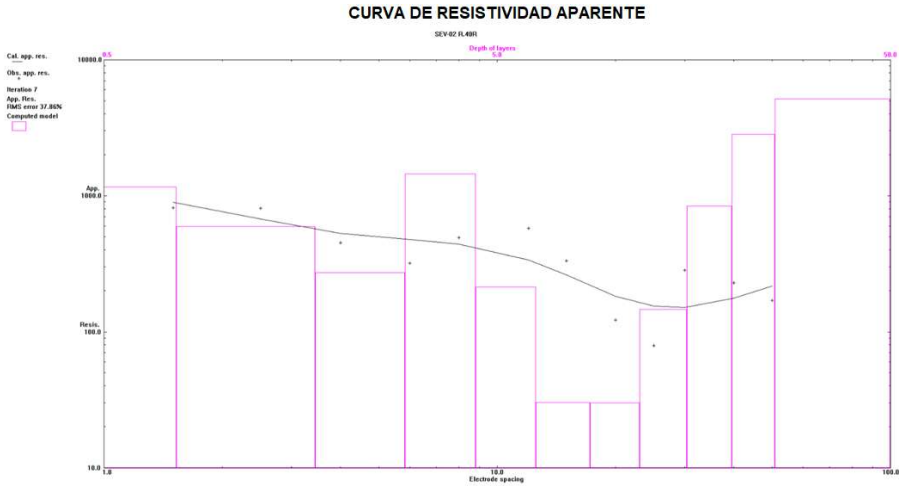


Túnel Nariz del Diablo Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2 Portal de Entrada (PE)

El modelo geológico geoelectrico para el portal de salida del Túnel 4, expone tres tipos de litología, donde resalta claramente la caída en el potencial de resistividad para el SEV-2 entre los 5,0 m y 15,0 m aproximadamente con valores entre 20 y 30 Ohm/m, que indican la presencia de una zona permeable saturada posiblemente a un estrato de arenisca con porosidad primaria y secundaria de la Formación Lidita Superior (Ksli). Ver Figura 175.

La variación en la resistividad dentro de la unidad Lidita Superior (Ksli), puede relacionarse además a que en este tipo de rocas compactas – isotropía (su porosidad está condicionada a la ocurrencia y frecuencia de sistemas de discontinuidades) pueden reflejar las resistividades más bajas por el aumento de la porosidad efectiva producida por un mayor fracturamiento y diaclasamiento en el macizo rocoso. Los valores mínimos encontrados pueden estar asociados a la ocurrencia del nivel freático entre los 5 y 20 m cuyo flujo subterráneo presenta una tendencia NNE hacia el río Sumapaz probablemente entre paquetes de areniscas fracturadas y diaclasadas de la Formación Lidita inferior que de acuerdo con la sección del portal de entrada y el sondeo de correlación litológica SC-11 la superficie piezométrica estaría por debajo de la solera del túnel proyectado en el portal de salida.

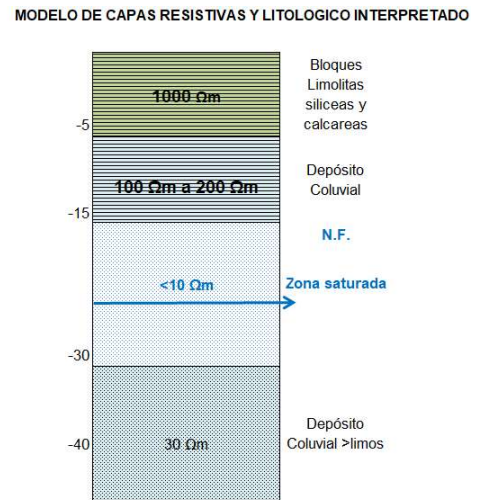
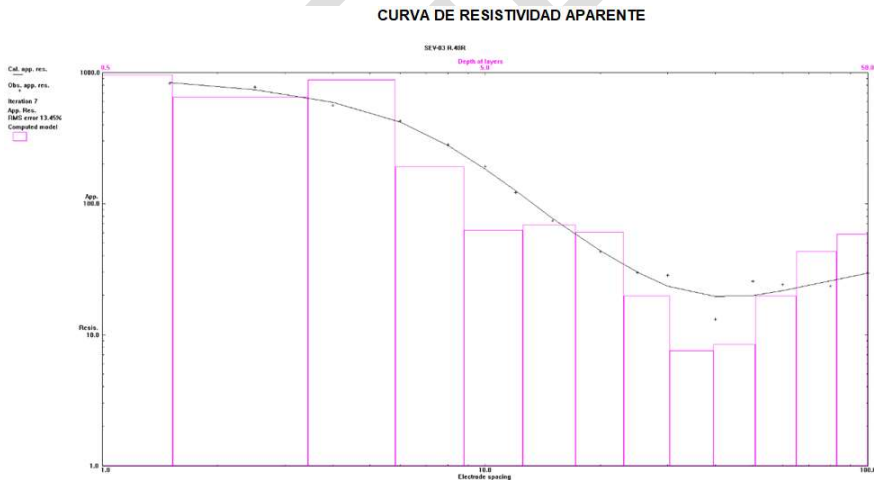
Figura 175 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Portal de Entrada Túnel Nariz del Diablo SEV2 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Túnel Palmichala Sondeo Eléctrico Vertical – SEV 3 Portal de salida (PS)

El modelo geológico geoelectrico para el portal de salida del Túnel 3, expone dos tipos de litología, donde resalta claramente la caída en el potencial de resistividad para el SEV-3 entre los 5,0 m y 8,0 m aproximadamente con valores entre 100 y 10 Ohm/m hasta la profundidad máxima alcanzada de 40 m (Figura 176). Los valores altos de resistividad de 1000 Ohms/m hasta los 5 m de profundidad probablemente correspondan a bloques de areniscas. A partir de los 15 m relaciona el deposito coluvial matriz soportado que corresponde a un acuífero libre con flujo intergranular, porosidad primaria efectivo además mediante las investigaciones del subsuelo ejecutadas para la correlación litológica, las cuales arrojan un espesor mayor a los 60 m. El depósito se distribuye aproximadamente hasta la solera del túnel en el PS, y se excavará hasta 150 m de este depósito. Las investigaciones del subsuelo que ratifican el resultado interpretado en el SEV3 corresponden a la perforación SC-8, SC-9, SC-10 y la PT-02.

Figura 176 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Portal de Salida Túnel Palmichala SEV3 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot

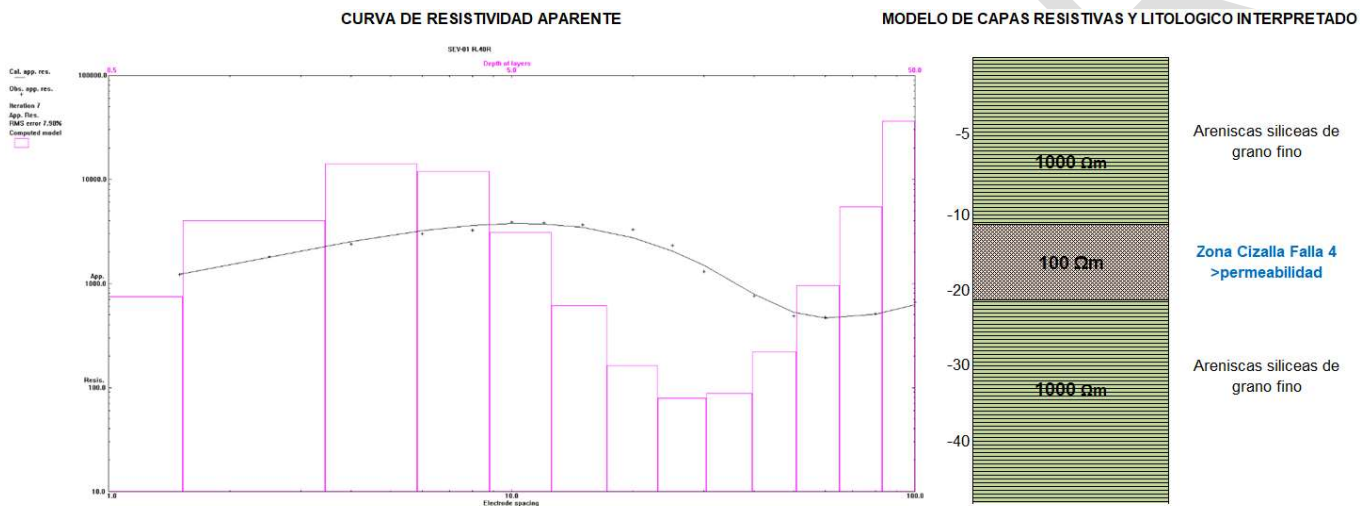


Túnel Divino Niño Sondeo Eléctrico Vertical – SEV 4 Portal de salida (PS)

El modelo geológico geoelectrico para el portal de salida del Túnel 2, expone un medio isotrópico, se evidencia la caída en el potencial de resistividad para el SEV-4 entre los 25,0 m y 30,0 m aproximadamente con valores entre 150 y 200 Ohm/m, la profundidad máxima alcanzada en el sondeo fue de 45 m (Figura 177); los

resultados indican la presencia de un macizo rocoso poco permeable (acuicludo) que presenta un horizonte de mayor fracturamiento y deformación muy posiblemente asociado a la zona de cizalla de la Falla 4 y al replegamiento compresivo que las rocas de la Formación Arenisca media (Ksom) presente en este alineamiento. Los resultados sin embargo, no reflejan zonas saturadas, si una zona de mayor porosidad secundaria que puede facilitar la migración del flujo de aguas subterráneas hacia la zona de la Falla 4. Las investigaciones del subsuelo que ratifican el resultado interpretado en el SEV3 corresponden a la perforación SC-5 y SC-6 (N.F. 28 m) cuyas profundidades máximas de la perforación fueron 80 y 35 m, registrando niveles piezométricos por debajo de la cota del SEV-4.

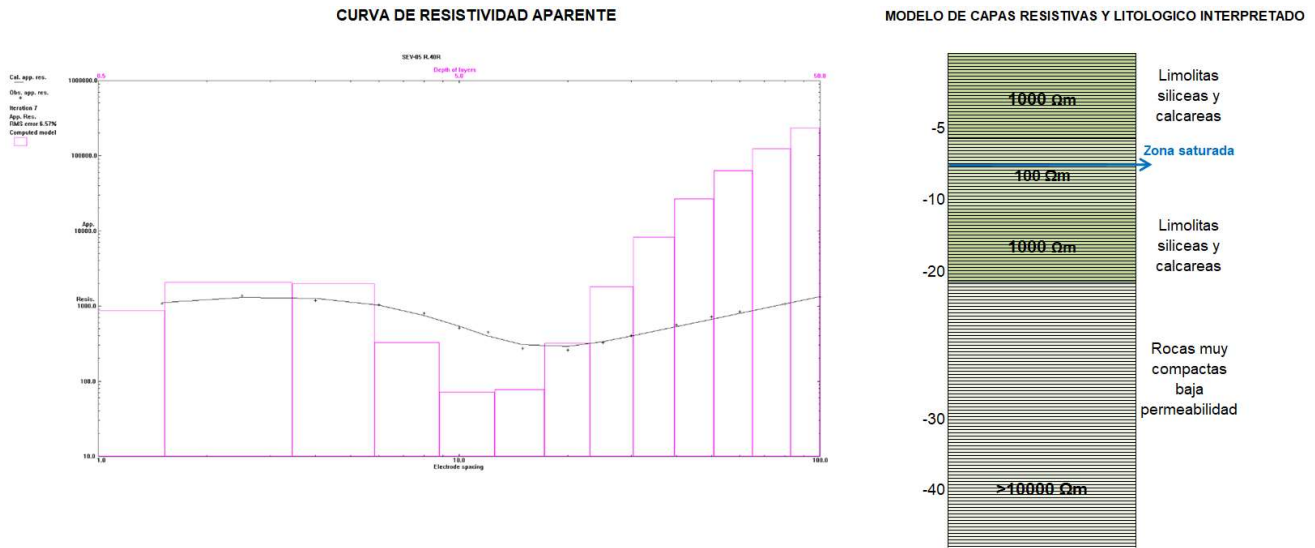
Figura 177 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Portal de Salida Túnel Divino Niño SEV4 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Túnel Sumapaz Sondeo Eléctrico Vertical – SEV 5

El modelo geológico geoelectrico para el Túnel Sumapaz, expone una litología homogénea, se evidencia la caída en el potencial de resistividad para el SEV-5 entre los 5,0 m y 10,0 m aproximadamente con valores entre 80 y 100 Ohm/m, la profundidad máxima alcanzada en el sondeo fue de 45 m (Figura 178); los resultados indican la presencia de un macizo rocoso poco permeable (acuicludo) que presenta un horizonte de mayor fracturamiento y deformación y al replegamiento compresivo que las rocas de la Formación Arenisca media (Ksom). Los resultados, sin embargo no reflejan zonas saturadas o con una permeabilidad representativa en el sondeo. La sectorización geológico geotécnica de los estudios del Túnel actual (1998) ratifican el resultado interpretado en el SEV5. Litológicamente, corresponde a niveles de arenisca media, gruesa amarilla, muy fracturada, intercalaciones de limolitas silíceas muy compactas con resistividades que alcanzan los 10.000 ohm/m lo que le atribuye muy bajas permeabilidades baja capacidad de infiltración y transmisividad del flujo subterráneo.

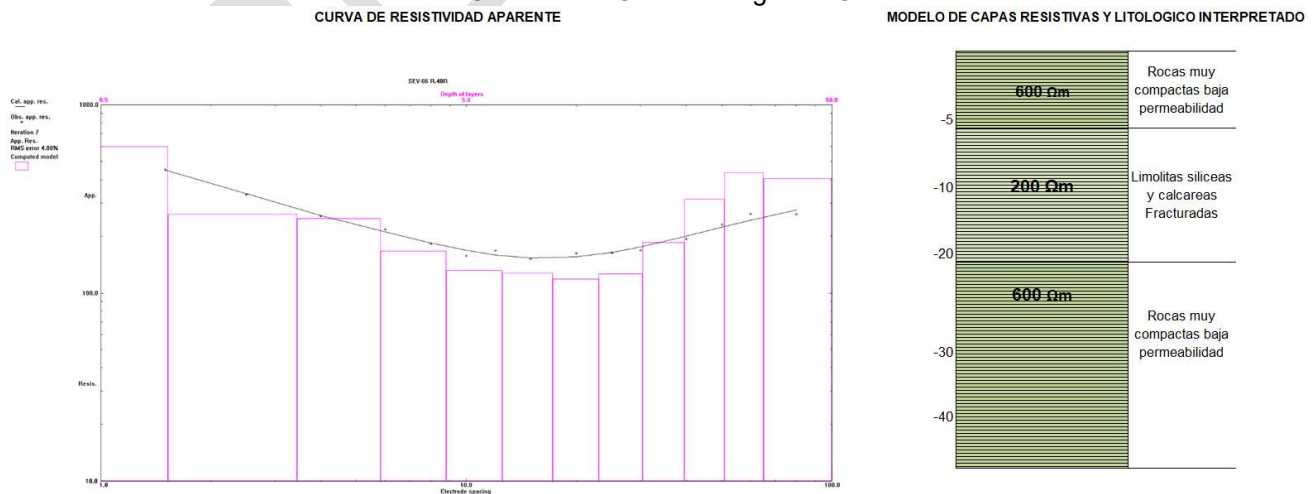
Figura 178 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Túnel Sumapaz SEV5 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Túnel Ermitaño Sondeo Eléctrico Vertical – SEV 6

El modelo geológico geoelectrico para el Túnel 1, expone un medio isotrópico con homogeneidad litológica; se evidencia la caída en el potencial de resistividad para el SEV-.6 entre los 8,0 m y 20,0 m aproximadamente con valores entre 150 y 200 Ohm/m, la profundidad máxima alcanzada en el sondeo fue de 45 m (Figura 182); los resultados indican la presencia igualmente como en el SEV5 de un macizo rocoso poco permeable (acuicludo) con una zona de mayor fracturamiento y deformación muy posiblemente asociado a la zona de cizalla de la Falla 2 aproximadamente a unos 250 m al Oeste del portal salida del Túnel Ermitaño. La zona de falla 2 discurre en dirección NE paralela a la Falla Melgar definiendo una zona afectada por un régimen compresivo, con plegamiento local y alto fracturamiento de las capas de areniscas con intercalaciones de lalitas de la Formación Arenisca Media del Grupo Olini. Los resultados del SEV6 no reflejan zonas saturadas importantes, pero si indica una zona de mayor porosidad secundaria que puede facilitar la migración del flujo de aguas subterráneas hacia la zona de la Falla 1.

Figura 179 Interpretación Modelo geológico geoelectrico Túnel Ermitaño SEV4 para la UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot



Conclusiones

El estudio geoelectrico comprendió la ejecución de seis sondeos eléctricos verticales distribuidos en el área de influencia de la UF-2 principalmente en los alineamientos de los túneles cortos proyectados, cuyos resultados fueron calibrados con los registros litológicos de las exploraciones geotécnicas ejecutadas.

El modelo geoelectrico obtenido en el SEV-1 Túnel Nariz del Diablo PS, marca los estratos de rocas de menor competencia como las limolitas y liditas muy fracturadas de la Formación Lidita Superior (Ksls). Los valores de 100 Ohm pueden corresponder en este sitio a capas de mayor permeabilidad por porosidad secundaria de la misma unidad.

El modelo geoelectrico obtenido en el SEV-2 Túnel Nariz del Diablo PE, expone claramente un medio isotrópico consecuente con el modelo geológico del este túnel, paralelamente evidencia una zona muy fracturada entre los 10 y 20 m de profundidad que le imprime al acuífugo de la Formación Lidita Inferior capacidad de transmisividad de agua subterránea pero no de almacenamiento por la porosidad secundaria producto del alta fracturación del macizo. Los resultados obtenidos con la correlación litológica de la perforación SC-11, la superficie piezométrica estaría por debajo de la solera del túnel proyectado en el portal de salida.

El modelo geológico geoelectrico SEV3 para el portal de salida del Túnel 3 Palmichala, expone dos tipos de litología, donde resalta claramente la caída en el potencial de resistividad para el SEV-.3 entre los 5,0 m y 8,0 m aproximadamente con valores entre 100 y 10 Ohm/m. Los valores altos de resistividad de 1000 Ohms/m hasta los 5 m de profundidad probablemente correspondan a bloques de areniscas. A partir de los 15 m relaciona el deposito coluvial matriz soportado que corresponde a un acuífero libre con flujo intergranular, porosidad primaria efectiva definido además mediante las investigaciones del subsuelo ejecutadas para la correlación litológica, las cuales arrojan un espesor mayor a los 60 m.

El modelo geológico geoelectrico SEV4 para el portal de salida del Túnel 2 Divino Niño, expone un medio isotrópico, se evidencia la caída en el potencial de resistividad para el SEV-.4 entre los 25,0 m y 30,0 m aproximadamente con valores entre 150 y 200 Ohm/m. Los resultados indican la presencia de un macizo rocoso poco permeable (acuicludo) que presenta un horizonte de mayor fracturamiento y deformación muy posiblemente asociado a la zona de cizalla de la Falla 4 y al replegamiento compresivo que las rocas de la Formación Arenisca media (Ksom). No se reflejan zonas saturadas, pero si una zona de mayor porosidad secundaria que puede facilitar la migración del flujo de aguas subterráneas hacia la zona de la Falla 4.

El modelo geológico geoelectrico SEV5 para el Túnel Sumapaz, expone una litología homogénea, se evidencia la caída en el potencial de resistividad para el SEV-.5 entre los 5,0 m y 10,0 m aproximadamente con valores entre 80 y 100 Ohm/m. los resultados indican la presencia de un macizo rocoso poco permeable (acuicludo) que presenta un horizonte de mayor fracturamiento y deformación y al replegamiento compresivo que las rocas de la Formación Arenisca media (Ksom). Los resultados, sin embargo no reflejan zonas saturadas o con una permeabilidad representativa en el sondeo.

El modelo geológico geoelectrico SEV6 para el Túnel 1 Ermitaño, expone un medio isotrópico con homogeneidad litológica; se evidencia la caída en el potencial de resistividad para el SEV-.6 entre los 8,0 m y 20,0 m aproximadamente con valores entre 150 y 200 Ohm/m. los resultados indican la presencia igualmente como en el SEV5 de un macizo rocoso poco permeable (acuicludo) con una zona de mayor fracturamiento y deformación muy posiblemente asociado a la zona de cizalla de la Falla 2 aproximadamente a unos 250 m al Oeste del portal salida del Túnel Ermitaño. Los resultados del SEV6, no reflejan zonas saturadas importantes, pero si indica una zona de mayor porosidad secundaria que puede facilitar la migración del flujo de aguas subterráneas hacia la zona de la Falla 1.

5.1.8.9. Unidades hidrogeológicas

La caracterización hidrogeológica parte de la premisa que la unidad hidrogeológica es definida como una formación o un grupo de formaciones geológicas que presentan uniformidad en sus características hidrogeológicas como porosidad, permeabilidad, capacidad de infiltración, entre otras. Las unidades hidrogeológicas y los tipos de acuíferos fueron interpretados a partir de sus características litológicas, de las estructuras geológicas que las limitan y la influencia de éstas sobre el flujo del agua subterráneo, de la identificación de puntos de agua, de la posición de los niveles piezométricos obtenidos de las exploraciones del subsuelo y de los resultados obtenidos en el estudio geoelectrico mediante los sondeos eléctricos verticales (SEV).

Dado que el potencial de flujo del agua subterránea está condicionado por la litología (según las rocas tengan permeabilidad primaria, secundaria, o ambas), las unidades hidrogeológicas tienden a coincidir con las unidades litológicas definidas en el modelo geológico del proyecto UF-2 (Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0) y en las cuales se asumen propiedades hidráulicas similares.

Los tipos de acuíferos identificados para la Unidad Funcional 2, presentan ciertas características o parámetros que permiten definir y estimar el funcionamiento hidrodinámico (Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0); según los parámetros relacionados en términos de porosidad, permeabilidad y de conductividad para este tipo de materiales, los cuales han sido adaptados de la literatura para la clasificación de las unidades hidrogeológicas en el área, la descripción de los tipos de acuíferos y su correlación geológica se describe en la siguiente tabla resumen (Figura 175) y en la Tabla 130.

Los tipos de acuíferos identificados para el área de influencia de la UF-2, poseen ciertas características o parámetros que permiten definir y estimar el funcionamiento hidrodinámico; según los parámetros relacionados en términos de porosidad, permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento para este tipo de materiales (Tabla 132), los cuales han sido adaptados de la literatura para la clasificación de las unidades hidrogeológicas en el área (Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0). de acuerdo con la nomenclatura del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y el IDEAM (2001); de acuerdo con la características de capacidad de infiltración y de almacenamiento (Figura 175) y en la Tabla 130. De acuerdo con lo anterior, el área de influencia de la UF-2 no constituye una zona de interés hidrogeológico en el ámbito regional

Se elaboraron secciones de análisis geológicas - hidrogeológicas para cada túnel corto proyectado en la UF-2 con base en la información de referencia para las obras subterráneas (Ermitaño, Divino Niño, Palmichala y Nariz del Diablo), con los resultados de las investigaciones del subsuelo y la información de referencia se estimarán los niveles piezométricos de acuerdo con los sondeos ejecutados en los estudios previos y de diseño Fase II, el inventario de puntos de agua y los resultados de la campaña de investigaciones del subsuelo para efectos del EIA. La campaña de exploración incluye dos perforaciones de 20 m de profundidad localizadas en el Túnel Ermitaño (portal de salida), Túnel Palmichala (portal de salida) y seis sondeos eléctricos verticales – SEV distribuidos a lo largo del área de influencia del componente (véase Figura 180).

Debido a la homogeneidad litológica y la génesis de las formaciones en el área, estas presentan características hidrogeológicas dentro del grupo de sedimentos y rocas con flujo intergranular, acuíferos confinados y acuícludos con limitados recursos de agua subterránea que incluye las formaciones masivas, compactas. Los factores que determinaron las propiedades de almacenamiento en este tipo de depósitos y unidades de rocas están relacionados con la anisotropía y heterogeneidad del medio de formación, que influye en el comportamiento hidrogeológico (permeabilidad - transmisividad) del agua subterránea en este tipo de materiales.

Figura 180 Mapa Unidades Hidrogeológicas identificadas para el área de influencia del Componente Geoesférico UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.

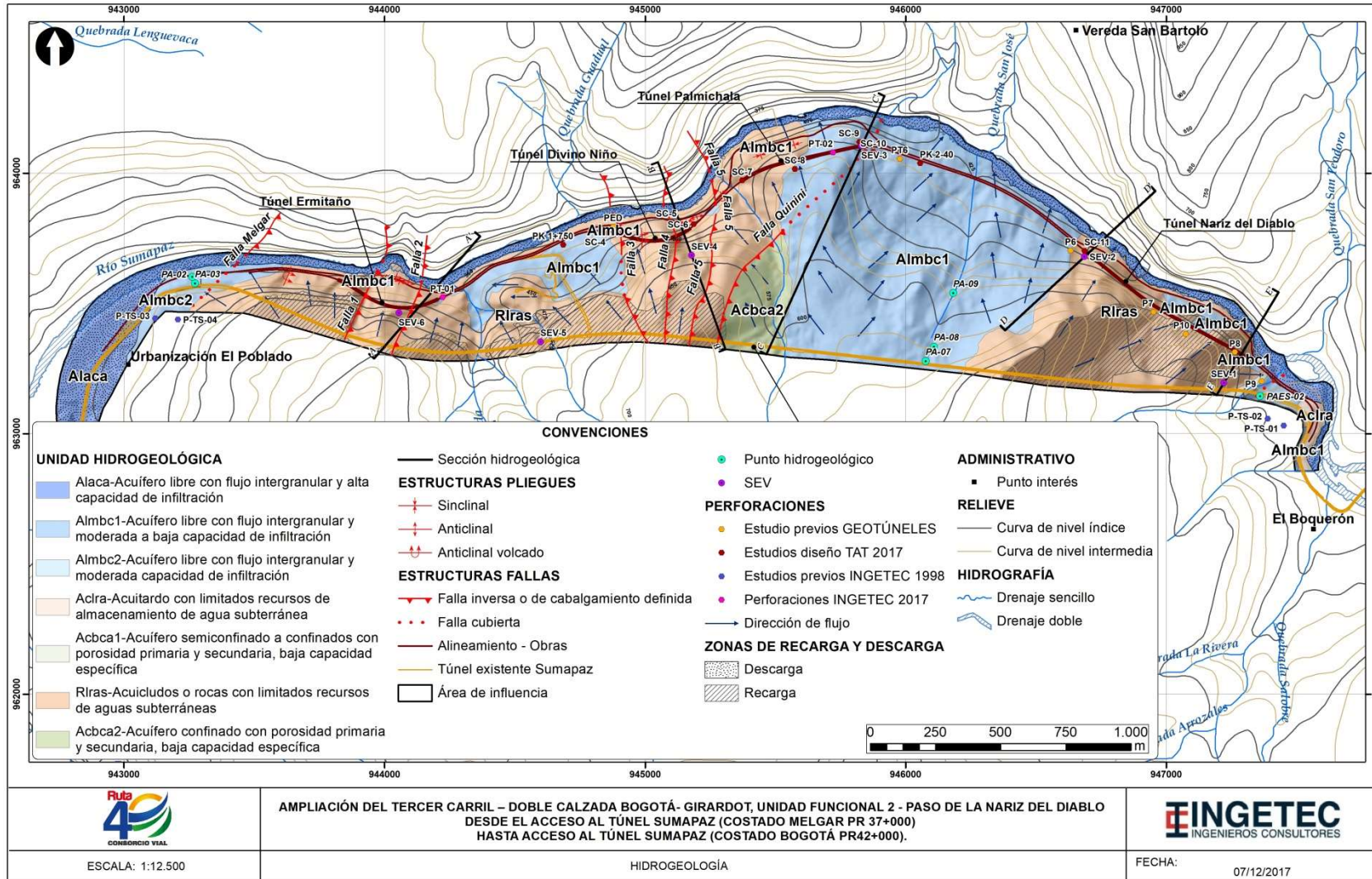


Tabla 131 Unidades Hidrogeológicas identificadas para el área de influencia del Componente Geoesférico UF-2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017.

Nomenclatura Geológica	Descripción Unidad Geológica		Nomenclatura Hidrogeológica	Descripción unidad Hidrogeológica	Capacidad de infiltración (Ingeominas, 2000)
Qal	Depósitos aluviales		Alaca	Acuífero libre con flujo intergranular y alta capacidad de infiltración	Alta
Qc	Depósitos Coluviales		Almbc1	Acuífero libre con flujo intergranular con moderada a baja capacidad de infiltración	Moderada a Baja (0,05 a 1,0 l/s/m)
Qt	Depósitos de Terraza				
Ngca	Conglomerados Carmen de Apicalá		Almbc2	Acuífero libre con flujo intergranular con moderada capacidad de infiltración	Moderada a Baja (1,0 a 2,0 l/s/m)
Kpgs	Formación Seca		Aclra	Acuitardo con limitados recursos de almacenamiento de agua subterránea	Muy limitada (<0,05 l/s/m)
Ksta	Formación La Tabla		Acbca1	Acuífero semiconfinado a confinados con porosidad primaria y secundaria, baja capacidad específica	Baja (0,05 a 1,0 l/s/m)
Ksls	Formación Lidita Superior		Rlras	Acuíferos o Rocas con limitados recursos de aguas subterráneas (porosidad por fracturas)	Baja (0,05 l/s/m)
Ksom	Formación Arenisca Media				
Ksli	Formación Lidita Inferior				
Kscn	Formación Conejo		Acbca2	Acuífero confinado con porosidad primaria y secundaria, baja capacidad específica	Baja (0,05 a 1,0 l/s/m)

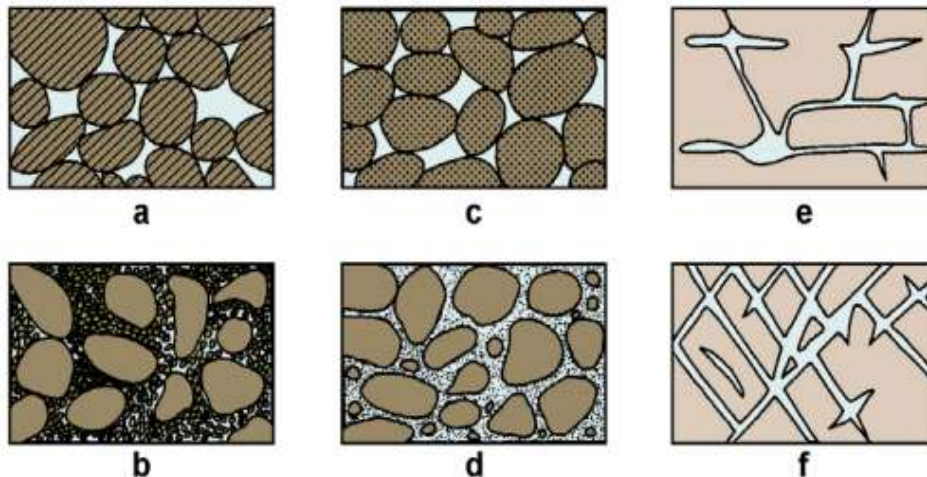
La disposición espacial y geometría de los acuíferos está controlada principalmente por el contraste geológico y estructural de las formaciones permeables, semipermeables e impermeables entre los distintos materiales sedimentarios. En la definición de las unidades hidrogeológicas se tuvo en cuenta el tipo de empaquetamiento textural de las partículas que componen cada una de las unidades con mayor potencial de almacenamiento; estas características determinan el tipo de poro y así mismo la porosidad como tal. La interpretación de la porosidad en cada uno de los depósitos cuaternarios se tiene en cuenta la siguiente clasificación:

- Depósitos de granulometrías homogéneas que le atribuyen mayor porosidad efectiva.
- Depósitos de granulometría heterogénea y de porosidad intermedia.
- Depósitos de granulometría homogénea cuya porosidad ha disminuido por cementación de sus intersticios.

Las diferencias en la porosidad en los depósitos radican en los siguientes aspectos en el análisis hidrogeológico:

- Forma de los granos que determinan la forma y dimensiones de los poros.
- Disposición de los granos.
- Tamaño del grano, su influencia en la porosidad se ilustra en la Figura 181

Figura 181 Relación entre textura y porosidad. a) Sedimento bien clasificado con alta porosidad; b) Sedimento mal clasificado con baja porosidad; c) Sedimento bien clasificado con granos porosos; d) Sedimento bien clasificado con porosidad disminuida por cementación; e) Porosidad desarrollado por disolución de la roca; f) Porosidad desarrollada por fracturación de la roca.



A continuación se describe en detalle las siete unidades hidrogeológicas identificadas en el área de influencia de la UF 2 de acuerdo con lo anteriormente expuesto y se ilustran en detalle en el Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0:

Alaca - Acuíferos con flujo intergranular y alta capacidad de infiltración

Se refiere a acuíferos discontinuos de extensión local y con alta capacidad de infiltración y almacenamiento de agua subterránea; incluye los depósitos aluviales del río Sumapaz los cuales están constituidos por bloques, redondeados y sub-redondeados de cuarzo areniscas con diámetro hasta de 3 m, depósitos mal seleccionados cuya matriz incluye sedimentos areno arcillosos. Para el área del proyecto están presentes en ambas márgenes del río, así como en los afluentes principales del mismo como la quebrada Golondrinas (portal Melgar Tunel Actual), quebrada la Cascada y la quebrada Palmichala. Constituyen acuíferos con extensión limitada e

irregular, debido a los factores geomorfológicos y topográficos que acondicionan el cauce; reciben recargas de la lluvia y descargas de las corrientes superficiales (ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0). Anexo MH Secciones Hidrogeológicas UF-2.

Almbc1 - Acuífero libre con flujo intergranular con moderada a baja capacidad de infiltración

Corresponden a acuíferos libres con flujo intergranular, discontinuos, de moderada a baja productividad, de carácter local, conformados por sedimentos cuaternarios no litificados, con granulometrías heterogéneas que le atribuyen mayor porosidad primaria efectiva. Incluye los depósitos de terrazas aluviales (Qt) y los depósitos coluviales (Qc) véase Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0. Anexo MH Secciones Hidrogeológicas UF-2.

Los depósitos coluviales (Qc), depósitos generalmente heterométricos, pobremente seleccionados, de granulometría anisotrópica y de porosidad intermedia; los fragmentos son angulares a subangulares de hasta 60 cm de diámetro embebidos en fábrica matriz soportada de composición areno limosa. Generalmente se caracterizan por presentar moderada a baja permeabilidad, conformando acuíferos de extensiones locales y discontinuas. Se identificaron niveles freáticos colgados y en otros sectores en la zona de contacto con la unidad que los infrayace. El depósito de mayor espesor y distribución en el área de influencia de la UF-2 aflora en el portal de salida del túnel Ermitaño y Palmichala.

Los depósitos de terrazas aluviales (Qt) se presentan en la UF2 cerca al portal de entrada Melgar del actual Túnel Sumapaz, están relacionados con la sedimentación aluvial de la quebrada Golondrinas y La Cascada. Las terrazas presentan hasta 20 m de espesor. Se componen de gravas y de arenas; se observa estratificación cruzada, laminación fina, lenticular y presencia de restos de vegetales. Estos depósitos presentan moderada permeabilidad y porosidad primaria moderada a baja debido a la textura granular y el grado de litificación de la matriz limo arenosa. Se consideran acuíferos libres cuyos niveles freáticos se profundizan hasta conectarse con el nivel base del río Sumapaz en el portal Melgar.

Almbc2 - Acuífero libre con flujo intergranular con moderada capacidad de infiltración

Corresponden a acuíferos libres con flujo intergranular, discontinuos, de moderada a baja productividad, de carácter local, conformados por las rocas de la formación Conglomerados de Carmen de Apicalá (Ngca). Se caracteriza como una secuencia de conglomerados de cantos de gravas, de cuarzo y chert subredondeados embebidos en una matriz de arena de cuarzo y líticos en capas muy gruesas a gruesas. No se identificaron niveles freáticos en este tipo de acuíferos. Véase Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0.

Acbca1 - Acbca2 Acuífero semiconfinado ha confinado con porosidad primaria y secundaria, baja capacidad específica -

Corresponden a acuíferos conformados por capas semi-confinantes a confinantes de la Formación La Tabla (Acbca1) y de la Formación Conejo (Acbca2); constituyen acuíferos de extensión regional, los cuales de acuerdo con la literatura valores de capacidad de infiltración de 0,05 a 1,0 l/s/m (Tabla 132), igualmente por sus características texturales presentan baja capacidad de almacenamiento de agua subterránea. Afloran como amplios cinturones orientados norte sur, con extensión local y en franjas irregulares (Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0). Anexo MH Secciones Hidrogeológicas UF-2.

El acuífero semi-confinado (Acbca1) con baja capacidad específica, corresponde a capas de areniscas con intercalaciones de lutitas negras de la Formación La Tabla, la cual suprayace concordantemente las liditas y lodolitas de la Formación Lidita Superior (Ksls) del Grupo Olini. Esta unidad hidrogeológica no se asocia directamente a las obras superficiales ni subterráneas para la UF-2. Aflora únicamente entre el K41+525 al K41+700 en el extremo este del área de influencia directa.

El acuífero confinado (Acbca2), está constituido por una secuencia de shales con niveles de areniscas finas, grises oscuras, en capas delgadas y medias, planos paralelas y esporádicas capas de caliza, altamente plegadas, lutitas orgánicas laminadas y lodolitas grises con laminación ondulada. Las características texturales y litológica de esta unidad le atribuye bajas condiciones de permeabilidad y capacidad de almacenamiento de agua subterránea.

Aclra - Acuitardo con limitados recursos de almacenamiento de agua subterránea

Corresponden a acuíferos con baja capacidad de almacenamiento de agua subterránea, baja transmisividad, discontinuos de carácter regional representados por la Formación Seca (Kpgs).

Incluye segmentos conformados por cuarzo areniscas, finas, en capas gruesas a delgadas, intercaladas con capas de lodolitas grises con mantos de carbón de hasta 0,5 m de espesor. Se trata de una secuencia monótona de lodolitas con material vegetal carbonizado y areniscas de cuarzo, finas, en capas muy gruesas. Ocasionalmente incluye arcillolitas pardas y rojas con intercalaciones de areniscas finas en capas medias a delgadas.

Esta unidad hidrogeológica no se asocia directamente a las obras superficiales ni subterráneas para la UF-2. Aflora únicamente en el extremo este del área de influencia directa (Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y el Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0).

Rlras - Acuícludos o Rocas con limitados recursos de aguas subterráneas (porosidad por fracturas) –

Corresponden a acuícludos de extensión regional con baja a nula producción de agua subterránea. Se asocia a las rocas sedimentarias del Grupo Olini (Ksls, Ksom y Ksli), conformadas principalmente por areniscas de grano medio a fino, con estratificación continua, plana paralela y eventualmente cruzada. Las rocas del Grupo Olini, se comporta como un medio isotrópico con baja permeabilidad y transmisividad únicamente por la porosidad secundaria. De acuerdo con su expresión geomorfológica se caracteriza por conformar altos escarpes en pendientes abruptas y sus características microestructurales de deformación al fallamiento local y regional (Falla Melgar y Quinini), lo cual no permite niveles freáticos altos solo concentrados y deprimidos en las zonas de mayor fracturamiento del macizo. Para este tipo de acuícludos, se relacionan paquetes de areniscas cuarzosas de grano fino a grueso, bien litificadas, con porosidad secundaria asociada a microfracturamiento.

Se clasifica como un sistema acuífero continuo, de extensión regional, de baja a nula productividad y capacidad específica menor a 0,05 l/s/m. En el área de influencia de la UF-2 estos acuícludos reciben la recarga de las zonas altas de acuerdo con su configuración geomorfológica y estructural de la cuenca media del río Sumapaz.

Los cuatro túneles cortos de la UF-2 serán excavados en este tipo de acuícludos (Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y el Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0). Anexo MH Secciones Hidrogeológicas UF-2.

En la Tabla 133 se relacionan los parámetros hidráulicos estimados para cada unidad hidrogeológica de acuerdo con la información de referencia disponible y las experiencias en este tipo de unidades geológicas en otros proyectos que implican obras subterráneas (Informe Geotécnico Túnel Sumapaz 197- IN - T01 - R0 Julio, 2005)

Tabla 132 Parámetros hidráulicos estimados para los diferentes tipos de unidades hidrogeológicas presentes en la Unidad Funcional 2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: Adaptado y modificado del Informe Geotécnico Túnel Sumapaz 197- IN - T01 - R0 (Julio, 2005)

Nomenclatura Geológica	Descripción unidad Hidrogeológica	Nomencat.	Kx (m/d)	Ky (m/d)	Kz (m/d)	Porosidad eficaz	Almacenamiento (1/m)
Fallas	-	Fallas	1000	1000	1000	0,15	1,00E-05
Qal - Depósitos Aluviales	Acuífero libre con flujo intergranular y alta capacidad de infiltración	Alaca	5	10	0,1	0,15	1,00E-05
Qt - Terraza Alta	Acuífero libre con flujo intergranular baja capacidad de infiltración	Almbc1	0,1	1	1	0,15	1,00E-05
Qc - Depósitos Coluviales	Acuífero libre con flujo intergranular y moderada capacidad de infiltración						
Ksls - Fm Lidita Superior	Acuicludos o Rocas con limitados recursos de aguas subterráneas	Rlras	0,008	0,8	0,08	0,15	1,00E-05
Ksom - Fm Olini Medio							
Ksli Fm. Lidita Inferior							
Ngca - Conglomerados Carmen de Apilá	Acuífero libre con flujo intergranular y moderada capacidad de infiltración	Almbc2	0,5	5	0,01	0,15	1,00E-05
Kscn-Formación Conejo	Acuífero confinado con porosidad primaria y secundaria, baja capacidad específica	Acbca2	0,01	1	0,1	0,15	1,00E-05
Ksta - Formación La Tabla	Acuífero semiconfinado a confinados con porosidad primaria y secundaria, baja capacidad específica	Acbca1	0,1	0,1	0,1	0,15	1,00E-05
Kpgs - Formación Seca	Acuitardo con limitados recursos de almacenamiento de agua subterránea	Aclra	0,01	0,1	0,001	0,15	1,00E-05

5.1.8.9.1. Secciones de Análisis Modelo Hidrogeológico Conceptual

En el análisis del comportamiento hidrogeológico de la dinámica subterránea en la UF-2, se definieron dos secciones de análisis hidrogeológico para cada uno de los túneles cortos proyectados en el área de influencia del proyecto, con el objeto de determinar la geometría de los acuíferos, la posición de la superficie piezométrica y la tendencia del flujo subterráneo (Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0; Anexo MH Secciones Hidrogeológicas UF-2). La información obtenida de las secciones geoelectricas de los Sondeos Electricos Verticales (SEV), se correlaciona con la información de las secciones hidrogeológicas y los resultados de las exploraciones geotécnicas, con el fin de estimar las profundidades en las que se encuentran las zonas permeables saturadas y de acuerdo al contraste de resistividad de los diferentes materiales. Además se incluye la información de los niveles freáticos obtenidos a partir de los piezómetros instalados en la campaña de INGETEC (2017).

En general la superficie piezométrica identificada en las diferentes secciones de análisis, se encuentran por entre o por debajo de la cota de la solera del túnel proyectado y se intercepta finalmente con el nivel base del río Sumapaz; indicando que las afectaciones de abatimiento de los niveles freáticos sea poco significativa. Esta condición difiere únicamente para el Túnel 3 Palmichala en el portal de salida cuyas características se describen a continuación (Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0; Anexo MH Secciones Hidrogeológicas UF-2).

Túnel Ermitaño

Geológicamente el Túnel 1 con 414 m de longitud, presenta una litología compuesta por areniscas de grano medio a fino de coloración café amarillento, en algunos afloramientos estas se caracterizan por presentar fisilidad planar; adicionalmente presentan intercalaciones de lodolitas y limolitas silíceas de coloración gris. Para este túnel las condiciones de fracturamiento están dadas por las familias de diaclasas paralelas al alineamiento del túnel (véase en detalle descripción en el numeral 5.1.1.2 y 5.1.1.3), esto le atribuye unas condiciones de porosidad secundaria por el grado de fracturamiento y micro-replegamientos en el macizo. La principal dirección de estratificación encontrada para este túnel es N40°W/30-70°NE, con algunas variaciones, debido a factores tectónicos fuertes presentes en la zona. Así mismo, se diferencian distintas zonas de falla locales, cizalla, plegamientos.

Se presentan dos tipos de acuíferos, (i) corresponden a acuíferos libres con flujo intergranular (Almbc1), discontinuos, de moderada a baja productividad, de carácter local, conformados por sedimentos cuaternarios no litificados, con granulometrías heterogéneas que le atribuyen mayor porosidad primaria efectiva. Incluye los depósitos coluviales (Qc). (ii) acuícludos con limitados recursos de agua subterránea, de extensión regional con baja a nula producción de agua subterránea. Se asocia a las rocas sedimentarias del Grupo Olini (Ksls, Ksom y Ksli). Las direcciones de flujo siguen una tendencia perpendicular al río Sumapaz, esto teniendo en cuenta que las fallas presentes en la zona generan franjas de mayor conductividad. Ver Figura 182 y Figura 183 .

Para el Túnel 1 Ermitaño, de acuerdo con los resultados obtenidos en la perforación PT-01 la superficie piezométrica se ubica entre la zona de contacto discordante entre el acuífero libre representado por el depósito coluvial (Qc) que aflora en el portal de salida (PS) y en las rocas de la Formación Arenisca Media (Ksom); el nivel freático, se encuentra por debajo de la cota de la solera del Túnel 1 proyectado. En la sección longitudinal del Túnel 1 se representan niveles freáticos colgados en la zona de transición litológica de los coluviones y las rocas del Grupo Olini cuyas profundidades varían entre los 4 y 8 m. No se identificaron niveles freáticos por encima de la cota de proyección del túnel en la unidad de la Formación Arenisca Media (Ksom).

Las características físico químicas de las aguas subterráneas del Túnel Ermitaño, reflejan los valores de alcalinidad asociadas a ambientes sedimentarios marinos con escaso calcio y magnesio. La escasa concentración de cloruros, calcio y magnesio y valores altos de sulfatos representan claramente las características de las rocas sedimentarias marinas arcillosas de la Formación Arenisca Media (Ksom) donde se encuentra la superficie freática analizada.

Túnel Divino Niño

Geológicamente el Túnel 2 Divino Niño con 290 m de longitud, presenta una litología principalmente compuesta por areniscas de grano medio a fino de coloración café amarillento con paquetes intercalados de lodolitas y limolitas silíceas de coloración gris. Para este túnel las condiciones de fracturamiento están dadas por las familias de diaclasas las cuales se registran paralelas al alineamiento del túnel (véase en detalle descripción en el numeral 5.1.1.2 y 5.1.1.3). El túnel está afectado por zonas de falla evidenciadas por el aumento del grado de fracturamiento de la roca y por el cambio de la disposición estructural de la estratificación de la formación, la Falla F3 en dirección al portal de entrada y la Falla F4 en dirección al portal de salida, estas estructuras constituyen límites hidrogeológicos con mayor transmisividad de los flujos hacia las zonas de mayor fracturamiento.

Se presentan igualmente que el Túnel 1 dos tipos de acuíferos, (i) acuíferos libres con flujo intergranular (Almbc1) discontinuos, de moderada a baja productividad, carácter local, conformados por sedimentos cuaternarios anisotrópicos que le atribuyen mayor porosidad primaria efectiva. (ii) acuíferos con limitados recursos de agua subterránea, de extensión regional con baja a nula producción de agua subterránea (Rlas). Se asocia a las rocas sedimentarias Formación Arenisca Media (Ksom) del Grupo Olini. Las direcciones de flujo siguen una tendencia perpendicular al río Sumapaz, esto teniendo en cuenta que las fallas presentes en la zona generan franjas de mayor conductividad. Ver Figura 184 y Figura 185.

En el Túnel 2 Divino Niño, la superficie piezométrica se localiza por debajo de la cota de la solera del túnel en rocas de la Formación Arenisca Media. Las exploraciones SC-4 y SC-6 no registraron niveles piezométricos en los portales (profundidad max. 35). Las condiciones geológico estructurales para el tramo que será excavado el túnel atravesará la Formación Arenisca Media afectadas por las Fallas F1 y F2 donde la roca se encuentra muy fracturada con replegamientos y zonas de deformación compresiva que favorece la porosidad secundaria efectiva. Por estas condiciones, se le atribuye a esta unidad una condición de acuíferos que favorecen la circulación por recarga superficial pero ningún tipo de acumulación de agua subterránea. De acuerdo con la anterior, se estima que la superficie piezométrica se profundiza por debajo de la cota de la solera del túnel 2 proyectado.

Túnel Palmichala

Geológicamente, el túnel 3 con 414m de longitud aproximadamente, presenta una litología compuesta principalmente por areniscas de grano medio a fino y en muy pocos afloramientos tamaño de grano grueso de coloración café amarillento a gris, intercalado con paquetes espesos a muy espesos intercalaciones de lodolitas y limolitas silíceas de coloración gris, y en ocasiones lodolitas.

En el Túnel Palmichala se calibró el modelo geológico e hidrogeológico con base en los resultados de las exploraciones SC-7, SC-8, PT-02, SC-9, SC-10 y PT-6. Acorde con los resultados obtenidos, las excavaciones se realizarán principalmente en las rocas de la Formación Arenisca Media del Grupo Olini (Ksom); con excepción del portal de salida en su tramo inicial del túnel, que se identificó un depósito coluvial (Qc) cuyo espesor máximo identificado fue de 76,3 m. Adicionalmente se resalta en el portal de salida del Túnel 3, se encuentra la Falla Quinini, estructura que pone en contacto la Formación Arenisca Media en el bloque yacente con la Formación Lidita Inferior (Ksli) en el bloque cabalgante, esta estructura constituye el límite de mayor transmisividad en el flujo subterráneo. Las unidades cretácicas se encuentran discordantemente cubiertas por un depósito coluvial. La distribución geológica vertical y lateral de las unidades marca la geometría de los tres tipos de acuíferos presentes en el Túnel 3. Véase Figura 186 y Figura 187.

En el portal de salida se identificaron dos niveles freáticos, (i) el primero en el depósito coluvial (Qc) corresponde a un nivel freático colgado cuya profundidad varía entre 10 y 31 m; (ii) el segundo a 50 m de profundidad en el PK2+875 del túnel 3, el cual se profundiza en la zona de contacto entre el acuífero libre (Almbc1) y el acuífero (Rlas) hasta posiblemente la zona de cizalla de la falla de Quinini. De acuerdo con las exploraciones SC-9 y SC-10 entre el PK2+987 y el PK3+020, en el portal de salida no se registran niveles piezométricos en el acuífero de la Formación Arenisca Media (Rlas) hasta los 280 m de excavación el cual posiblemente se profundice sobre la zona de deformación de la Falla Quinini.

A 100 m del portal de salida de acuerdo con las exploraciones PT6 y PK2+40, la superficie freática colgada se extiende hasta la superficie de contacto entre el depósito y la Formación Conejo (Kscn). Las direcciones de flujo

siguen una tendencia perpendicular al río Sumapaz, esto teniendo en cuenta que las fallas regionales presentes en la zona, que generan franjas de mayor conductividad.

La caracterización físico química de las aguas subterráneas presentes en el acuífero Almbc1 portal de salida túnel 3, arroja que los valores de alcalinidad reflejan un origen continental más bicarbonatadas y cálcicas. Son aguas moderadamente duras, dulces y aptas para el consumo humano. Los análisis reflejan cortas distancias de tránsito, condiciones del flujo intergranular que favorece la velocidad y capacidad de infiltración sin interconexión con el acuífero infrayacente Rlas.

Túnel Nariz del Diablo

Geológicamente, el túnel 4 Nariz del Diablo con 750 m de longitud aproximadamente, presenta una litología compuesta principalmente por areniscas de grano medio a fino de coloración café amarillento a gris, intercaladas con paquetes espesos a muy espesos de lodolitas y limolitas silíceas de coloración gris y en ocasiones lodolitas (véase en detalle descripción en el numeral 5.1.1.2 y 5.1.1.3).

Para el túnel Nariz del Diablo, los resultados de las exploraciones P-7, P-8, P-9 y P-10 indican que las excavaciones tanto en el portal de entrada como el portal de salida se localizaran en roca; el PE atravesará las liditas inferiores con niveles de chert (Ksli) y el segundo (PS) en las liditas superiores (Ksls) con intercalaciones de lodolitas. Las investigaciones no registraron superficies piezométricas por encima de la solera del túnel proyectado. Este túnel es el que presenta mayor homogeneidad hidrogeológica de un medio subterráneo que podría considerarse isotrópico para los acuíferos Rlas. Ver Figura 198 a la Figura 205.

Figura 182 Planta perfil Hidrogeológico Longitudinal Túnel 1 Ermitaño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

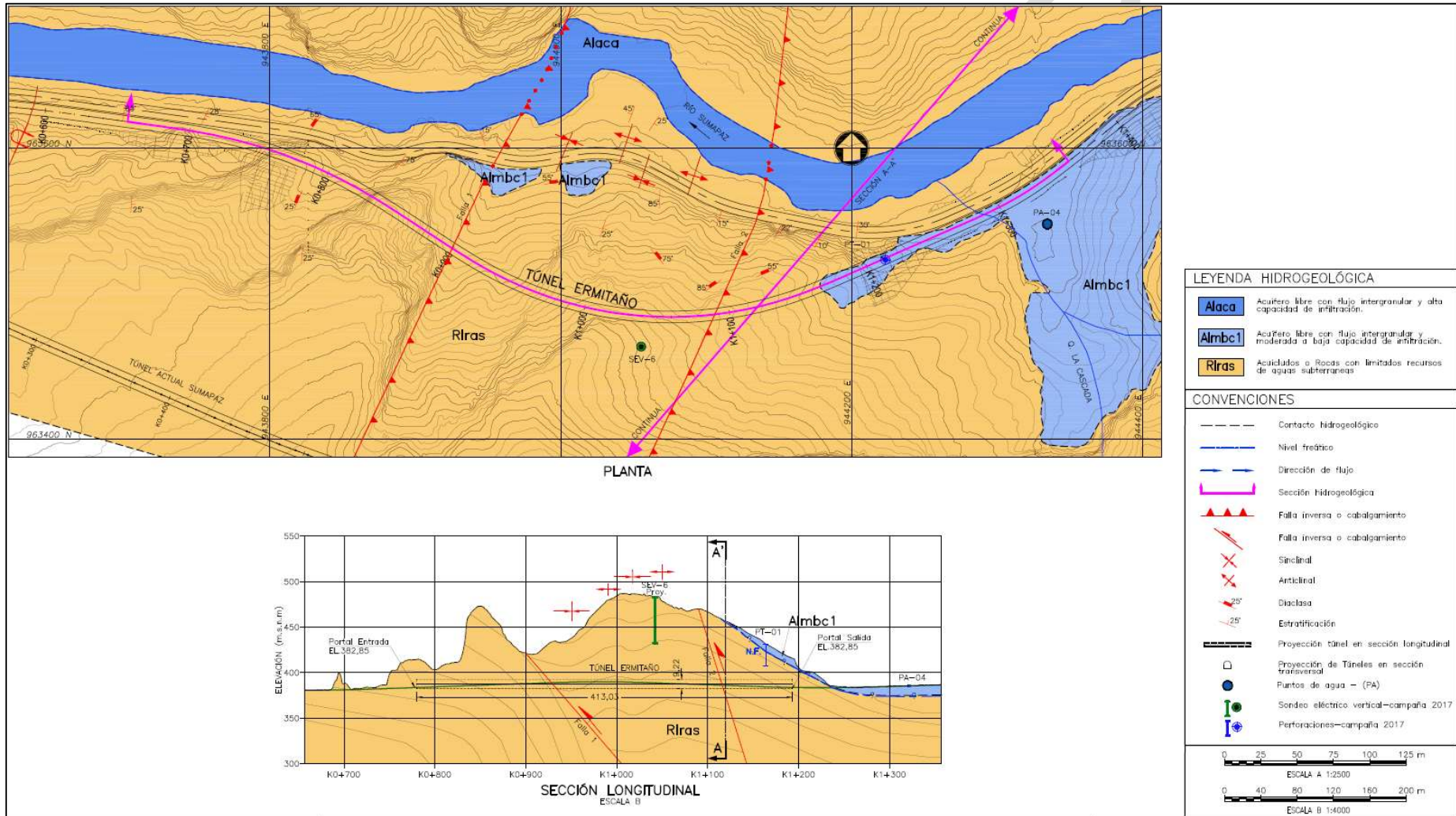


Figura 183 Planta perfil Hidrogeológico Transversal Túnel 1 Ermitaño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

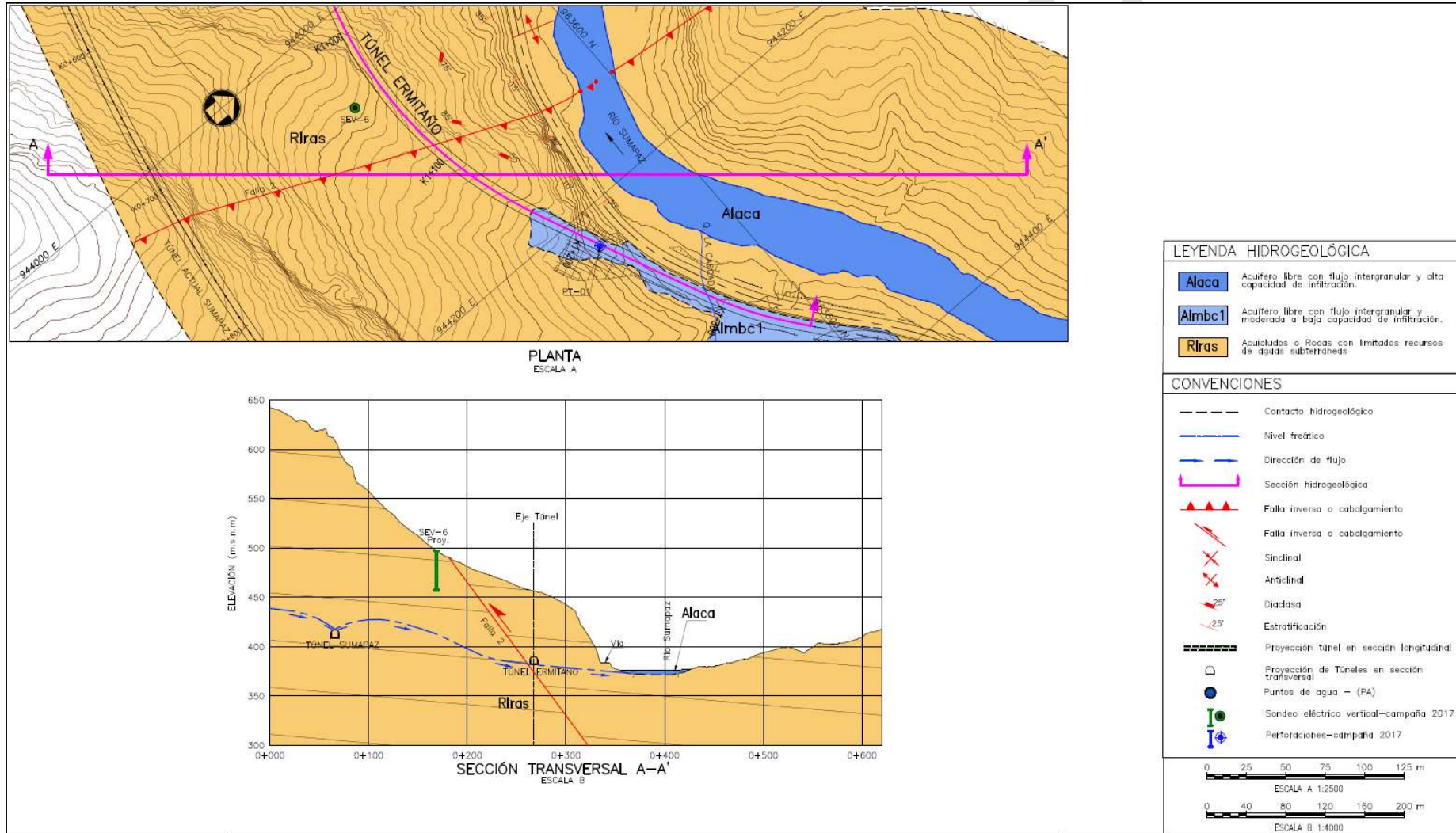


Figura 184 Planta perfil Hidrogeológico Longitudinal Túnel 2 Divino Niño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

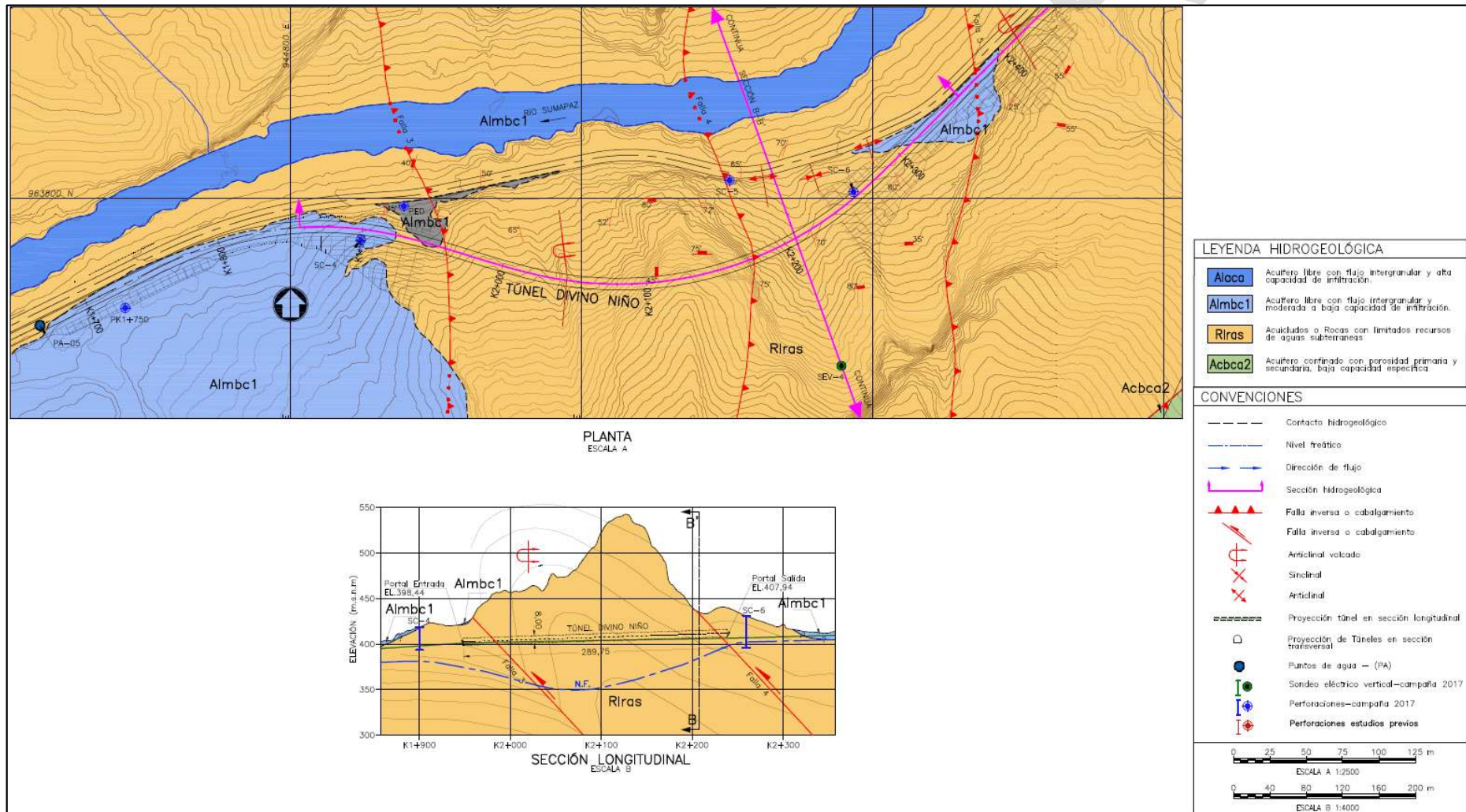


Figura 185 Planta perfil Hidrogeológico Transversal Túnel 2 Divino Niño con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

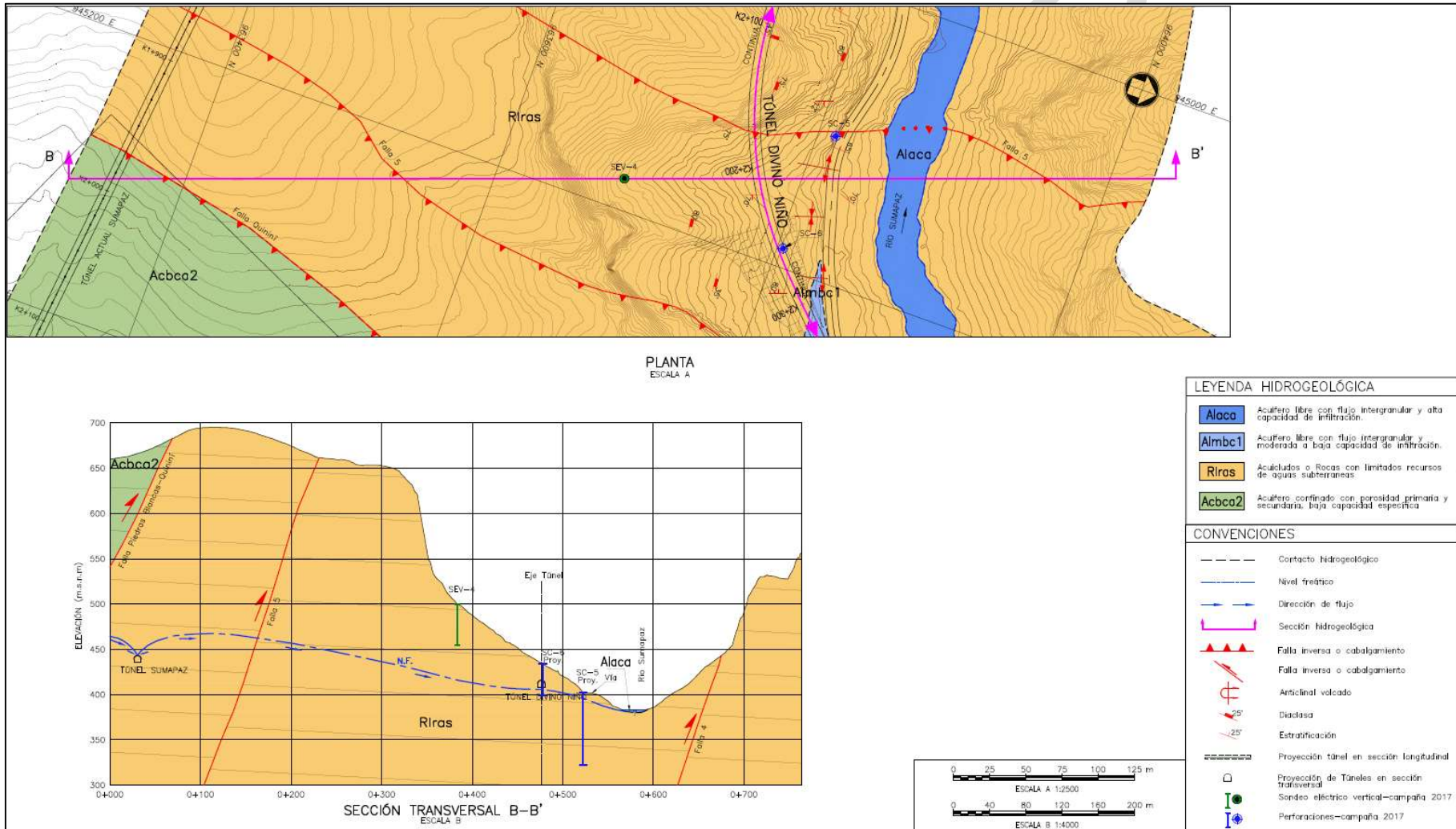


Figura 186 Planta perfil Hidrogeológico Longitudinal Túnel 3 Palmichala con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

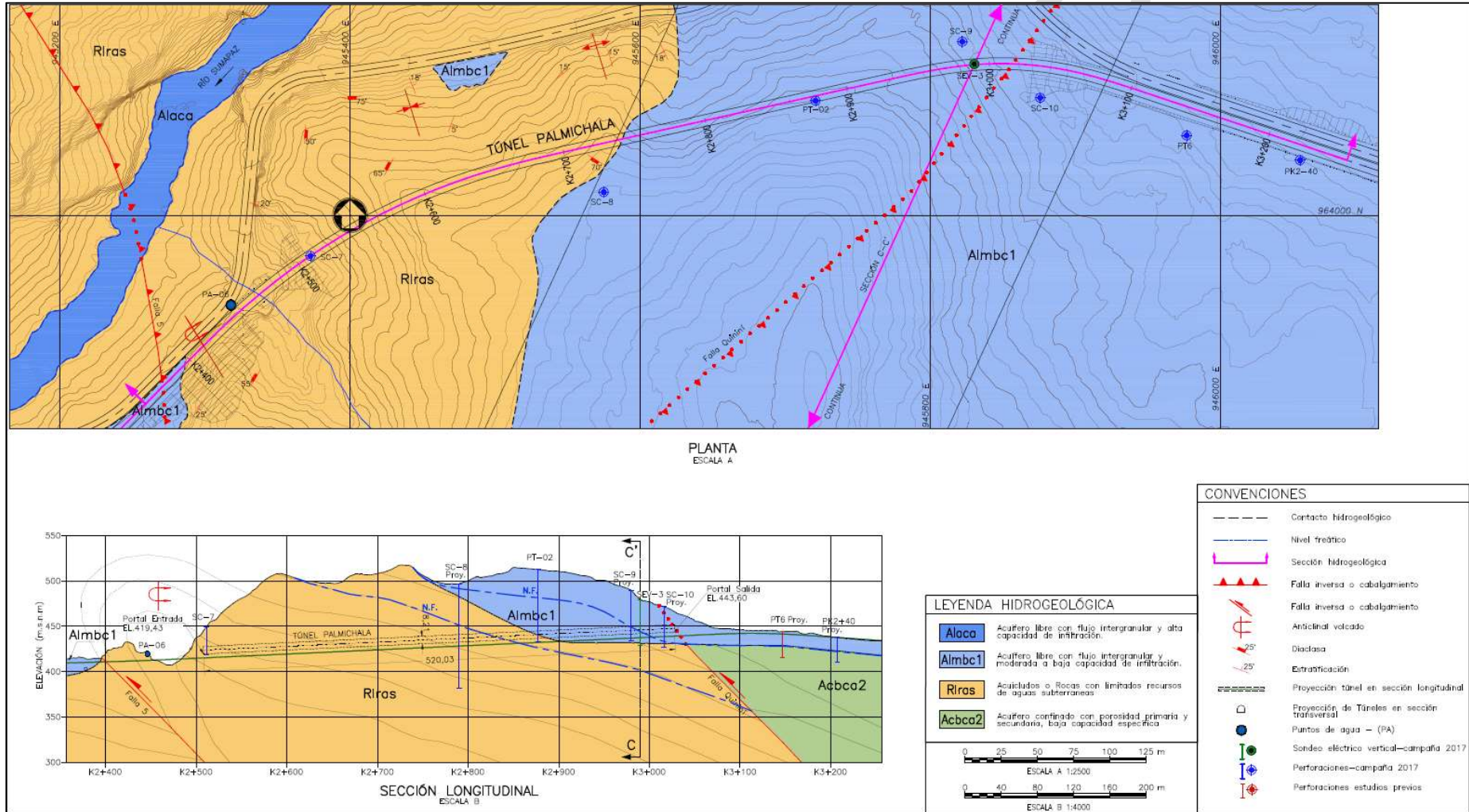


Figura 187 Planta perfil Hidrogeológico Transversal Túnel 3 Palmichala con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

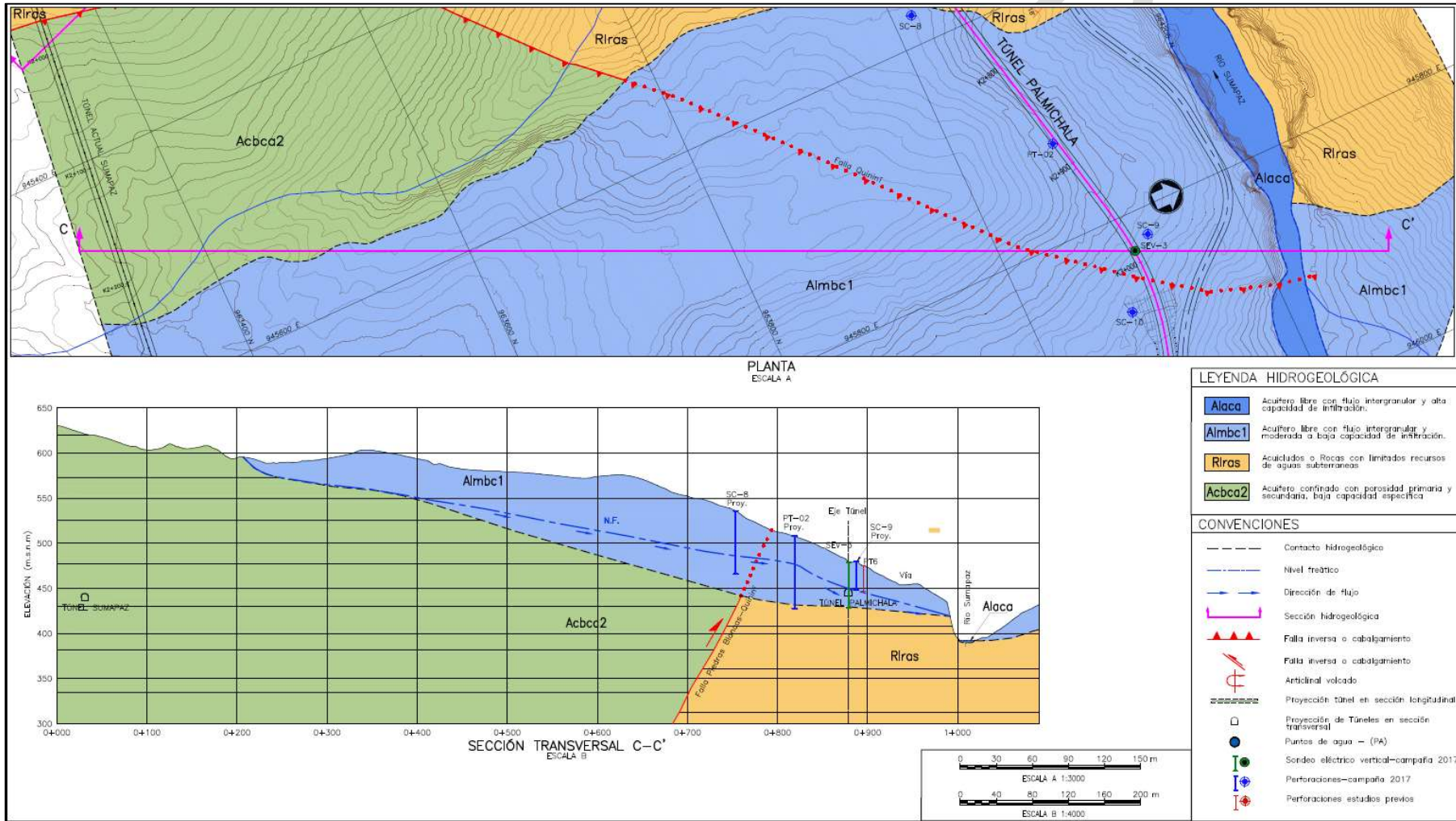


Figura 188 Planta perfil Hidrogeológico Longitudinal Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

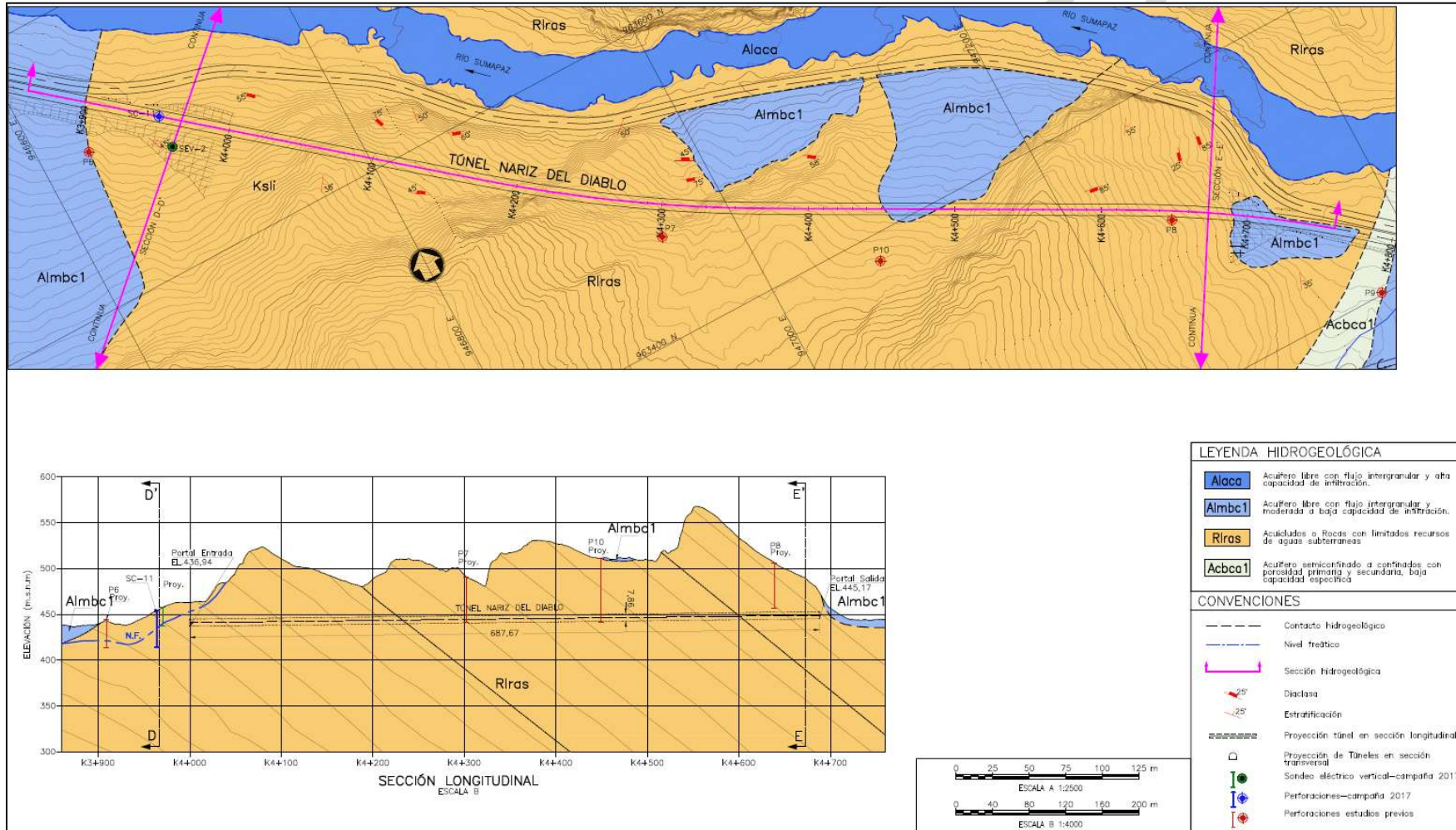


Figura 189 Planta perfil Hidrogeológico Transversal Portal de Entrada (PE) Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

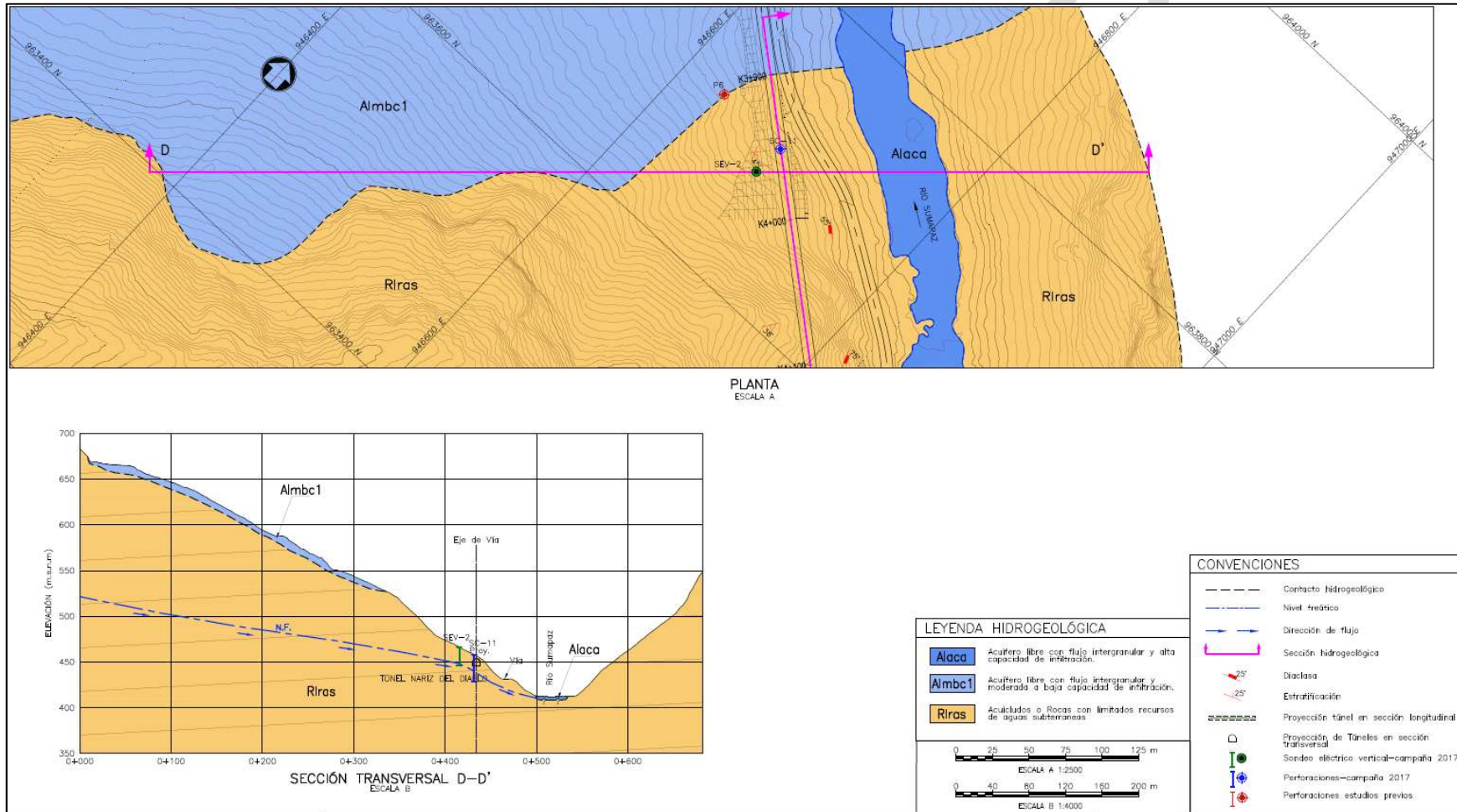
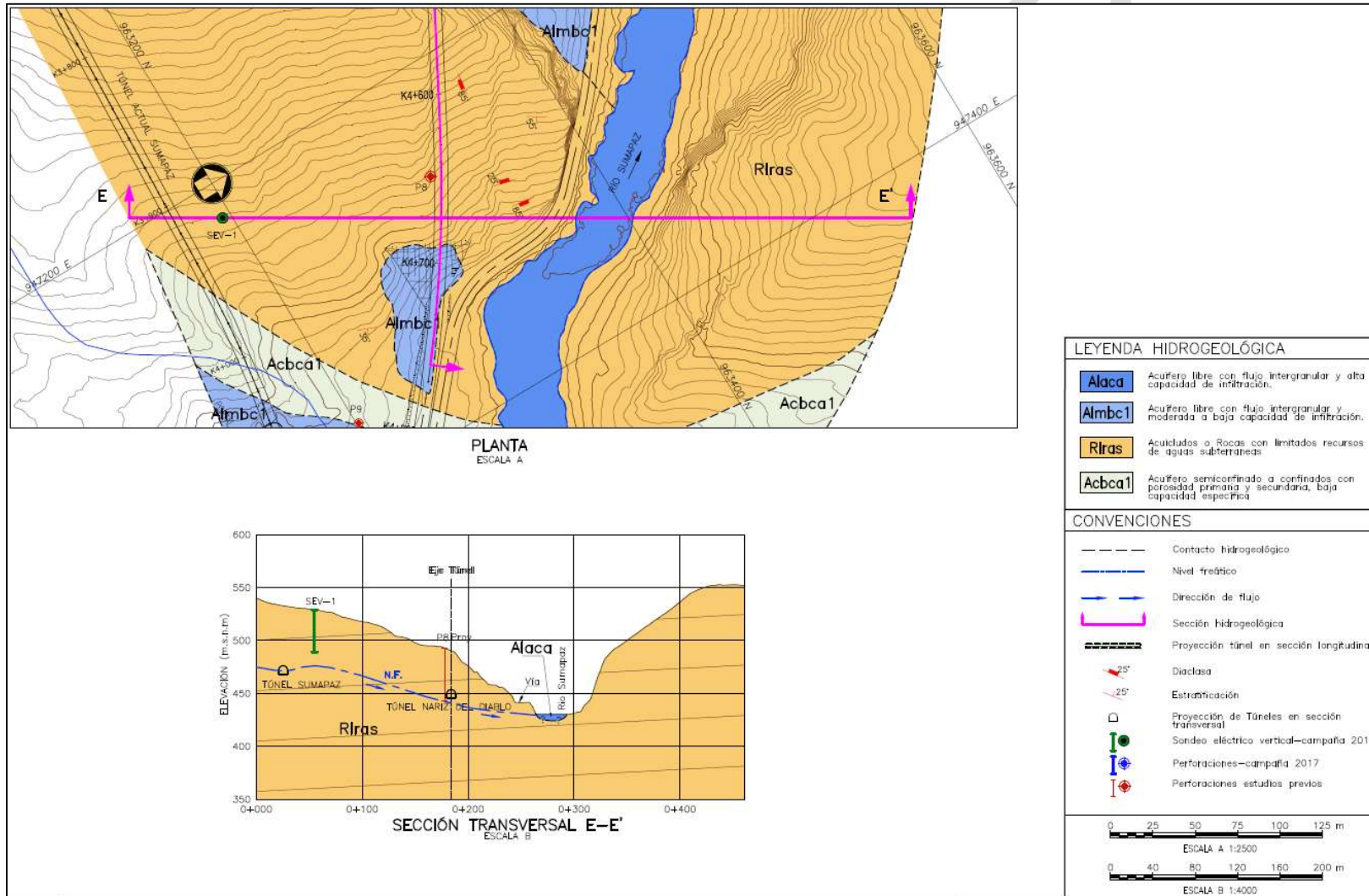


Figura 190 Planta perfil Hidrogeológico Transversal Portal de Salida (PS) Túnel Nariz del Diablo con la posición de la superficie piezométrica estimada de las campañas de exploración del subsuelo UF2 Ampliación del Tercer Carril Doble Calzada Bogotá – Girardot. Fuente: INGETEC, 2017



5.1.8.9.2. Conclusiones

Se identificaron para el área de influencia de la Unidad Funcional 2 siete unidades hidrogeológicas que corresponden a tres tipos de sistemas de acuíferos, (i) con flujo intergranular y porosidad primaria (ii) flujo intergranular y porosidad primaria y secundaria (iii) confinados a semi-confinados con flujos a través de fracturas y (iv) rocas con porosidad secundaria pero con limitados recursos de agua subterránea.

Dentro del sistema de acuíferos con flujo intergranular y porosidad primaria se incluye dos unidades hidrogeológicas. La primera unidad hidrogeológica (Alaca), se caracteriza por estar asociados depósitos aluviales (Qal) carácter local, conformados por sedimentos cuaternarios no litificados, con granulometrías heterogéneas; la segunda corresponde a la unidad hidrogeológica Almb2, la cual se asocia a los depósitos Coluviales (Qc) carácter local, conformados por sedimentos cuaternarios no litificados, con granulometrías heterogéneas, se presentan en este tipo de acuíferos superficies piezométricas colgadas, cuya profundidad varían entre 8 y 31 m. en el túnel Plamichala en el PS se presenta este acuífero con una geometría lenticular con una profundidad máxima detectada de 76 metros de espesor.

Dentro del sistema de acuíferos con flujo intergranular y porosidad primaria y secundaria, se identificaron las unidades hidrogeológicas Acbca1 - Acbca2. El acuífero Acbca1, se caracteriza por presentar baja capacidad específica, de la Formación La Tabla (Ksls), este tipo de acuíferos no se asocia directamente a las obras superficiales ni subterráneas para la UF-2. Aflora únicamente entre el K41+525 al K41+700 en el extremo este del área de influencia directa. El acuífero confinado (Acbca2), está constituido por shales, areniscas finas, y esporádicas capas de caliza de la Formación Conejo, altamente plegadas, Las características texturales y litológicas de esta unidad le atribuye bajas condiciones de permeabilidad y capacidad de almacenamiento de agua subterránea, pero como se encuentran afectadas tectónicamente presentan porosidad secundaria. No se registran niveles freáticos someros en estas unidades.

En el sistema de acuíferos confinados a semi-confinados con flujos a través de fracturas, se identificó la unidad Aclra, presentan baja capacidad de almacenamiento de agua subterránea, baja transmisividad, discontinuos de carácter regional representados por la Formación Seca (Kpgs). Esta unidad hidrogeológica no se asocia directamente a las obras superficiales ni subterráneas para la UF-2. Aflora únicamente en el extremo este del área de influencia directa, no se registran niveles freáticos someros en esta unidad hidrogeológica.

La unidad hidrogeológica principal, que se distribuye ampliamente y a lo largo de los cuatro túneles cortos corresponde a Rlas, son acuíferos de extensión regional con baja a nula producción de agua subterránea. Se asocia a las rocas sedimentarias del Grupo Olini (Ksls, Ksom y Ksli), se comporta como un medio isotrópico con baja permeabilidad y transmisividad únicamente por la porosidad secundaria por la deformación estructural de los macizos debido al fallamiento local y regional, lo cual no se evidencian niveles freáticos altos solo concentrados y deprimidos en las zonas de mayor fracturamiento del macizo. Es de carácter continuo, de extensión regional, de baja a nula productividad y capacidad específica menor a 0,05 l/s/m. En el área de influencia de la UF-2 estos acuíferos reciben la recarga de las zonas altas de acuerdo con su configuración geomorfológica y estructural de la cuenca media del río Sumapaz. Los cuatro túneles cortos de la UF-2 serán excavados en este tipo de acuíferos (Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0 y el Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0). Anexo MH Secciones Hidrogeológicas UF-2.

Las direcciones de flujo en el área de influencia de la UF-2 en el escenario sin proyecto, de acuerdo con el análisis conceptual y numérico, siguen una tendencia perpendicular al río Sumapaz, esto teniendo en cuenta que las fallas presentes en la zona generan franjas de mayor conductividad. Se puede apreciar que en el límite sur del modelo (túnel Sumapaz), las líneas de flujo se dirigen en dirección al túnel, esto se debe a que el túnel se presenta en el sistema como una zona de baja presión por lo que el agua es atraída hacia esta.

Las direcciones de flujo en el área de influencia de la UF-2 en el escenario con proyecto, de acuerdo con el análisis conceptual y numérico, indican abatimientos variables en cada uno de los túneles cortos proyectados, (i) en el Túnel Ermitaño las líneas de flujo, aunque mantienen su dirección perpendicular al río, presentan algunas desviaciones en cercanías, tanto al túnel Sumapaz, como al túnel Ermitaño; (ii) en los túneles Divino Niño, Palmichala y Nariz del Diablo, no se presentan desviaciones significativas en relación a la condición inicial, lo cual es de esperarse teniendo en cuenta que los abatimientos en esta zona son poco representativos.

De acuerdo con el MHC y el MHN, los abatimientos estimados con base en las simulaciones realizadas se estima que en cercanías de los túneles proyectados se presentarían abatimientos máximos del orden de 40 m para el túnel El Ermitaño, de 10 m para los túneles Divino Niño y Palmichala y de 2 m para el túnel Nariz del Diablo. En el resto del área de influencia se presentan abatimientos poco significativos, menores a 10 m de profundidad (ver en detalle numeral 5.1.9.6).

La zona de recarga de acuerdo con el MHC, se ha establecido que la recarga de agua freática se ubica hacia la parte alta del macizo rocoso ubicado al sur de la zona de túneles cortos por alimentación directa del macizo fracturado como por filtración de agua en el terreno por escorrentía. Los flujos de agua están direccionados en sentido sur- norte, siguiendo el rumbo de los estratos y por los ejes de los pliegues sinclinales, en las zonas de cizallas que también van en sentido sur-norte, llevando el flujo de agua subterránea hasta el punto más bajo ubicado en el río Sumapaz. Lo anterior, se valida con los resultados del MHN, que se detallan en el numeral 5.1.9.

5.1.8.10. Dirección de flujo subterráneo a partir del MHC

Desde el punto de vista hidrogeológico, se ha establecido que la recarga de agua freática se ubica hacia la parte alta del macizo rocoso ubicado al sur de la zona de túneles cortos por alimentación directa del macizo fracturado como por filtración de agua en el terreno por escorrentía. Los flujos de agua están direccionados en sentido sur- norte, siguiendo el rumbo de los estratos y por los ejes de los pliegues sinclinales, en las zonas de cizallas que también van en sentido sur-norte, llevando el flujo de agua subterránea hasta el punto más bajo ubicado en el río Sumapaz. El túnel actual del Sumapaz, por estar ubicado más al sur, se encarga de deprimir y controlar los flujos de agua (lo anterior se describe en detalle en el numeral 5.19) y es por ello que para el trazo de los túneles cortos, localizados muy cerca de la ladera y del río Sumapaz, el efecto de las aguas subterráneas sobre estas obras será relativamente bajo. Las infiltraciones de agua están asociadas más a aportes de agua que pueda infiltrarse en superficie, dada la baja cobertura cuyas aguas se manifestaran en época de lluvias (véase resultados **Balance Hídrico Superficial numeral 5.1.8.2**).

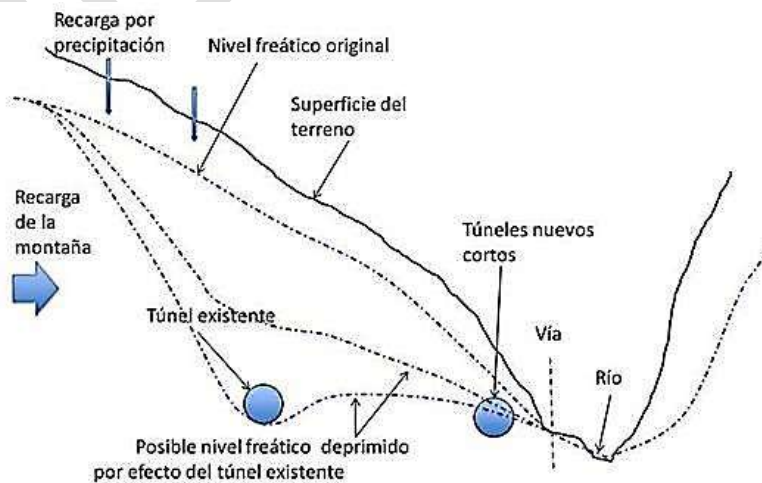
La Figura 191, ilustra en una vista panorámica de la zona de recarga y de la dirección del flujo de agua subterráneo para el área de influencia de la UF-2. En la Figura 197, se presenta un esquema transversal al río Sumapaz que ilustra cómo puede ser el comportamiento de niveles freáticos con la presencia del túnel actual existente y los alineamientos de los túneles cortos proyectados.

Figura 191 Vista panorámica zona de recarga y dirección de flujos de agua subterráneo para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



Fuente: INGETEC, 2017

Figura 192 Esquema transversal que ilustra el comportamiento de niveles freáticos en forma conceptual para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot



5.1.9. Modelo Hidrogeológico Numérico - MHN

El modelo matemático de simulación hidrogeológica tiene como fin determinar y caracterizar el comportamiento del sistema de unidades hidrogeológicas identificadas en el área de estudio, así como evaluar tanto los impactos que se pueden presentar en el sistema acuífero como resultado de la construcción e implementación de los cuatro túneles cortos, como la influencia que este sistema puede tener sobre las obras proyectadas, en particular en lo que se refiere a infiltración de aguas subterráneas.

La construcción del modelo tuvo en cuenta:

El modelo hidrogeológico conceptual desarrollado por INGETEC que fue desarrollado a partir del modelo conceptual suministrado por CR40

- La topografía del terreno proporcionada por CR40
- Las perforaciones realizadas en campo Ver numeral 2.4.1.2
- La información hidrogeológica existente, incluyendo las estimaciones de recarga. Ver numeral **5.1.8.2**

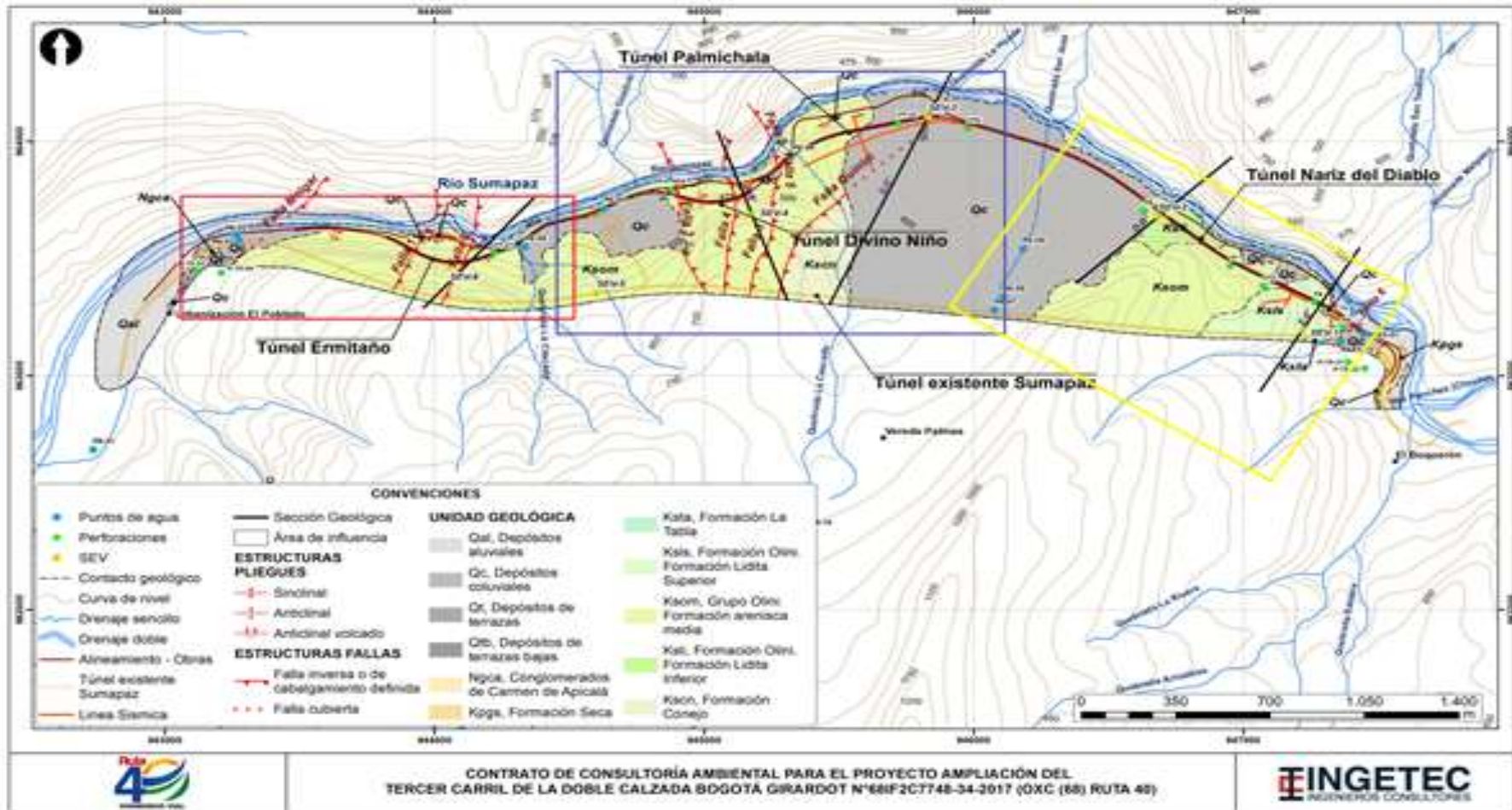
Para la simulación hidrogeológica, se utilizó el programa VISUAL MODFLOW 2011.1, versión 4.6.0.164, distribuido por Schlumberger Water Services, el cual utiliza la herramienta de cálculo Modflow 2000, desarrollada por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

5.1.9.1. Definición del área de influencia a modelar

Para tener un mejor acercamiento al comportamiento real de las aguas subterráneas del sistema, se ha considerado dividir el área de influencia en tres áreas diferentes de modelación; la primera abarca toda la zona de influencia del Túnel Ermitaño, la segunda abarca la zona de influencia de los Túneles Divino Niño y Palmichala y la última abarca toda el área de influencia del túnel Nariz del Diablo como se observa en la Figura 193.

Con esta configuración de modelo se ha buscado facilitar la representación de los flujos subterráneos que pueden darse a través del macizo, los cuales tienen una dirección principal transversal al río debido a la configuración de la topografía y, sobre todo, a la orientación de las estructuras del macizo, incluidas las fallas (ver Figura 194). Para representar de manera idónea estos flujos, el rango de modelación se ha subdividido en tres tramos y cada uno de estos se ha orientado de acuerdo a la dirección principal de flujo que corresponde, con lo cual se evita que el flujo representado en el programa ModFlow se dé de manera sesgada a los elementos de la grilla de simulación, facilitándose entonces la representación numérica.

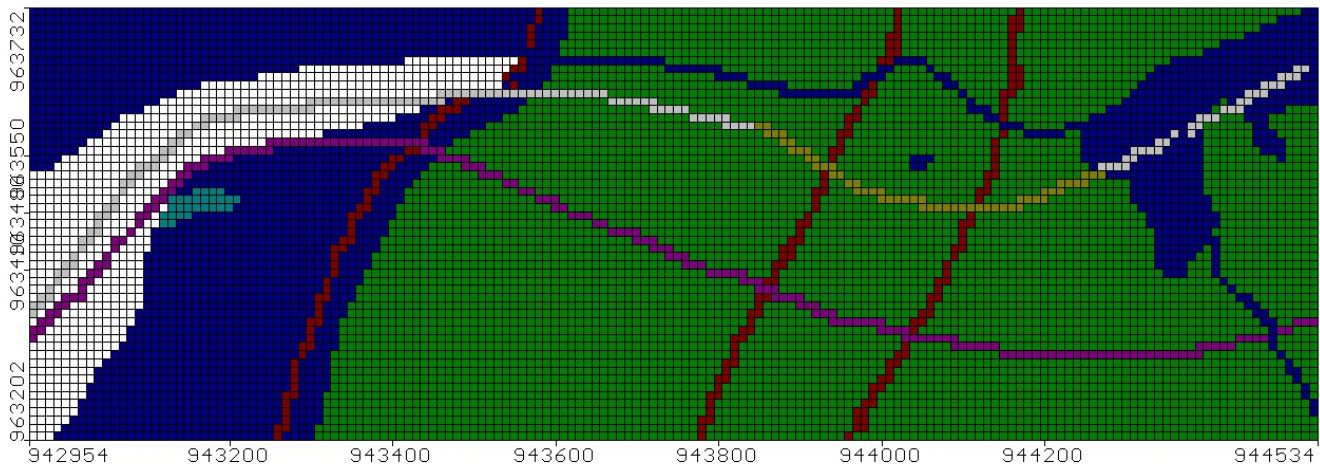
Figura 193 Diferentes áreas de modelación Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



5.1.9.1.1. Túnel Ermitaño

Se modela un área de 0,84Km², limitando hacia el occidente con el portal de entrada del Túnel Sumpaz, hacia el oriente con el portal de salida del mismo túnel, hacia el norte con el Río Sumapaz y hacia el sur hasta la coordenada 963202,9N, buscando representar de manera apropiada el túnel Sumapaz, como se muestra en la Figura 194

Figura 194 Configuración en planta modelo 1 Túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

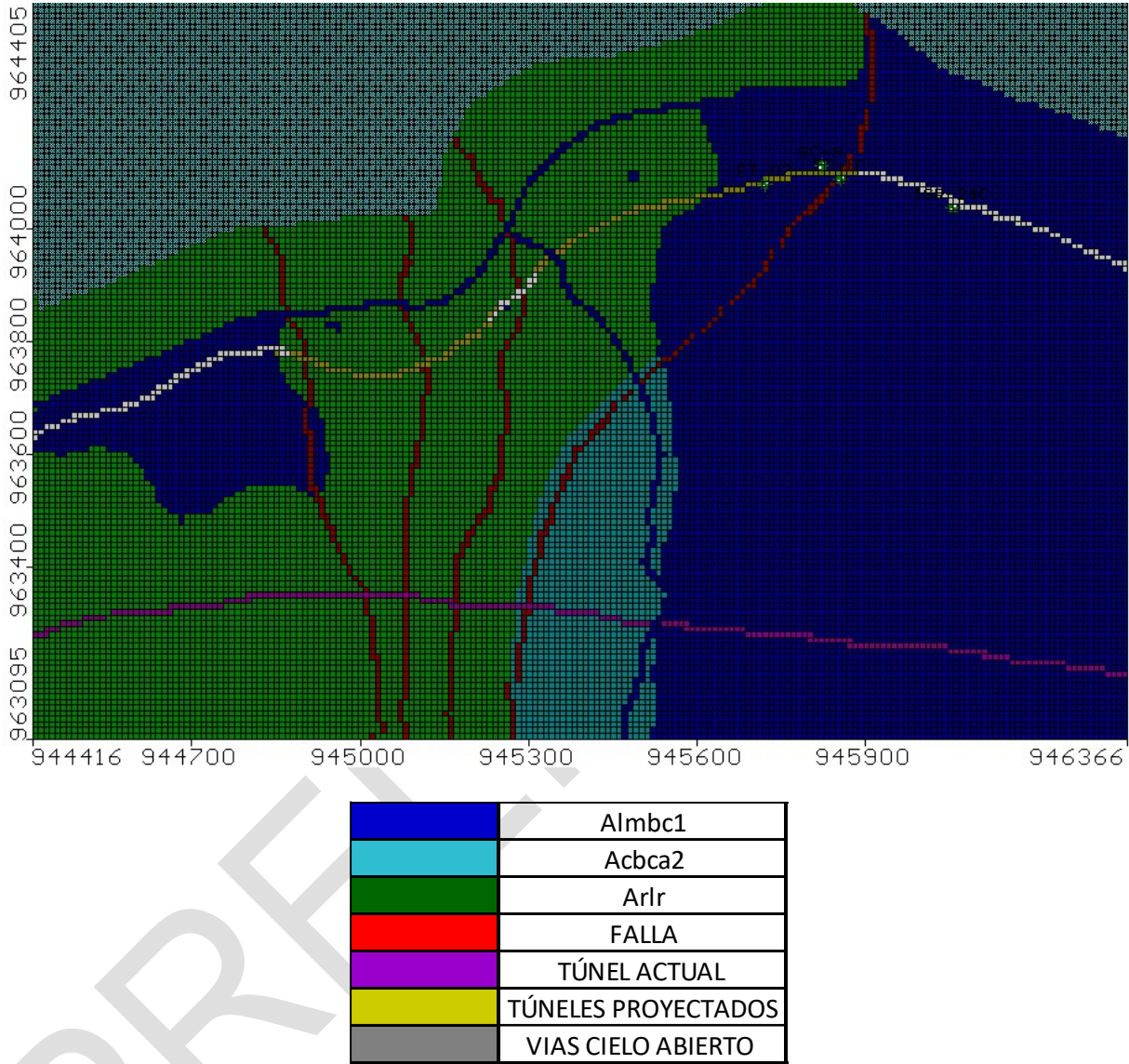


	Almbc1
	Alaca
	Almbc2
	Arlr
	FALLA
	TÚNEL ACTUAL
	TÚNEL ERMITAÑO
	VIAS CIELO ABIERTO

5.1.9.1.2. Túnel Divino Niño y Palmichala

Se modela un área de 2,56 km², limitando hacia el occidente con el portal de entrada del Túnel Divino Niño, hacia el oriente con el portal de salida del Túnel Palmichala, hacia el norte con el Río Sumapaz aproximadamente, y hacia el sur con el Túnel Sumapaz, como se muestra en la Figura 195

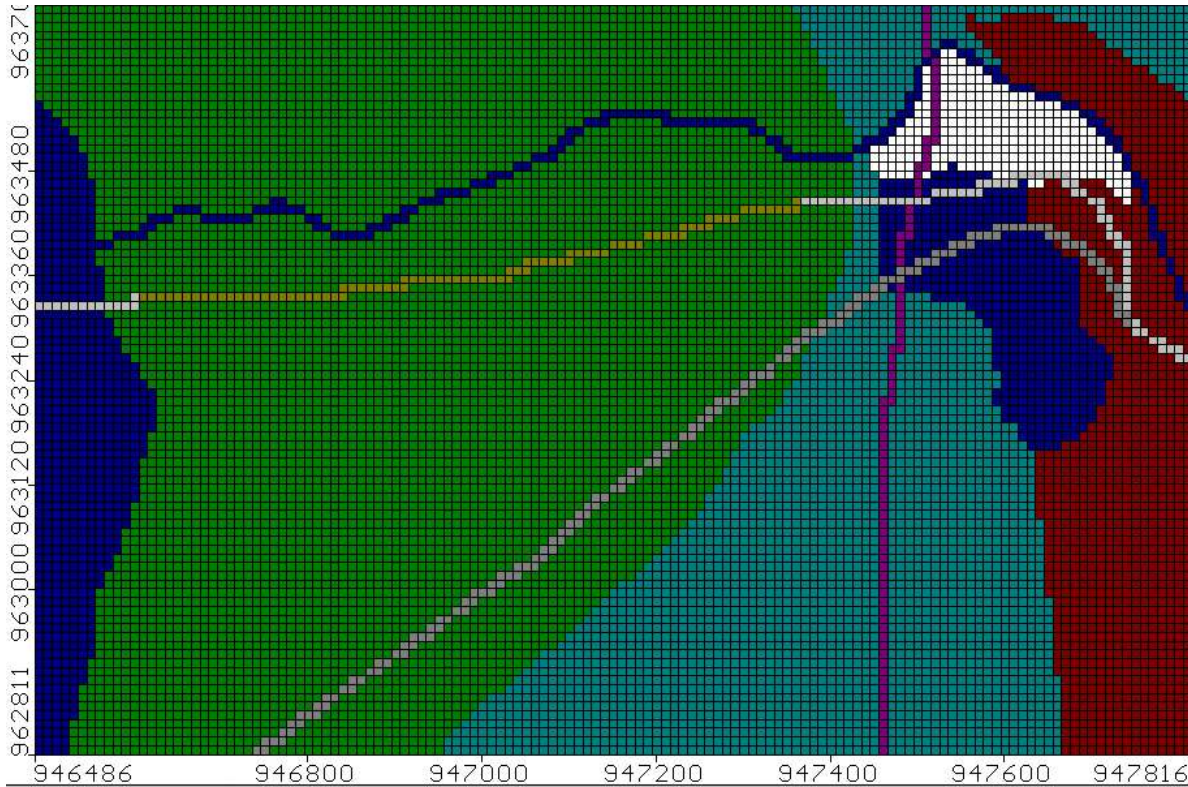
Figura 195 Configuración en planta modelo 2, túneles Divino Niño y Palmichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



5.1.9.1.3. Túnel Nariz del Diablo

Para esta modelación se tiene en cuenta un área de 1,18Km², limita al occidente con el portal de entrada del túnel Nariz del Diablo, hacia el oriente con el portal de salida del mismo, hacia el norte con el Río Sumapaz y hacia el sur hasta la coordenada 962567,1N, buscando representar de manera apropiada el túnel Sumapaz, como se muestra en la Figura 196.

Figura 196 Configuración en planta modelo 2, túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



①

5.1.9.2. Discretización horizontal y vertical

Cada uno de los modelos tiene una discretización horizontal con celdas cuadradas de 10X10m; el número de filas y columnas varía dependiendo del área de modelación como se especifica a continuación:

- Modelo1_Tunel Ermitaño: 158 columnas y 53 filas.
- Modelo2_Tuneles Divino Niño y Palmichala: 195 columnas y 131 filas.
- Modelo3_Tunel Nariz del Diablo: 133 columnas y 89 filas.

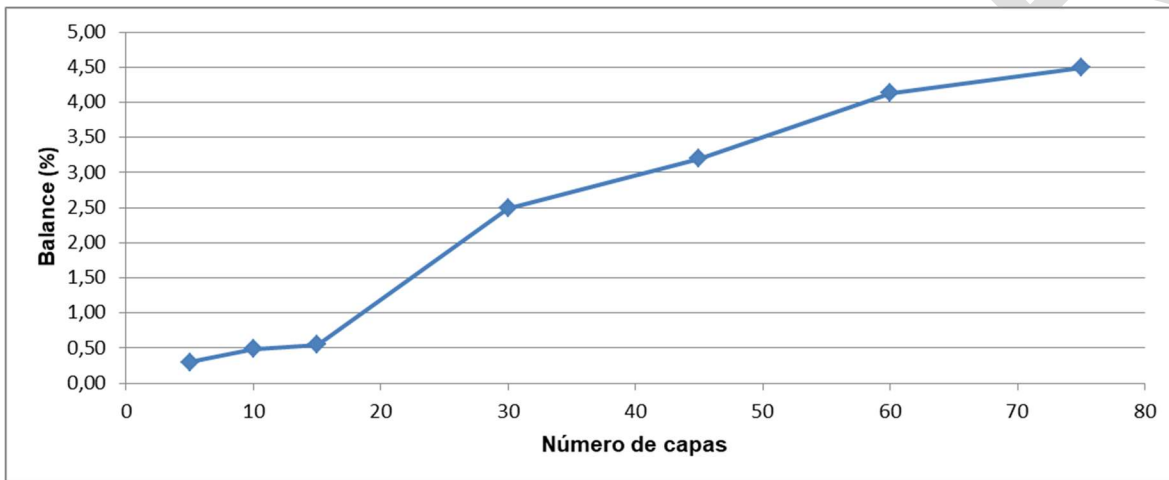
En cuanto a la Discretización vertical, se realizó un análisis de sensibilidad teniendo en cuenta la configuración de las unidades, los ríos considerados para la modelación y el valor de la recarga (ver numeral 2.2.2).

Se establece el balance como parámetro de evaluación preliminar, que es calculado por el modelo como un control de la aceptabilidad de la solución, y para proporcionar un resumen de las entradas y salidas en el régimen de flujo de agua subterránea. (GIDAHATARI). En la Tabla 133 y en la Figura 197 se muestran los números de capas utilizados y el balance obtenido.

Tabla 133 Valores Discretización vertical Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

N° de capas	Discretización vertical						
	5,00	10,00	15,00	30	45	60,00	75,00
Balance (%)	0,30	0,49	0,55	2,49	3,2	4,13	4,49

Figura 197 Discretización vertical Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



Después de este análisis se establecen 15 capas como discretización vertical, teniendo en cuenta que el balance es adecuado y que el programa requiere que la altura promedio de las capas sea similar al ancho de ellas -para mantener la ortogonalidad y evitar futura inestabilidad numérica-, así como teniendo en cuenta que es justamente a partir de esta cantidad de capas que se presentarían incrementos significativos en el porcentaje que representa el error en el balance del modelo.

5.1.9.3. Condiciones de Frontera

Las condiciones de frontera se definieron teniendo en cuenta la interconexión hidráulica de los cuerpos de agua superficial con el acuífero; además, se tuvieron en cuenta las condiciones relacionadas con las intervenciones antrópicas asociadas a las excavaciones propias de la configuración de los cuatro túneles cortos asociados al proyecto y el túnel existente en la zona de estudio.

5.1.9.3.1. Ríos

Uno de los componentes hidráulicos más importantes dentro de la dinámica del sistema hidrogeológico corresponde a los cuerpos de agua superficial; en la modelación, los ríos suministran agua a los acuíferos o bien, drenan agua a los mismos, según el gradiente existente entre los potenciales del agua en el río y el del acuífero.

En este caso particular, se consideran tres cuerpos de agua superficiales, el río Sumapaz, la quebrada La Cascada y la quebrada Palmichala, teniendo en cuenta que son cuerpos de agua con una gran influencia en el sistema acuífero de la región. Estos cuerpos de agua fueron caracterizados teniendo en cuenta las mediciones realizadas durante las campañas de campo, es importante aclarar que las demás corrientes consideradas para la caracterización del área de influencia, estaban secas en el momento de las mediciones y se desconoce la

profundidad de los niveles freáticos asociados, por lo que no se consideraron como condiciones de frontera para la modelación.

Tabla 134 Características de los ríos Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

	Río Sumapaz	Q. la Cascada	Q. Palmichala
Profundidad promedio	1,3	0,2	0,4
Conductancia	10	0,25	0,3

5.1.9.3.2. Recarga

Se establece un valor de recarga general para todas las tres (3) áreas modeladas, teniendo en cuenta los resultados de los análisis de balance hídrico. Este valor corresponde al 6,2% de la precipitación promedio, con lo que se establece una recarga de 136 mm/año en todo el área de modelación.

5.1.9.3.3. Dren Túnel Actual Sumapaz

Esta condición de frontera extrae agua del sistema cuando la carga hidráulica en el acuífero es mayor a la elevación fijada del dren, por lo que el caudal obtenido está condicionado por la altura de la lámina de agua y la conductancia que se le asigne al dren. Teniendo en cuenta estas características, es utilizada para representar tanto el túnel existente (Túnel Sumapaz) como los cuatro túneles proyectados (Túnel Ermitaño, Túnel Divino Niño, Túnel Palmichala y Túnel Nariz del Diablo).

La cota que se asigna al dren en cada caso corresponde a la cota de solera del túnel en consideración; los valores utilizados se muestran en la Tabla 135.

Tabla 135 Relación de cotas de los cuatro túneles cortos proyectados Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

TÚNEL	Cota solera entrada	Cota solera salida
Ermitaño	383	383
Dino Niño	394	408
Palmichala	419	444
Nariz del Diablo	437	445

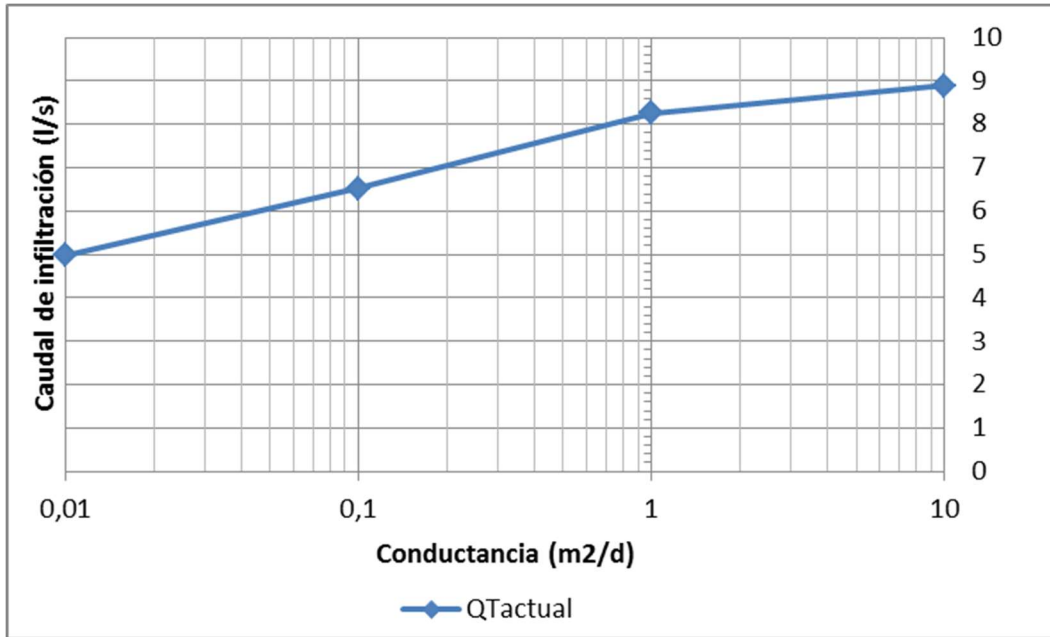
5.1.9.4. Análisis de sensibilidad

Se realizan análisis de sensibilidad a cada uno de los parámetros hidráulicos, como la conductividad, la porosidad y el almacenamiento. Por otro lado se hace análisis de sensibilidad a la conductividad en las fallas y a la conductancia del dren pues se consideran como elementos de calibración.

5.1.9.4.1. Análisis de sensibilidad a la conductancia del Dren

Uno de los datos más relevantes para la calibración de los modelos son los caudales de infiltración medidos en el túnel Sumapaz, por lo que se hace el análisis de sensibilidad del caudal de infiltración respecto a los valores de conductancia del dren, que en este caso es el elemento que representa los túneles estudiados, como se muestra Figura 203

Figura 198 Sensibilidad a la conductancia del dren Sumapaz Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



Se puede observar que a medida que el valor de la conductancia es mayor, los caudales de infiltración reportados en el dren aumentan; vale mencionar que el caudal en el dren depende directamente de la cabeza entre el nivel freático y la cota asignada a este elemento, por lo tanto una vez e+l nivel de la lámina de agua esté por debajo de la cota del dren, el caudal reportado será mínimo.

5.1.9.4.2. Análisis de sensibilidad a la conductancia de las unidades

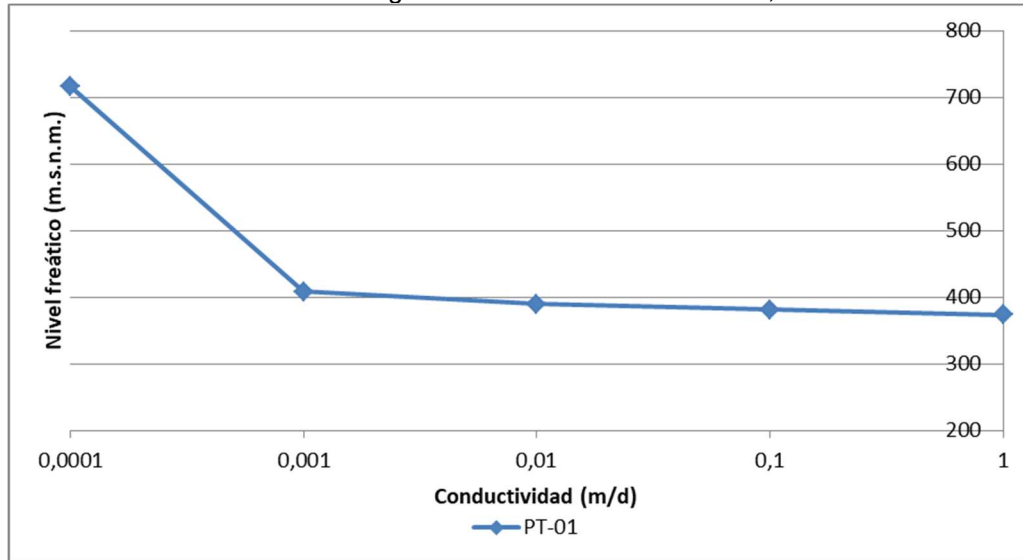
Para el análisis de sensibilidad a la conductividad en las unidades hidrogeológicas, se tomó un punto de referencia en cada unidad y se consignó el nivel piezométrico que arroja la modelación en ese punto para los diferentes valores de conductividad.

El cambio de conductividad se hace para la formación Olini teniendo en cuenta que es la formación predominante en el área de influencia, no solo en extensión, sino porque es la formación en la que se desarrollan las obras principalmente.

Túnel 1 Ermitaño

Se realizaron cambios de conductividad para la formación Olini y se consignaron los cambios en los niveles freáticos en el punto de referencia, que corresponde a PT-01

Figura 199 Sensibilidad a la conductividad de la formación Olini, túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

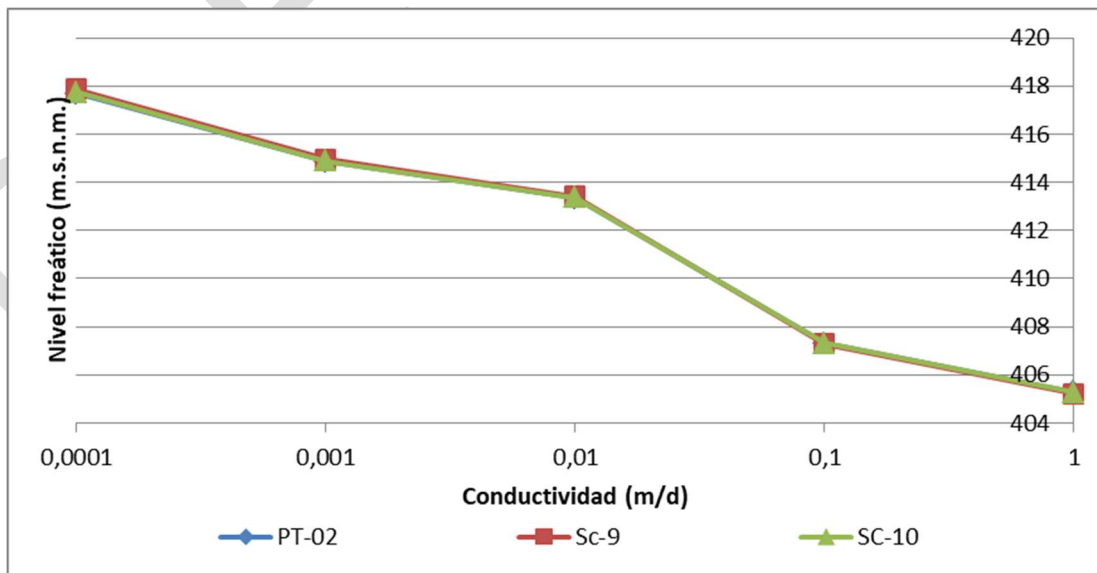


En la gráfica se presenta una tendencia descendente a medida que el valor en la conductividad aumenta, la cual es mucho más marcada entre 0.0001 y 0.001 m/d en valores menores el modelo presenta una menor sensibilidad.

Túnel Divino Niño y Palmichala

Se procedió a hacer cambios en la conductividad de las rocas del Grupo Olini y se consignaron los cambios de nivel freático en los puntos de referencia, que corresponden a PT-02, SC-9, SC-10.

Figura 200 Sensibilidad a la conductividad del Grupo Olini, túneles Divino Niño y Palmichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

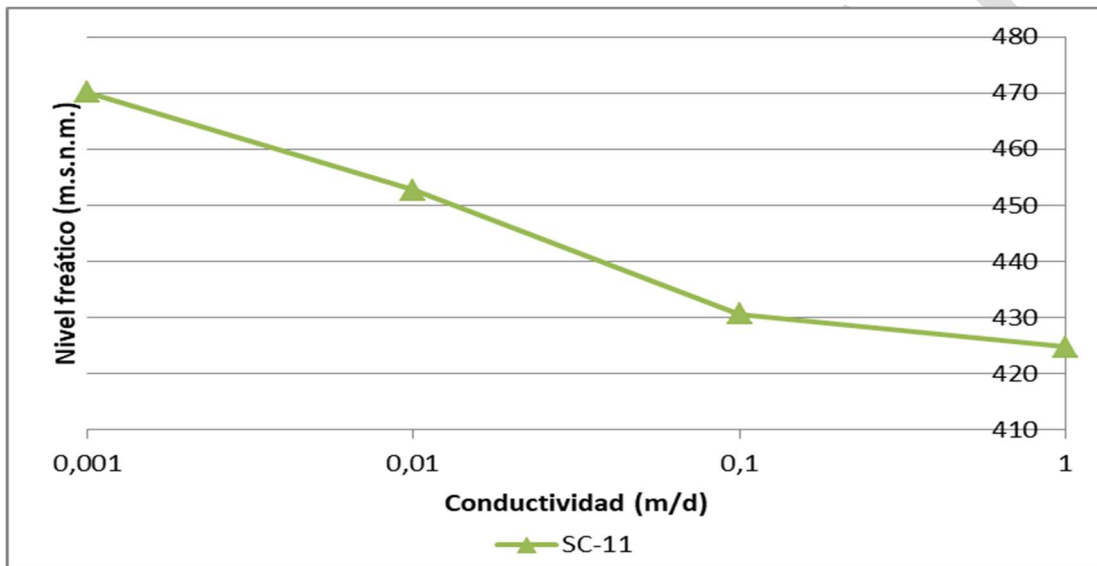


En este análisis se puede observar que se presenta una tendencia descendente; a medida que el valor de la conductividad hidráulica aumenta, el nivel piezométrico reportado es menor. De manera general, el rango de niveles piezométricos varía en promedio 12m para todos los piezómetros considerados, entre los valores de conductividad entre 0.0001 y 1 m/d.

Túnel Nariz del Diablo

Al igual que en las modelaciones anteriores, se hace el análisis de sensibilidad variando la conductividad de la formación Olini y se evalúan las variaciones de niveles freáticos en los puntos de referencia; como se muestra en la Figura 201.

Figura 201 Sensibilidad a la conductividad del Grupo Olini, Túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

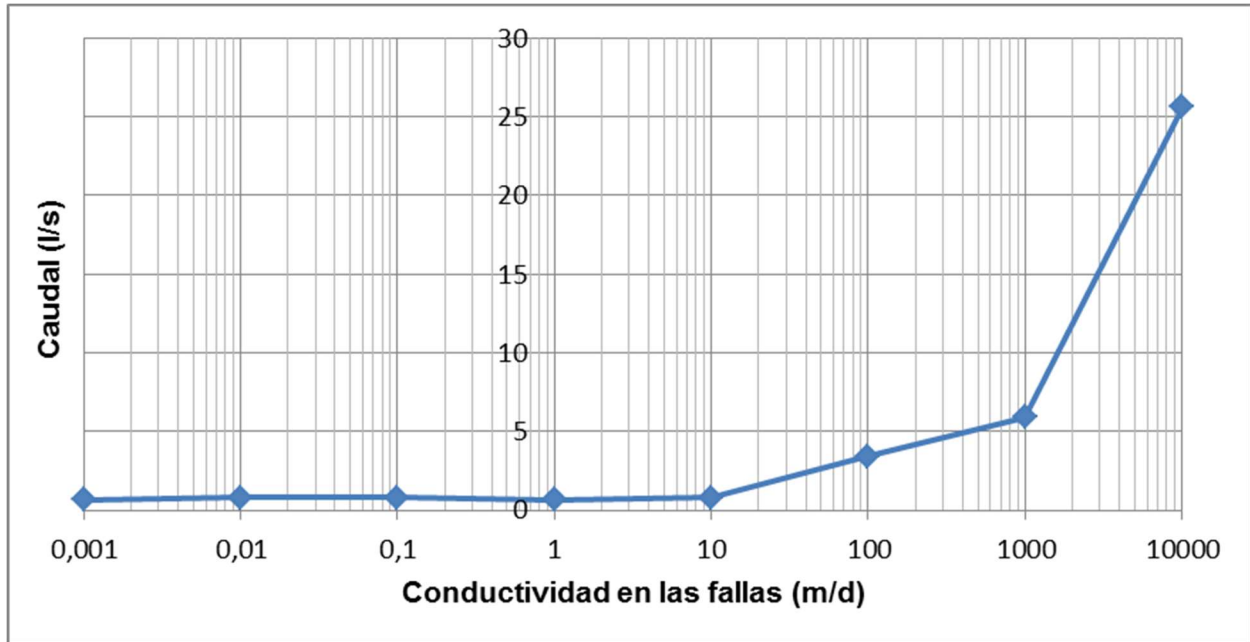


Para este análisis, al igual que en los dos anteriores, la tendencia de los datos es descendente. El modelo presenta una mayor sensibilidad al cambio en la conductividad con valores entre 0.001 y 0.1, cambiando de tendencia con valores mayores.

5.1.9.4.3. Análisis de conductividad hidráulica en las zonas de falla

Teniendo en cuenta que en el área de influencia se presentan algunas fallas geológicas, se evalúa la sensibilidad del modelo a la variación del valor de la conductividad en las fallas, para esto se utiliza como parámetro los caudales de infiltración en el túnel Sumapaz, los resultados del análisis se muestran en la Figura 202 .

Figura 202 Sensibilidad del caudal de infiltración hacia el túnel Sumapaz a la conductividad en las fallas Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



En la gráfica se puede observar que a medida que la conductividad en las fallas es mayor, el caudal infiltrado en el túnel aumenta; este es el comportamiento esperado, teniendo en cuenta que al aumentar la conductividad en las fallas, disminuye la resistencia al flujo y por ende, este es transportado hacia los túneles con mayor facilidad.

Los valores de conductividad menores a 1 m/día muestran un comportamiento uniforme del valor en los caudales infiltrados; a partir de un valor de 10 m/d los incrementos en la conductividad implican incrementos en el caudal de infiltración hacia el túnel.

5.1.9.4.4. Análisis de la sensibilidad a la porosidad

El análisis de este parámetro consistió en realizar simulaciones con el modelo actual, variando en distintos porcentajes la porosidad inicial de todas las unidades hidrogeológicas en cada uno de los modelos, y determinando los niveles freáticos en los piezómetros de referencia.

Figura 203 Sensibilidad a la porosidad Túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

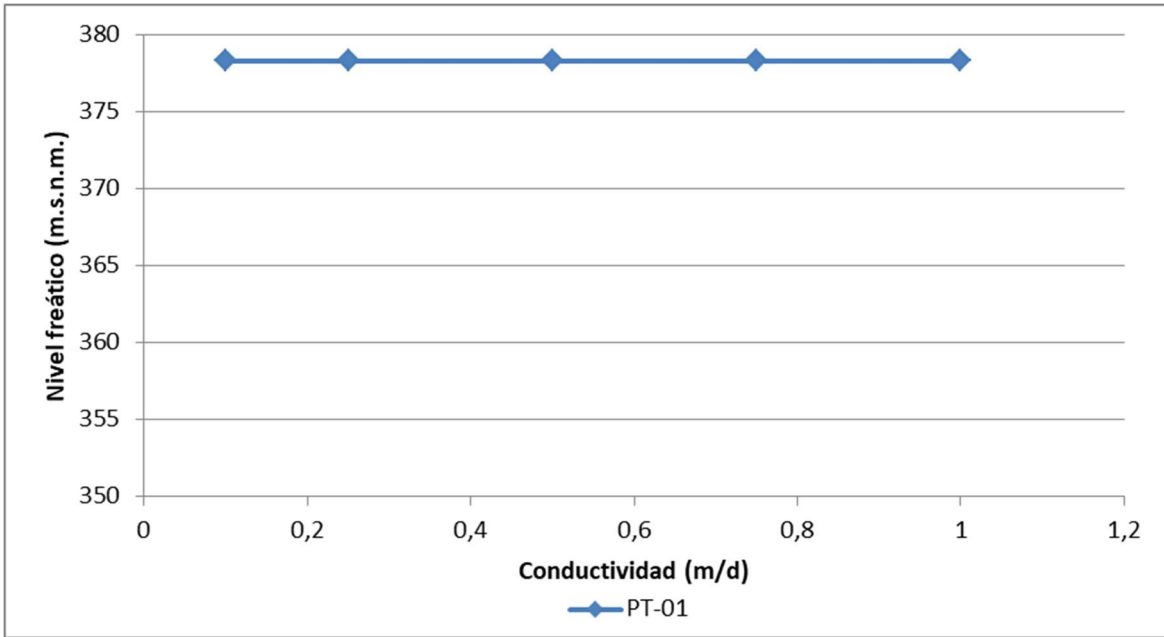


Figura 204 Sensibilidad a la porosidad, túneles Divino Niño y Palmichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

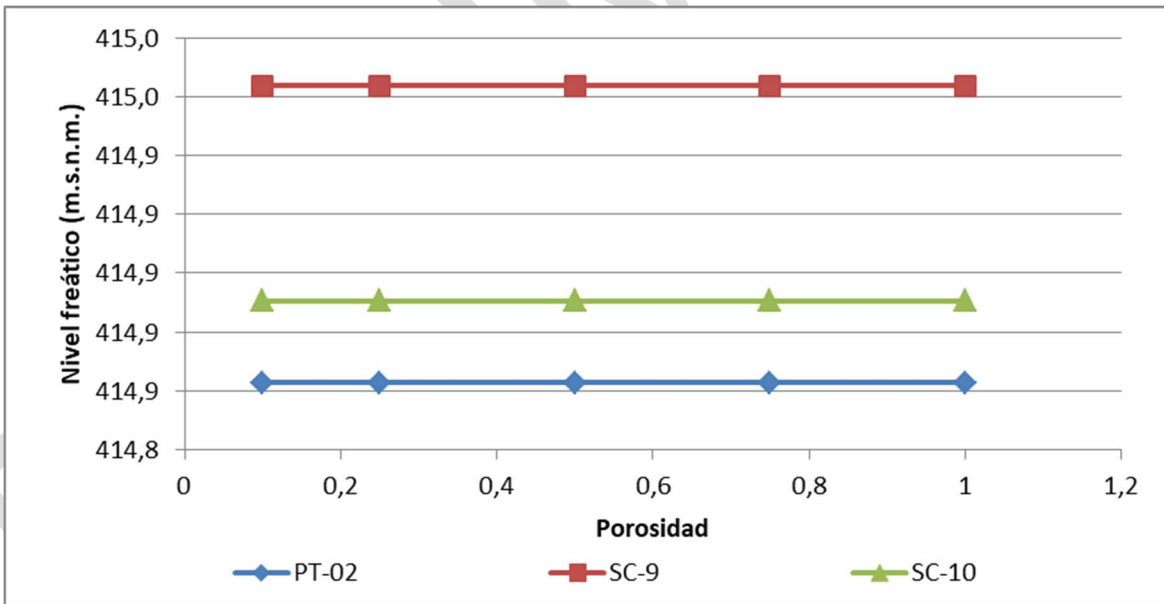
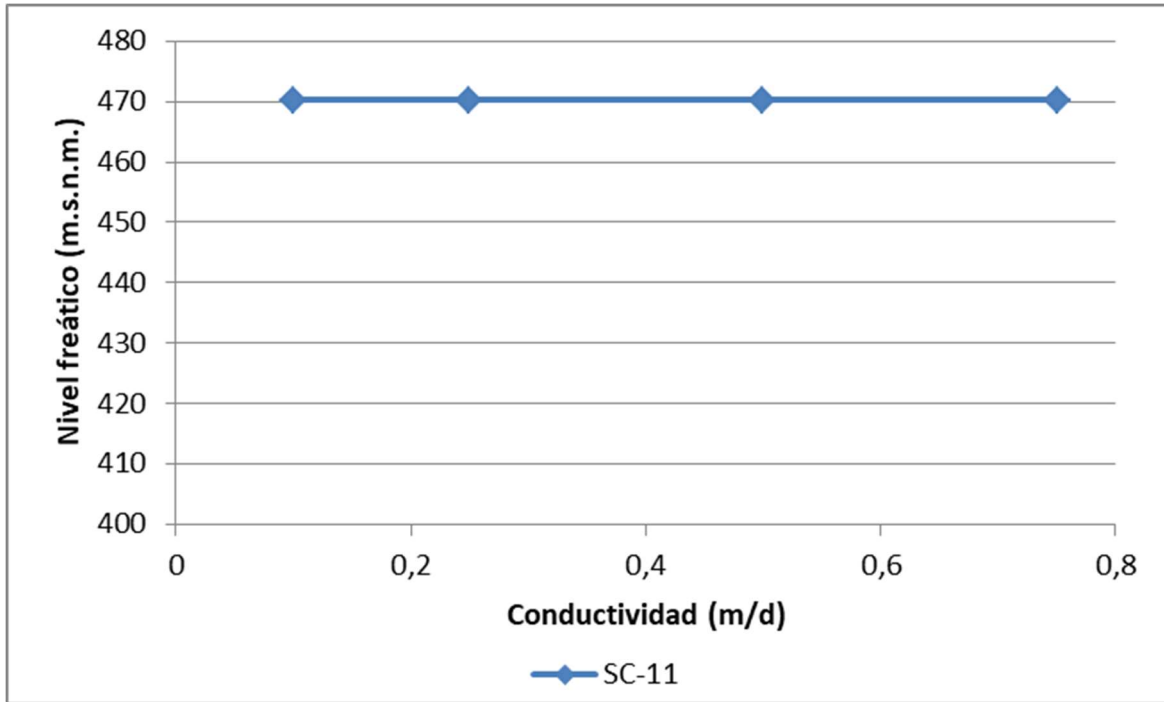


Figura 205 Sensibilidad a la porosidad, túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



Se puede observar que ninguno de los modelos considerados presenta sensibilidad a la porosidad efectiva, pues no se presenta ninguna variación de los niveles calculados con ninguna de las variaciones realizadas a este parámetro.



5.1.9.5. Calibración del modelo

La calibración del modelo numérico se realiza a partir de resultados de mediciones en campo de variables de interés para unas condiciones dadas del sistema. Este proceso corresponde a la búsqueda de la combinación óptima de parámetros de simulación que permite obtener, para las variables de interés, los resultados más cercanos que sea posible a aquellos que fueron medidos en condiciones específicas, cuando el modelo es sometido a la representación numérica de dichas condiciones específicas.

En el caso de los modelos en cuestión, las variables de interés son los niveles freáticos y los caudales de infiltración hacia el túnel Sumapaz. La condición del sistema corresponde al ingreso de la recarga promedio, a los niveles promedio en los ríos y a la presencia del túnel Sumapaz. El proceso de calibración se desarrolló utilizando la herramienta PEST la cual permite estimar parámetros de manera sistemática según las características del sistema, con un error mínimo entre las mediciones de campo y los valores estimados por el modelo.

Adicionalmente al uso de esta herramienta, se hace una segunda calibración al modelo, teniendo en cuenta los valores de caudales de infiltración medidos en el túnel Sumapaz, para llegar a un resultado favorable, se varía la conductancia del dren, para obtener valores cercanos a los medidos.

5.1.9.5.1. Variables y parámetros de la calibración

Para la calibración final del modelo se tienen en cuenta, principalmente, dos variables de calibración; el primero son los caudales de infiltración medidos en el túnel Sumapaz y el segundo son los niveles piezométricos medidos durante las campañas de exploración.

Caudales de infiltración

Para este primer parámetro se consideraron los caudales medidos durante las campañas de campo, en el túnel Sumapaz. Se tienen dos puntos en los que se realizaron las mediciones, el primero, a la altura de la ventana del túnel Sumapaz, que da una indicación de caudal infiltrado desde la entrada del túnel del lado de Bogotá hasta el punto de estudio. El otro punto está ubicado a la entrada del túnel del lado de Melgar, a la altura de la vereda Malachi, lo que proporciona una aproximación del caudal infiltrado en el tramo restante del túnel, que tiene pendiente descendente a todo lo largo, desde la entrada del lado de Bogotá a la entrada del lado Melgar.

Tabla 136 Caudales medidos y porcentaje asignado a cada tramo del túnel Sumapaz

Punto de medición	Modelo	Medidos (l/s)	Promedio (l/s)	Porcentaje
Malachi	Ermitaño	4,00	4,12	4,12
		4,07		
		4,30		
Ventana	Divino Niño & Palmichala	18,00	20,33	11,18
		19,00		
	Nariz del Diablo	24,00	20,33	9,15

En la tabla anterior se muestran los resultados de las mediciones en los dos puntos mencionados y el porcentaje que según la longitud del túnel Sumapaz le corresponde a cada uno de los tramos correspondientes a las áreas de modelación.

Niveles piezométricos medidos

Esta variable indica la relación entre los niveles medidos en campo y los niveles calculados por el modelo; esta relación es de suma importancia, pues determina la confiabilidad de los modelos propuestos desde el punto de vista de reproducción de niveles freáticos.

Para este ejercicio particular se tiene un punto de control en el área de modelación del túnel Ermitaño (Túnel 1) medido por INGETEC en la campaña de campo del 2017, cuatro puntos diferentes dentro del área de modelación de los túneles Divino Niño y Palmichala (Túnel 2), y un último punto en el área correspondiente al área de modelación del túnel Nariz del Diablo como se muestra en la Tabla 136.

Tabla 137 Puntos de control nivel piezométrico

Piezómetro	X	Y	Profundidad	Cota terreno	Cota N.F.	Modelo
PT-01	944223	963523	7	402	395	1
AC-9	945822,98	964113,12	31	482	451	2
SC-10	945855,89	964087,86	37,3	478	440,7	2
IGR-240	946055,28	964037,99	19,8	455	435,2	2
PT-2	945721	964079	>50	500	445	2
SC-11	946686,6	963701,63	29,7	488	458,3	3

Proceso de calibración de niveles piezométricos

Como se mencionó anteriormente, PEST es una herramienta de calibración integrada en el software ModFlow, que varía las propiedades de las unidades del modelo para obtener un error mínimo entre los valores de niveles freáticos medidos y los niveles freáticos calculados por el programa.

Los valores de conductividad obtenidos para cada una de las formaciones, luego del proceso de calibración se muestran a continuación en la Tabla 138.

Tabla 138 Resultados de la calibración para la conductividad en las unidades hidrogeológicas Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

	Kx (m/d)	Ky (m/d)	Kz (m/d)
Alaca	1,0000	10,0000	1,0000
Almbc1	0,0256	1,0000	0,5219
Arlr	0,0048	0,0800	0,0043
Almbc2	0,5000	1,0000	0,1000
Acbca2	0,0001	1,0000	0,1320
Acbca	0,0100	0,1000	0,0010
Aclra	0,1000	0,1500	0,0100

Cabe aclarar que para el proceso de calibración con la herramienta PEST se modificaron los valores de conductividad de todas las unidades presentes en el área de modelación.

Con los valores anteriores, la calibración, respecto a los niveles freáticos, de los diferentes modelos se muestran en la Tabla 139

Tabla 139 Niveles freáticos medidos Vs niveles freáticos calculados Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

Piezómetro	X	Y	Profundidad	Cota terreno	Cota N.F.	Calculado1	Modelo
PT-01	944223	963523	7	402	395	396,3	1
AC-9	945822,98	964113,12	31	482	451	452,16	2
SC-10	945855,89	964087,86	37,3	478	440,7	438,98	2
PT-2	945721	964079	>50	500	445	444,68	2
SC-11	946686,6	963701,63	29,7	488	458,3	458,5	3
					R2	0,99780	

Como se puede observar, la diferencia entre los valores medidos, y los calculados, son mínimos y se obtiene un valor de R2 alto, por lo que representan unos resultados satisfactorios, para la calibración referente a los niveles freáticos.

Calibración de caudales

Anteriormente se hizo referencia a que los caudales de infiltración en el túnel Sumapaz eran uno de los valores de referencia para la calibración del modelo, en esta sección se evalúa la diferencia entre los caudales de infiltración medidos y los caudales de infiltración calculados por el modelo.

Una vez obtenidos los datos de conductividad en cada una de las unidades, se procede a calibrar el modelo teniendo en cuenta los valores de caudales de infiltración medidos, para esto se varía la conductancia en el dren, hasta obtener valores de caudales semejantes a los medidos.

En la Tabla 140, se muestran los diferentes valores utilizados para la calibración del túnel Ermitaño

Tabla 140 Calibración caudal de infiltración Túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

Conductancia Dren	Caudal de infiltración (m3/d)	Caudal de infiltración (l/s)
0,1	48	0,56
1	205	2,37
10	350	4,05

Tabla 141 Caudales de infiltración medidos Vs Caudales de infiltración calculados. Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

TÚNEL	Medidos (l/s)	Promedio (l/s)	Porcentaje	Calculados (m3/d)	Calculados (l/s)	Error (%)
Ermitaño	4,00	4,12	4,12	350,00	4,05	1,72
	4,07					
	4,30					
Divino Niño & Palmichala	18,00	20,33	11,18	950,60	11,00	1,62
	19,00					
Nariz del Diablo	24,00	20,33	9,15	773,09	8,95	2,21

Una vez se ha realizado la calibración con los niveles freáticos, se evalúa nuevamente los niveles en los piezómetros para garantizar que los resultados se mantengan dentro de un rango aceptable para la calibración del modelo, estos resultados se muestran en la Tabla 143

Tabla 142 Calibración caudal de infiltración Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

Conductancia Dren	Caudal de infiltración (m3/d)	Caudal de infiltración (l/s)
0,1	48	0,56
1	205	2,37
10	350	4,05

Tabla 143 Revisión niveles freáticos Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

Piezómetro	X	Y	Profundidad	Cota terreno	Cota N.F.	Calculado1	Calculado 2	Modelo
PT-01	944223	963523	7	402	395	396,3	396,46	1
AC-9	945822,98	964113,12	31	482	451	452,16	452,91	2
SC-10	945855,89	964087,86	37,3	478	440,7	438,98	438,78	2
PT-2	945721	964079	>50	500	445	444,68	444,68	2
SC-11	946686,6	963701,63	29,7	488	458,3	458,5	458,65	3
					R2	0,99780	0,99642	

5.1.9.6. Resultados de la modelación numérica

5.1.9.6.1. Resultados condición inicial

Los niveles freáticos en el área de influencia están determinados principalmente por la topografía del terreno, la cual presenta pendientes muy pronunciadas, por la recarga asociada a precipitación y por la presencia del túnel Sumapaz.

En la condición inicial modelada se tienen en cuenta las variables anteriormente mencionadas, así como la calibración realizada para los niveles freáticos y los caudales de infiltración medidos.

Esta condición servirá de base para los modelos de la condición proyectada, y constituyen la base de comparación para encontrar los abatimientos que se pueden llegar a presentar por la operación de los cuatro túneles cortos.

A continuación se presenta una sección transversal para cada uno de los cuatro túneles proyectados, en el modelo de la condición inicial, es decir, previamente a la implementación de los mismos.

Figura 206 Sección transversal condición inicial zona de influencia túnel Ermitaño Unidad Funcional 2
 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

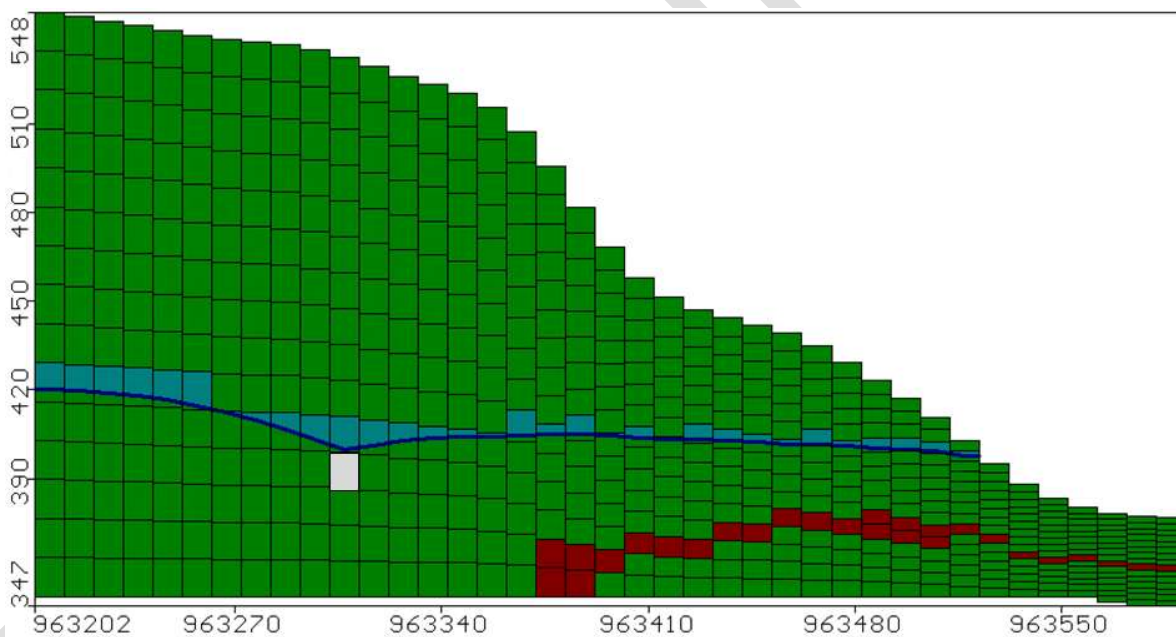


Figura 207 Sección transversal condición inicial zona de influencia túnel Divino Niño Unidad Funcional 2
Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

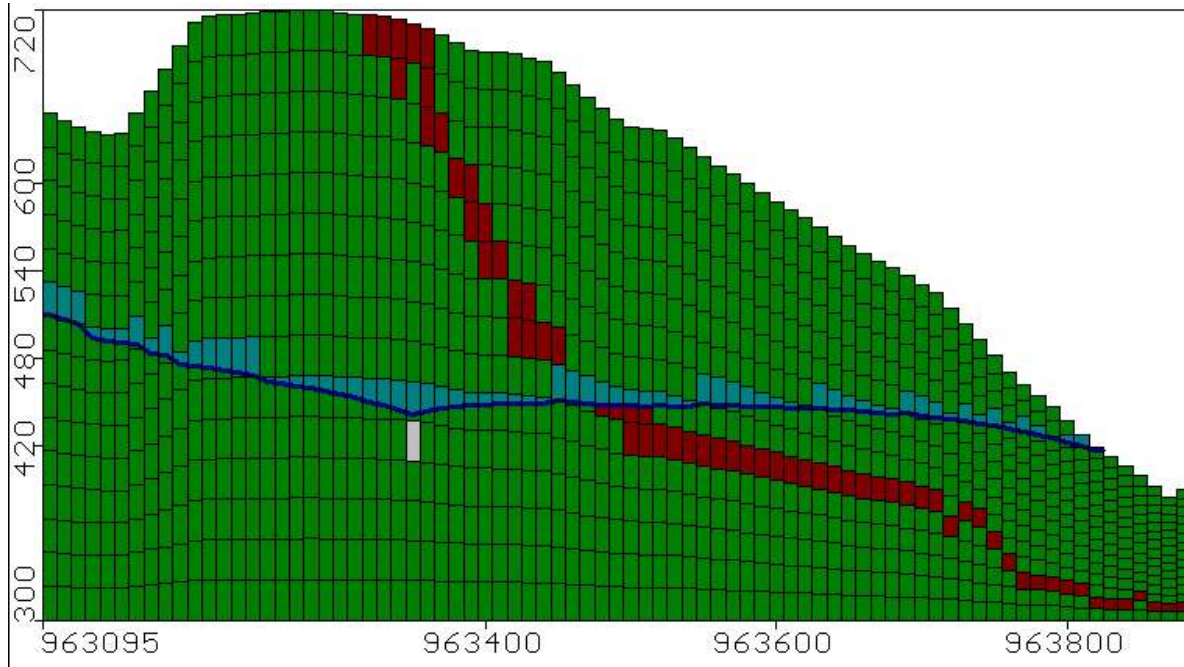


Figura 208 Sección transversal condición inicial zona de influencia túnel Palmichala Unidad Funcional 2
Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

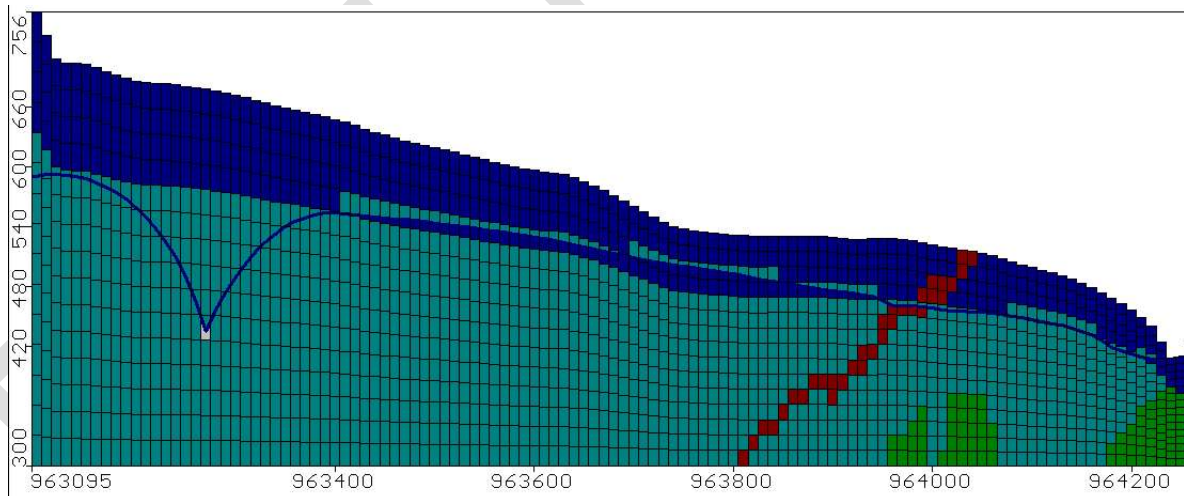
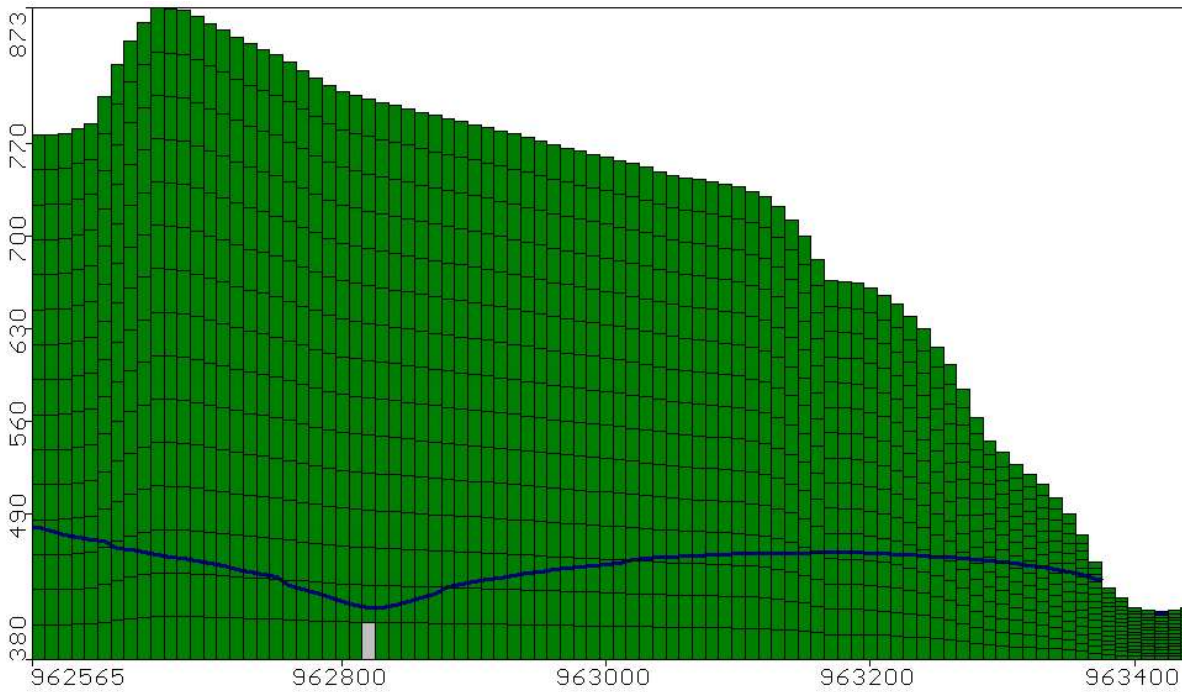


Figura 209 Sección transversal condición inicial zona de influencia túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



Se puede evidenciar que en los tres casos presentados, el nivel freático sigue una orientación descendente, la cual está asociada a la configuración descendente de la topografía; sin embargo, la inclinación de la línea del nivel freático es significativamente menor a la de la superficie topográfica, de manera que se tienen niveles freáticos profundos en la mayor parte del área de influencia. En las cuatro secciones se evidencia también el abatimiento de la línea freática generada por el túnel Sumapaz, el cual es mayor alrededor del túnel y se reduce a medida que la línea se aleja del mismo. En las secciones del túnel El Ermitaño, Divino Niño y Nariz del Diablo, los abatimientos son del orden de 15 m y son menos pronunciados que en la sección del túnel Palmichala, en la cual el abatimiento es mayor a 80m. Esto está asociado a que en el primer caso, la formación a través de la cual se da el flujo de caudales hacia el túnel es la formación Olini, con conductividad de 0,0043 m/d, mientras que en el segundo caso la formación a través de la cual el flujo es la formación Conejo, con conductividad de 0,1.



5.1.9.6.2. Direcciones de flujo subterráneo Unidad Funcional 2 a partir de la modelación numérica – Escenario sin Proyecto

Se puede evidenciar que en los tres casos presentados, que las direcciones de flujo siguen una tendencia perpendicular al río Sumapaz, esto teniendo en cuenta que las fallas presentes en la zona generan franjas de mayor conductividad, es de esperarse.

Por otro lado se puede apreciar que en el límite sur del modelo, donde se encuentra el túnel Sumapaz, las líneas de flujo se dirigen en dirección al túnel, esto se debe a que el túnel se presenta en el sistema como una zona de baja presión por lo que el agua es atraída hacia esta.

Figura 210 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

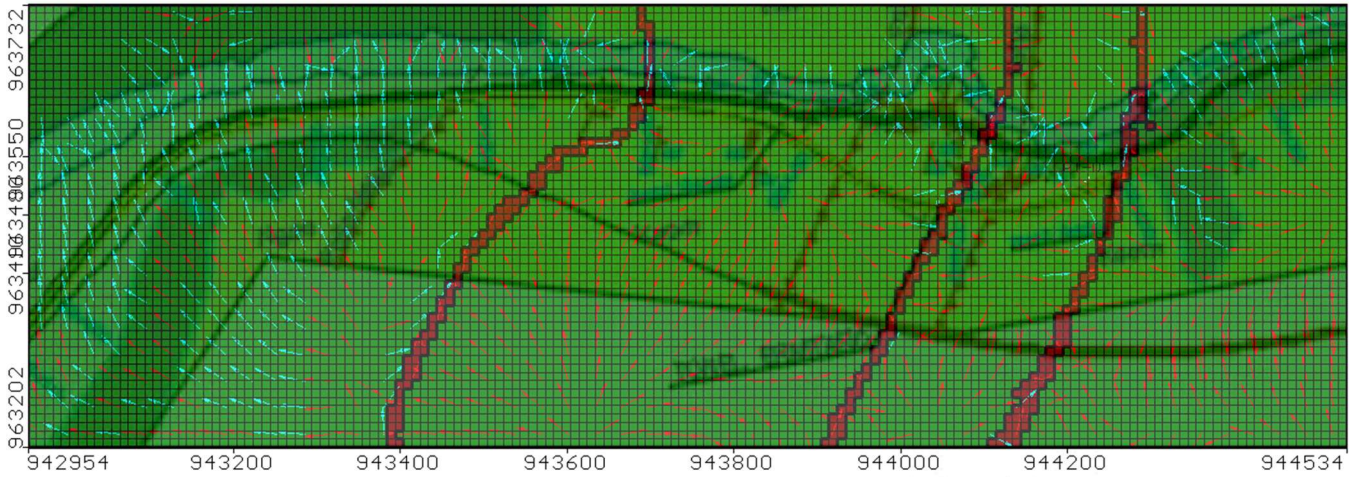


Figura 211 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Divino Niño y Pamichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

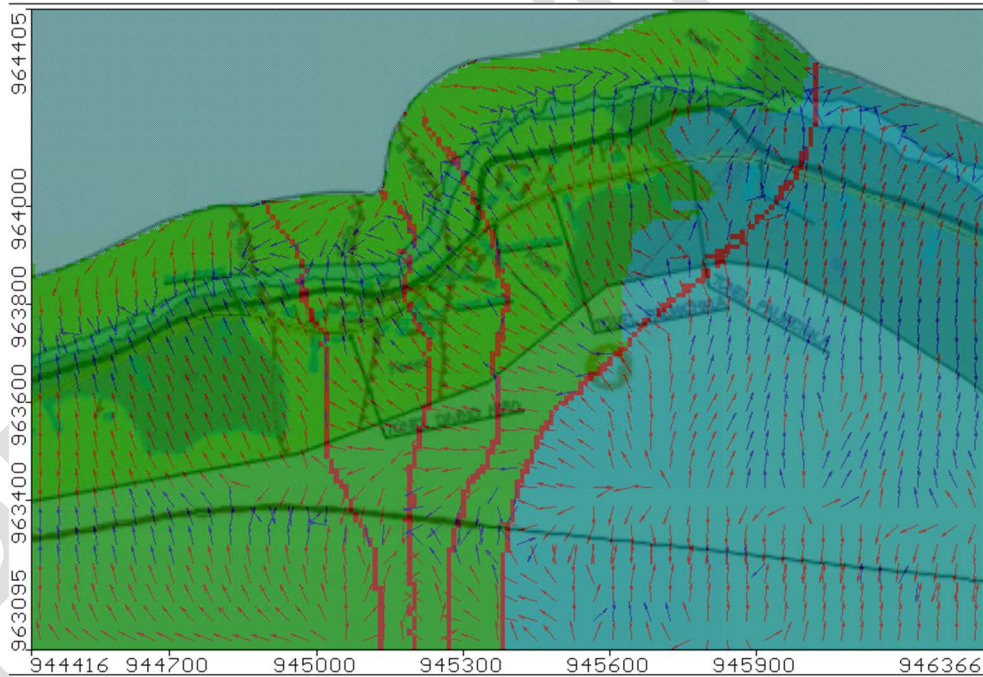
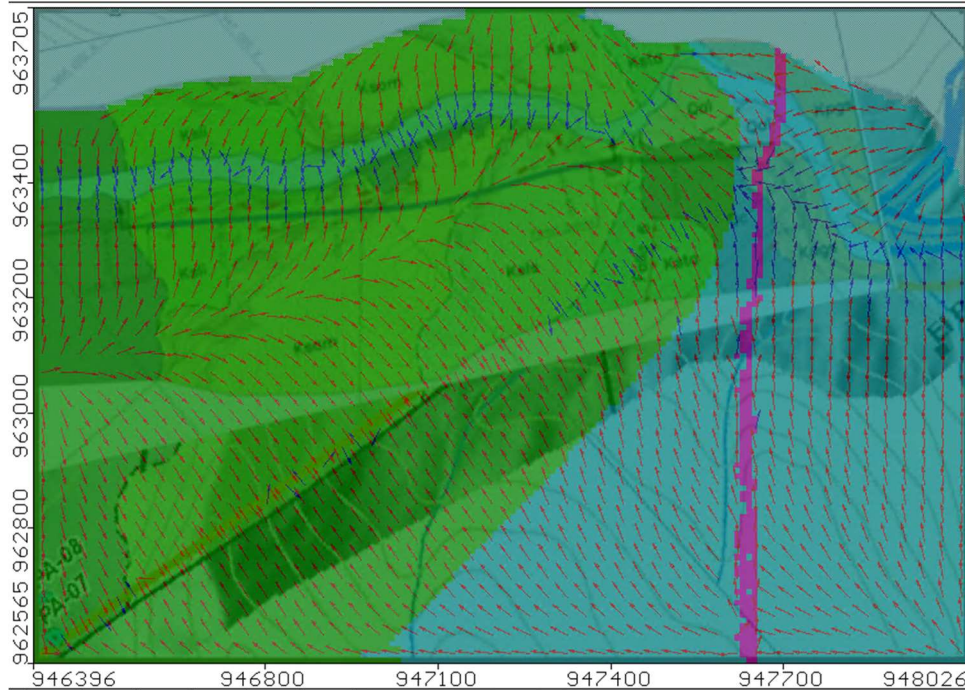


Figura 212 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



5.1.9.6.3. Resultados de la condición proyectada

Para la condición proyectada se dispusieron los 4 túneles cortos proyectados en cada una de las áreas de modelación y se tomó como datos de entrada las cabezas de la condición inicial para cada uno de los modelos.

Figura 213 Sección transversal túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot
Fuente: INGETEC, 2017

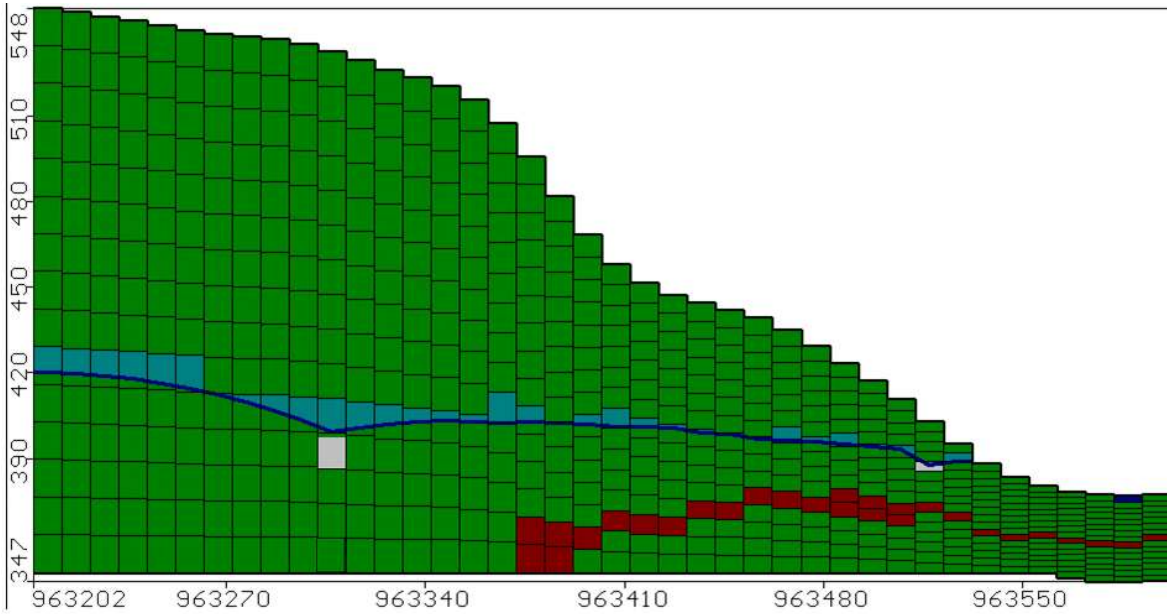


Figura 214 Sección transversal túnel Divino Niño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot
Fuente: INGETEC, 2017

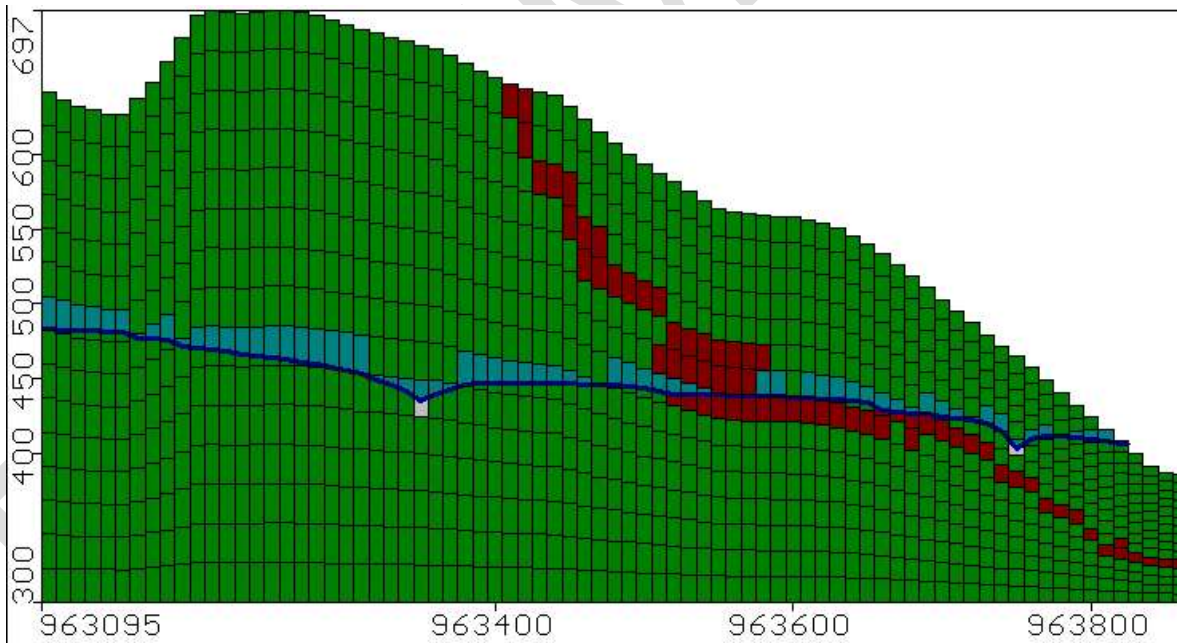


Figura 215 Sección transversal túnel Palmichala Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot
 Fuente: INGETEC, 2017

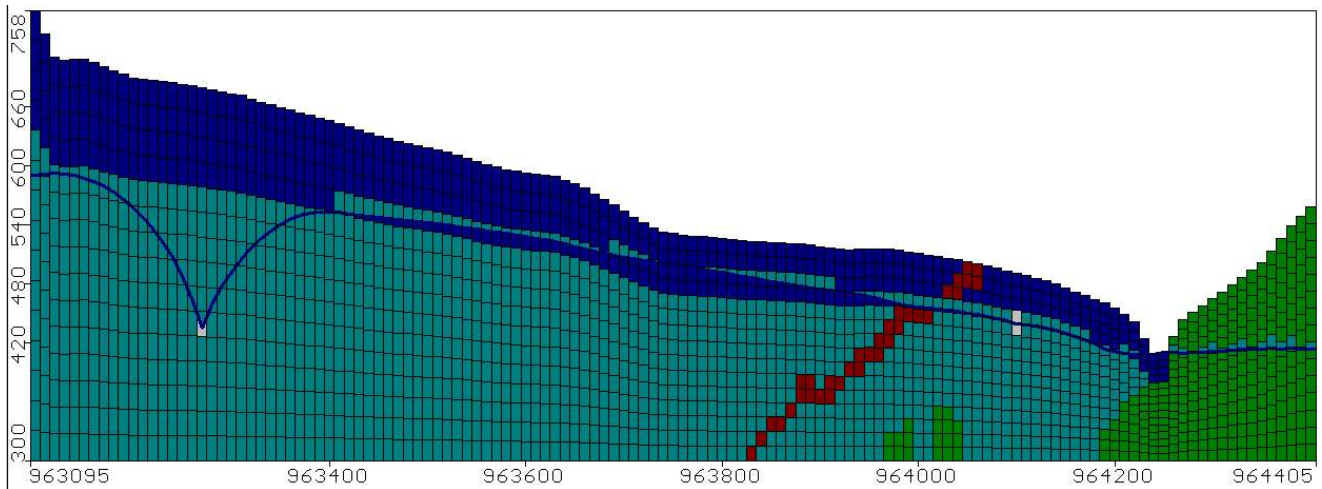
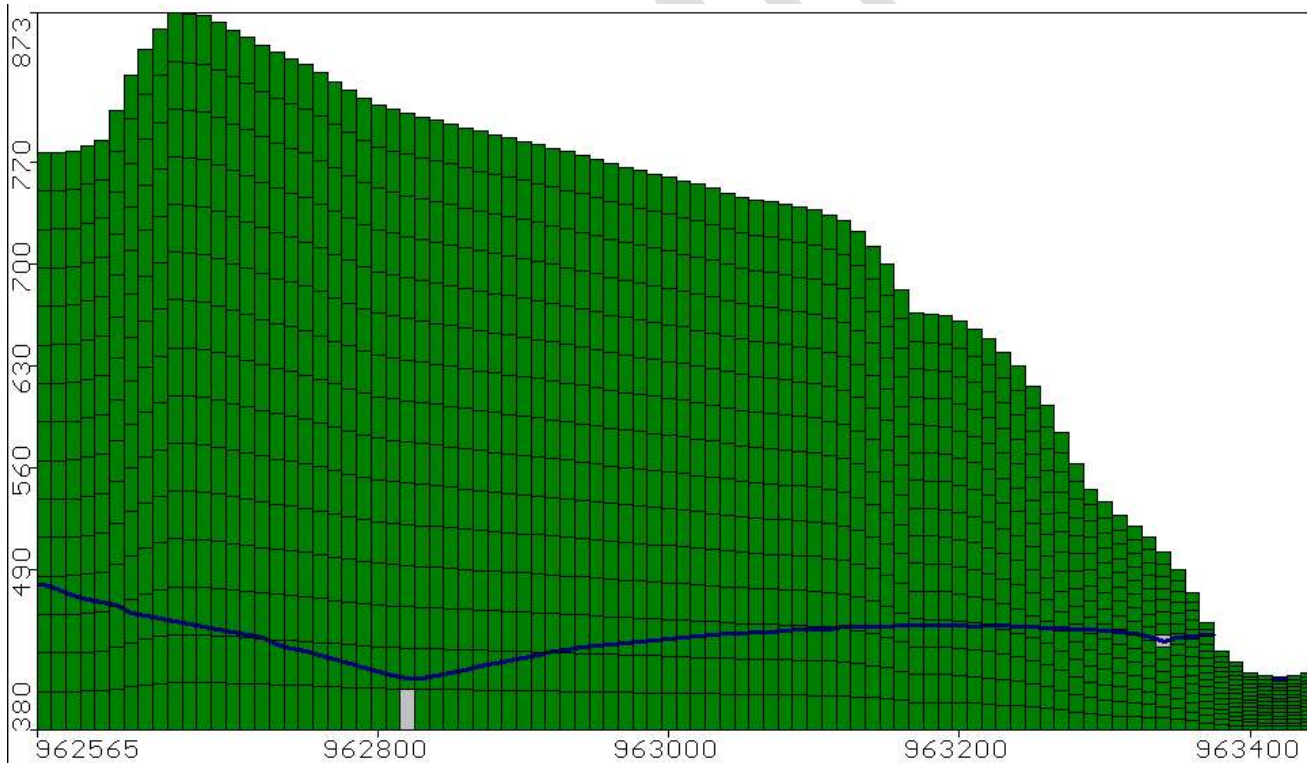


Figura 216 Sección transversal túnel Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



Al igual que en el escenario sin proyecto, en los tres casos presentados el nivel freático sigue una orientación descendente, la cual está asociada a la configuración de la topografía; sin embargo, la inclinación de la línea del nivel freático es significativamente menor a la de la superficie topográfica, de manera que se tienen niveles freáticos profundos en la mayor parte del área de influencia. En las secciones presentadas se muestra como el efecto de los túneles proyectados se suma al efecto que causa el túnel Sumapaz a los niveles freáticos que se estudia en el numeral 5.1.8.4.4.

En el túnel Ermitaño se presentan los mayores abatimientos, en la zona cercana al portal de entrada, con valores de 20m aproximadamente, por otro lado en el túnel Divino Niño se presentan abatimientos de 15m aproximadamente, mientras que en el túnel Palmichala y Nariz del Diablo, aunque se puede apreciar un ligero abatimiento de los niveles, la lámina de agua se encuentra entre la clave y la solera de los túneles, por lo que la tendencia es menos marcada que en los anteriores.

5.1.9.6.4. Dirección del flujo subterráneo proyectado – Escenario con Proyecto

Las líneas de flujo son indicativo de los abatimientos que se están presentando, en las figuras anteriores se muestra como en el Túnel Ermitaño las líneas de flujo, aunque mantienen su dirección perpendicular al río, presentan algunas desviaciones en cercanías, tanto al túnel Sumapaz, como al túnel Ermitaño. Por otro lado, en los túneles Divino Niño, Palmichala y Nariz del Diablo, no se presentan desviaciones significativas en relación a la condición inicial, lo cual es de esperarse teniendo en cuenta que los abatimientos en esta zona son poco representativos.

Figura 217 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Ermitaño Escenario CP. Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

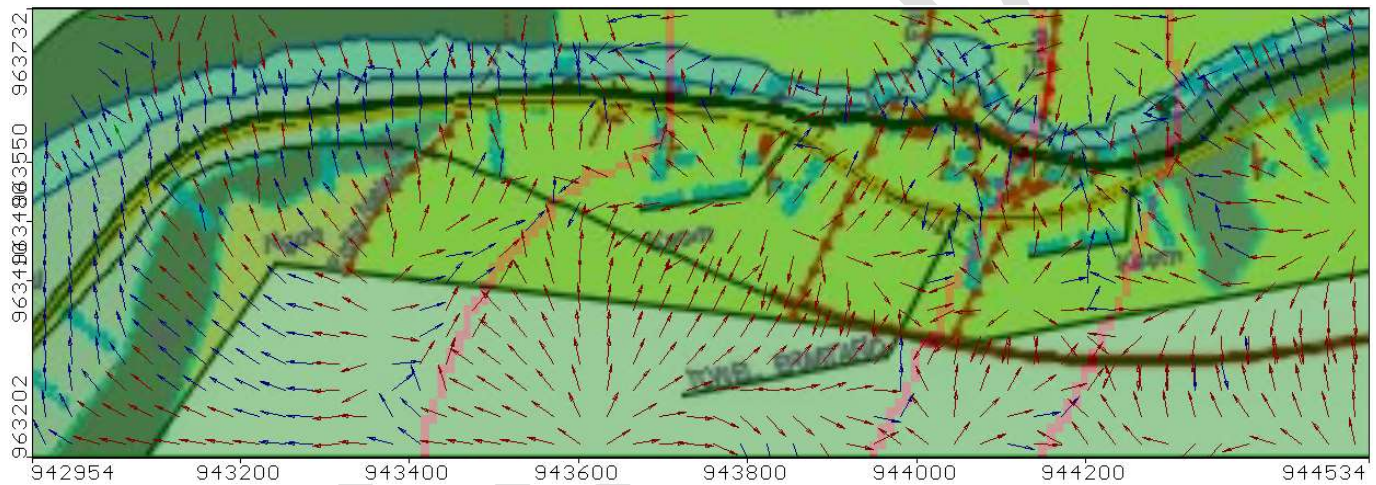


Figura 218 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Divino Niño y Palmichala Escenario CP. Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

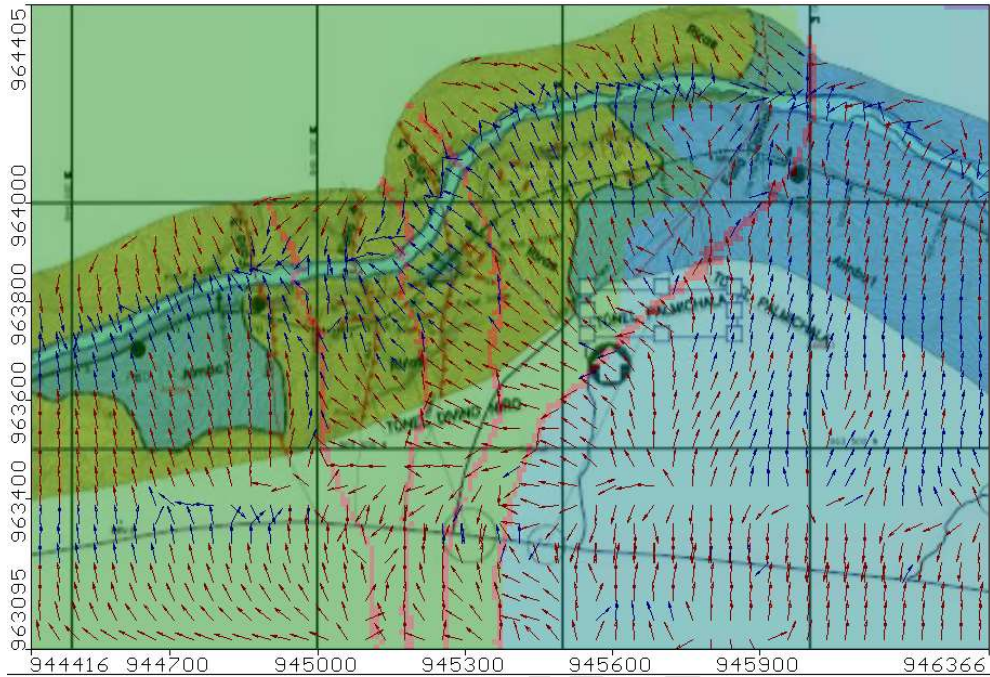
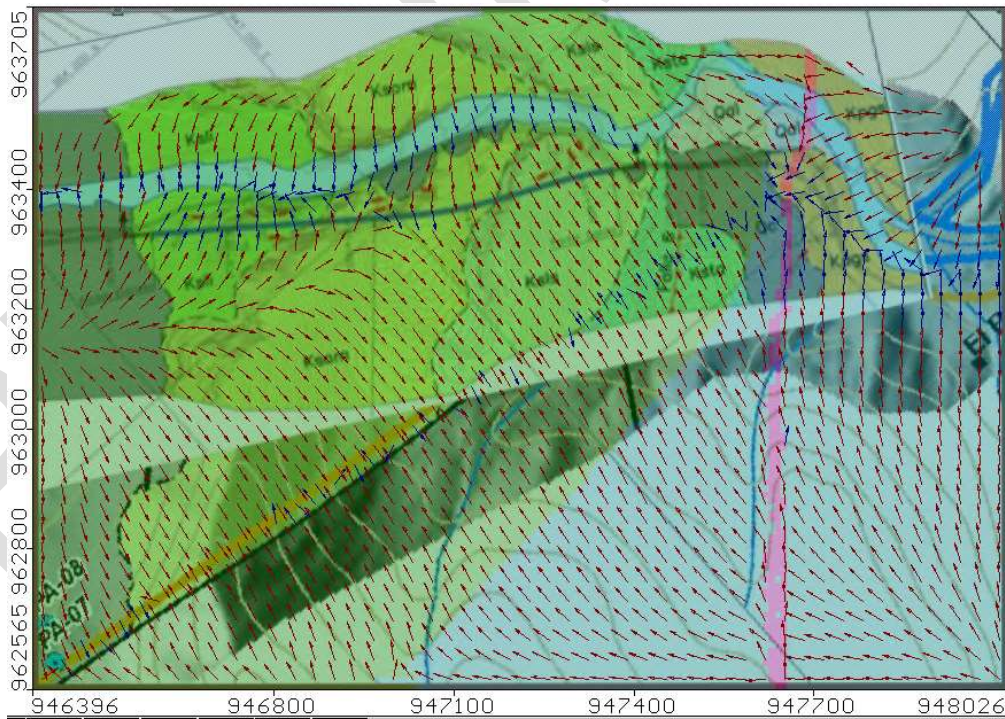


Figura 219 Direcciones de flujo subterráneo Túnel Nariz del Diablo Escenario CP. Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



5.1.9.6.5. Caudales de infiltración

Para modelar los cuatro túneles cortos, se supone que tienen características de conductancia similares a las del túnel Sumapaz, esto teniendo en cuenta que se considera una conductancia de 10m/d para todos los túneles.

Los resultados obtenidos para los caudales de infiltración hacia los túneles proyectados se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 144 Caudales de infiltración túneles proyectados

	Túnel proyectado (l/s)	Túnel actual (l/s)
Ermitaño	1,9	4,05
Divino Niño	2,2	11
Palmichala	3,2	
Nariz del Diablo	1,99	8,95

5.1.9.6.6. Isolíneas de abatimientos de niveles freáticos Escenario con Proyecto

Para estimar los abatimientos que se pueden presentar debido a la construcción y puesta en operación de los cuatro túneles cortos, se procedió a extraer las superficies de niveles freáticos que resultaron de las simulaciones para este escenario y se realizó haciendo uso de la herramienta ArcGis.

En la Figura 200 y 201, presenta los abatimientos estimados con base en las simulaciones realizadas. En ella puede apreciarse que en cercanías de los túneles proyectados se presentarían abatimientos máximos del orden de 40 m para el túnel El Ermitaño, de 10 m para los túneles Divino Niño y Palmichala y de 2 m para el túnel Nariz del Diablo. En el resto del área de influencia se presentan abatimientos poco significativos, menores a 10 m de profundidad.

Figura 220 Mapa hidrogeológico que contiene las isóneas de abatimientos de los niveles freáticos en el escenario con proyecto Túnel Ermitaño Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017

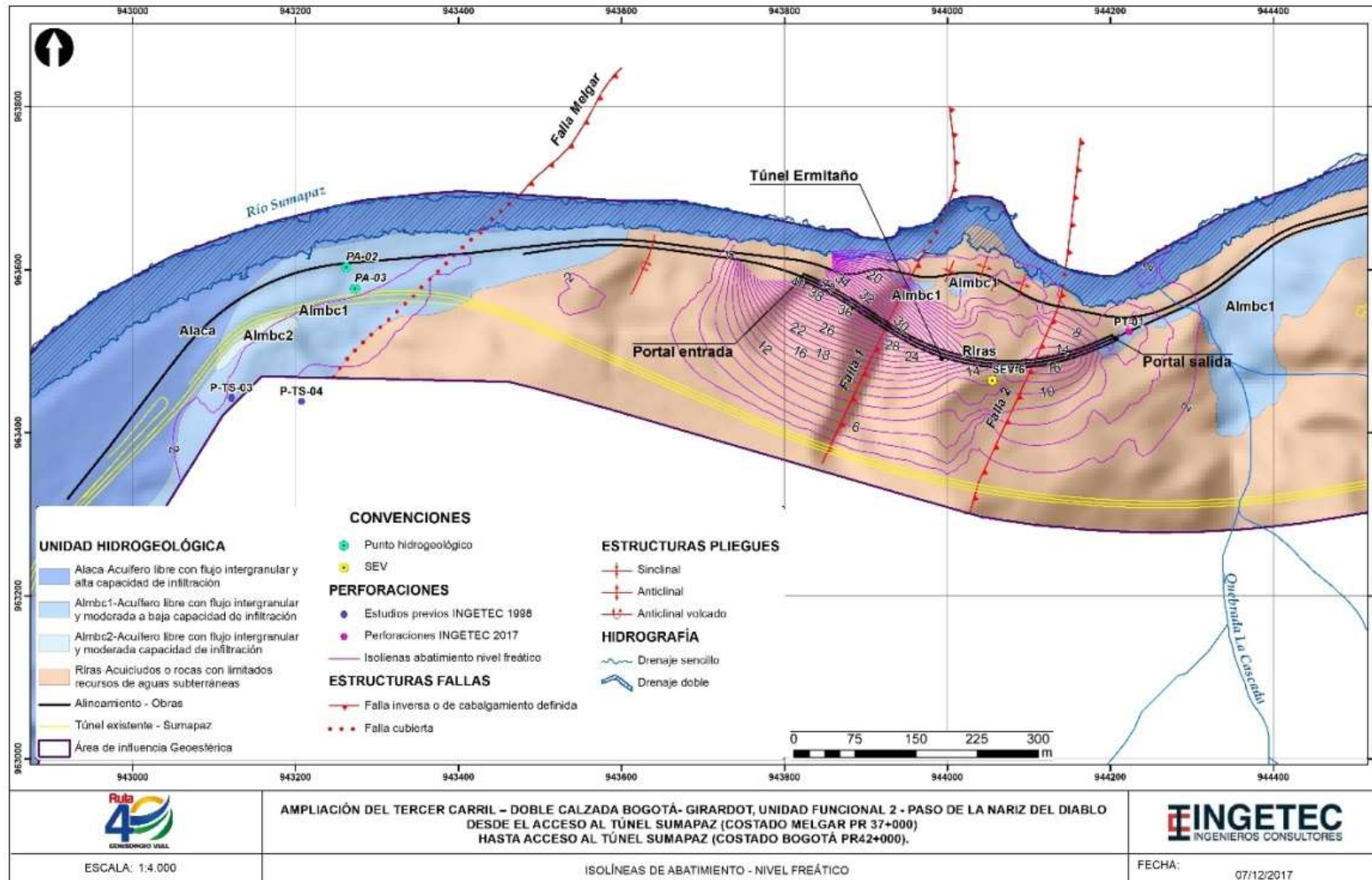
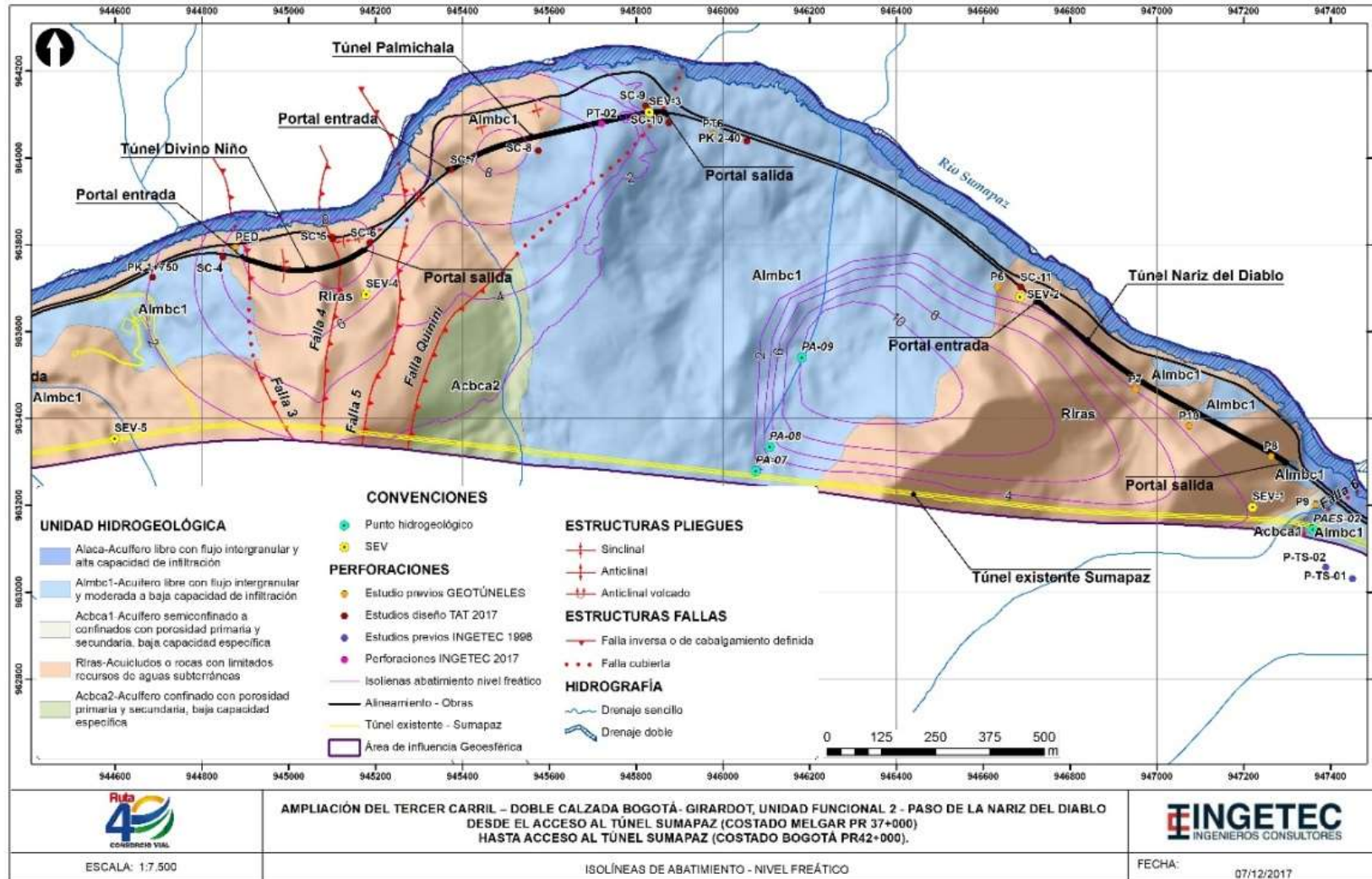


Figura 221 Mapa hidrogeológico que contiene las isólineas de abatimientos de los niveles freáticos en el escenario con proyecto Túnel Divino Niño, Palmichala y Nariz del Diablo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot Fuente: INGETEC, 2017



5.1.9.7. Conclusiones

El área de estudio corresponde básicamente a la ladera de la margen izquierda del río Sumapaz, en el tramo en el que se desarrolla el túnel Sumapaz, que corresponde al mismo en el que se proyectan los túneles Ermitaño, Divino Niño, Palmichala y Nariz del Diablo entre el PR37+000 y e PR42+000. Esta área está conformada principalmente por formaciones cretácicas, donde predominan las tres formaciones que integran el Grupo Olini. Se presentan en esta zona tres corrientes superficiales, el río Sumapaz, la quebrada Palmichala y la quebrada La Cascada. Por otro lado, cabe anotar que el equilibrio del sistema original de aguas subterráneas se ha visto modificado por la construcción y puesta en operación del túnel Sumapaz.

Se realizó una calibración del modelo hidrogeológico numérico con base, tanto en los niveles freáticos medidos, como en los caudales de infiltración del túnel Sumapaz. Esta calibración se realizó inicialmente con la herramienta computacional PEST, integrada en el software utilizado para la modelación, para tener el mejor acercamiento posible a los valores de niveles freáticos reportados en los piezómetros; por otro lado, y para complementar esta calibración se ajustó la conductancia de la herramienta dren, para además, representar los caudales de infiltración que llegan al túnel Sumapaz.

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por la calibración, tanto de niveles freáticos, como de caudales de infiltración, se puede concluir que el modelo está en capacidad de representar adecuadamente el funcionamiento del sistema hidrogeológico en la zona de estudio, dado que se obtienen valores de R2 de 0,99 para los niveles piezométricos y un error máximo del 2,2% para los valores de caudales de infiltración, y por ende, las consecuencias que se pueden presentar debido a la implementación y puesta en operación de los cuatro túneles cortos de la vía Bogotá-Girardot.

En la condición actual, se presentan los niveles freáticos con profundidades mayores a las 200 m, con una orientación descendente, la cual está asociada a la configuración topográfica de la zona, en cercanías al túnel Sumapaz se puede apreciar abatimientos considerables, de más de 80 m, especialmente en el área de influencia del túnel Palmichala. En la condición actual, los niveles freáticos reportados se encuentran por encima de la clave de los túneles proyectados de El Ermitaño, Divino Niño y Palmichala, y entre la solera y la clave para el túnel Nariz del Diablo, lo que implicaría una afectación en toda el área de influencia.

Por otro lado, en la condición proyectada la tendencia de los niveles se mantienen con orientación descendente y con los abatimientos en el túnel Sumapaz, sumándole los abatimiento que se presentan en los túneles proyectados, los cuales son mucho menores teniendo en cuenta que, en términos generales, no superan los 10 m, a excepción de los presentados en el portal de entrada del tungal Ermitaño, el cual presenta abatimientos mayores, pero localizados.

Según los resultados obtenidos en las modelaciones, la afectación es general en el área de influencia; sin embargo, la mayor afectación se presenta en cercanías a los túneles cortos, especialmente en el portal de entrada del túnel Ermitaño, con abatimientos de hasta 40 m, mientras que en el resto del área se pueden encontrar abatimientos máximos de 10 m siendo esto considerado como un impacto moderado.

5.1.10. Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

En este documento se presentan las definiciones de los principales conceptos relacionados con la vulnerabilidad de los acuíferos y la metodología empleada para su evaluación para el Tramo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot (Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2525-A0. Mapa de Vulnerabilidad de Acuíferos).

La Asociación Internacional de Hidrogeólogos – AIH, emplea y recomienda el empleo del término vulnerabilidad como una propiedad intrínseca de un sistema hidrogeológico que depende de la sensibilidad del sistema a impactos de origen natural y humano. La caracterización de la vulnerabilidad es una aproximación cualitativa y no cuantitativa. La selección del método GOD, obedece a la cantidad, calidad y disponibilidad de información técnica relacionada con los parámetros de evaluación que hacen parte del análisis de vulnerabilidad para el

Tramo de la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot. En Colombia, la escogencia de la metodología es limitada de acuerdo con la escasez de información hidrogeológica.

Este capítulo se enfoca en el método de índice GOD, dado su amplio reconocimiento y utilización. Este método evalúa la vulnerabilidad a una carga contaminante puesta en superficie (flujos verticales descendentes). De acuerdo con Custodio 1994, la vulnerabilidad corresponde a una medida cualitativa o cuantitativa de la mayor o menor facilidad con la que se puede causar un perjuicio (daño, deterioro o degradación). Refiere a un perjuicio potencial concreto y a la susceptibilidad que tiene un determinado medio natural a ser afectado por ese perjuicio. Por lo tanto, la vulnerabilidad intrínseca se refiere a la sensibilidad del acuífero a una cierta acción o forma de acción y no a la intensidad, oportunidad y aplicación de esta acción, factores que conforman el riesgo. Para el caso concreto de los acuíferos, constituye a proteger el agua subterránea.

5.1.10.1. Metodología

La propuesta metodológica está basada en la combinación de diferentes parámetros (litología, suelo, espesor de la zona no saturada, etc.), y se utilizan para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca. Cada parámetro es puntuado cuantitativamente y se le asigna un distinto valor de ponderación para determinar el resultado final que es un índice numérico de vulnerabilidad (iV). Para un método n de parámetros P y n factores de ponderación fP, el índice de vulnerabilidad iV se calcula como:

$$iV = \sum_{j=1}^n fP_j \times P_j$$

Mediante la obtención de este valor iV, y de acuerdo con el método usado, la vulnerabilidad de los acuíferos se clasifica desde baja, media, alta, muy alta hasta extrema, definidos en la Tabla 145.

Tabla 145 Definición de las clases de vulnerabilidad mediante el método GOD para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot. Fuente: Adaptado y modificado de MAVDT, 2010

CLASE DE VULNERABILIDAD	DEFINICION
Muy Alta	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación
Alta	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación
Moderada	Vulnerable a algunos contaminantes solo cuando son continuamente descargados o lixiviados
Baja	Solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo
Muy Baja o Despreciable	Presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante

El sistema de indexación GOD propuesto por Foster (1987), es aplicable a áreas de trabajo con escasa información o para zonas categorizadas con bajo potencial de aguas subterráneas, con irregular distribución de datos o con incertidumbre de la información. Esta metodología comprende tres parámetros: G, O y D; cuyos valores son asignados de acuerdo con la contribución en la defensa a la contaminación, los cuales se describen a continuación:

G. (Groundwater occurrence): Corresponde al grado de confinamiento hidráulico con la identificación del tipo de acuífero, su índice puede variar entre 0 y 1. El modo de ocurrencia varía entre la ausencia de acuíferos (evaluado con índice 0) en el extremo izquierdo y la presencia de un acuífero libre o freático (evaluado como índice 1) en el extremo derecho, pasando por acuíferos artesianos, confinados y semiconfinados.

O. (Overall aquifer class): Corresponde a la caracterización de la zona no saturada del acuífero o de las capas confinantes. Los índices más bajos (0,4) corresponden a los materiales no consolidados, mientras que los más altos (0,9 – 1,0) corresponden a rocas compactas fracturadas o karstificadas.

D. (Depth): Se refiere a la profundidad del nivel freático en acuíferos libres o a la profundidad del techo del acuífero, en los confinados. Los índices más bajos (0,6) corresponden a acuíferos libres con profundidad mayor a 50 m; mientras que los índices altos (1,0) corresponden a acuíferos que independientemente de la profundidad se encuentran en medios fracturados. Para el caso de los acuíferos libres la profundidad del nivel estático está sujeta a la oscilación natural.

El índice de vulnerabilidad GOD se obtiene, entonces, de multiplicar los valores asignados a cada parámetro

$$iV_{GOD} = G \times O \times D$$

Síntesis del método paramétrico adaptado para evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos en el Tramo Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot se describe en la Tabla 146.

Tabla 146 Índice de vulnerabilidad GOD - Descripción de parámetros de análisis

*GOD (6)	<p>G: Grado de confinamiento hidráulico. Hace referencia al tipo de acuífero o modo de confinamiento u ocurrencia del agua subterránea</p> <p>O: Litología de la zona no saturada. Se evalúa teniendo en cuenta el grado de consolidación y las características litológicas y como consecuencia, de forma indirecta y relativa, la porosidad, permeabilidad y contenido o retención específica de humedad de la zona no saturada.</p> <p>D: Profundidad del agua subterránea o del techo del acuífero confinado.</p>	<p>$iV = G \times O \times D$</p> <p>Los parámetros G y O, pueden considerarse estables a lo largo del tiempo, mientras que el parámetro "D" es variable.</p>
----------	--	--

Los resultados del cálculo del *iV* pueden variar entre <0,1 y 1,0, obteniendo las categorías de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación presentados en la Tabla 147.

Tabla 147 Categorías de vulnerabilidad para el método GOD

PUNTAJE	VULNERABILIDAD
0.7 – 1.0	Muy Alta
0.5 – 0.7	Alta
0.3 – 0.5	Moderada
0.1 – 0.3	Baja
<0.1	Muy Baja o Despreciable

A continuación se ilustran los resultados de cada parámetro de evaluación en la zonificación por vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación en la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot:

Figura 222 Mapa de acuerdo con el grado de confinamiento parámetro G. (Groundwater occurrence) para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot

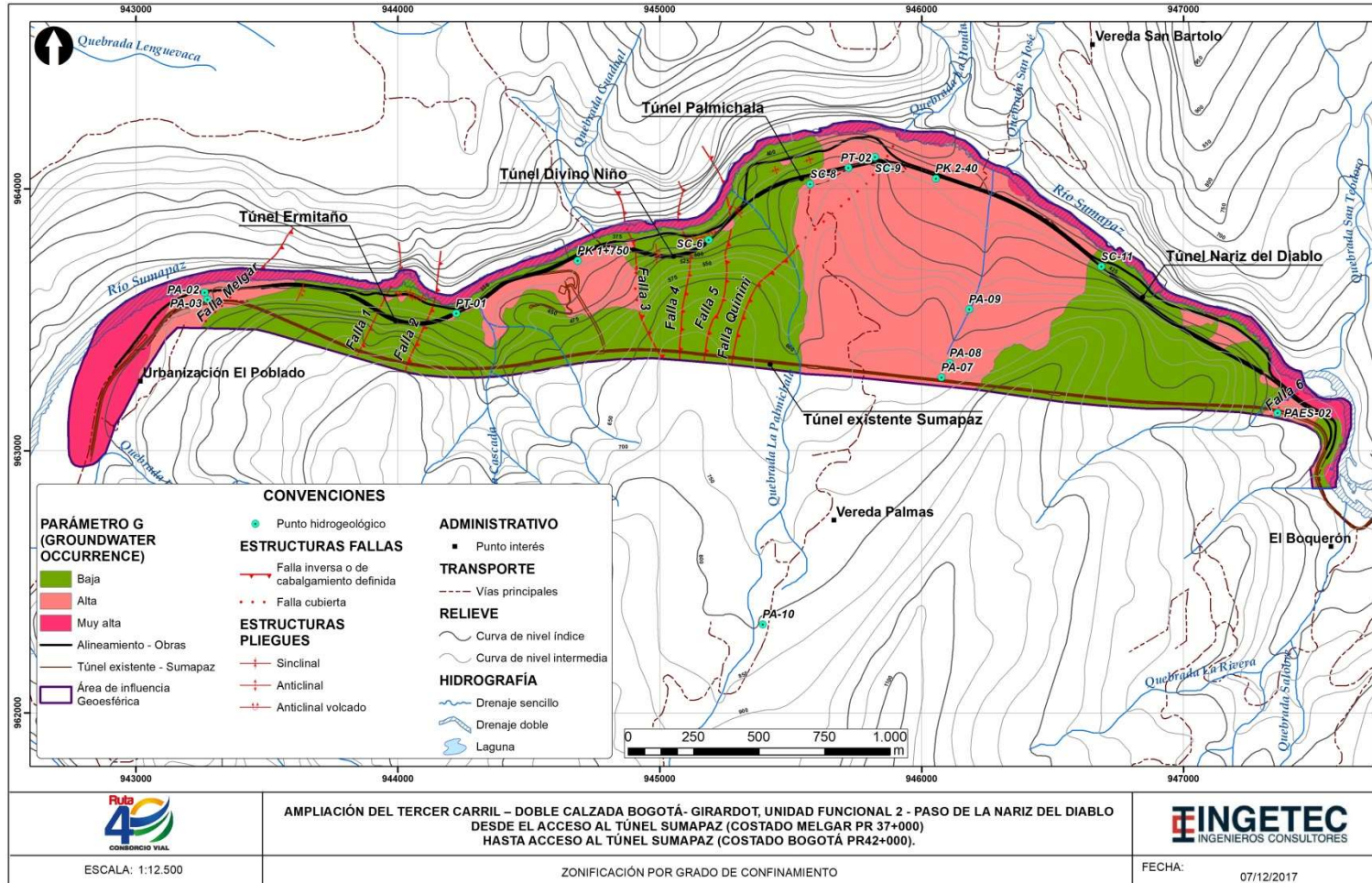


Figura 223 Mapa de acuerdo con el tipo de zona no saturada del acuífero parámetro O (Overall aquifer class) para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot

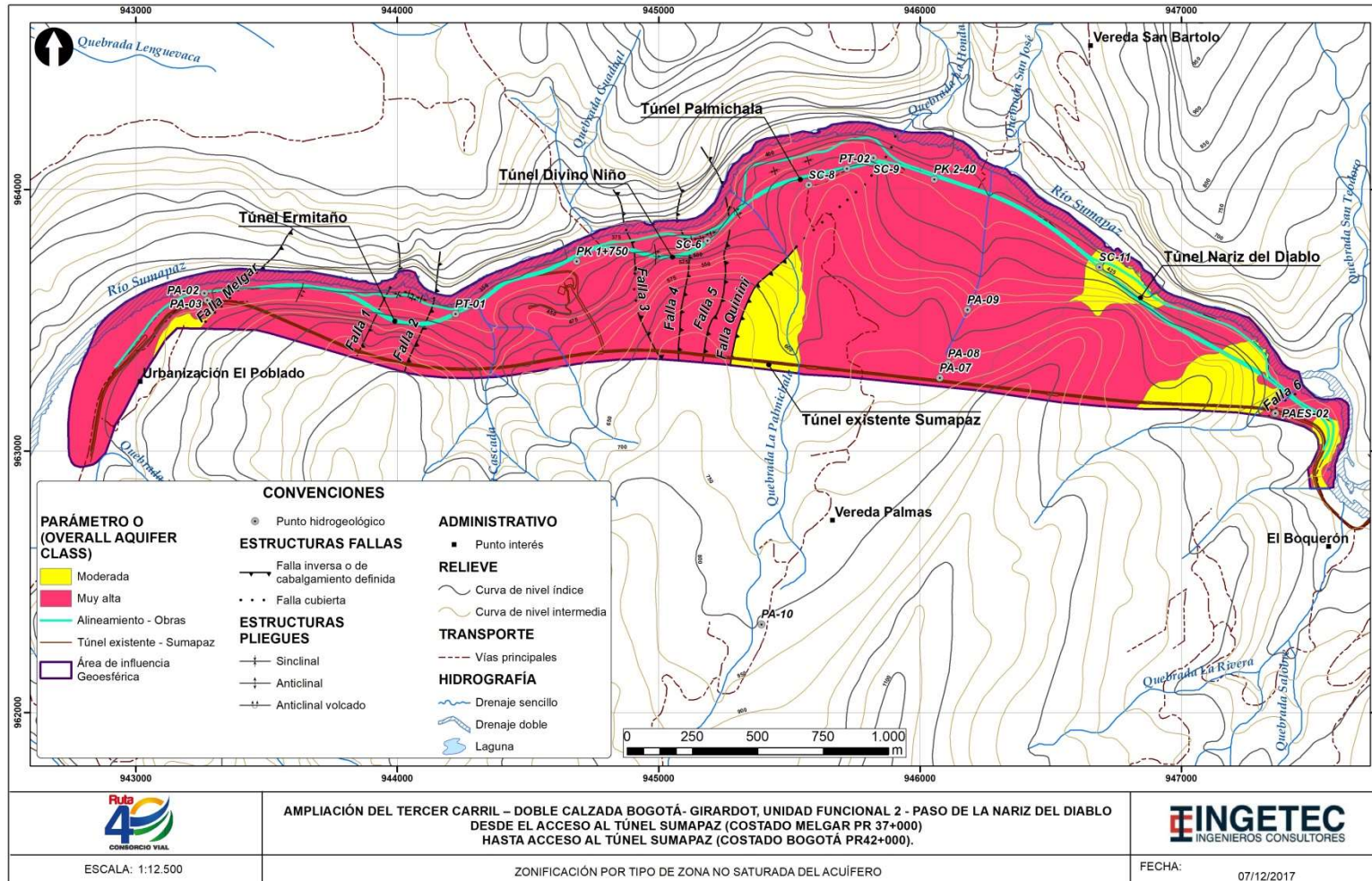
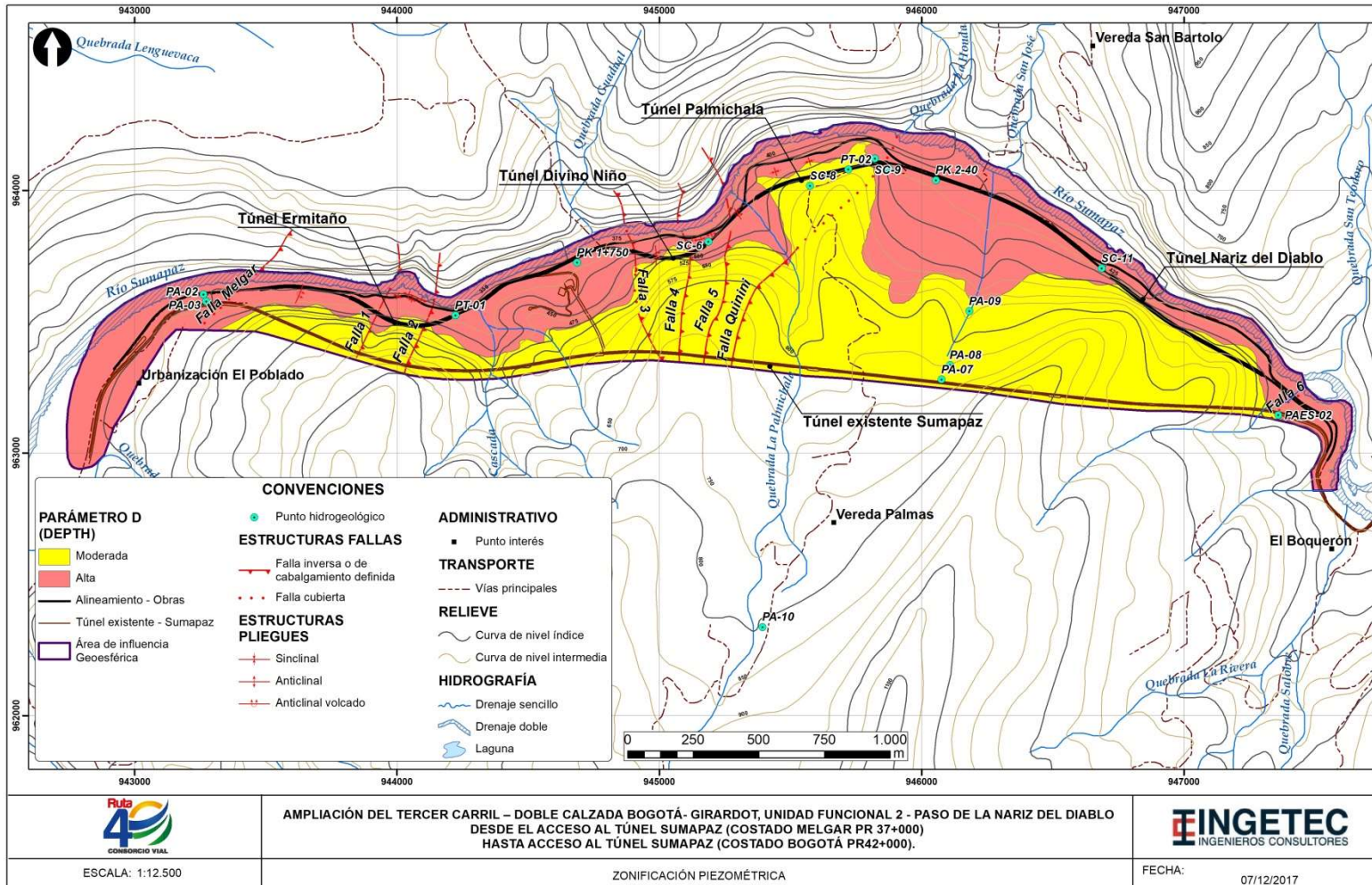


Figura 224 Mapa de acuerdo con el tipo de zona no saturada del acuífero parámetro O (Overall aquifer class) para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot. Fuente: INGETEC, 2017



5.1.10.1.1. Factores de la evaluación de la vulnerabilidad

De acuerdo con el método adaptado de evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación se tiene en cuenta tres factores:

- La capacidad de atenuación de la carga contaminante que ocurre en el suelo, en la zona no saturada y en la zona saturada;
- La resistencia o la inaccesibilidad en el sentido hidráulico a la penetración de los contaminantes;
- Los factores externos que puedan facilitar o retardar el impacto de las cargas contaminantes, como la pendiente del terreno y la recarga del acuífero son un valor indicativo (cualitativo) y no cuantitativo, por tanto los resultados que se obtienen de su evaluación son relativos y adimensionales.

Capacidad de atenuación de la carga contaminante

La capacidad de atenuación de la carga contaminante se relaciona con los procesos que ocurren en el suelo y en la zona no saturada.

El suelo es la porción más superficial de la zona no saturada, caracterizado por una significativa actividad biológica, que a efectos prácticos pueden considerarse con espesores hasta 5 metros. La principal función del suelo desde el punto de vista de la vulnerabilidad, es la capacidad de atenuación de la carga contaminante, siendo mayor cuando el suelo tiene mayor contenido de materiales finos (limos y arcillas) y de materia orgánica. Estas características de los suelos los hacen más efectivos a la mayoría de los procesos que protegen las aguas subterráneas. En el área de influencia del proyecto de la Unidad Funcional 2, los suelos superficiales corresponde a una cubierta de suelos en la parte alta de la ladera moderadamente a muy superficiales, drenados, de texturas gruesas y medias, reacción neutra, pobres en materia orgánica y fertilidad muy baja los cuales se asocian en pendientes ligera a fuertemente escarpadas, con afloramientos rocosos y erosión moderada a severa. Los suelos de media ladera y la parte baja corresponden a suelos moderadamente profundos y profundos, bien drenados, de texturas finas y medias, ligeramente ácidos a neutros; de contenido bajo en materia orgánica y fertilidad moderada; se asocian al relieve plano a fuertemente inclinado con la ocurrencia de depósitos fluvio coluviales como coluviones y terrazas aluviales de manera discontinua y local a lo largo de la Unidad Funcional 2.

Se consideran otros límites hidrogeológicos los asociados a las zonas de alta deformación por fallamiento regional y local en el tramo de la UF-2, ya que corresponden a barreras semi-permeables y/o permeables al flujo de agua subterránea ya que pueden facilitar el movimiento de agua paralela a los mismos por el sistema de fracturamiento; lo anterior se ilustra en las secciones de análisis consignadas en el numeral **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

En cuanto a los niveles freáticos se establece que la capacidad de atenuación depende directamente de la profundidad a la que se encuentre la superficie freática y por lo tanto menor la vulnerabilidad del acuífero; en el caso de estudio, de forma general se consideran zonas montañosas con niveles freáticos muy profundos, mayores a 50 m y una pequeña porción (1,2Ha) que corresponde a la ladera del río Sumapaz, con niveles freáticos más superficiales, menores a 50 m.

Las obras subterráneas se proyectan en macizos rocosos moderadamente a altamente fracturados con el desarrollo de suelos residuales de bajo espesor, predominan capas de areniscas compactas con intercalaciones de limolitas, liditas y lodolitas ligeramente meteorizadas nivel IIA – IIB, que brindan una mayor capacidad de atenuación de la carga contaminante a la superficie freática; en los túneles 1, 2 y 4 de la UF-2 las coberturas de este tipo de litologías a la clave de los túneles proyectados oscila entre los 20 y 50 m de profundidad a la superficie piezométrica. Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0

Zona no saturada

La zona no saturada es el espesor comprendido entre la superficie y el nivel freático. En esta zona el contenido de agua es menor que la porosidad, es decir que el agua no ocupa todos los poros.

Las características de la zona no saturada son de importancia en la evaluación de la vulnerabilidad, ya que es la primera defensa natural del acuífero contra los contaminantes. En esta zona el flujo es más lento y generalmente aerobio y alcalino, lo cual hace mayor el potencial para la intercepción, absorción y eliminación de bacterias y virus, y para la atenuación de metales pesados y otros químicos. Por tanto, un mayor espesor de la zona no saturada implica un mayor tiempo de tránsito de los contaminantes y mayor tiempo de contacto con el medio, lo que posibilita procesos de atenuación de mayor duración.

Los túneles cortos serán excavados en rocas catalogadas como acuicludos con limitados recursos de transmitir y almacenar agua subterránea (ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0). Con excepción del Túnel 3 Palmichala el cual presenta un acuífero libre con flujo intergranular y un nivel freático colgado que afecta localmente el portal de salida de este.

En las rocas asociadas al Grupo Olini en el área de influencia de la UF-2 (Ksli, Ksom y Ksls) por sus características hidrogeológicas de baja permeabilidad y porosidad primaria implica mayores tiempos de tránsito del agente contaminante a la superficie freática. En los acuíferos libres con flujo intergranular y con superficies freáticas ubicadas por encima de los 50 m de profundidad como en el portal de salida del Túnel Ermitaño y Palmichala los tiempos de tránsito son menores y la capacidad de atenuación del medio también es más bajo al agente contaminante.

Resistencia o Inaccesibilidad en sentido hidráulico

La resistencia o inaccesibilidad de la zona no saturada en sentido hidráulico a la penetración de los contaminantes está función de tres factores: (i) el régimen hidráulico del acuífero y grado de confinamiento, (ii) la profundidad del nivel de agua en acuíferos libres o techo del acuífero confinado, y (iii) las características litológicas y el grado de consolidación de la zona no saturada o capas confinantes. Donde el régimen hidráulico del acuífero se refiere al grado de confinamiento de las aguas que contienen. Se distinguen así tres tipos de acuíferos: libres, confinados y semi-confinados. Ver Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0.

En el área de influencia de la UF-2, las direcciones de flujo siguen principalmente una tendencia perpendicular al río Sumapaz, esto teniendo en cuenta que las fallas presentes en la zona generan franjas de mayor conductividad, y por lo tanto permiten en mayor medida el flujo hacia el río favorecido además porque la tendencia de los planos de fallamiento regional son NS.

Teniendo en cuenta que la profundidad de la lámina de agua depende directamente de la cantidad de agua que entra al sistema, nivel freático varía en los períodos húmedos y secos, en tanto que en las épocas de lluvia se encuentra menos profundo que en épocas secas. En cuanto al grado de confinamiento, se encuentran en la zona acuíferos libres, acuíferos semiconfinados y otros confinados como se muestra a continuación.

- Alaca: Acuífero libre
- Almbc1: Acuífero libre
- Almbc2: Acuífero libre
- Acbca1: Acuífero semiconfinado
- Acbca2: Acuífero confinado

Considerando una condición media, se encuentra que los niveles freáticos en la parte alta de las montañas tienen profundidades superiores a los 50 m, mientras que en la ladera del río Sumapaz se presentan profundidades menores a los 50 m, siendo menores en la medida que se acercan al río.

Características litológicas

El tiempo de tránsito de un contaminante para alcanzar la zona saturada no es sólo función del espesor de la zona no saturada sino también de las características de los materiales que contiene. Estas características de la zona no saturada y de las capas confinantes hacen referencia a: (i) el tipo de litología, considerando indirectamente porosidad efectiva, permeabilidad de la matriz y contenido de humedad o retención específica en la zona no saturada y (ii) el grado de consolidación, teniendo en cuenta la probable presencia o ausencia de

permeabilidad secundaria por fisuras. Las particularidades geológicas en cada uno de los túneles proyectados se describe en el numeral 5.1.8.7 y se ilustra en el Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2507-A0.

Recarga neta

La recarga neta se define como el volumen de agua por unidad de área que ingresa al acuífero durante un período de tiempo. El proceso de tránsito del agua hasta la recarga puede conllevar el arrastre de sustancias, convirtiéndose la recarga en un vehículo para la lixiviación y el transporte de contaminantes líquidos y sales. Este parámetro se describe en detalle en el numeral 5.1.9.3.2 y se ilustra en el Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0. De acuerdo con el balance hídrico superficial y la modelación numérica, la recarga subterránea equivale al 6,2% de la precipitación promedio, lo que establece para la zona una recarga de 136 mm/año en todo el área de modelación hidrogeológica.

Las zonas de recarga del área de influencia se encuentran sectorizadas en las partes altas de la ladera, en las que puede presentarse una forma convexa cerca del borde superior de la misma, mientras que en las zonas bajas de la zona de estudio –por las cuales se desarrollarían las obras de los cuatro túneles cortos proyectados– se tienen zonas de descarga, las cuales no serían vulnerables a procesos relacionados con la recarga.

5.1.10.1.2. Resultados

La metodología para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca, se enfoca hacia los acuíferos más someros o la parte más superficial de los acuíferos de interés (Acuíferos someros y profundos – Acuíferos con flujo intergranular – Zona de recarga asociada cuenca media del río Sumapaz), ya que se considera que las características de la zona no saturada, son las que finalmente determinan el grado de protección, porque son los más susceptibles a ser afectados adversamente por una carga contaminante y una vez contaminados, este fenómeno se puede inducir fácilmente hacia los horizontes profundos.

En ese sentido, la configuración geológica, geomorfológica e hidrogeológica del AI de la UF-2 favorece que las variables analizadas bajo el método GOD tengan menor exposición a una carga contaminante.

La concavidad del perfil de la ladera es determinante de la profundidad a la que se presenta la tabla de agua subterránea. En las zonas altas de la ladera, en las que puede presentarse una forma convexa cerca del borde superior de la misma, se presentan tablas de agua profundas, mientras que en zonas bajas de la ladera, en las que pueden presentarse formas cóncavas en cercanías del río Sumapaz –al que van direccionadas tanto las aguas superficiales como las aguas subterráneas– la tabla de agua puede ser superficial.

La zonificación de vulnerabilidad se realizó extrayendo los niveles freáticos del modelo hidrogeológico numérico y comparándolos con la superficie del terreno, encontrando que los resultados son coherentes con los conceptos recién mencionados, ya que en la parte en la que la superficie presenta una forma cóncava las profundidades de los niveles freáticos son superiores a los 50 m y en las partes bajas se encuentran valores inferiores a los 50 m.

El régimen hidráulico para el área de influencia de la Unidad Funcional 2, está representado puntualmente por acuíferos libres y por acuíclados que ocupan la mayor extensión de la misma. La profundidad del agua subterránea varía en los acuíferos libres entre 2 y 31 m de profundidad (vulnerabilidad moderada a alta) y para los acuíferos confinados entre 10 y 30 m (vulnerabilidad baja) y para los acuíclados cuyos niveles freáticos están muy profundos y su capacidad de infiltración es muy baja el grado de vulnerabilidad es muy bajo a nulo. Para estos últimos implica que el tiempo de tránsito para un contaminante en alcanzar el agua subterránea será mayor también, lo que proporciona más posibilidad de atenuación de una cierta carga contaminante por degradación o retención natural. Las características litológicas determinan las áreas asociadas a los suelos mejor drenados y con mayor capacidad de infiltración los depósitos cuaternarios (Qc y Qt) como los medios acuíferos con granulometrías mayores no litificados con menor capacidad de atenuación de la zona no saturada o de las capas semiconfinantes a los elementos contaminantes.

El área de intervención directa de la Unidad Funcional 2 y sus obras proyectadas (ver Anexo MH. Secciones de análisis y el Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2525-A0 Mapa de Vulnerabilidad de acuíferos), se

ubican principalmente sobre unidades con vulnerabilidad muy baja a baja, cuyo predominio se asocia a acuíferos confinados y a acuíferos que son rocas con limitados recursos de aguas subterráneas, sin efectos de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos dadas las características diagnósticas mencionadas.

El acuífero más somero es libre, aunque con algunos lentes arcillosos que producen confinamientos locales; por no encontrarse conectado hidráulicamente, se le asigna un índice de 0.8 en el Parámetro "G" considerándose regionalmente en condiciones de no confinamiento. Está conformado por depósitos de terraza (Qt), corresponde a sedimentos de origen fluvial, asociados a los depósitos agradacionales producto de la dinámica sub actual y actual del río Sumapaz. Este depósito aluvial se considera como acuífero libre con permeabilidad alta, pero controlado por las laderas del valle en "V". Otro acuífero libre presente en el AID, incluye los depósitos coluviales (Qc) se caracterizan por presentar baja a moderada permeabilidad, y corresponden a acuíferos de extensión local y discontinuos, los cuales se localizan principalmente en el portal de salida de los Túneles Ermitaño y Palmichala. Son depósitos heterométricos, pobremente seleccionados, de granulometría heterogénea y de porosidad intermedia, se le asigna un índice de 0.8 en el Parámetro "G" considerándose regionalmente en condiciones de no confinamiento 0.7 (Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2524-A0; Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2525-A0 - Mapa Vulnerabilidad Acuíferos).

Las áreas de muy baja y baja vulnerabilidad a la contaminación indican que la zona no saturada es de gran espesor y con gran contenido de materiales impermeables con baja capacidad de almacenamiento y transmisividad, se distribuye en un 66% del área de influencia de la UF-2. Véase Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2525-A0 - Mapa Vulnerabilidad Acuíferos. Los cuatro túneles cortos se ubican en este tipo de zonas.

Las áreas de vulnerabilidad moderada, se asocian a los acuíferos más someros, libres a semiconfinados y litológicamente más permeables, son los más susceptibles a ser afectados adversamente por una carga contaminante (Véase Plano G-GEO-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2525-A0 - Mapa Vulnerabilidad Acuíferos). El dominio litológico corresponde a depósitos coluviales, depósitos antrópicos y depósitos de terraza del río Sumapaz, de la quebrada La Cascada y Palmichala. Las intervenciones de las actividades bajo el escenario con proyecto, durante construcción corresponden a terraplenes, cortes y mejoramiento de obras estructurales. La vulnerabilidad moderada representa en el Tramo de la UF-2, que la zona saturada está conformada capas y/o horizontes de sedimentos de bajo espesor cuyo predominio litológico incluye sedimentos con texturas tipo arena, gravas y limos, de alta permeabilidad y capacidad de almacenamiento de aguas principalmente de infiltración.

Figura 225 Distribución de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot. Fuente: INGETEC, 2017

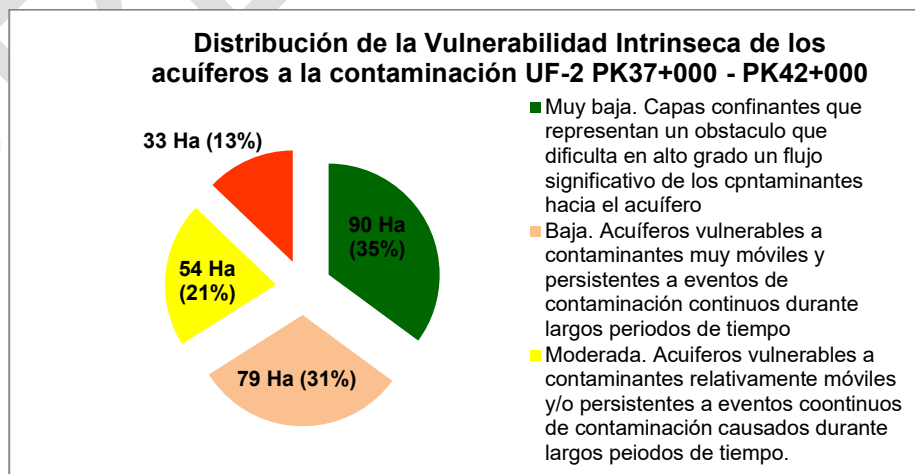
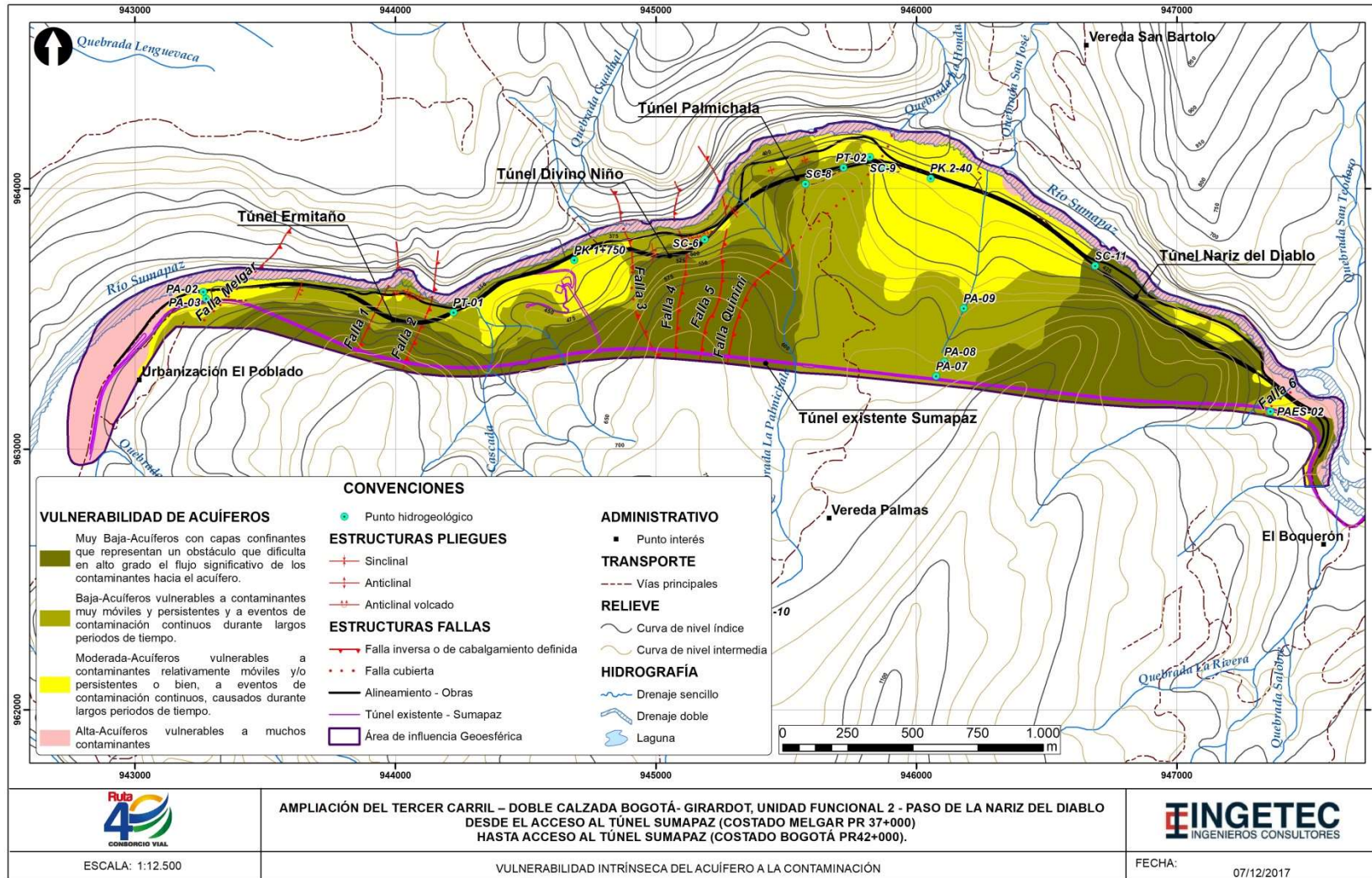


Figura 226 Mapa Vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación para la Unidad Funcional 2 Ampliación Tercer Carril Bogotá Girardot. Fuente: INGETEC, 2017



5.1.11. Geotecnia

5.1.11.1. Caracterización Geotécnica Obras Superficiales

En esta sección se presenta el resumen de los registros, los resultados de las exploraciones geotécnicas y análisis geotécnicos realizados para en la Unidad Funcional 2, localizada entre las abscisas K36+514 y K41+838.

La investigación geotécnica realizada se orientó a la exploración del suelo para conocer los espesores y las propiedades físicas de los diferentes materiales que conforman el suelo existente. Para la exploración del subsuelo se ejecutaron perforaciones que alcanzaron profundidades hasta de 80 m, en las cuales se efectuaron ensayos de penetración estándar. Adicionalmente, se ejecutaron ensayos de laboratorio sobre muestras inalteradas y alteradas obtenidas de las perforaciones.

A continuación se describen los trabajos de campo y de laboratorio realizados en la de la Unidad Funcional 2.

5.1.11.1.1. Metodología

Los parámetros de resistencia al corte y deformación con los cuales se realizan los análisis geotécnicos se definen a partir de los resultados de las investigaciones geotécnicas, información geotécnica secundaria que exista en la zona, retrocálculos y parámetros geotécnicos típicos recomendado por la bibliografía de referencia para los tipos de material que se encuentren en la zona del proyecto. Adicionalmente se elaborará una descripción detallada de los taludes de corte de la vía existente que servirá como base para la caracterización.

Para los depósitos de suelo residual, depósitos cuaternarios y macizo rocoso muy alterado y fracturado que se identifiquen dentro del corredor vial se definen los siguientes parámetros:

- Ángulo de fricción (ϕ'),
- Cohesión (c'),
- Resistencia al corte no drenada (S_u),
- Nivel freático aproximado.

Para los taludes de corte en roca se analizan los datos de la geología estructural, a partir de la cual se realizan análisis de estabilidad cinemáticos. Los parámetros de resistencia requeridos para este tipo de análisis corresponden a la resistencia que pueda desarrollar la discontinuidad más desfavorable, que es el plano a través del cual se desarrolla la falla planar, en cuña o por volteo a partir de la metodología definida en la sección 5.2.2.3.

Metodología de la Zonificación Geotécnica

Los criterios tenidos en cuenta para la zonificación geotécnica son:

- Clasificación geológica y geotécnica de las rocas y suelos presentes en el corredor vial.
- Características y tipo de estructuras geotécnicas
- Pendiente natural promedio del sector y rango de pendientes.
- Variación de las condiciones topográficas, morfológicas y de orientación del eje vial respecto a los planos de discontinuidad de las rocas.
- Condición del flujo de aguas superficiales y subsuperficiales.
- Descripción y clasificación de suelos y rocas a lo largo del tramo así como variación en profundidad.
- Variación de las propiedades índice y de resistencia de suelos y rocas a lo largo del tramo.

5.1.11.1.2. Perforaciones

A lo largo del corredor se ejecutaron 534.5 m de perforación correspondientes a taludes de corte y otras perforaciones en las obras subterráneas (túneles), principalmente. Teniendo en cuenta las características de los materiales, en los cuales se presenta una componente de cementación en profundidad, se ejecutaron exploraciones en diámetro NQ.

Se realizó muestreo continuo en profundidad, junto con ensayos de penetración estándar (SPT) en depósitos cuaternarios y rocas muy alteradas y se extrajeron muestras inalteradas con tubo Shelby siempre que el terreno lo permitiera. En el caso de encontrar materiales muy compactos que daban rechazo en el ensayo SPT, se continuó con perforación por el método de rotación.

5.1.11.1.3. Ensayos de laboratorio

Con el propósito de caracterizar geotécnicamente los suelos y rocas del corredor vial, se realizaron ensayos de mecánica de suelos y rocas en el laboratorio, sobre muestras obtenidas en las perforaciones.

Los ensayos de laboratorio efectuados se relacionan a continuación:

- Humedad natural (norma ASTM D2216-10)
- Límites de consistencia (norma ASTM D4318-10)
- Granulometría (norma ASTM D422-07)
- Compresión Inconfinada en Suelo (norma ASTM D2166-13)
- Compresión Simple en Roca (norma ASTM D 3148)
- Cortes directos
- Pesos unitarios

A continuación se presenta un resumen de las cantidades de ensayo ejecutadas:

Tabla 148 Cantidades de ensayo ejecutadas UF2

Ensayo	Cantidad
Contenido de Materia Orgánica (%)	2
Humedad Natural (%)	86
Gravedad Específica	9
Peso Unitario	92
Granulometría	48
Límites de Atterberg	30
Compresión Inconfinada	5
Corte Directo	40
Compresión simple en roca	39

5.1.11.1.4. Caracterización geotécnica

Para cada una de las zonas homogéneas se analizaron los resultados de las perforaciones y los ensayos de laboratorio disponibles, partiendo de las características geológicas de cada uno de los materiales descritos en la sección 5.1.1. A continuación se presenta el análisis realizado para cada una de las zonas homogéneas.

Zona Homogénea 1: Depósitos coluviales y aluviales

La zona homogénea 1 abarca principalmente depósitos de coluvión y aluviales, junto con una presencia menor de depósitos de terraza. En estas zonas se contó con las perforaciones PT-01-UF2, 2-0+565-CI, SPED, 2-3+335-CD, 2-3+420-CI, 2-40+000-CI-1, 2-40+000-CI-2, 2-40+315-CI y PT-02-UF2, las cuales se realizaron principalmente sobre el corredor actual.

Las perforaciones muestran superficialmente estratos de depósitos coluviales con espesores variables entre 5 a 76 m de profundidad. Los depósitos son clasto o matriz soportados conformados por fragmentos angulares, tamaño bloques y gravas, de areniscas cuarzosas y liditas en matrices predominantemente arcillo-arenosas, los cuales están infrayacidos por areniscas y lutitas de la formación Conejo (Kscn) y Grupo Olini (Ksom) en profundidad. La fracción fina de la matriz de los depósitos presenta un índice de plasticidad medio (IP = 4 – 31.4%), junto con porcentajes de humedad $w < 46.4\%$ y pesos unitarios en el rango de 17.6 – 23 kN/m³. (ver Figura 227 y Figura 228).

Los resultados de los ensayos de penetración estándar oscilan entre 8 y 71 golpes por pie, con una tendencia hacia los 40 golpes en profundidad y concentrándose en los primeros 21 metros, donde se incluyeron numerosos rechazos debido a la presencia de bloques. Los resultados de los ensayos de compresión inconfiada oscilan entre 42.5 kPa y 249.4 kPa. Adicionalmente, se cuenta con un ensayo de corte directo en el depósito que muestra una cohesión de 80 kPa y ángulo fricción de 28°.

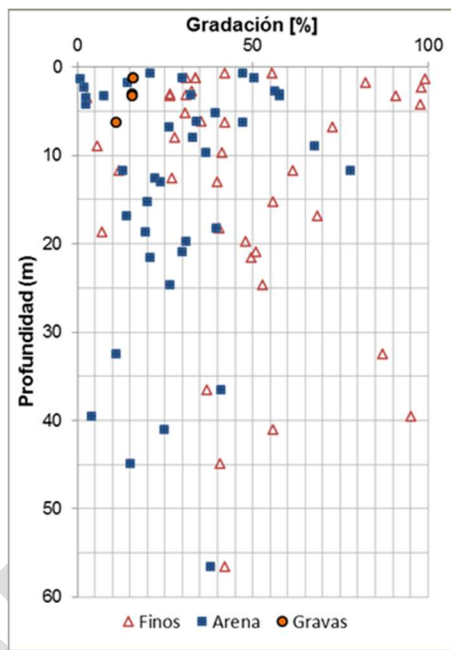


Figura 227 Porcentajes de finos, arenas y gravas ZH1

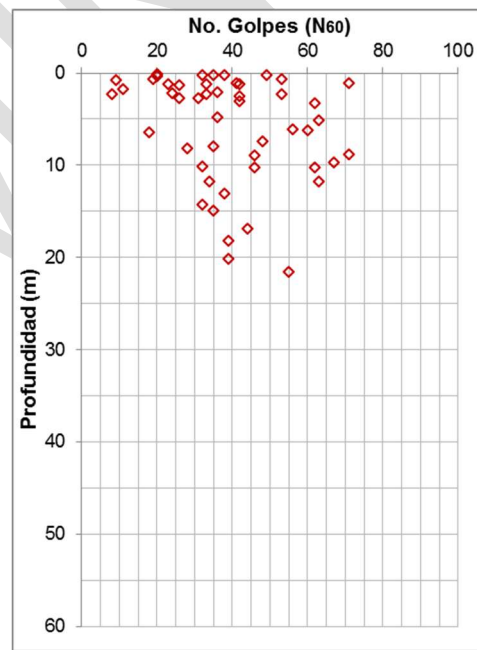


Figura 228 Ensayos de penetración estándar ZH1

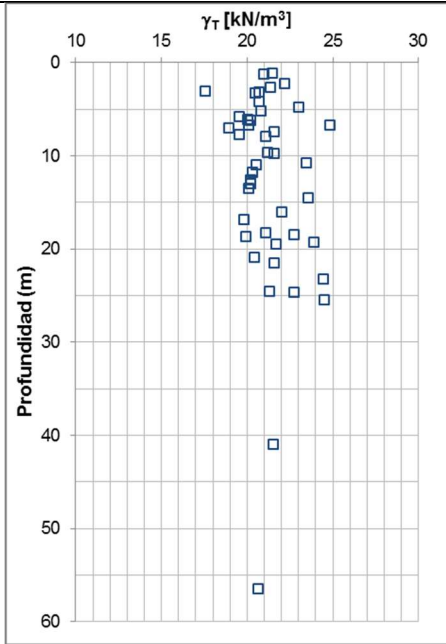


Figura 229 Pesos unitarios ZH1

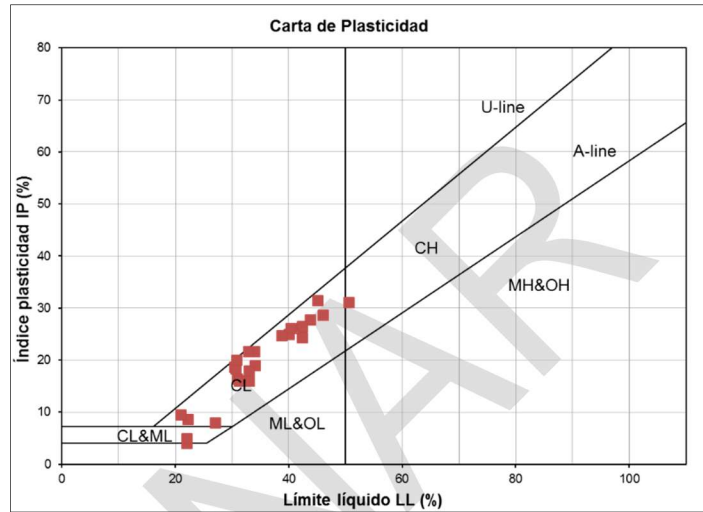


Figura 230 Carta de Plasticidad ZH1

Zona Homogénea 2: Grupo/Formación Olini

La zona homogénea 2 está conformada principalmente por areniscas y liditas del Grupo/Formación Olini, con presencia de algunos depósitos coluviales menores en inmediaciones del río Sumapaz. En esta zona se contó con las perforaciones P2-42+000-CD, S6-40+600, S7-41+967, S8-41+400, S9-41+460 y S10-41+120.

Las perforaciones muestran que esta zona homogénea se encuentra representada principalmente por areniscas y liditas con intercalaciones de alto a bajo grado de meteorización, junto con depósitos coluviales menores entre 1 y 5 m de espesor conformados por gravas en una matriz limo-arenosa. En los estratos meteorizados se presentan materiales con resultados de ensayos de penetración estándar que oscilan entre 14 y 85 golpes por pie, junto con un índice de plasticidad promedio de 32.3% y humedades naturales que varían entre 1% y 29.4%, con tendencia media hacia 15%. Por último, las resistencias a la compresión simple en roca oscilan entre 24.8 y 135 MPa, y en toda la exploración, incluyendo roca y materiales meteorizados, los pesos unitarios fluctúan en el rango de 18.3 – 26 kN/m³.

A partir de ensayos de corte directo en roca, se presentan ángulos de fricción que varía entre 25° a 50° y la cohesión entre 0 a 2.1 kg/cm².

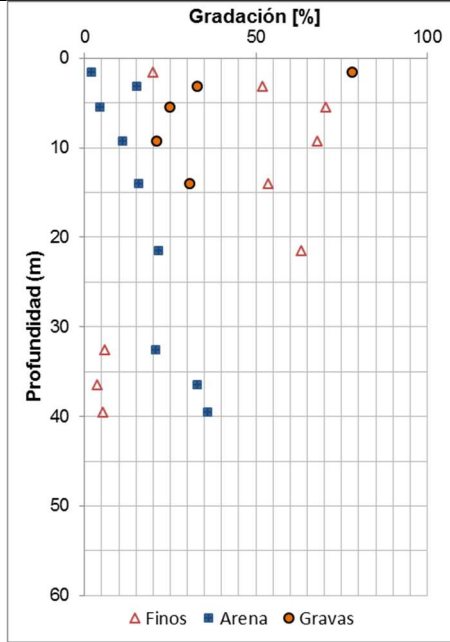


Figura 231 Porcentajes de finos, arenas y gravas ZH2

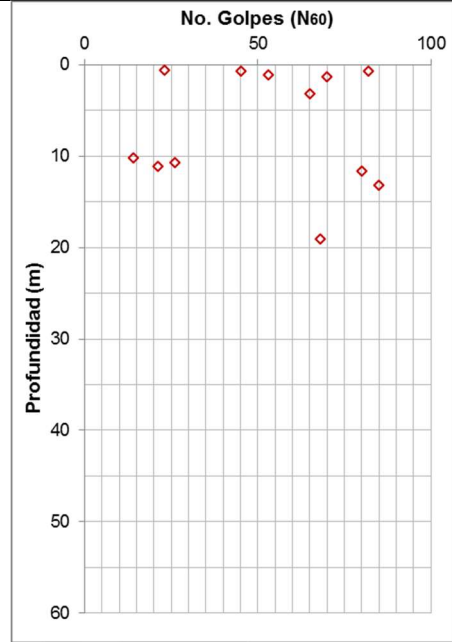


Figura 232 Ensayos de penetración estándar ZH2

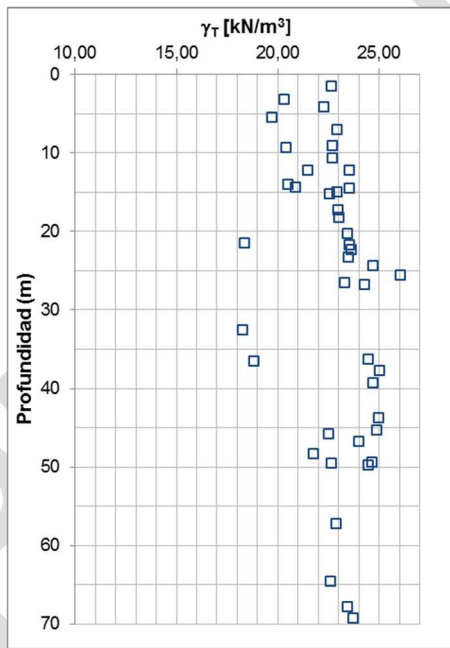


Figura 233. Pesos unitarios ZH2

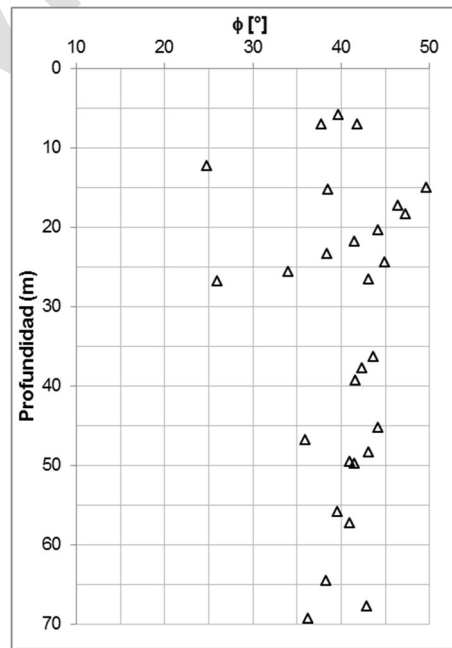


Figura 234 Ángulos de fricción interna en roca ZH2

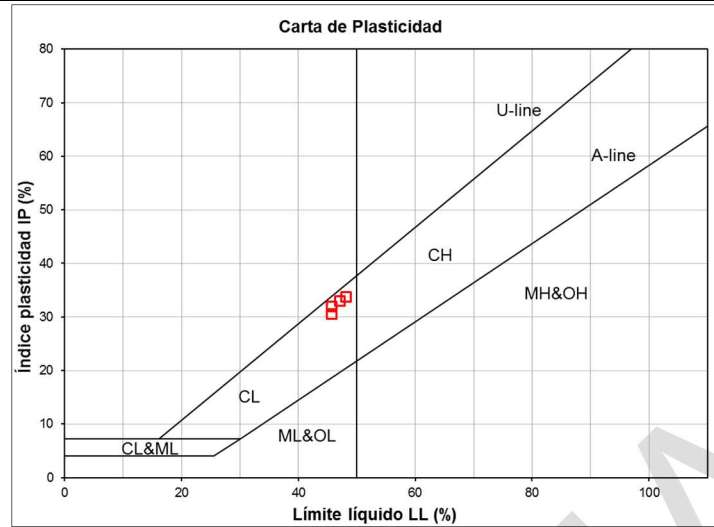


Figura 235 Carta de Plasticidad ZH2. Fuente: INGETEC, 2017

5.1.11.1.5. Análisis de estabilidad taludes de corte y de laderas área de influencia UF-2

Con el ánimo de verificar la condición de estabilidad en las zonas homogéneas fueron evaluadas algunas secciones críticas mediante análisis de equilibrio límite en los materiales no-litificados y rocas blandas, y mediante análisis de potencial cinemático para falla planar, en cuña y volteo en las zonas donde se observan afloramientos de rocas.

Zona Homogénea 1: Cortes en depósitos aluviales y de coluvión.

Para la zona homogénea 1 se seleccionó una sección en la abscisa 39+820 sobre depósitos coluviales los cuales suprayacen formaciones cretácicas compuestas básicamente de areniscas y lutitas. La sección topográfica seleccionada corresponde a los puntos donde se presenta mayor altura e inclinación de los depósitos. La información presentada anteriormente fue unificada, teniendo como prioridad las características de las perforaciones más cercanas a la sección crítica seleccionada. Teniendo en cuenta las consideraciones establecidas previamente se llegan a los siguientes parámetros de resistencia mecánica para los depósitos coluviales (Qc) en la zona homogénea 1 (ZH1).

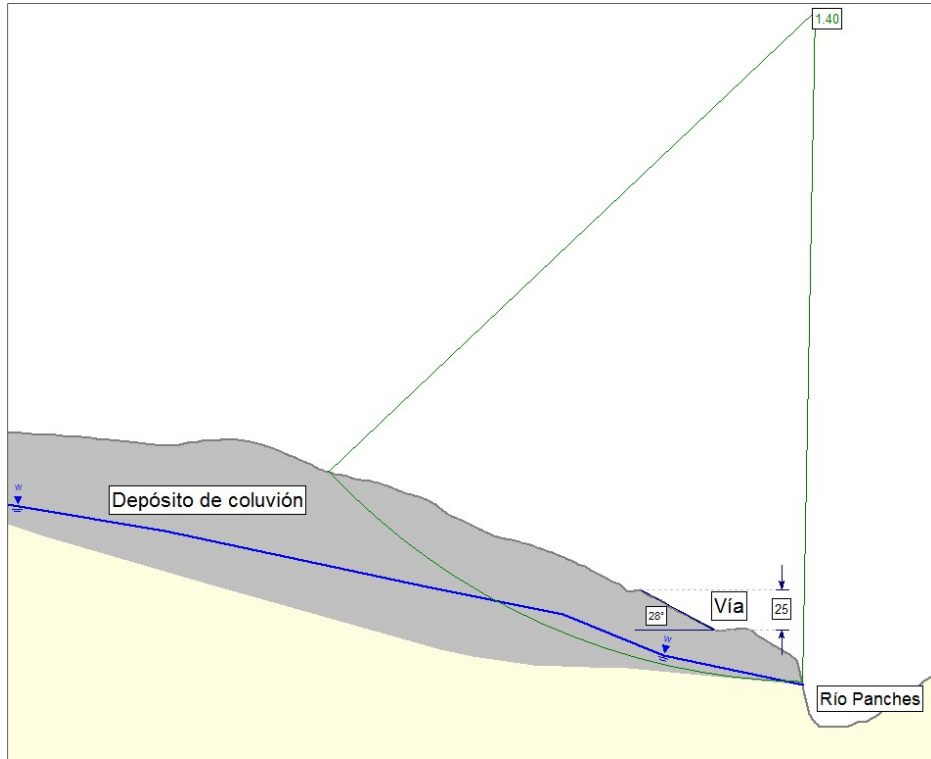
Tabla 149 Parámetros de resistencia mecánica ZH1: depósito coluvial

Material	γ_t kN/m ³	ϕ' °	c' kPa
Qc	20	28	25

La evaluación de la estabilidad general de los depósitos se realizó mediante el análisis de equilibrio límite utilizando la metodología de Spencer, para un mecanismo de falla rotacional.

A continuación se presenta el análisis de estabilidad para sección crítica seleccionada en depósito coluvial.

Figura 236. Resultado del análisis de estabilidad de la sección crítica seleccionada para la ZH1. Fuente:



INGETEC, 2017

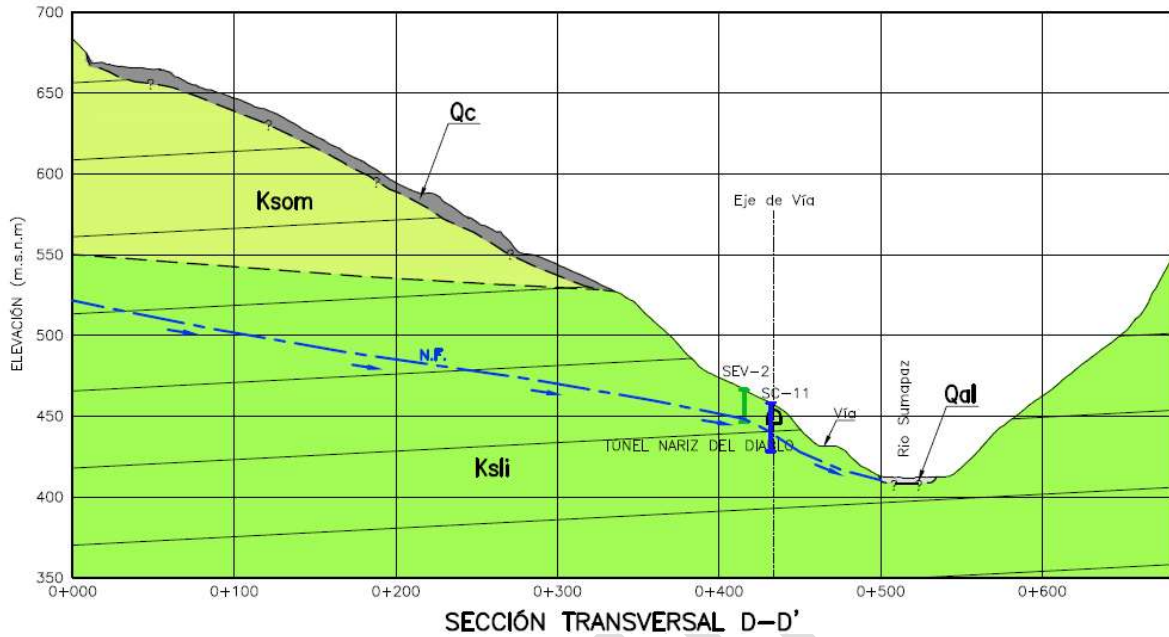
Según los resultados del análisis de estabilidad, se encontró que el Factor de Seguridad corresponde a 1.40 lo cual indica que el talud en el depósito de coluvión de la sección crítica seleccionada es estable bajo una condición de análisis estática.

Zona Homogénea 2: Corte en areniscas del Grupo Olini.

Para la zona homogénea 2 se realizó un análisis de potencial cinemático para falla planar, en cuña y volteo para la zona donde se observan afloramientos de la arenisca correspondiente al Grupo Olini. La revisión se realizó a partir de las discontinuidades predominantes observadas en los principales afloramientos, que fueron complementadas con la información disponible en el Servicio Geológico.

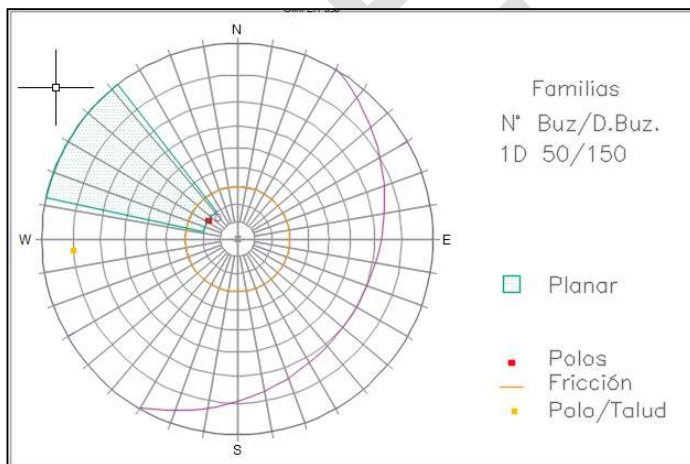
En la Figura 237 se observa la sección crítica de análisis seleccionada, la cual se ubica en la abscisa K40+800 sobre el corredor actual.

Figura 237 Sección crítica seleccionada para la ZH2 en la abscisa K40+800. Fuente: INGETEC, 2017



En la Figura 238 se observa la estratificación del grupo Olini en el tramo de la Nariz del Diablo (UF2). No se detecta potencial de falla en los taludes de corte considerando la dirección de las discontinuidades. Así mismo, el potencial de falla se vería anulado por la fricción entre diaclasas, que en este ejercicio se estima de 30°. Por lo tanto, se concluye que la formación rocosa del grupo Olini en la sección crítica analizada es estable bajo condiciones estáticas.

Figura 238 Estereograma Grupo Olini K40+800 (Nariz del Diablo).



Fuente: INGETEC, 2017

5.1.11.2. Caracterización Obras Subterráneas

El proyecto vial contempla cuatro (4) túneles los cuales se localizan entre los municipios de Melgar y Boquerón departamento de Tolima. Se describe a continuación la sectorización geológica geotécnica de las obras subterráneas proyectadas con base en la información de referencia disponible, visitas de campo, campañas de investigación y caracterización geotécnica de los estudios de ingeniería de diseño.

5.1.11.2.1. Sectorización Geomecánica a lo largo de los túneles cortos

Se describe la evaluación de las condiciones Geomecánicas identificadas en los cuatro túneles cortos proyectados en la Unidad Funcional dos (UF2) a partir de los estudios desarrollados a nivel de ingeniería, que incluye la descripción Geológica y estructural, las características principales de los macizos rocosos que sustentan la caracterización del RMR de los macizos asociados a cada uno de los túneles proyectados.

En el contexto geológico local, la zona donde se presentan localizados los cuatro túneles del proyecto, se caracteriza por presentar litologías similares en las unidades de roca, representados principalmente por areniscas de grano medio a fino de color habano amarillento, en algunas ocasiones deleznable, intercaladas con limolitas y lodolitas en mayor proporción silíceas. En algunos afloramientos se alcanza a diferenciar suelos residuales de poco espesor y depósitos coluviales que alcanzan espesores entre los 5 y hasta 50 m de profundidad. Se diferencian estratificaciones bien marcadas, que varían a causa de la tectónica en el área que se evidencia en los afloramientos presentes en la zona.

A lo largo de los afloramientos se detectan zonas de fallas, brechas de falla, zonas de cizalla, pliegues, y deformaciones locales, que se reflejan en el comportamiento Geomecánico de los macizos rocosos. Estos factores están siendo influenciados por la alta actividad tectónica donde se encuentran emplazados los túneles, los cuales están regidos por el fallamiento regional como la Falla Quinini - Piedras Blancas y otras fallas menores de cabalgamiento que atraviesan de norte – sur la zona de la UF2.

De acuerdo con las campañas de campo por el grupo de especialistas de los estudios de diseño (Geotecnia Andina, 2017), se identificaron las características Geomecánicas de los macizos rocosos y las posibles zonas de debilidad por donde se estima se tendrían mayores riesgos Geológicos en el momento de la excavación de los túneles. En ese sentido, se levantó información geológico geotécnica sobre los afloramientos disponibles en la vía caracterizando los macizos rocosos y clasificándolos de acuerdo a su litología, características de las discontinuidades como rugosidad, continuidad, espaciamiento, relleno, y resistencia y así definir el comportamiento Geomecánicos que se estimará para cada tramo de excavación Ver Anexo C Geotecnia

A continuación se presenta la caracterización Geomecánica por túnel y las implicaciones de favorabilidad o desfavorabilidad a la excavación del mismo.

Zonificación geológico geotécnica Túnel 1 Ermitaño

El túnel 1 Ermitaño con 413 m de longitud aproximadamente, presenta una litología principalmente compuesta por areniscas de grano medio a fino de coloración café amarillento, en algunos afloramientos estas se caracterizan por presentar fisilidad planar, con intercalaciones de lodolitas y limolitas silíceas de coloración gris. Para este túnel, se presentan las familias de diaclasas tomadas a lo largo de la vía, la cual se establece paralela al alineamiento del túnel, las mejores exposiciones rocosas se presentan a lo largo de la vía para este sitio. La principal dirección de estratificación encontrada para este túnel es N40°W/30-70°NE, con algunas variaciones, debido a factores tectónicos fuertes presentes en la zona. Así mismo, se diferencian distintas zonas de falla locales, cizalla, plegamientos, que a pesar de que la resistencia de las rocas es favorable, generan debilitamiento y desmejoramiento en cuanto a condiciones Geomecánicas presentes en los macizos rocosos (acorde con Geotecnia Andina, 2017).

De acuerdo a lo anterior, se presentan para el túnel 1, cinco zonas Geológico-Geotécnicas agrupadas de acuerdo a las características de orientación de las discontinuidades, la clasificación geomecánica y tipo de macizo rocoso.

El análisis de condiciones para la excavación del túnel, se presenta con respecto al abscisado del proyecto, y de acuerdo a la dirección aproximada del túnel. En este sentido, se establecen cinco zonas Geológico-Geotécnicas para el túnel 1 agrupadas de la siguiente manera:

- i. Zona geológico – geotécnica 1: Abscisas K 0+779 – K 0+825
 - ii. Zona geológico – geotécnica 2: Abscisas K 0+826 – K 0+876
 - iii. Zona geológico – geotécnica 3: Abscisas K 0+877 – K 0+934
 - iv. Zona geológico – geotécnica 4: Abscisas K 0+935 – K 1+052
 - v. Zona geológico – geotécnica 5: Abscisas K 1+053 – K 1+193
- Zona geológico – geotécnica 1: Abscisas K 0+779 – K 0+825

Se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica I.

Tabla.150 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 1 Túnel Ermitaño UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 1 Túnel Ermitaño		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Falla	30	50
J1	55	10
J2	20	50
J3	30	233
J4	50	160
J5	55	355
J6	26	300
Túnel	90	211

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo a la dirección de las discontinuidades, se relaciona la favorabilidad o desfavorabilidad de estas con respecto al sentido de la excavación del túnel Ermitaño, en este caso en el sentido del abscisado de W-E:

Tabla.151 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Ermitaño Zona geotécnica 1.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

Las familias de diaclasas que se presentan en este tramo y adicional a la zona de falla 1 y 2, se establece que las discontinuidades serán desfavorables a muy desfavorables:

Tabla.152 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación Zona geotécnica 1 Túnel Ermitaño UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Falla	Regular
J1	Muy desfavorable
J2	Desfavorable
J3	Regular
J4	Muy favorable
J5	Muy desfavorable
J6	Desfavorable

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

- Zona geológico – geotécnica 2: Abscisas K 0+826 – K 0+876

A continuación se presentan las familias principales de juntas, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 1.

Tabla.153 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 2 Túnel Ermitaño UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 2 Túnel Ermitaño		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	70	40
J1	60	130
J2	65	340
J3	60	20
J4	73	220
J5	23	20
Túnel	90	211

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir del análisis estereográfico de las discontinuidades, se puede definir de acuerdo a la dirección de las juntas la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E. Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.155 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.154 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Ermitaño Zona geotécnica 2.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

Los análisis geotécnicos respecto a las condiciones de las juntas y al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológico geotécnico 2, en la Tabla.155 se presentan dichas condiciones.

Tabla.155 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 2 Túnel Ermitaño UF-2

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Muy desfavorable
J1	Muy favorable
J2	Regular
J3	Muy desfavorable
J4	Muy desfavorable
J5	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo a la Tabla.157 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo se establece que las juntas serán de desfavorables a regulares en sentido de la excavación del túnel Ermitaño.

- Zona geológico – geotécnica 3: Abscisas K 0+877 – K 0+934

A continuación se presentan las familias principales de juntas, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 3.

Tabla.156 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 3 Túnel Ermitaño UF-2

Zona Geológico – Geotécnica 3 Túnel Ermitaño		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Falla	30	30
J1	60	50
J2	55	160
J3	35	285
J4	42	35
J5	80	310
Túnel	90	211

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.156 se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las juntas la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E. Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.157 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.157 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Ermitaño Zona geotécnica 3.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo a los análisis desarrollados por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las juntas con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológico geotécnico 3, en la Tabla.158 se presentan dichas condiciones.

Tabla.158 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 3 Túnel Ermitaño UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Falla	Regular
J1	Muy desfavorable
J2	Muy favorable
J3	Desfavorable
J4	Regular
J5	Muy desfavorable

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo a la Tabla.158_y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo se establece que las juntas serán de desfavorables a muy desfavorables en sentido de la excavación del túnel, con tramos cortos con regular favorabilidad.

- Zona geológico – geotécnica 4: Abscisas K 0+935 – K 1+052

A continuación se presentan las familias principales de juntas, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 4.

Tabla.159 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 4 Túnel Ermitaño UF-2

Zona Geológico – Geotécnica 4 Túnel Ermitaño		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación 1	18	50
Estratificación 2	5	145
J1	80	60
J2	80	340
Túnel	90	211

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.159, se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las juntas la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.160 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.160 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Ermitaño Zona geotécnica 4.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo a los análisis desarrollados por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las juntas con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológico geotécnico 4 (ver Tabla.161).

Tabla.161 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 4 Túnel Ermitaño UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación 1	Desfavorable
Estratificación 2	Desfavorable
J1	Muy favorable
J2	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo a la Tabla.161_y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo se establece que las juntas serán de desfavorables a muy desfavorables en sentido de la excavación del túnel.

- Zona geológico – geotécnica 5: Abcisas K 1+053 – K 1+193

A continuación en la Tabla.162 se presentan las familias principales de juntas, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 5.

Tabla.162 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 5 Túnel Ermitaño UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 5 Túnel Ermitaño		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación 1	49	45
Estratificación 2	10	255
Falla	40	50
J1	65	50
J2	80	330
J3	76	0
J4	55	0
J5	65	230
Túnel	90	211

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.162 se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las juntas la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.163 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.163 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Ermitaño Zona geotécnica 5.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológico geotécnico 5, ver Tabla.164

Tabla.164 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 5 Túnel Ermitaño UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación 1	Regular
Estratificación 2	Desfavorable
J1	Favorable
J2	Muy favorable
J3	Muy desfavorable
J4	Muy desfavorable
J5	Muy favorable

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo a la Tabla.164 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo se establece que las juntas serán de muy desfavorables a regulares en sentido de la excavación del túnel.

Según el análisis por sectores Geológico-Geotécnico (Geotecnia Andina, 2017), concluyen dos zonas homogéneas con características por tipo de terreno en cuando a las condiciones Geomecánicas de los macizos rocosos así como se muestra en la

Tabla.165

Tabla.165 Zonificación por zonas homogéneas túnel 1 ermitaño UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica (ZGG)	Zona Homogénea (ZH)	Clasificación Macizo Rocoso RMR
1	1	RMR= 38-41 TERRENO TIPO IV
2	2	RMR= 41 TERRENO TIPO III
3	1	RMR= 40 TERRENO TIPO IV
4	2	RMR=55-59 TERRENO TIPO III
5	1	RMR= 35-40 TERRENO TIPO IV

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

Zonificación geológico geotécnica Túnel Divino Niño

El túnel 2 con 290 m de longitud aproximadamente, presenta una litología principalmente compuesta por areniscas de grano medio a fino de coloración café amarillento con paquetes intercalados de lodolitas y limolitas silíceas de coloración gris. Para este túnel (según Geotecnia Andina, 2017), se presentan las familias de diaclasas a lo largo de la vía, la principal dirección de estratificación reportada para este túnel es N20°W/25-50°NE, con algunas variaciones en la zona. Así mismo, diferenciaron distintas zonas de falla locales, cizalla, plegamientos, que a pesar de que la resistencia de las rocas es favorable, generan debilitamiento y desmejoramiento en cuanto a condiciones Geomecánicas presentes en los macizos rocosos (según Geotecnia Andina, 2017).

Se presentan para el túnel 2, cuatro zonas Geológico-Geotécnicas agrupadas de acuerdo a las características de orientación de las juntas, clasificación geomecánica y tipo de macizo rocoso según los resultados encontrados por Geotecnia Andina, 2017.

El análisis de condiciones para la excavación del túnel desarrollado por Geotecnia Andina, 2017, se relaciona con respecto al abscisado del proyecto, y de acuerdo a la dirección aproximada del túnel. En este sentido, se establecen cuatro zonas Geológico-Geotécnicas para el túnel 2 agrupadas de la siguiente manera:

- i. Zona geológico – geotécnica 1: Abscisas K 1+581 – K 1+855
 - ii. Zona geológico – geotécnica 2: Abscisas K 1+856 – K 1+909
 - iii. Zona geológico – geotécnica 3: Abscisas K 1+910 – K 2+009
 - iv. Zona geológico – geotécnica 4: Abscisas K 2+010 – K 2+261
- Zona geológico – geotécnica 1: Abscisas K 1+581 – K 1+855

A continuación en la Tabla.166 se presentan las familias principales de juntas, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 1.

Tabla.166 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 1 Túnel Divino Niño UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 1 Túnel Divino Niño		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	25	70
J1	75	0
J2	65	320
J3	75	248
Túnel	90	191

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.166 se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las juntas la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.167 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.167 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Divino Niño Zona geotécnica 1.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológico geotécnico 1, ver Tabla.168

Tabla.168 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 1 Túnel Divino Niño UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Favorable
J1	Muy desfavorable
J2	Regular
J3	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo a la Tabla.168 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se establece que las juntas serán de muy desfavorables a regulares, en el sentido de la excavación del túnel.

- Zona geológico – geotécnica 2: Abscisas K 1+856 – K 1+909

A continuación en la Tabla.169 se presentan las familias principales de juntas, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 2.

Tabla.169 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 2 Túnel Divino Niño UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 2 Túnel Divino Niño		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	45	75
J1	85	160
J2	35	120
J3	40	315
J4	90	5

Zona Geológico – Geotécnica 2 Túnel Divino Niño		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
J5	42	175
J6	31	360
Túnel	90	191

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.169 se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las juntas la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.170 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.170 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Divino Niño Zona geotécnica 1.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológico geotécnico 1, ver Tabla.171.

Tabla.171 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 1 Túnel Divino Niño UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Favorable
J1	Muy desfavorable
J2	Favorable
J3	Desfavorable
J4	Muy desfavorable
J5	Regular
J6	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo a la Tabla.171 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se establece que las juntas serán principalmente desfavorables, con algunos tramos de orientación regular y favorable que generan buenas condiciones para el sentido de la excavación del túnel.

- Zona geológico – geotécnica 3: Abscisas K 1+910 – K 2+009

A continuación en la Tabla.172 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 3.

Tabla.172 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 3 Túnel Divino Niño UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 3 Túnel Divino Niño		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	50	65
J1	80	345
J2	49	145
J3	80	30
J4	45	80
J5	61	0
J6	25	5
Túnel	90	191

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.172 se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las juntas la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.173 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.173 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Divino Niño Zona geotécnica 3

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 3, ver Tabla.174

Tabla.174 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 3 Túnel Divino Niño UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Muy favorable
J1	Muy desfavorable
J2	Muy favorable
J3	Muy desfavorable
J4	Favorable
J5	Muy desfavorable

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
J6	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo a la Tabla.174 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se establece que las juntas serán de regulares a favorables con algunos tramos de orientaciones desfavorables en el sentido de la excavación del túnel (acorde con Geotecnia Andina, 2017).

- Zona geológico – geotécnica 4: Abscisas K 2+010 – K 2+261

A continuación en la Tabla.175 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 4.

Tabla.175 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 4 Túnel Divino Niño UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 4 Túnel Divino Niño		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación 1	70	105
Estratificación 2	50	70
J1	35	20
J2	65	340
J3	65	40
J4	35	0
J5	65	70
J6	70	290
J7	60	260
Túnel	90	191

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.175 se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las juntas la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.176Tabla.176 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.176 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Divino Niño Zona geotécnica 4.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 4, ver Tabla.177

Tabla.177 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 4 Túnel Divino Niño UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación 1	Muy favorable
Estratificación 2	Muy favorable
J1	Regular
J2	Muy desfavorable
J3	Muy favorable
J4	Regular
J5	Muy favorable
J6	Regular
J7	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.177 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán de regulares a muy favorables, en el sentido de la excavación del túnel.

Según el análisis por sectores Geológico-Geotécnico (Geotecnia Andina, 2017), concluyen dos zonas homogéneas con características por tipo de terreno en cuando a las condiciones Geomecánicas de los macizos rocosos así como se muestra en la Tabla.178

Tabla.178 Zonificación por zonas homogéneas túnel 2 Divino Niño UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica (ZGG)	Zona Homogénea (ZH)	Clasificación Macizo Rcoso RMR
1	1	RMR= 38 TERRENO TIPO IV
2	2	RMR= 53-55 TERRENO TIPO III
3	1	RMR= 29-40 TERRENO TIPO IV
4	2	RMR=42-58 TERRENO TIPO III

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

Zonificación geológico geotécnica Túnel Palmichala

El túnel 3 Palmichala con 414m de longitud aproximadamente, presenta una litología compuesta principalmente por areniscas de grano medio a fino y en algunos afloramientos tamaño de grano grueso de coloración café amarillento a gris, intercalado con paquetes espesos a muy espesos paquetes de lodolitas y limolitas silíceas de coloración gris, y en ocasiones lodolitas. Para este túnel se presentan las familias de diaclasas tomadas a lo largo de la vía por Geotecnia Andina (2017), la cual se establece paralela al alineamiento del túnel, esto es debido, a que todas las mejores exposiciones rocosas se presentan a lo largo de la vía. La principal dirección de estratificación encontrada para este túnel es N40-70°E/10-40°NW, con numerosas variaciones, debido a factores tectónicos fuertes presentes en la zona. Así mismo, se diferencian distintas zonas de falla locales, cizalla, plegamientos, que a pesar de que la resistencia de las rocas es favorable, generan debilitamiento y desmejoramiento en cuanto a condiciones Geomecánicas presentes en los macizos rocosos. De acuerdo a lo anterior, se presentan para el túnel 3, ocho zonas Geológico-Geotécnicas agrupadas de acuerdo a las características de orientación de las juntas, clasificación geomecánica y tipo de macizo rocoso.

El análisis de condiciones para la excavación del túnel desarrollado por Geotecnia Andina, 2017, se relaciona con respecto al abscisado del proyecto, y de acuerdo a la dirección aproximada del túnel. En este sentido, se establecen ocho zonas Geológico-Geotécnicas para el túnel 3 agrupadas de la siguiente manera:

- i. Zona Geológico-Geotécnica 1: Abscisas K 2+441 – K 2+475
- ii. Zona Geológico-Geotécnica 2: Abscisas K 2+476 – K 2+522
- iii. Zona Geológico-Geotécnica 3: Abscisas K 2+523 – K 2+620
- iv. Zona Geológico-Geotécnica 4: Abscisas K 2+621 – K 2+661
- v. Zona Geológico-Geotécnica 5: Abscisas K 2+662 – K 2+771
- vi. Zona Geológico-Geotécnica 6: Abscisas K 2+772 – K 2+796
- vii. Zona Geológico-Geotécnica 7: Abscisas K 2+797 – K 2+836
- viii. Zona Geológico-Geotécnica 8: Abscisas K 2+837 – K 3+335

- Zona Geológico-Geotécnica 1: Abscisas K 2+441 – K 2+475

A continuación en la Tabla.179 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 1.

Tabla.179 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 1 Túnel Palmichala UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 1 Túnel Palmichala		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	12	295
J1	75	115
J2	85	20
J3	25	2
Túnel	90	151

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.179, se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.180 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.180 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 1.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 1, ver Tabla.181.

Tabla.181 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 1 Túnel Palmichala UF-2

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Desfavorable
J1	Muy desfavorable
J2	Regular
J3	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.182 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán de serán de desfavorables a regular en la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 2: Abscisas K 2+476 – K 2+522

A continuación en la Tabla.182 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 2.

Tabla.182 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 2 Túnel Palmichala UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 2 Túnel Palmichala		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	12	350
J1	80	60
J2	45	140
J3	15	40
J4	90	10
J5	36	358
Túnel	90	151

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.182, se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.183 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.183 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 2.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnico 2, ver Tabla.184.

Tabla.184 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 2 Túnel Palmichala UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Desfavorable
J1	Muy desfavorable
J2	Regular
J3	Desfavorable
J4	Muy desfavorable
J5	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.184 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán de serán de desfavorables y algunas regulares en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 3: Abscisas K 2+523 – K 2+620

A continuación en la Tabla.185 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 3.

Tabla.185 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 3 Túnel Palmichala UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 3 Túnel Palmichala		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	13	355
J1	56	185
J2	65	320
J3	75	30
J4	35	170
J5	74	140
Túnel	90	151

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.185, se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.185 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.186 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 3.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnico 3, ver Tabla.187

Tabla.187 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 3 Túnel Palmichala UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Desfavorable
J1	Muy desfavorable
J2	Muy desfavorable
J3	Muy favorable
J4	Regular
J5	Muy desfavorable

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.187 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán muy desfavorables y algunas regulares a favorables en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 4: Abscisas K 2+621 – K 2+661.

A continuación en la Tabla.188 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 4.

Tabla.188 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 4 Túnel Palmichala UF-2

Zona Geológico – Geotécnica 4 Túnel Palmichala		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación 1	21	100
Estratificación 2	90	0

Zona Geológico – Geotécnica 4 Túnel Palmichala		
J1	65	320
J2	75	30
J3	90	75
J4	70	235
Túnel	90	151

. Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.188, se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.189 se analiza cada una de las discontinuidades principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.189 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 4.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 4, ver Tabla.190

Tabla.190 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 4 Túnel Palmichala UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación 1	Favorable
Estratificación 2	Muy Desfavorable
J1	Muy desfavorable
J2	Muy favorable
J3	Muy favorable
J4	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.190 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán regulares a favorables y en menor proporción algunas discontinuidades muy desfavorables en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 5: Abscisas K 2+662 – K 2+771

A continuación en la Tabla.191 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 5.

Tabla.191 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 5 Túnel Palmichala UF-2

Zona Geológico – Geotécnica 5 Túnel Palmichala		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación 1	20	290
Estratificación 2	12	80
J1	68	210
J2	35	310
J3	70	320
J4	80	50
J5	40	360
J6	70	35
J7	45	0
Túnel	90	167

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.191, se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.192 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.192 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 5.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 5, ver Tabla.193.

Tabla.193 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 5 Túnel Palmichala UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación 1	Desfavorable
Estratificación 2	Desfavorable
J1	Regular
J2	Desfavorable

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
J3	Muy desfavorable
J4	Muy desfavorable
J5	Regular
J6	Muy favorable
J7	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.193 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán desfavorables a muy desfavorables y en menor proporción juntas regulares a favorables en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 6: Abscisas K 2+772 – K 2+796

A continuación en la Tabla.194 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 6.

Tabla.194 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 6 Túnel Palmichala UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 6 Túnel Palmichala		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
J1	70	360
J2	75	30
J3	90	75
J4	70	235
Túnel	90	167

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.194 se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.195 se analiza cada una de las juntas principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.195 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 6.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 6, ver Tabla.196.

Tabla.196 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 6 Túnel Palmichala UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
J1	Muy desfavorable
J2	Muy desfavorable
J3	Regular
J4	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.196 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán muy desfavorables a regulares en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 7: Abscisas K 2+797 – K 2+836

A continuación en la Tabla.197 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 7.

Tabla.197 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 7 Túnel Palmichala UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 7 Túnel Palmichala		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación 1	20	105
Estratificación 2	80	350
Estratificación 3	15	300
J1	70	60
J2	80	320
J3	40	0
J4	80	230
J5	65	120
Túnel	90	167

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.197 se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.198 se analiza cada una de las discontinuidades principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.198 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Palmichala Zona geotécnica 7.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy	Regular	Desfavorable	

Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo
Favorable		Desfavorable		

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 7, ver Tabla.199.

Tabla.199 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 7 Túnel Palmichala UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación 1	Desfavorable
Estratificación 2	Muy desfavorable
Estratificación 3	Desfavorable
J1	Muy favorable
J2	Muy desfavorable
J3	Regular
J4	Regular
J5	Muy favorable

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.199 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán de muy desfavorables a desfavorables en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 8: Abscisas K 2+837 – K 3+335

Para la zona Geológico-Geotécnica 8, se presentan depósitos coluviales de matriz arenosa y en ocasiones areno-arcillosa de coloración café amarillo, moderadamente litificado, el cual presenta fragmentos embebidos en la matriz hasta tamaño bloques de diferentes composiciones entre areniscas, lodolitas y otras no reconocibles, con formas angulares a sub-angulares. Geotecnia Andina (2017), registra el análisis por sectores Geológico-Geotécnico y concluyen ocho zonas homogéneas con características por tipo de terreno en cuando a las condiciones Geomecánicas véase Tabla.200

Tabla.200 Zonificación por zonas homogéneas túnel 3 Palmichala UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica (ZGG)	Zona Homogénea (ZH)	Clasificación Macizo Rocoso RMR
1	1	RMR= 35 TERRENO TIPO IV
2	2	RMR= 45-62 TERRENO TIPO III y II
3	1	RMR= 39-42 TERRENO TIPO IV
4	2	RMR=46-55 TERRENO TIPO III
5	1	RMR= 35-40 TERRENO TIPO IV
6	2	RMR= 44-53 TERRENO TIPO III
7	1	RMR= 39-41 TERRENO TIPO IV
8	3	DEPOSITO COLUVIAL - Qc

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

Zonificación geológico geotécnica Túnel Nariz del Diablo

El túnel 4 Nariz del Diablo con 750 m de longitud aproximadamente, presenta una litología compuesta principalmente por rocas del Grupo Olini, que incluye paquetes de areniscas de grano medio a fino de coloración café amarillento a gris, intercaladas con paquetes espesos a muy espesos de lodolitas y limolitas silíceas de coloración gris oscuro. Para este túnel 4, se presentan las familias de diaclasas tomadas a lo largo de la vía, paralelas al alineamiento del túnel. La principal dirección de estratificación encontrada para este túnel es N20°-30°W/30-50°SW, con zonas de cizalla y fallas locales, probablemente debido a que se localiza en medio de dos fallas regionales que generan deformación frágil en las rocas. Esta situación incide en que aunque estas rocas presentan alta resistencia, en las zonas de mayor fracturamiento por las fallas locales, desmejoran la calidad y puntuación en cuanto a la clasificación geomecánica de los macizos rocosos. De acuerdo con lo anterior, a partir de los resultados encontrados por Geotecnia Andina (2017), se establecieron para el túnel Nariz del Diablo, seis zonas Geológico-Geotécnicas agrupadas de acuerdo a las características de orientación de las juntas, clasificación geomecánica y tipo de macizo rocoso.

- i. Zona Geológico-Geotécnica 1: Abscisas K 3+959 – K 4+053
 - ii. Zona Geológico-Geotécnica 2: Abscisas K 4+054 – K 4+123
 - iii. Zona Geológico-Geotécnica 3: Abscisas K 4+124 – K 4+174
 - iv. Zona Geológico-Geotécnica 4: Abscisas K 4+175 – K 4+628
 - v. Zona Geológico-Geotécnica 5: Abscisas K 4+629 – K 4+687
 - vi. Zona Geológico-Geotécnica 6: Abscisas K 4+688 – K 4+773
- Zona Geológico-Geotécnica 1: Abscisas K 3+959 – K 4+053

A continuación en la Tabla.201 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 1.

Tabla.201 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 1 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 1 Túnel Nariz del Diablo		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	50	245
J1	30	360
J2	50	310
J3	60	230
Túnel	90	246

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.201, se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.201 se analiza cada una de las discontinuidades principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.202 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 1.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 1, ver Tabla.203

Tabla.203 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 1 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Muy desfavorable
J1	Desfavorable
J2	Regular
J3	Muy desfavorable

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.203y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán de muy desfavorables a desfavorables en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 2: Abcisisas K 4+054 – K 4+123.

A continuación en la Tabla.204se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 2.

Tabla.204 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 2 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 2 Túnel Nariz del Diablo		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	40	248
J1	70	60
J2	70	320
J3	50	360
Túnel	90	246

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.204, se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.205 se analiza cada una de las discontinuidades principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.205 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 2.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 2, ver Tabla.206.

Tabla.206 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 2 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Regular
J1	Muy desfavorable
J2	Regular
J3	Regular

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.206 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán regulares en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 3: Abscisas K 4+124 – K 4+174

A continuación en la Tabla.207 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 3.

Tabla.207 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 3 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 3 Túnel Nariz del Diablo		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	45	250
J1	70	355
J2	50	40
J3	47	245
J4	30	170
Túnel	90	246

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.207 se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.208 se analiza cada una de las discontinuidades principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.208 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 3.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnico32, ver Tabla.209

Tabla.209 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 3 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Regular
J1	Muy desfavorable
J2	Regular
J3	Regular
J4	No especificado en los estudios

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.209 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán regulares en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 4: Abscisas K 4+175 – K 4+628

A continuación en la Tabla.210 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 4.

Tabla.210 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 4 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 4 Túnel Nariz del Diablo		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	45	250
J1	70	355
J2	50	40

Zona Geológico – Geotécnica 4 Túnel Nariz del Diablo		
J3	47	245
J4	30	170
Túnel	90	246

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.210, se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.211 se analiza cada una de las discontinuidades principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.211 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 4.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnico 4, ver Tabla.212.

Tabla.212 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 4 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Desfavorable
J1	Regular
J2	Muy favorable
J3	Muy desfavorable
J4	Regular
J5	Muy desfavorable
J6	Muy desfavorable

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.212 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán muy desfavorables a regulares en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 5: Abscisas K 4+629 – K 4+687

A continuación en la Tabla.213 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 5.

Tabla.213 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 5 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 5 Túnel Nariz del Diablo		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	40	250
J1	70	20
J2	50	40
Túnel	90	192

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.213 se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.214 se analiza cada una de las discontinuidades principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.214 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 5.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 5, ver Tabla.215.

Tabla.215 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 5 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Desfavorable
J1	Muy favorable
J2	Muy favorable

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.215 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán desfavorables por la estratificación de las rocas del Grupo Olini y favorable por las diaclasas en sentido de la excavación del túnel.

- Zona Geológico-Geotécnica 6: Abscisas K 4+688 – K 4+773

A continuación en la Tabla.216 se presentan las familias principales de discontinuidades, así como la dirección aproximada del túnel para la zona geológico – geotécnica 6.

Tabla.216 Relación de discontinuidades de la Zona Geológico Geotécnica 6 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica 5 Túnel Nariz del Diablo		
Discontinuidad	Dip	Dip Direction
Estratificación	40	70
J1	80	325
J2	50	75
J3	75	60
J4	73	225
J5	45	100
Túnel	90	192

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

A partir de las discontinuidades presentes en la Tabla.216, se realizó una red estereográfica con respecto a la dirección preferencial del túnel (Geotecnia Andina, 2017). De acuerdo con los análisis realizados por Geotecnia Andina (2017), definieron de acuerdo a la dirección de las discontinuidades la favorabilidad o desfavorabilidad de estas, con respecto al sentido de la excavación, tomada en este caso en el sentido del abscisado de W-E.

Por lo tanto y de acuerdo a la Tabla.217 se analiza cada una de las discontinuidades principales, con respecto a la orientación del túnel.

Tabla.217 Condiciones del efecto de la orientación de las diaclasas durante la excavación del túnel Nariz del Diablo Zona geotécnica 6.

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Rumbo independiente al eje del túnel	
Excavación en sentido del Buzamiento		Excavación en contra del Buzamiento		Rumbo paralelo al Túnel.		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	
Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°	Buzam.45°-90°	Buzam.20°-45°
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable	

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo al análisis realizado por Geotecnia Andina (2017), se presentan las condiciones de las discontinuidades con respecto al sentido de la excavación del túnel, que se va a ejecutar en la zona geológica geotécnica 6, ver Tabla.218

Tabla.218 Relación de la condición de favorabilidad de las discontinuidades principales durante la excavación de la Zona geotécnica 6 Túnel Nariz del Diablo UF-2.

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Favorable
J1	Regular
J2	Regular

Discontinuidad	condición de favorabilidad durante la excavación
Estratificación	Favorable
J3	Muy favorable
J4	Muy desfavorable
J5	Favorable

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

De acuerdo con los resultados expuestos en Geotecnia Andina (2017), ver Tabla.218 y a las familias de diaclasas que se presentan en este tramo, se estableció que las discontinuidades serán favorables a regulares, y pocas desfavorables en sentido de la excavación del túnel.

De acuerdo con Geotecnia Andina (2017), se registra el análisis por sectores Geológico-Geotécnico y concluyen seis zonas homogéneas con características por tipo de terreno en cuando a las condiciones Geomecánicas véase Tabla.219.

Tabla.219 Zonificación por zonas homogéneas túnel 4 Nariz del Diablo UF-2.

Zona Geológico – Geotécnica (ZGG)	Zona Homogénea (ZH)	Clasificación Macizo Rocoso RMR
1	1	RMR= 35-41 TERRENO TIPO IV
2	2	RMR= 41-55 TERRENO TIPO III
3	1	RMR= 35-38 TERRENO TIPO IV
4	2	RMR=41-60 TERRENO TIPO III
5	1	RMR= 35-55TERRENO TIPO IV y III
6	2	RMR= 48-59 TERRENO TIPO III

Fuente: Adaptado y modificado de Geotecnia Andina, 2017

5.1.12. Atmósfera

5.1.12.1. Meteorología

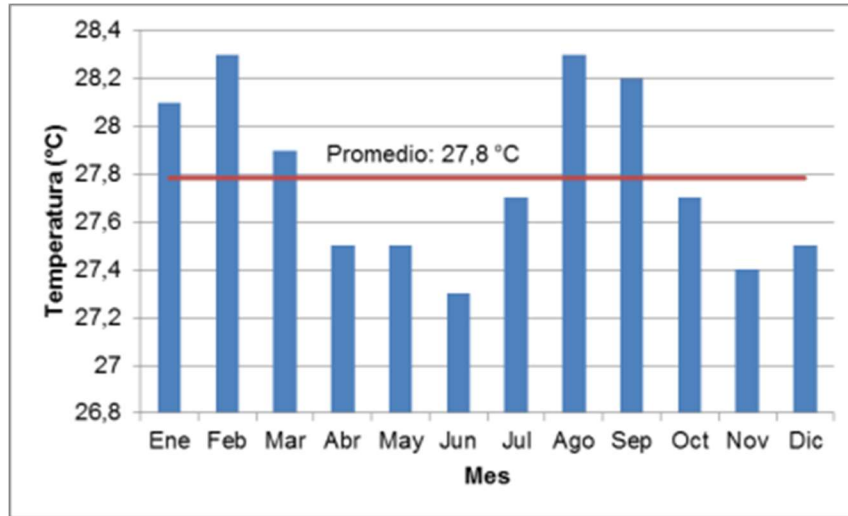
La caracterización climatológica de la zona de estudio se realizó con las estaciones climatológicas disponibles en el área, las cuales corresponden a la Estación Base Aérea Melgar y la Estación Aeropuerto Santiago Vila.

5.1.12.1.1. Temperatura

Temperatura media

La estación Base Aérea Melgar registra un valor de temperatura media mensual multianual de 27,8 °C. Como se presenta en la Figura 239, tiene un comportamiento bimodal, donde los periodos de mayor temperatura se presentan en enero-marzo y agosto-septiembre, siendo febrero el de mayor temperatura media con 28,3 °C. El menor valor de temperatura media mensual es de 27,3 °C, correspondiente al mes de junio.

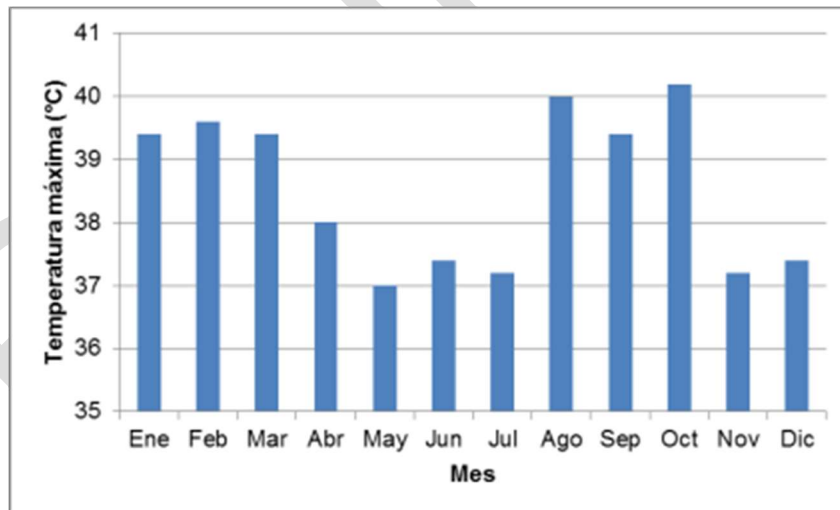
Figura 239 Variación mensual de la temperatura media en la estación Base Aérea Melgar



Temperatura máxima

La estación Base Aérea Melgar registra valores de temperaturas máximas entre 37 °C y 40,2 °C para el periodo 1973-2011. Como se muestra en la Figura 240, el mes de mayor temperatura máxima es octubre, mientras que mayo presenta el menor valor de temperatura máxima.

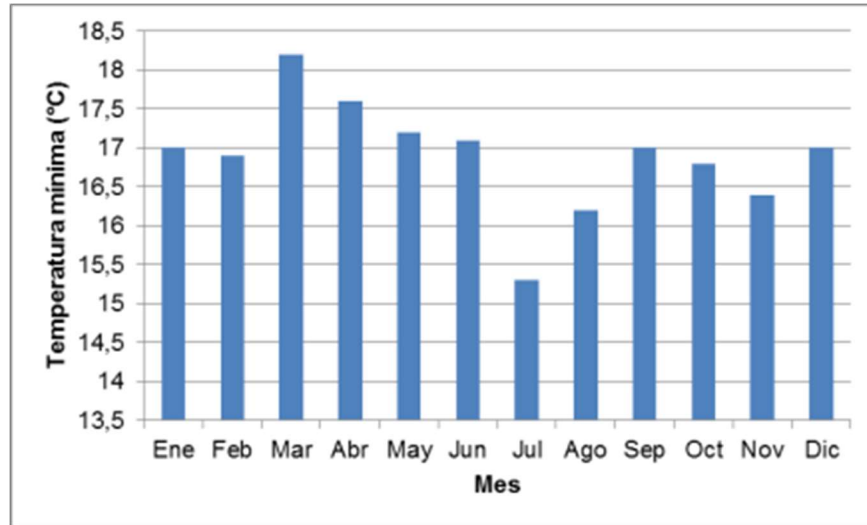
Figura 240 Variación mensual de la temperatura máxima en la estación Base Aérea Melgar.



Temperatura mínima

La estación Base Aérea Melgar registra valores de temperaturas mínimas entre 15,3 °C y 18,2 °C para el periodo 1973-2009. Como se puede apreciar en la Figura 241, los menores valores de temperatura se presentan en los meses de octubre y diciembre.

Figura 241 Variación mensual de la temperatura mínima en la estación Base Aérea Melgar.



5.1.12.1.2. Presión Atmosférica

La presión atmosférica en la zona del proyecto se estimó a partir de la relación que existe entre la temperatura media del sitio y la elevación del lugar utilizando la siguiente ecuación:

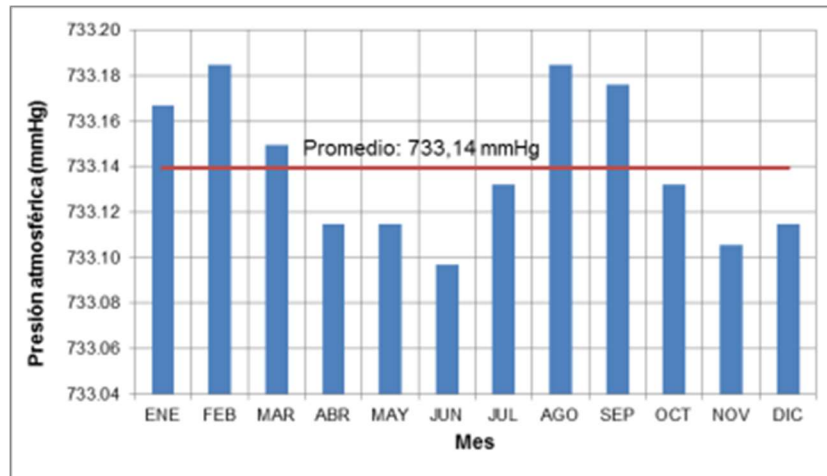
$$p = p_o e^{\left(\frac{-gz}{R_{da}T_m}\right)}$$

Donde:

- p = Presión atmosférica en el sitio de interés en mmHg
- p_o = Presión atmosférica al nivel del mar, 760 mmHg
- g = Aceleración de la gravedad, 9.81m/s²
- z = Altitud sitio de la estación
- R_{da} = Constante de gas del aire seco, 289J/Kg°K
- T_m = Temperatura media en el sitio del proyecto en °K

La estación Base Aérea Melgar registra valores de presión atmosférica entre 733,18 mmHg y 733,10 mmHg para el periodo 1958-2011. Como se presenta en la Figura 38, la presión atmosférica tiene un comportamiento bimodal, donde el periodo de mayor humedad relativa corresponde a los meses de enero a marzo y en los meses de agosto y septiembre, siendo febrero y septiembre los meses que registra el porcentaje más alto y junio el mes con menor presión atmosférica. La presión atmosférica media multianual es 733,14 mmHg.

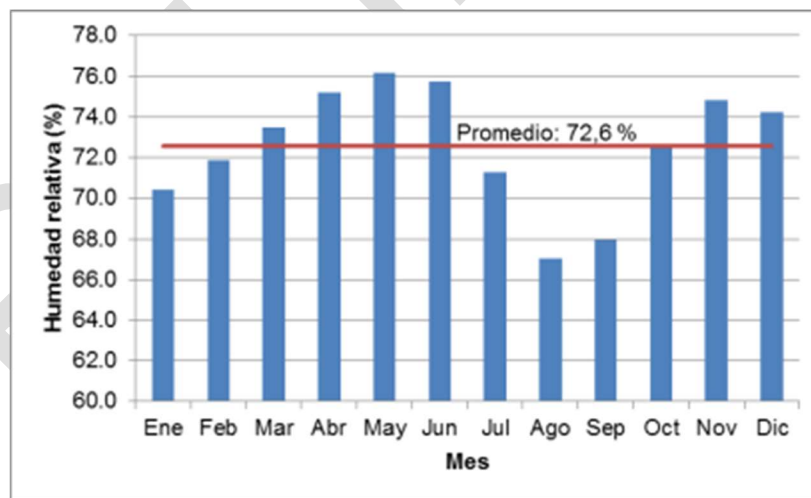
Figura 242 Variación mensual de la presión atmosférica en la estación Base Aérea Melgar.



5.1.12.1.3. Humedad relativa

La estación Base Aérea Melgar registra valores medios de humedad relativa entre 67,1% y 76,2% para el periodo 1973-2011. Como se presenta en la Figura 39, la humedad relativa tiene un comportamiento bimodal, donde el periodo de mayor humedad relativa corresponde a los meses de marzo a junio y de octubre a diciembre, siendo mayo el mes que registra el porcentaje más alto y febrero el mes con menor humedad relativa. La humedad relativa media multianual es 72,6%.

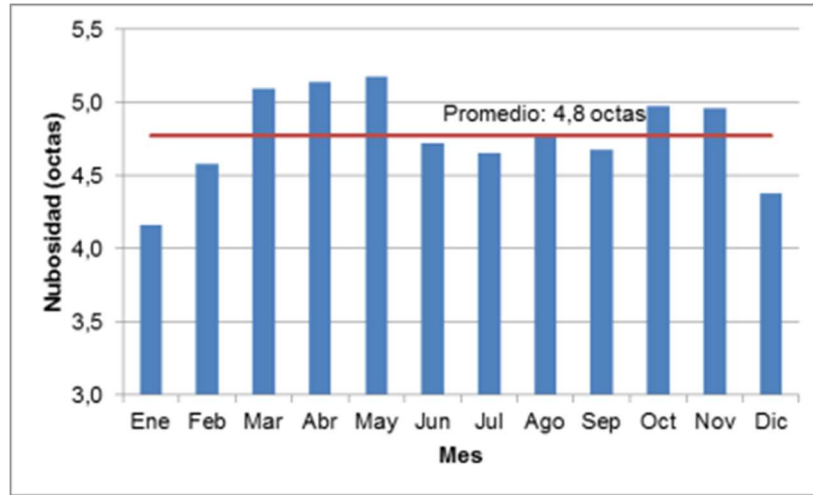
Figura 243 Variación mensual de la temperatura máxima en la estación Base Aérea Melgar.



5.1.12.1.4. Nubosidad

La estación Base Aérea Melgar cuenta con valores de nubosidad entre 4,3 octas y 5,3 octas para el periodo 1973-2011. Como observa en la Figura 40, el mayor valor de nubosidad media se presenta en el mes de agosto y el mes que presenta el menor valor de nubosidad media es Enero. La nubosidad media mensual multianual es de 4,8 octas.

Figura 244 Variación mensual de nubosidad en la estación Base Aérea Melgar.

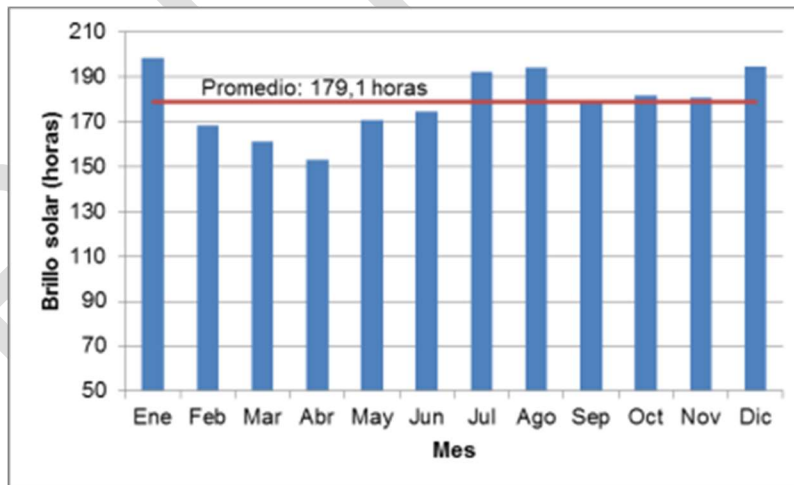


5.1.12.1.5. Brillo solar

Como la estación Base Aérea Melgar no cuenta con registros de brillo solar, este parámetro se caracterizó a partir de los registros de la estación Aeropuerto Santiago Vila.

La estación Aeropuerto Santiago Vila cuenta con valores de brillo solar mensual entre 153,1 horas y 198,3 horas para el periodo 1970-2013. Como observa en la Figura 41, el mayor brillo solar se presenta en el mes de enero y el mes que presenta el menor número de horas de brillo solar es abril. El brillo solar medio mensual multianual es de 179,1 horas, correspondiente a un valor anual de 2148,9 horas.

Figura 245 Variación mensual del brillo solar en la estación Aeropuerto Santiago Vila.



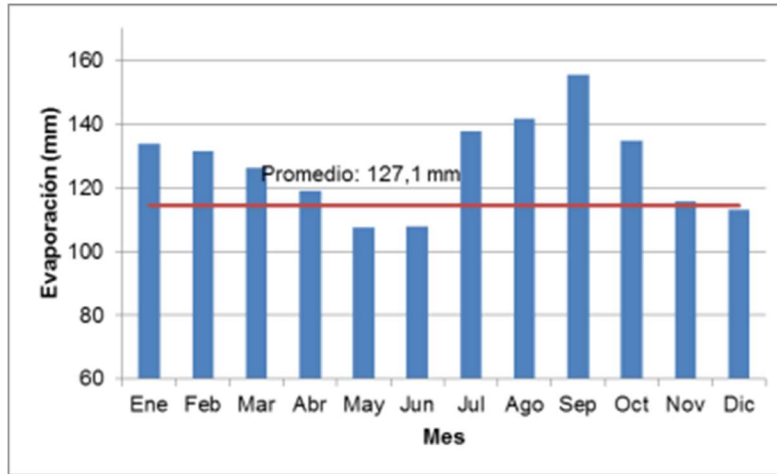
5.1.12.1.6. Evaporación

La estación Base Aérea Melgar no cuenta con registros de evaporación, por lo tanto, este parámetro se caracterizó a partir de los registros de la estación Aeropuerto Santiago Vila.

La estación Aeropuerto Santiago Vila cuenta con valores de evaporación mensual entre 63,85 mm y 81,45 mm, para el periodo 1983-2014. Como observa en la Figura 42, la mayor evaporación total mensual se presenta en

el mes de agosto, mientras que la menor evaporación se presenta en el mes de noviembre. La evaporación total media multianual en la estación es de 803,02 mm.

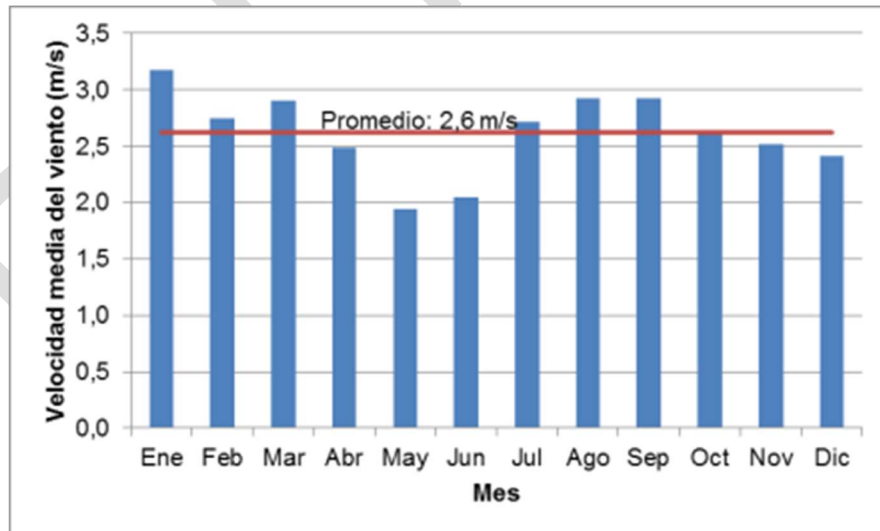
Figura 246 Variación mensual de la evaporación en la estación Aeropuerto Santiago Vila.



5.1.12.1.7. Velocidad media del viento

La velocidad media del viento se caracterizó a partir de los registros de la estación Aeropuerto Santiago Vila, que cuenta con registros de este parámetro para el periodo 1977-1985. Como se presenta en la Figura 43, la velocidad media del viento varía a nivel mensual entre 1,9 m/s (mayo) y 3,2 m/s (enero) y presenta un promedio anual multianual de 2,6 m/s. Los meses con mayor velocidad media del viento se encuentran en el periodo de junio a noviembre.

Figura 247 Variación mensual de velocidad media del viento en la estación Aeropuerto Santiago Vila.



Se solicitó información tanto de velocidad como dirección del viento al IDEAM, el cual únicamente proporcionó velocidad, por lo tanto no se pudo generar el parámetro de rosas de los vientos para este estudio.

5.1.12.1.8. Análisis de lluvias

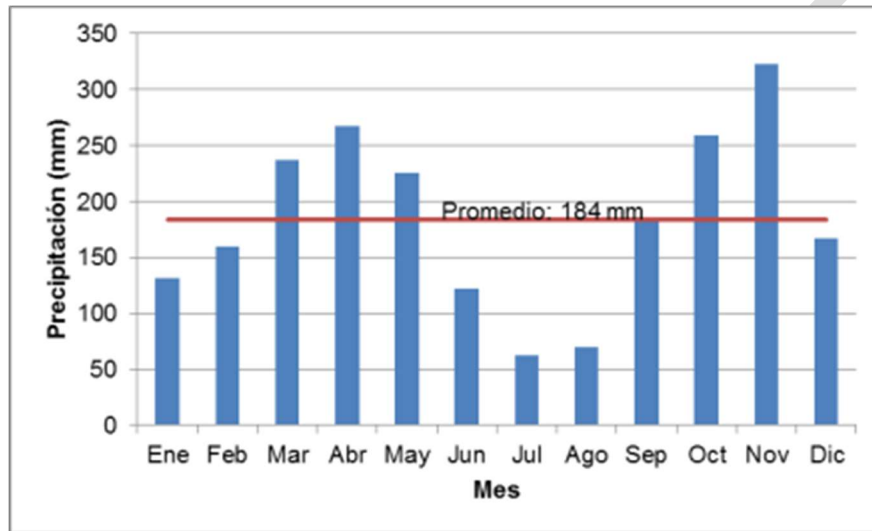
La caracterización de lluvias en la zona de estudio se realizó a partir de los registros de la estación El Salero.

5.1.12.1.9. Precipitación total mensual multianual (mm)

- Estación El Salero

La estación El Salero registró una precipitación media multianual de 2205,4 mm y un promedio mensual de 184 mm, en el periodo 1970-2012. Como se observa en la Figura 44, la precipitación presenta un régimen bimodal, donde los periodos de mayores valores de precipitación se presentan entre los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre.

Figura 248 Variación mensual de la precipitación media en la estación El Salero



5.1.12.1.10. Precipitación máxima en 24 horas

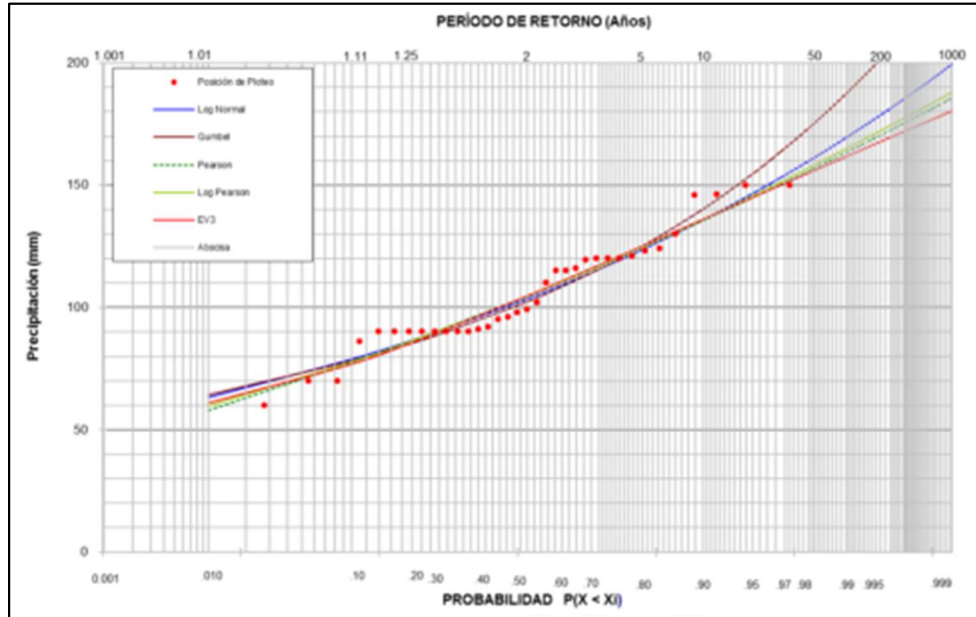
A partir de los registros de precipitación máxima en 24 horas en la estación El Salero, se realizó el ajuste estadístico mediante diferentes funciones de distribución de probabilidad, seleccionando la de mejor ajuste, con el propósito de estimar las precipitaciones máximas asociadas diferentes periodos de retorno, entre 2,33 y 100 años.

En la Tabla 220 se presentan los resultados de precipitaciones máximas ajustadas a diferentes funciones de distribución de probabilidad y gráficamente en la Figura 254

Tabla 220 Precipitaciones máximas para diferentes funciones de distribución de frecuencia. Estación El Salero

Tr años	GUMBEL mm	PEARSON mm	LOG-PEARSON mm	LOG-NORMAL mm	EV3 mm
2.33	106,6	108,8	108,5	107,5	109,0
5	125,1	124,5	124,6	123,7	125,2
10	140,2	135,5	135,9	135,8	136,0
20	154,7	144,9	145,7	146,6	145,0
25	159,2	147,7	148,6	150,0	147,6
50	173,4	155,8	157,1	159,9	155,0
100	187,4	163,4	164,9	169,4	161,7
Chi 2	9,8	8,5	8,4	9,0	8,7

Figura 249 Representación gráfica de precipitaciones máximas ajustadas a diferentes funciones de distribución de probabilidad. Estación El Salero



Teniendo en cuenta la prueba de Chi² y los ajustes gráficos de las diferentes funciones de distribución de probabilidad, se adoptó como función de mejor ajuste para todas las estaciones Gumbel. En la Tabla 221, se presentan los valores de precipitación adoptados.

Tabla 221 Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno

Estación	Precipitación (mm)							Distribución Adoptada
	Tr=2,33 años	Tr=5 años	Tr=10 años	Tr=20 años	Tr=25 años	Tr=50 años	Tr=100 años	
El Salero	106,6	125,1	140,2	154,7	159,2	173,4	187,4	Gumbel

5.1.12.2. Identificación de fuentes de emisiones

5.1.12.2.1. Localización de las fuentes de emisión

De acuerdo con la Resolución 610 del 2010, se define como Fuente Fija, la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Para el área de Influencia de la UF2, se determinaron de acuerdo con los recorridos de campo las siguientes fuentes de emisiones existentes:

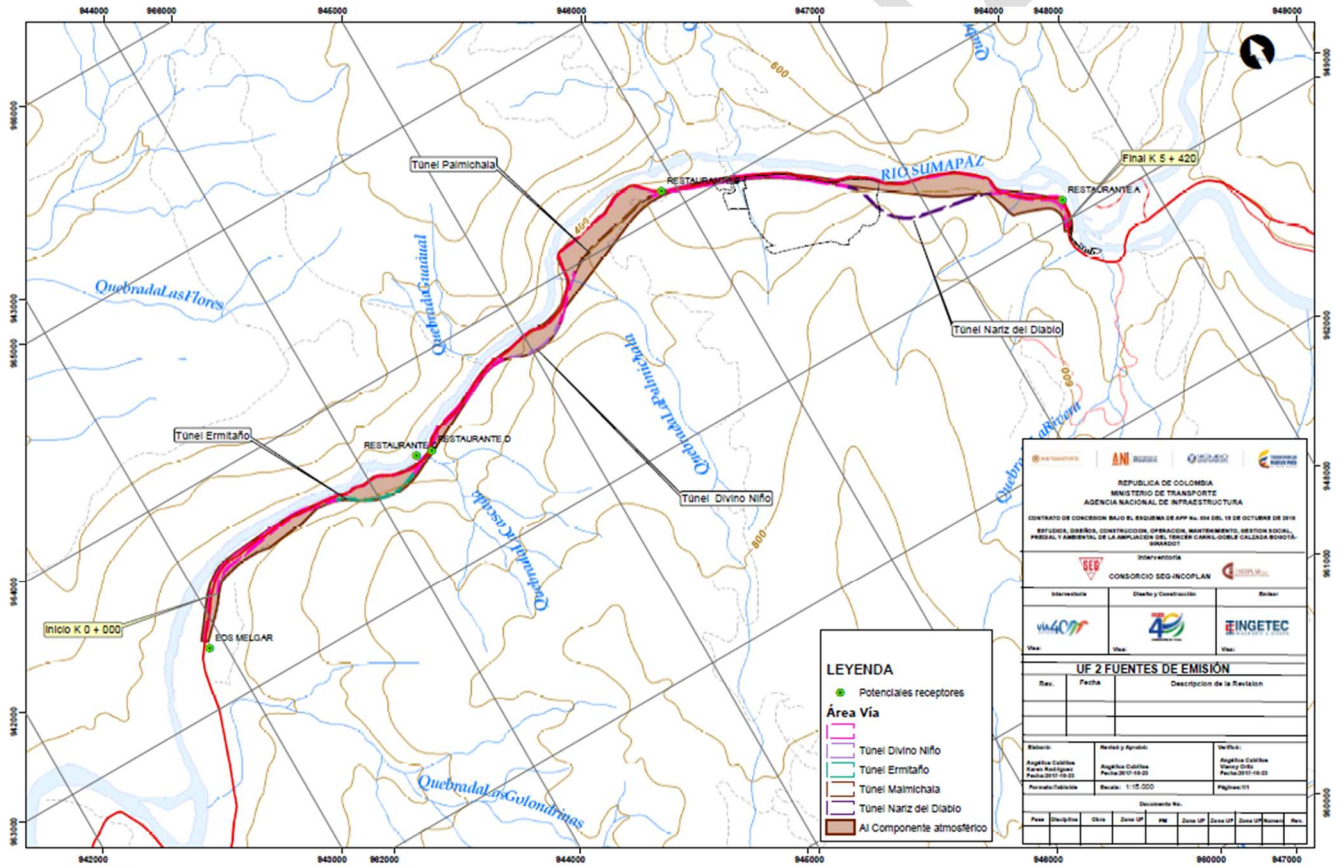
Tabla 222 Identificación de las fuentes de emisión.

Fuente		
Tipo	Nombre	Proceso o actividad que genera las emisiones atmosféricas
Móvil/Trazado de operación (Lineal)	Vía Bogotá Girardot	Flujo vehicular en las vías existentes
	Túnel Sumapaz	
Fija /Dispersa (área)	Estaciones de servicio	Venta al público de carburantes y combustibles petrolíferos a granel por medio de surtidores. EDS Melgar
Fija /Puntual	Industriales	No se identificó la presencia de actividades industriales que generen emisiones atmosféricas dentro del AI del proyecto.
	Comerciales	Restaurantes (4)

Fuente: INGETEC, 2017.

En la Figura 250 se puede observar la localización de las fuentes de emisión

Figura 250 Fuentes de Emisión UF2

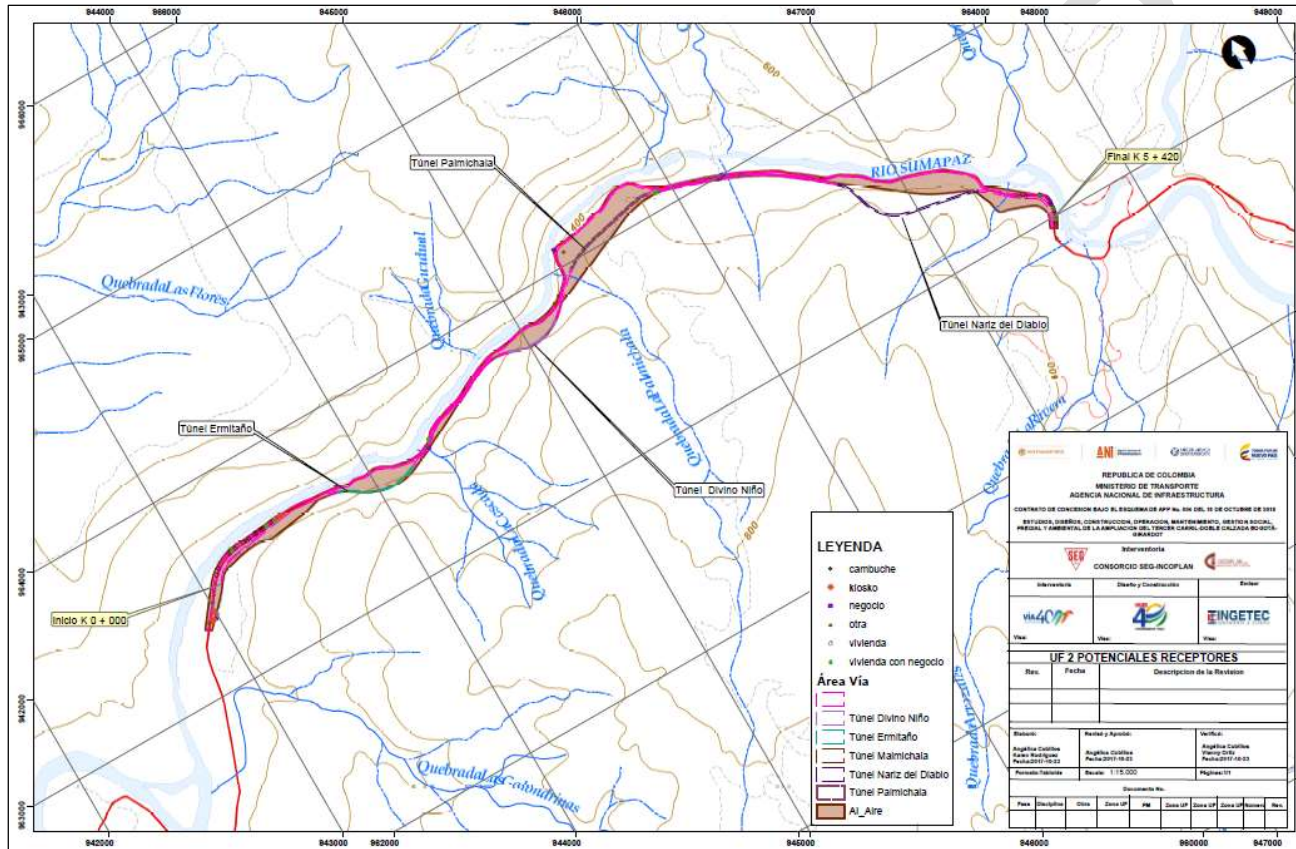


Fuente: INGETEC, 2017.

5.1.12.2.2. Potenciales receptores

Teniendo en cuenta que los receptores hacen referencia al grupo de personas o poblaciones susceptibles a la transferencia de contaminantes de la atmósfera en diferentes grados de inmisión, para este estudio, los potenciales receptores corresponden a los ciudadanos que habitan y/o frecuentan la zona de estudio, en la se observan los potenciales receptores identificados para el área de Influencia del proyecto.

Figura 251 Potenciales receptores AI Componente atmosférico área de la vía.



Fuente: INGETEC, 2017.

5.1.12.3. Calidad de aire

5.1.12.3.1. Puntos de Monitoreo

Para la evaluación de la calidad del aire en el área de influencia del proyecto, se tomó como referencia la información primaria de calidad de aire, obtenida por este consultor en la elaboración de los documentos PLAN DE ADAPTACIÓN DE LA GUÍA DE AMBIENTAL (PAGA), de las Unidades funcionales 1 y 3. Adicional se instalaron dos estaciones de monitoreo dentro del área de influencia de la UF2, en las cuales se realizaron mediciones durante 18 días en jornada continua a continuación en la Tabla 234Tabla , se muestra la ubicación de las estaciones definidas en la salida pre campo y las estaciones complementarias tomadas de los PAGAS de la UF1 y UF3.

Tabla 223 Puntos de monitoreo de calidad de aire UF2

ID	NOMBRE	X	Y
Estación 1	Boquerón 1	947544	962725
Estación 2	Boquerón 2	945928,27	964106,84
Estación 3	EDS MELGAR	942.939.222	963287.08
Estación 4	ZODME	932450	957882

5.1.12.3.2. Descripción de las estaciones de monitoreo

Para conocer el estado actual de la calidad del aire en el área de influencia del proyecto, se instaló una red de monitoreo de calidad de aire en dos periodos, las estaciones correspondientes a las unidades funcionales 1 y 3 fueron monitoreadas entre el 6 y el 26 de junio de 2017 y las dos estaciones correspondientes a la UF 2 se monitorearon en el periodo del 4 al 22 de agosto de 2017.

Esta red de monitoreo fue compuesta por 4 estaciones, operadas por dos laboratorios:

Para la toma de muestras análisis en las estaciones ubicadas en la UF1 y la UF3, se contrató al laboratorio Ambienziq Ingenieros S.A.S. Acreditado por el Instituto de Hidrología, meteorología y estudios Ambientales – IDEAM. Mediante Resolución 2770 del 30 de diciembre de 2015.

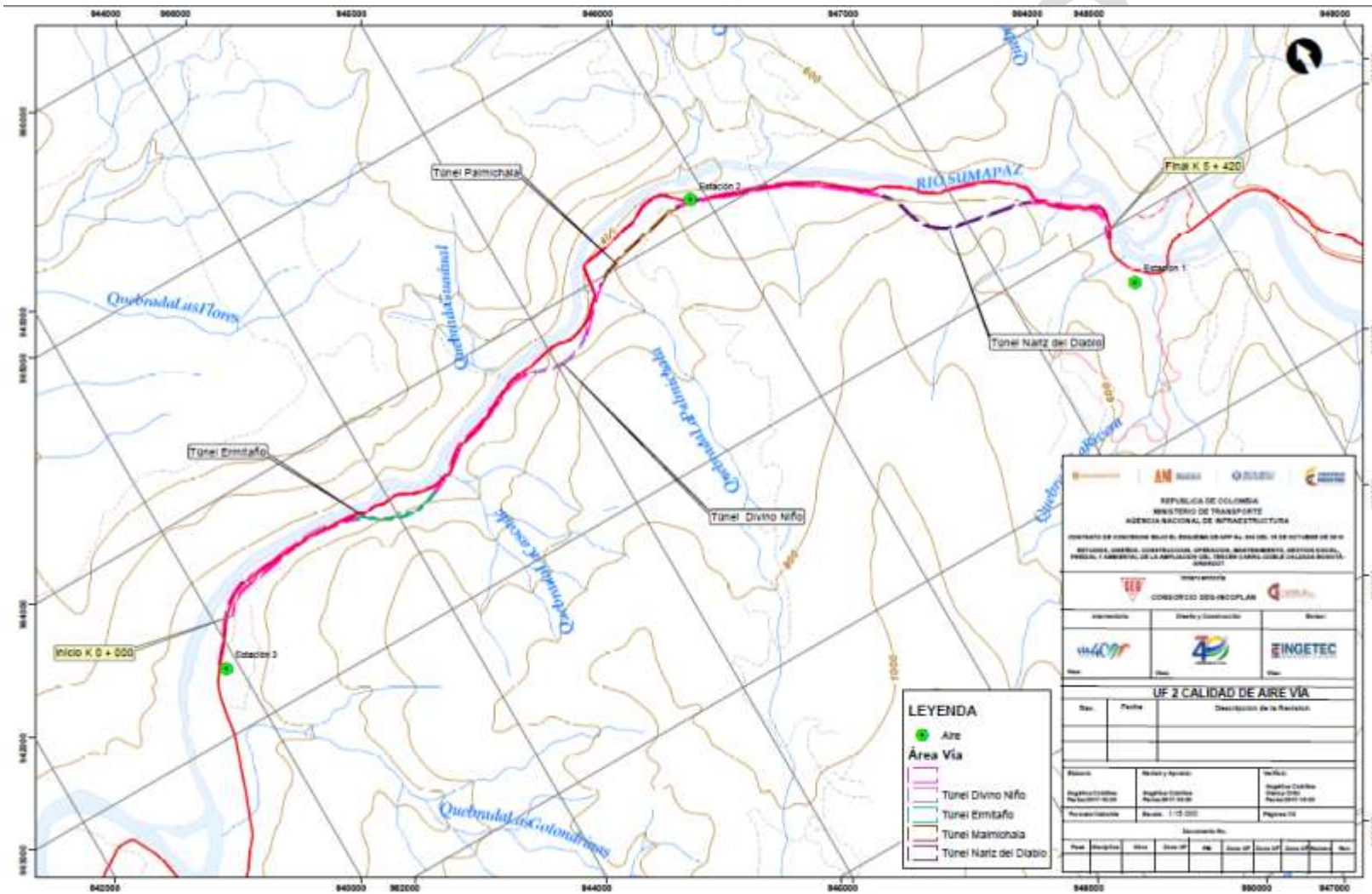
Para las estaciones de la UF2 se contrató el laboratorio K2 Ingeniería S.A.S., acreditado por el Instituto de Hidrología, meteorología y estudios Ambientales – IDEAM. Acreditado mediante Resolución 1695 del 4 de agosto de 2016 y resolución 0232 del 5 de febrero de 2017.

Los parámetros medidos fueron:

Partículas suspendidas totales (PST), Partículas Menores a 10 micras (PM10), Dióxidos de Azufre (SO₂) , Dióxidos de Nitrógeno (NO₂) y Monóxido de Carbono (CO). En el Anexo C, se presenta los resultados y las resoluciones de acreditación de laboratorio.

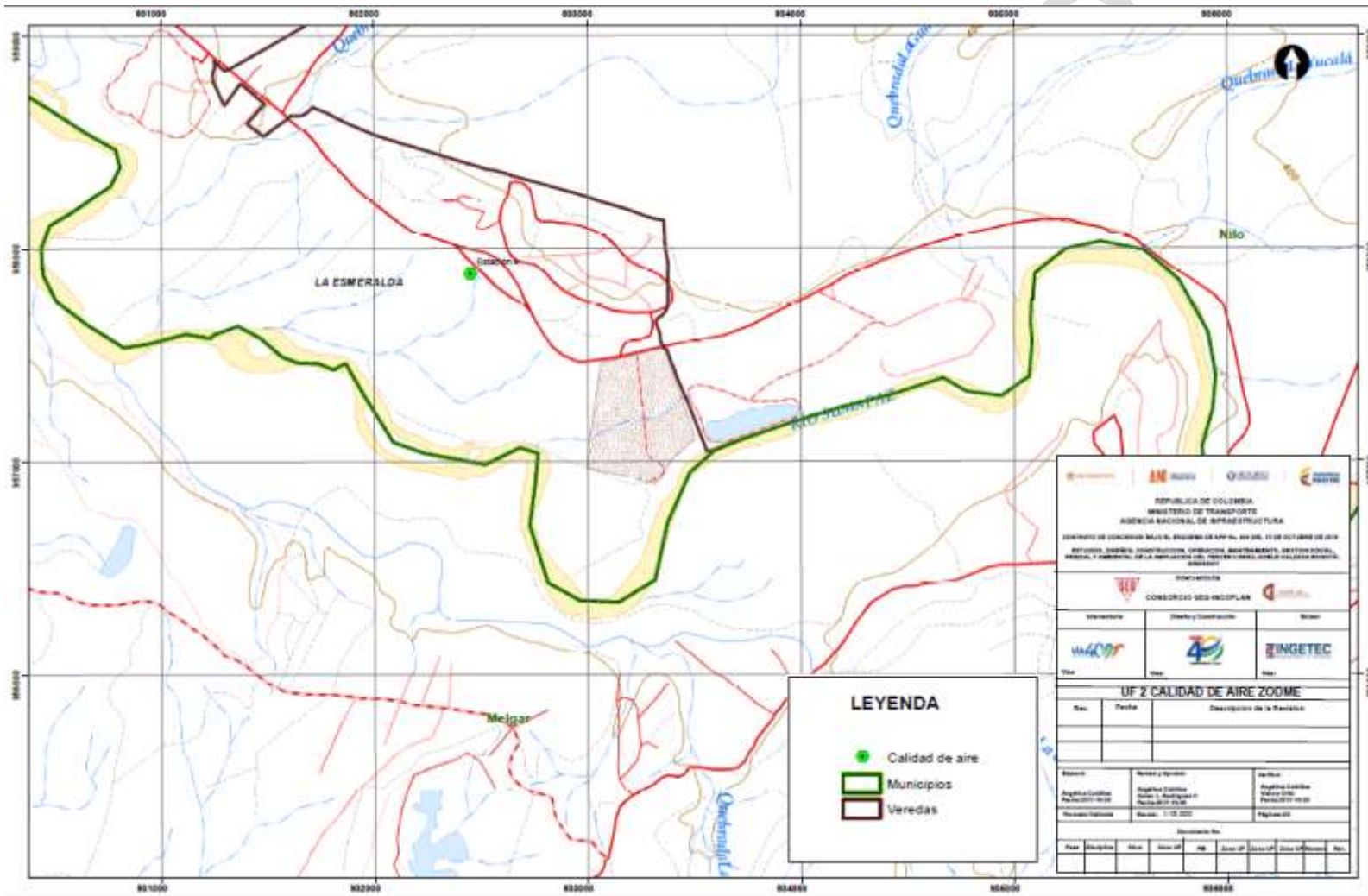
Para la ubicación de las estaciones de medición de calidad del aire, se tuvo en cuenta criterios como la presencia de comunidades vecinas, la rosa de vientos (dirección y velocidad del viento), la localización de la infraestructura que será construida y las condiciones topográficas. En la Tabla 224 se presenta la descripción de las estaciones de Monitoreo y en la Figura 252 y Figura 258, se presenta una localización general de las mismas. (Ver Plano G-LAB-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2529-A0)

Figura 252 Localización de las estaciones de Monitoreo de Calidad de Aire UF2 (Área de la vía)




Fuente: INGETEC, 2017.

Figura 253 Localización de las estaciones de Monitoreo de Calidad de Aire UF2 (ZODME)



Fuente: INGETEC, 2017.

Tabla 224 Descripción de las estaciones de monitoreo de calidad de aire UF2

ESTACIÓN 1	Nombre:	Boquerón 1	
	Coordenadas:	X: 947544	Y: 962725
	Altitud:	469 m.s.n.m.	
	Fuentes del Entorno:	La estación se sitúa en el segundo piso de una vivienda que se encuentra una cuadra de la Ruta 40. Se observa únicamente contaminación por fuentes móviles.	
	Periodo de medición:	09/06/2017 – 26/06/2017	

ESTACIÓN 2	Nombre:	Boquerón 2	
	Coordenadas:	X: 945928,27	Y: 964106,84
	Altitud:	449 m.s.n.m.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada sobre la vía Melgar – Boquerón (alterna al Túnel Sumapaz), 2,3 Km antes del Corregimiento Boquerón. La principal fuente de emisión proviene del tránsito vehicular.	
	Periodo de medición:	2017/08/04 - 2017/08/22	

ESTACIÓN 3	Nombre:	EDS Melgar	
	Coordenadas:	X: 942.939.222	Y: 963287.08
	Altitud:	386 m.s.n.m.	
	Fuentes del Entorno:	Estación ubicada en la Ruta Nacional 40, Tramo Girardot- Bogotá, 600 m antes de la entrada al Túnel Sumapaz, en la Estación de Servicio Melgar. La principal fuente de emisión proviene del tránsito vehicular.	
	Periodo de medición:	2017/08/04 - 2017/08/23	

ESTACIÓN 4	Nombre:	ZODME	
	Coordenadas:	X: 932450	Y: 957882
	Altitud:	296 m.s.n.m.	
	Fuentes del Entorno:	La estación de monitoreo se ubicó frente al centro vacacional Piscilago. Se evidencio flujo constante de vehículos.	
	Periodo de medición:	09/06/2017 – 26/06/2017	

5.1.12.3.3. Condiciones climáticas

○ Estación 1 Boquerón 1

La información meteorológica se tomó de los datos reportados en el área de influencia del proyecto, mediante la estación meteorológica portátil modelo METEOAGRO Serie 2965 y Modelo WH3081, instalada en el municipio de Fusagasugá, durante la jornada de muestreo, con el fin de hacer un análisis de resultados teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas más cercanas al área de estudio. Los parámetros meteorológicos que tienen mayor incidencia en la dispersión de contaminantes, para efectos de análisis de calidad del aire puntual, como es este caso, precipitación, humedad y temperatura.

○ Estación 4 ZODME

Para la estación ubicada en la UF 1, La información meteorológica (dirección y velocidad del viento) se tomó de los datos obtenidos de la estación meteorológica METEOAGRO instalada en el área de influencia de Girardot. Las variables meteorológicas tenidas en cuenta son temperatura (°C), precipitación (mm), dirección y velocidad del viento (m/s), humedad (%) cada 30 minutos durante los días que se realizó el monitoreo.

Vientos. Según los datos obtenidos por la estación meteorológica, la dirección predominante del viento fue en Dirección Sur –Este, con una velocidad entre 0,5 – 8,8 m/s y predominancia entre 0,5 - 3,6 m/s. Las calmas tuvieron una frecuencia del 32,56%.

- Estaciones BOQUERÓN 2 y EDS Melgar:

Se ubicó una estación meteorológica Vantage Vue, marca Davis Instruments en un sitio estratégico, desde donde se registró el comportamiento de las condiciones atmosféricas de forma representativa para las estaciones de monitoreo. La microlocalización de la estación meteorológica se presenta en la Tabla 225

Tabla 225 Microlocalización de la estación meteorológica EDS. Melgar

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	Nombre:	EDS. MELGAR	
	Coordenadas:	4°15'50,5"N	74°35'29.4" W
		X: 942939.222	Y: 963287.08
	Altitud:	383 msnm	
	Equipos:	Vantage Vue, marca Davis Instruments	
	Periodo de Medición:	2017/08/04 - 2017/08/23	

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S. (Estudio actual)

Con estos datos se determinan predominancias en velocidad y dirección del viento con el fin de establecer la dirección y grado de dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Por otra parte, es importante el análisis de la pluviometría de la zona para determinar si existe o no remoción húmeda en la zona (lavado atmosférico).

La combinación de otros aspectos como humedad y datos de superficie como temperatura, radiación solar y velocidad del viento deben llevar a la estimación de la estabilidad atmosférica³.

En la Tabla 227 se muestran los datos diarios obtenidos a partir de la estación meteorológica instalada, en ella se consolida el valor promedio de: velocidad del viento, temperatura, presión barométrica y humedad relativa así como la precipitación acumulada.

Tabla 226 Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo

Periodo de monitoreo	Temperatura, °C	Presión atmosférica, mmHg	Precipitación, mm de H₂O	Velocidad del viento, m/s	Humedad relativa, %
04/08/2017	29.20	725.20	0.00	1.35	24.50
05/08/2017	25.40	726.10	0.00	0.40	26.40
06/08/2017	26.40	725.60	0.00	1.30	30.70
07/08/2017	28.06	727.46	0.00	1.14	27.56

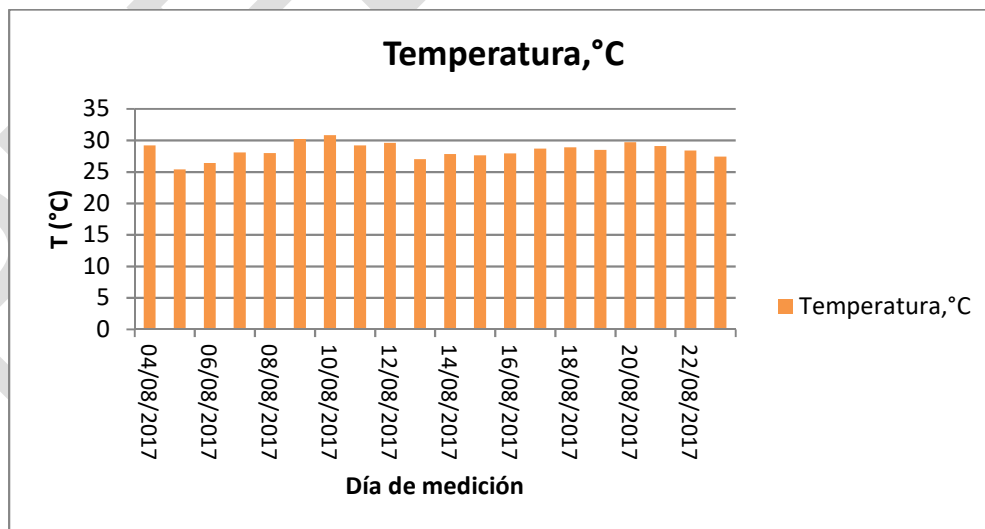
³ Resolución 2154 de 2010. Manual de Diseño del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Sección 4.4.3. Estudio Micro meteorológico y/o Meteorológico Preliminar. Pág. 21.

Periodo de monitoreo	Temperatura, °C	Presión atmosférica, mmHg	Precipitación, mm de H ₂ O	Velocidad del viento, m/s	Humedad relativa, %
08/08/2017	27.97	725.88	0.00	0.55	27.69
09/08/2017	30.20	724.58	0.00	1.77	29.75
10/08/2017	30.80	722.55	0.00	1.77	30.37
11/08/2017	29.20	724.16	0.00	1.17	24.87
12/08/2017	29.59	724.10	0.00	1.41	29.24
13/08/2017	27.01	726.18	0.00	0.75	26.61
14/08/2017	27.81	725.41	4.05	0.98	27.41
15/08/2017	27.60	725.04	0.25	1.09	27.23
16/08/2017	27.94	725.78	3.04	0.59	27.63
17/08/2017	28.69	726.45	0.00	1.02	28.28
18/08/2017	28.89	724.99	0.00	1.88	28.56
19/08/2017	28.46	723.80	0.00	1.83	28.24
20/08/2017	29.70	723.20	0.00	2.20	30.00
21/08/2017	29.10	723.50	0.00	1.30	24.30
22/08/2017	28.40	724.40	0.00	0.90	29.10
23/08/2017	27.4	725.5	0.00	1.8	28.7
Promedio	28.39	724.99	7.34	1.26	27.86
Máximo	30.80	727.46	4.05	2.20	30.70
Mínimo	25.40	722.55	0.00	0.40	24.30

*Precipitación acumulada

- Temperatura

Figura 254 Variación de la temperatura

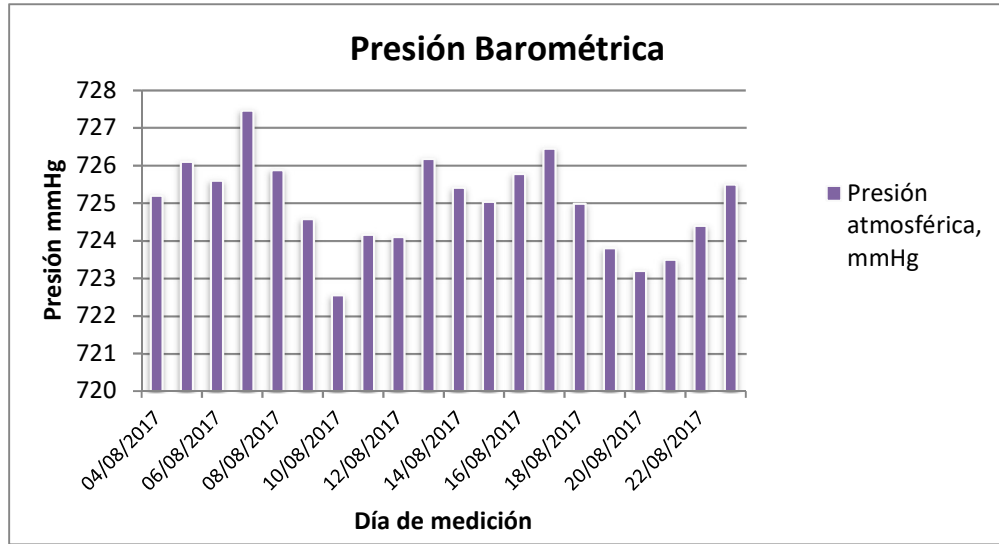


Fuente: INGETEC, 2017.

Durante el periodo de monitoreo, se presentó una temperatura promedio de 28,39 °C, una máxima de 30.8 °C el día 10 de agosto y una mínima de 25,40 °C el día 5 de agosto como se puede observar en la Figura 255

- Presión barométrica

Figura 255 Variación de la presión barométrica

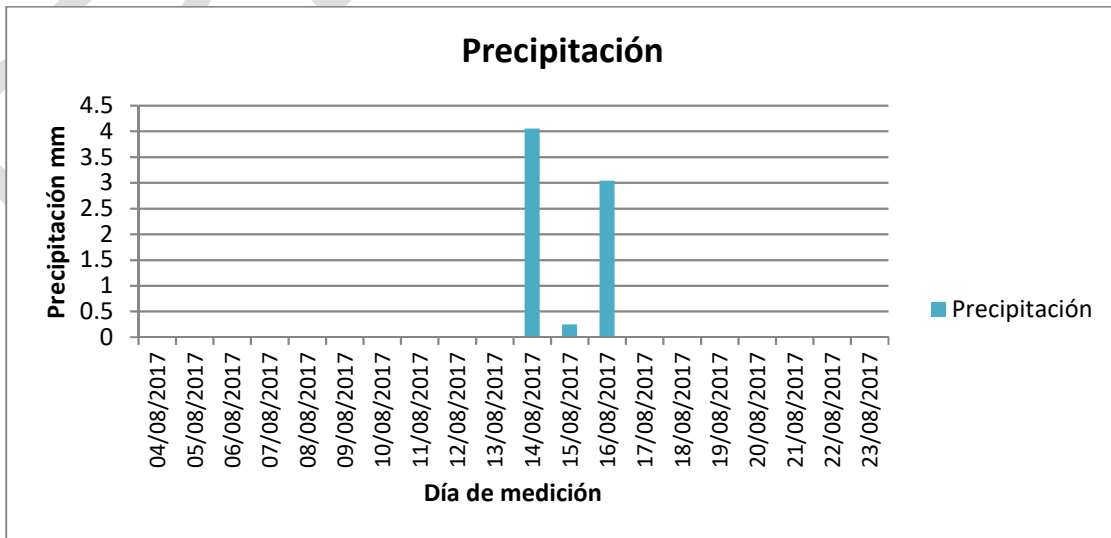


Fuente: INGETEC, 2017.

En la Figura 256 se muestra de manera gráfica la presión barométrica promedio diaria registrada. Las variaciones de los promedios diarios de presión oscilaron entre 722,55 mm de Hg y 727,46 mm de Hg, los cuales corresponden a los valores mínimo y máximo reportados durante el monitoreo y fueron registrados en los días 10 y 07 de agosto, respectivamente. El promedio durante el periodo de monitoreo fue de 724,99 mm de Hg.

- Precipitación

Figura 256 Variación de precipitación

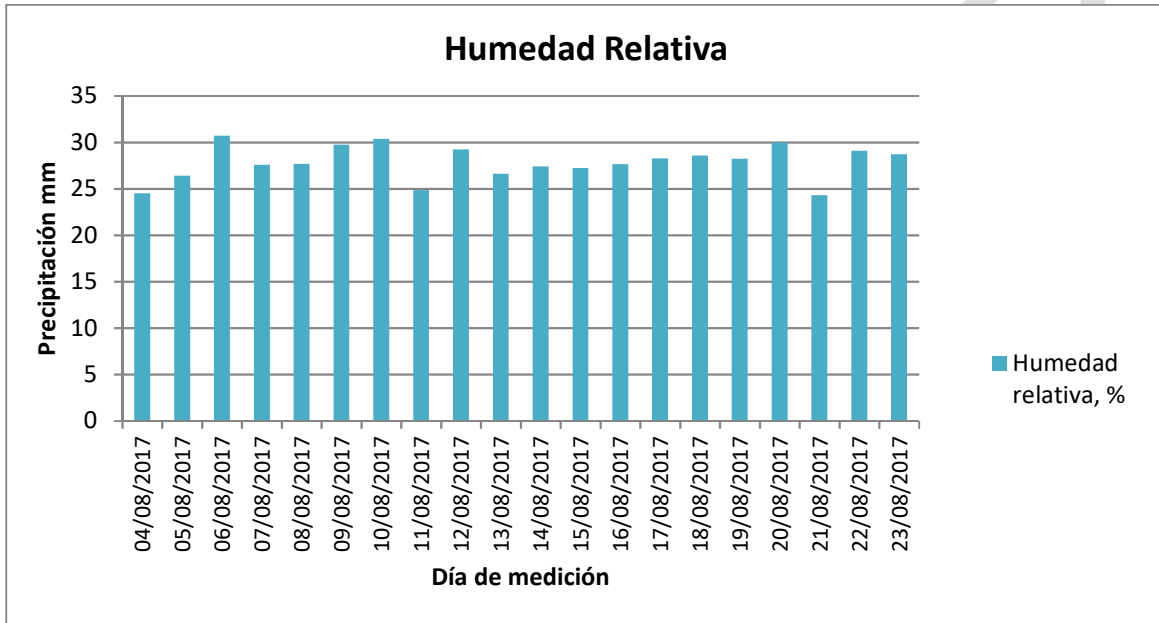


Fuente: INGETEC, 2017.

En la Figura 257 se presenta la precipitación acumulada diaria. La precipitación acumulada durante el periodo de monitoreo fue de 7,34 mm de agua; el día 14 de agosto de 2017 se alcanzó el máximo registro, 4,05 mm de agua, los otros días no se registraron datos de precipitación.

- Humedad relativa

Figura 257 Variación de la humedad relativa

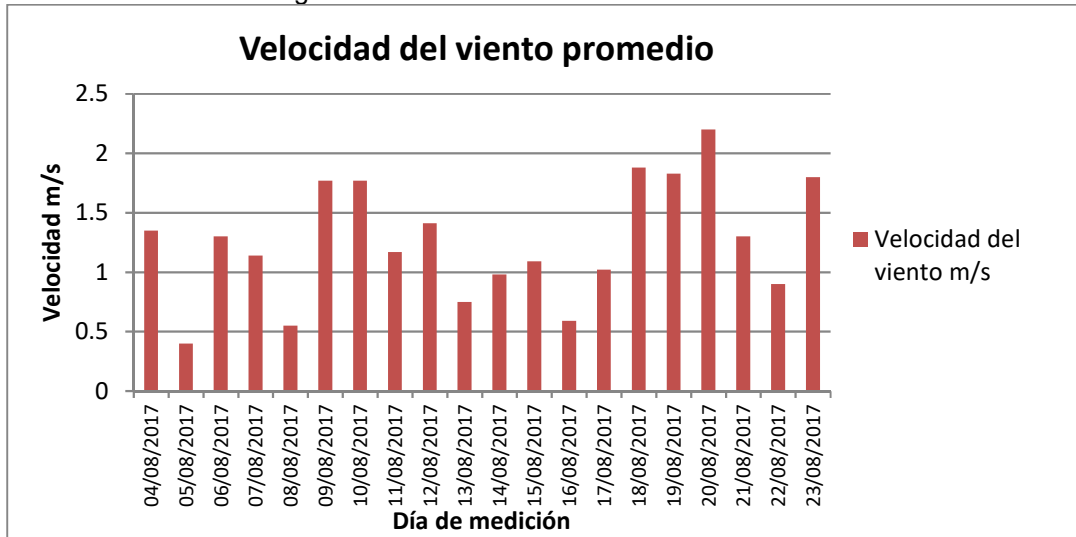


Fuente: INGETEC, 2017.

La humedad relativa registró valores entre 24,3 y 30,7% presentándose este valor máximo el día 6 de agosto.

- Velocidad del viento

Figura 258 Variación de la velocidad del viento

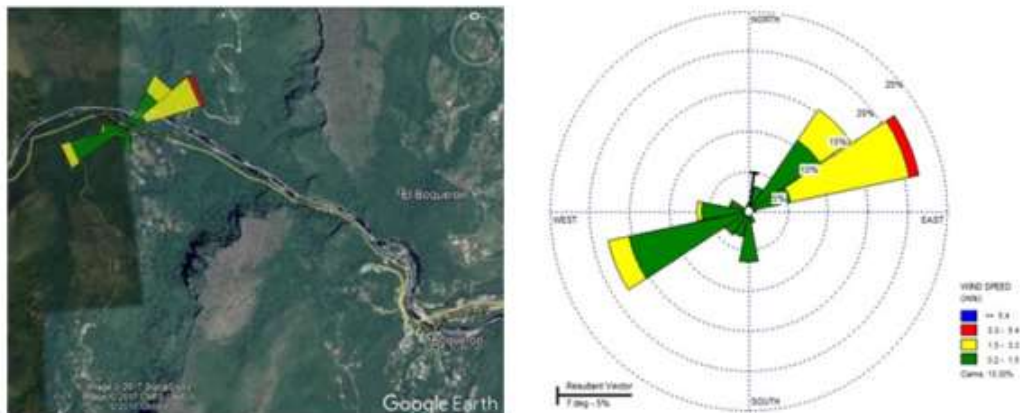


Fuente: INGETEC, 2017.

La velocidad del viento presentó un valor promedio de 27,86 m/s, un valor máximo de 2,2 m/s presentada el día 20 de agosto y una velocidad mínima de 0,4 m/s presentada el día 5 de agosto.

En la Tabla 228 se presenta la distribución de frecuencias de dirección y velocidad del viento, de acuerdo a la escala de Beaufort, se aprecia que el 13.3% de los registros corresponden a vientos calmas, el 62.3% a periodos de aire ligero, las brisas ligeras presentan un 23.1% y el 1.2% restante corresponde brisas suaves. Como se puede apreciar en la Ilustración 6, se presenta una marcada predominancia de los vientos provenientes de la dirección Este Noreste (ENE), Oeste Suroeste (WSW) y Noreste (NE) representando un 21.8%, 18% y 15.4%, respectivamente.

Figura 259 Rosa de vientos



Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Tabla 227 Distribución de registros de acuerdo al rango de velocidad y a la dirección del viento

Direcciones / Clases de viento (m/s)	Aire ligero 0.2 - 1.5	Brisa Ligera 1.5 - 3.3	Brisa Suave 3.3 - 5.4	Brisa Moderada y mayores >= 5.4	Total
N	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%
NNE	3.2%	0.0%	0.0%	0.0%	3.2%
NE	10.8%	4.6%	0.0%	0.0%	15.4%
ENE	5.5%	15.1%	1.2%	0.0%	21.8%
E	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
ESE	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
SE	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%
SSE	1.6%	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%
S	6.4%	0.0%	0.0%	0.0%	6.4%
SSW	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	3.4%
SW	3.6%	0.1%	0.0%	0.0%	3.7%
WSW	15.4%	2.6%	0.0%	0.0%	18.0%
W	5.9%	0.7%	0.0%	0.0%	6.6%
WNW	2.5%	0.1%	0.0%	0.0%	2.6%
NW	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%
NNW	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%
Sub-Total	62.3%	23.1%	1.2%	0.0%	86.7%
Calmas	-	-	-	-	13.3%
Incompletos	-	-	-	-	0%
Total	-	-	-	-	100%

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Para mayor precisión en las mediciones, se utilizó un sensor ultrasónico de viento portátil para medir la velocidad del viento en el momento de la medición (ver Anexo C) y así poder verificar si se cumple con lo establecido en la resolución en el párrafo del artículo 20 de la Resolución 627 de 2006 (velocidades de viento menores a 3 m/s). Se empleó para toda medición la pantalla anti-viento dada por el fabricante para garantizar la representatividad de cada medición, referenciados en la Resolución 627 de 2006.

5.1.12.3.4. Metodologías de muestreo

- Metodología de muestreo AMBIENCIQ INGENIEROS S.A.S.
- Medición de Partículas Suspendidas Totales (PST)

El método utilizado en la medición de concentración de partículas suspendidas totales consiste en hacer pasar una muestra de aire succionado por un motor a través de un filtro de fibra de vidrio secado y pesado previamente hasta peso constante, durante 24 horas continuas con un caudal entre 40 y 60 pies³/min a condiciones estándar.

La geometría del equipo muestreador obliga al aire que lo circunda a cambiar la dirección al menos en 90° antes de alcanzar el filtro horizontal, depositando allí las partículas que no se han sedimentado por la acción de

la gravedad. El tiempo de muestreo (24 ± 1 horas) y el caudal del aire que pasa a través del filtro de fibra de vidrio, se establecen mediante un programador de tiempo, un regulador y un registrador de flujo incorporados al equipo.

Una vez transcurridas las 24 ± 1 horas de muestreo, el filtro con las partículas es secado y pesado nuevamente hasta peso constante. La diferencia de peso (dada en μg) antes y después del muestreo, dividida entre el volumen total del aire (dado en m^3) que pasa a través del filtro durante las 24 ± 1 horas de muestreo determinan la concentración de partículas suspendidas totales expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Medición de material particulado menor a 10 micras (Equipos alto Volumen)

El método de muestreo utilizado en el equipo de alto volumen, consiste en hacer pasar una muestra de aire succionada por un motor a través de un filtro de cuarzo, secado y pesado previamente hasta peso constante, durante 24 ± 1 horas con un caudal entre 36 y 44 pies^3/min a condiciones estándar.

La geometría de la admisión del equipo muestreador hace que el aire pase a través de una malla y unos tubos en el interior de esta admisión para que haya clasificación por tamaño y separación del material particulado antes de alcanzar el filtro horizontal, en el cual las partículas menores o iguales a 10 micras son recolectadas durante un periodo específico de muestreo.

Los medios filtrantes se entregan pesados y codificados por parte del responsable del laboratorio, quién se responsabiliza de la información sobre los pesos de los mismos y los entrega al técnico encargado de cambiar las muestras; el técnico es responsable durante la salida y regreso de los filtros al laboratorio. Para proteger la integridad de los filtros, tanto los limpios como los utilizados, se transportan en un sistema porta filtro.

Una vez transcurridas las 24 ± 1 horas de muestreo, el filtro con material particulado es secado y pesado nuevamente hasta peso constante. La diferencia de peso (en μg) antes y después del muestreo, dividida entre el volumen total del aire (en m^3) que pasa a través del filtro durante las 24 ± 1 horas, determina la concentración de partículas expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los equipos utilizados y ubicados en las estaciones, corresponde a los recomendados por la EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos, en el método 625/R-96-01a.

Se utilizó un equipo muestreador de alto volumen marca Tisch Environmental Inc. modelo TE-6070D-BL con control automático de flujo másico y tiempo. Los elementos de los equipos vienen dentro de una estructura metálica de aluminio anodizado con un cabezote (inlet) que selecciona el tamaño de partículas que ingresan al filtro. Consta de una unidad porta filtro (donde se ubica el filtro de cuarzo) ajustada a una carcasa que contiene un motor de 6,25 amperios, 745 vatios, 0,6 HP de potencia, 1800 rpm, tasa de flujo de 36 a 44 pies^3 por minuto y 110 voltios de energía. El motor va conectado a un programador de tiempo para las 24 ± 1 horas y a un medidor automático de flujo y un registrador de flujo entre 36 y 44 pies^3/min .

En laboratorio se empleó un desecador y una balanza analítica marca Ohaus con sensibilidad de 0,1 mg.

- Medición de Óxidos de Nitrógeno y Dióxidos de Azufre

El aire es succionado por la bomba de vacío hacia el compartimiento donde se encuentra el tren de muestreo. Posteriormente, el gas entra al tubo distribuidor conectado a una serie de tubos de polipropileno, para el caso de los óxidos de nitrógeno y azufre; haciendo pasar el aire a analizar por el reactivo absorbente para el gas de interés. El flujo de aire es controlado por válvulas, que son protegidos a su vez por un filtro membrana y una trampa de burbujas. El tiempo de muestreo es de 24 ± 1 horas, al término de las cuales, se hace el cambio respectivo de los reactivos absorbentes, que son transportados al laboratorio en neveras para su conservación.

Los óxidos de azufre se determinan en laboratorio como Dióxido de Azufre SO_2 , por lo tanto en adelante se hace referencia a los Óxidos de Azufre (SO_2), medidos como Dióxido de Azufre (SO_2).

El Dióxido de Azufre (SO₂) es absorbido del aire respirable en una solución de Tetracloromercurato de Potasio (TCM), formándose un complejo de Monoclorosulfonatomercurato (MSM), el cual resiste la oxidación por oxígeno del aire. Una vez en el laboratorio, el MSM, se hace reaccionar con Pararrosanilina y Formaldehido para formar un compuesto de coloración intensa, Ácido Metilsulfónico de Pararrosanilina. La absorbancia de este compuesto coloreado se mide espectrofotométricamente, a 548 ± 5 nm, de longitud de onda, y con un ancho de banda efectivo menor a 15 nm.

La determinación de los Óxidos de Nitrógeno presentes en la atmósfera, se determinan en laboratorio como NO₂, por lo tanto en adelante se hace referencia a los Óxidos de Nitrógeno NOX medidos como Dióxido de Nitrógeno.

El Dióxido de Nitrógeno presente en el aire ambiente es absorbido por una solución de NaOH-Arsenito de sodio. El análisis de laboratorio posterior es realizado usando un reactivo que conduce a la formación de un compuesto azo-colorante. La interferencia por posibles niveles altos de SO₂ se controla por adición de Peróxido de Hidrógeno antes del desarrollo del color. El Ozono no causa interferencias en los rangos normales de concentración atmosférica. (Hasta de 1.000 µg/m³). El color producido por el reactivo es medido en un espectrofotómetro a 540 nm.

La reacción de color se desarrolla por adición de Sulfanilamida y solución de N-(1-Naftil) – EtilendiaminaDihidrocloruro (NEDA). El complejo coloreado se mide a 540 nm. (Reactivo Griess-Saltzman).

Se utilizaron muestreadores RAC para tres gases simultáneamente, donde se recolectaron muestras para la cuantificación de la concentración de Óxidos de Azufre y los Óxidos de Nitrógeno. Los componentes de los equipos vienen dentro de una caja metálica con tapa escualizable, la cual consta de dos compartimientos; en uno de ellos se encuentra la bomba de vacío, con las siguientes especificaciones: 1/6 de HP, 1,8 pie³/min, 29 in Hg. En el segundo compartimiento se halla el tren de muestreo, el cual va conectado a la bomba de vacío, con válvula de regulación para cada contaminante. Consta de un tubo distribuidor conectado a una serie de tubos de polipropileno, por medio de un dispositivo se hace pasar el aire de la muestra por el reactivo absorbente para el gas de interés (SO₂ y NOX en este caso). El flujo de aire es controlado por orificios críticos que son protegidos a su vez por un filtro membrana y una trampa de burbujas.

Las soluciones absorbentes se llevan medidas volumétricamente (50 ml de cada solución) y refrigeradas desde el laboratorio, hasta su instalación en los trenes de muestreo. Así mismo, son regresadas al laboratorio, en el recipiente en el que fueron llevadas inicialmente. Las soluciones se retiran una vez cumplen las 24±1 horas de burbujeo. Los encargados de las muestras son el responsable del laboratorio y el técnico que las cambia y transporta hacia y desde las estaciones de monitoreo.

- Medición de Monóxido de Carbono.

La determinación de Monóxido de Carbono se realiza mediante analizador automático infrarrojo no dispersivo. La muestra de aire ingresa al equipo por una manguera de teflón y luego es llevada a un filtro para remover el material particulado. Posteriormente, la muestra es enviada a un convertidor donde el CO es convertido CO₂. En esta cámara se genera un rayo infrarrojo que recorre una distancia de 5 m a través de una serie de espejos, llegando a una unidad de detección.

El proceso de medición del monóxido de carbono CO se realizó por una hora diaria, durante los dieciocho (18) días monitoreados.

La concentración Monóxido de Carbono es medida en equipos Thermo Scientific que funcionan bajo el principio de infrarrojo no dispersivo (NDIR). El rango de medición está entre 0 y 200 ppm con sensibilidad de 0,05 ppm. La concentración de CO es automáticamente corregida por cambios de temperatura y presión, y referenciada a 0 °C, 20 °C y 25 °C a 1 atm de presión.

o Metodología de muestreo K2 Ingeniería

En los monitoreos se utilizaron los métodos de muestreo y de cálculo recomendados por la Agencia de Protección Ambiental (U.S. EPA) de los Estados Unidos de América y avalados por la legislación colombiana, tanto las soluciones para el muestreo como las muestras en sí, permanecieron en una cadena de frío y estas últimas se transportaron bajo cadena de custodia, lo cual permitió mantener la trazabilidad y calidad de los resultados.

Los métodos utilizados en el monitoreo fueron los siguientes

- Medición de PST y PM10

Para el monitoreo de las partículas y la calibración de los equipos de muestreo de alto volumen se siguieron las recomendaciones de las normas de la U.S. EPA contenidas en:

- Toma de muestras y análisis de laboratorio para la determinación de partículas suspendidas totales Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice B: PST.
- Toma de muestras para la Determinación de Material Particulado como PM10 en la Atmósfera, Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice J: PM10
- Norma Técnica Colombiana NTC 3704 del ICONTEC.

El método consiste en hacer pasar una muestra de aire, succionada por un motor, a través de un filtro de fibra de vidrio, previamente secado y pesado, durante 24 horas. Los flujos de operación se encuentran entre 1,02 y 1,24 (m³/min) para PM10 y 1,0 y 1,7 (m³/min) para PST. Para material particulado se utilizaron equipos de alto volumen Hi – Vol (Figura 260), los cuales fueron verificados al inicio del muestreo mediante el uso de metodología de orificios.

Al estar operando en éste rango de flujo, las muestras se colectaron por periodos de 24 horas. La concentración de la masa de las partículas suspendidas se calculó por medio de la diferencia en pesos del filtro antes y después del muestreo y del total del flujo de aire muestreado.

Figura 260 Muestreador Hi-Vol



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Equipos de Verificación

La verificación del equipo se realizó con un kit de calibración (Figura 261), este consta una resistencia de flujo variable, la cual es un tubo metálico con un par de discos que permiten obtener varias aberturas al girar uno de los discos; este kit de calibración posee la respectiva ecuación de calibración con su respectiva curva.

Figura 261 Equipamiento que conforma el kit de calibración Variflow



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Finalizado el tiempo de muestreo, el filtro se seca a 85°C por una hora en estufa, se lleva a temperatura ambiente en desecador y se pesa nuevamente. La diferencia de peso, es la masa (μg) neta, que dividida por el volumen de aire (m^3) muestreado durante las 24 horas, determina la concentración de partículas, expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para la determinación del material particulado, en el Laboratorio de K2 INGENIERÍA S.A.S. se utilizó una balanza digital OHAUS (Figura 262).

Figura 262 Balanza Analítica OHAUS PA-214-CO



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La balanza digital utilizada en laboratorio por la firma consultora K2 INGENIERÍA S.A.S. fue:

Tabla 228 Información de la balanza utilizada en laboratorio

Serial	Marca y Modelo	Fecha de Calibración	Fecha de Vencimiento Calibración
8328240501	OHAUS PA214	2015-05-20	2018-05-20

- Medición de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre (NO₂ y SO₂)

Toma de muestras y análisis para determinación de SO₂, Método EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A: Pararrosalinina y Toma de muestras para determinación de NO_x, Método Jacobs N° EQN-1277-026: Arsenito de sodio.

Para realizar el análisis de SO₂ y NO₂, se utilizó un equipo que opera mediante el sistema de burbujeo de la muestra en tubos lavadores, los cuales poseen soluciones absorbentes específicas para estos gases. El cálculo de la concentración en 24 horas se determina mediante el flujo de muestreo, tiempo de operación del muestreador, concentración de SO₂ y NO₂ en la muestra y la curva de calibración correspondiente. El flujo requerido de 180 y 220 ml/min se logra mediante la utilización de orificios críticos, una vez que la bomba mantenga un vacío mínimo de 500 mm de Hg.

Los equipos utilizados para el muestreo de gases son los conocidos RAC tres gases que operan mediante el sistema de burbujeo de la muestra en tubos lavadores, los cuales poseen soluciones absorbentes específicas para cada NO₂ y SO₂.

Equipo Utilizado

El equipo muestreador de gases tipo RAC (Figura 263), consta de una caja metálica con tapa móvil y dos compartimentos. El primer compartimiento tiene una bomba de vacío cuyas características cumplen las especificaciones recomendadas por la U.S. EPA 40 CFR App A ⁴ (motor de 1700 rpm, 0.5 HP de fuerza, presión máxima de 20 psi, 110-115 voltios y 23 pulgadas de mercurio de capacidad de vacío a nivel del mar). En el segundo compartimiento se encuentra el tren de muestreo, que va conectado a la bomba de vacío y consta de un tubo distribuidor conectado en serie a tres colectores de vidrio de borosilicato (burbujeadores) que contienen la solución absorbente para NO₂, SO₂ y O₃ que hace las veces de trampa (burbujeador trampa). El flujo de aire que pasa a través del sistema es controlado por orificios críticos, el cual es calibrado antes y después de la colección de la muestra (24 horas). El sistema es protegido por un filtro de membrana de 8 µm colocado entre la entrada de la muestra y el primer burbujeador y por una trampa de humedad (sílice gel) colocada entre el burbujeador trampa y la bomba de vacío.

Figura 263 Muestreador de Gases tipo RAC



⁴ US EPA CFR 40 Appendix A to Part 50—Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method) [*Federal Register*: Vol. 47, page 54899, 12/06/82 and Vol. 48, 17355, 04/22/83]

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

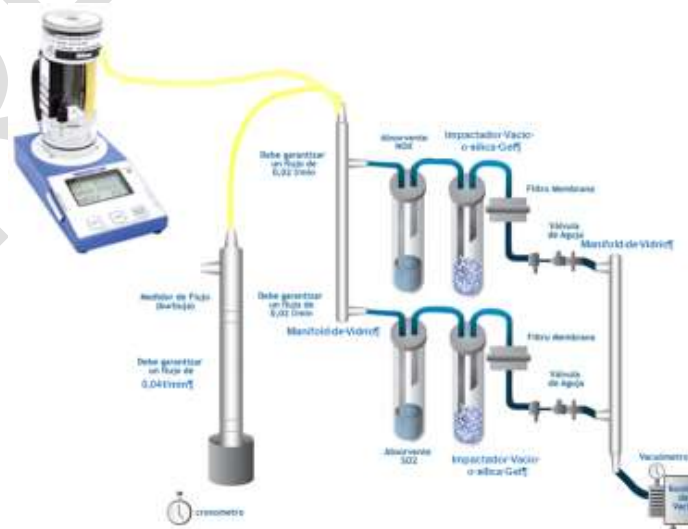
Adicionalmente, el colector de SO₂ va empotrado en una pequeña nevera refrigerada con hielo seco o hielo y una salmuera para mantener el sistema a una baja temperatura. Los gases, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno, fueron monitoreados mediante este equipo muestreador RAC, el cual es un instrumento que utiliza un sistema de absorción de gases con químicos húmedos.

Verificación RAC

La verificación se efectuó empleando una unidad tipo burbuja Gilibrator 2 o tubo cilíndrico graduado, siguiendo los pasos que se describe a continuación:

- Ensamblar el equipo como muestra la Figura 263.
- Llenar los tubos de muestreo con 50 ml de agua destilada.
- Revisar las conexiones.
- Encender la bomba de vacío y verifique la presión manométrica.
- Verificar el funcionamiento de los burbujeadores en el tren de muestreo.
- Forme una burbuja, mida y registre el tiempo de viaje entre las marcas de volumen conocido en el calibrador de burbuja, repita esta operación como mínimo tres veces; hasta que los tiempos de recorrido no difieran entre sí en más del 5%. Registre la información en el formato para calibración de orificios críticos.
- Promediar el tiempo de viaje para 10 corridas.
- Corregir el volumen desplazado a condiciones de referencia (760 mmHg y 25°C)
- Dividir el volumen corregido por el tiempo promedio para determinar la tasa de flujo.
- La tasa de flujo para cada orificio de flujo crítico debe localizarse entre 180 y 220 ml/min, si no se cumple esta condición debe desecharse el orificio.

Figura 264 Montaje del calibrador de burbuja



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Análisis de Laboratorio

Para SO₂, en laboratorio se sigue el método de la Pararosanilina para el Dióxido de Azufre (EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A), el cual es absorbido en una solución de Potasio o de Tetracloromercurato de Sodio (TCM). La muestra es acondicionada para evitar interferencias, en particular de metales y de agentes oxidantes, como Ozono y Óxidos de Nitrógeno. La solución es tratada con formaldehído, Ácido Fosfórico y Pararosanilina, a fin de mantener condiciones adecuadas de pH y de color. La concentración final se determina mediante colorímetro para lo cual se utiliza un espectrofotómetro, a una longitud de onda a 548 nm.

Para los NO₂ se aplica el Método Jacobs Modificado por D.A Levaggi, W. Siu y M. Feldstein; Journal of the Air Pollution Control Association 2012, 23:1, 30-33. Trietanolamina adoptado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Las concentraciones atmosféricas de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) son medidas indirectamente por fotometría midiendo la intensidad de luz, en longitudes de onda mayor a 600 nanómetros. Para la cuantificación de los colores, es utilizado un espectrofotómetro como se observa en la Figura 265.

Figura 265 Espectrofotómetro Genesys 10 Uv-Vis Scanning Thermo Electron



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La información sobre el espectrofotómetro utilizado en laboratorio por la firma consultora K2 INGENIERÍA S.A.S. se presentan en la Tabla 229.

Tabla 229 Información del espectrofotómetro utilizado en laboratorio

Serial	Marca y Modelo	Fecha de Calibración	Fecha de Vencimiento Calibración
2L5L366001	Thermo Genesys 10	2016-05-16	2018-05-16

Fuente: Información de equipos y calibraciones de K2 INGENIERÍA S.A.S.

- Medición de monóxido de carbono (CO)

Toma de muestras para determinación de CO, Método equivalente EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice C: Fotometría Infrarroja No Dispersiva.

El método de referencia se basa en la absorción de energía de determinadas longitudes de onda que tiene el CO y consiste en medir la radiación infrarroja absorbida por el CO mediante un fotómetro no dispersivo.

Para las mediciones de CO se realiza en tiempo real con analizadores infrarrojo no dispersivo CO12M Enviromental S.A., (Figura 266). El CO12M representa la última evolución de la tecnología de detección de

gases, cuyas concentraciones son reportadas en ppm. El método consiste en realizar mediciones al aire libre en cada una de los puntos a evaluar.

Figura 266 Analizador automático de CO



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

Para los cálculos, se requiere la conversión de la concentración en ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con la siguiente expresión establecida en la sección 7.3.1.1. Manejo y presentación de las variables de calidad del aire del Manual de Diseño del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Resolución 2154 de 2010):

Ecuación 1 Cálculo de la concentración de CO

$$C_{\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}} = \frac{C(\text{ppm}) * PM}{24.45} * 10^3$$

Dónde:

C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$): Concentración de CO en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

C (ppm): Concentración de CO en ppm.

Estación Meteorológica

Para la obtención de la información meteorológica, durante la campaña de monitoreo se emplearon dos (2) estaciones meteorológicas: Vantage Vue marca Davis Instruments.

Los equipos cuentan con sensores de dirección y velocidad del viento, registran datos de temperatura ambiente, presión barométrica, porcentaje de humedad relativa, precipitación, entre otras. Este tipo de equipos también presenta la predicción del estado del tiempo, es decir, si las próximas horas corresponderán a tiempos soleados, parcialmente cubiertos, cubiertos, con lluvias y/o con nieve (esta última, sólo es aplicable en aquellos lugares donde se presenta este fenómeno).

En la Figura 267 puede observarse la consola y la estación meteorológica.

Figura 267 Estación meteorológica Vue–Davis Instruments



Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S.

La mayor aplicabilidad de este tipo de estaciones es su uso en el apoyo de las campañas de monitoreo de calidad del aire y análisis meteorológicos, ya que realizan la medición precisa de todas las variables mencionadas anteriormente y además, almacena la información en un datalogger, el cual puede ser posteriormente conectado a un computador y realizar la respectiva descarga de información para poder ser empleada en la elaboración de los informes.

Para la ejecución de la campaña de monitoreo, se empleó una resolución temporal de treinta (30) minutos.

5.1.12.3.5. Normatividad vigente

En la Tabla 230 se presentan los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 mediante la cual se establece la norma de Calidad del aire o Nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.

Tabla 230 Estándares máximos permisibles de niveles de inmisión, expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.

Parámetro	Unidad	Resolución 610 De 2010*
Partículas Suspendidas Totales (PST)		
Promedio Diario (24 horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	300
Promedio Geométrico Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100
Material Particulado (PM₁₀)		
Promedio Diario (24 horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100
Promedio Aritmético Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Dióxido de azufre (SO₂)		
Promedio Diario (24 horas)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	250

Parámetro	Unidad	Resolución 610 De 2010*
Promedio Aritmético Anual	µg/m ³	80
Dióxido de nitrógeno (NO₂)		
Promedio Diario (24 horas)	µg/m ³	150
Promedio Aritmético Anual	µg/m ³	100
Monóxido de Carbono (CO)		
Promedio Horario	µg/m ³	40.000
Media Móvil Octohoraria	µg/m ³	10.000

Nota: * Condiciones de Referencia. (25°C y 760 mmHg).

Fuente: Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010, Emitida por el MAVDT hoy MADS.

5.1.12.3.6. Análisis de Resultados

En el presente numeral se presentan los resultados obtenidos en las campañas realizadas en mayo y agosto de 2017 respectivamente, en las estaciones de muestreo. Los resultados de las muestras obtenidas en el trabajo desarrollado, se compararon con las normas de calidad de aire establecidas en la Resolución 610 de 2010.

- Partículas Suspensas Totales (PST)
- Concentraciones diarias de PST vs. Norma diaria

En la Tabla 231 se presenta el consolidado de los resultados para PST diarios obtenidos en las cuatro (4) estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo.

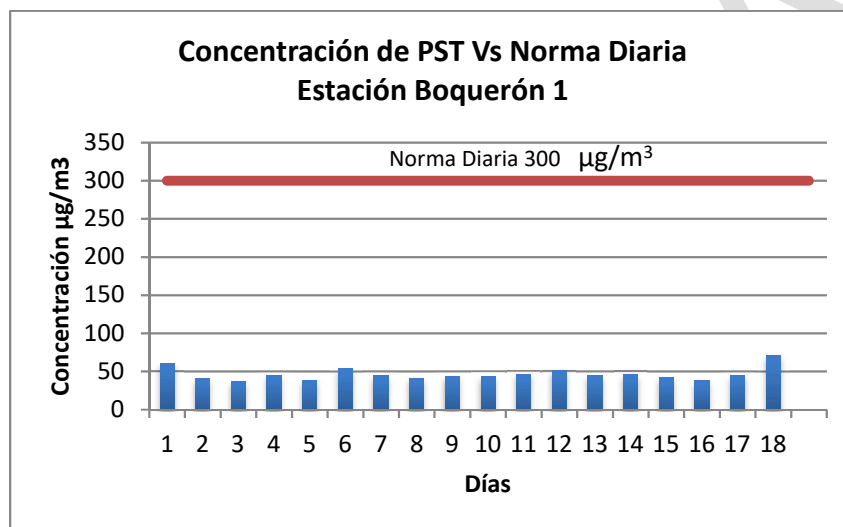
Tabla 231 Concentraciones diarias de PST vs. Norma diaria

Día	Boquerón 1 (Punto 14)	Boquerón 2	EDS. Melgar	ZODME (Punto 16)	Norma Diaria
					(µg/m ³)
Día 1	59,87	126,95	50,76	23,34	300
Día 2	40,54	174,48	33,45	75,8	300
Día 3	37,13	82,67	19,13	49,04	300
Día 4	44,87	60,19	8,34	58,21	300
Día 5	38,58	57,13	35,21	26,72	300
Día 6	53,62	93,51	-	23,66	300
Día 7	44,2	17,43	61,55	41,06	300
Día 8	41,58	103,62	34,38	47,95	300
Día 9	44,14	67,31	20,62	32,15	300
Día 10	42,92	104,47	31,08	64,55	300
Día 11	45,95	154,8	34,03	40,77	300
Día 12	50,71	71,28	24,37	36,84	300
Día 13	44,47	90,11	27,64	54,98	300

Día	Boquerón 1 (Punto 14)	Boquerón 2	EDS. Melgar	ZODME (Punto 16)	Norma Diaria
					($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Día 14	45,56	44,73	18,24	25,64	300
Día 15	41,92	309,34	125,35	51,62	300
Día 16	37,68	89,03	29,04	50,85	300
Día 17	44,71	61,71	20,04	41,97	300
Día 18	70,82	86,59	23,86	24,43	300
Día 19			6,23		300

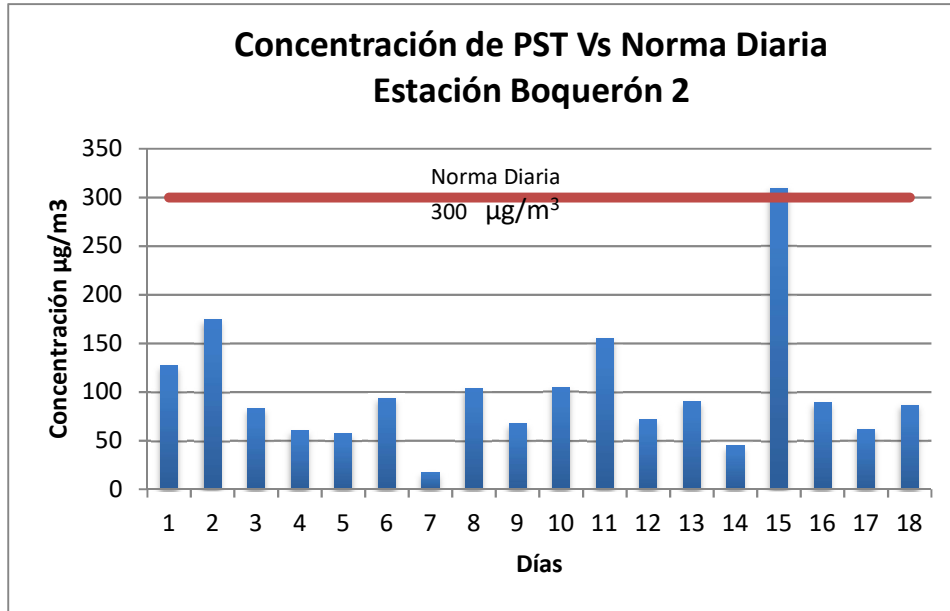
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S, AMBIENCIQ S.A.S.

Figura 268 Concentraciones PST Estación Boquerón 1



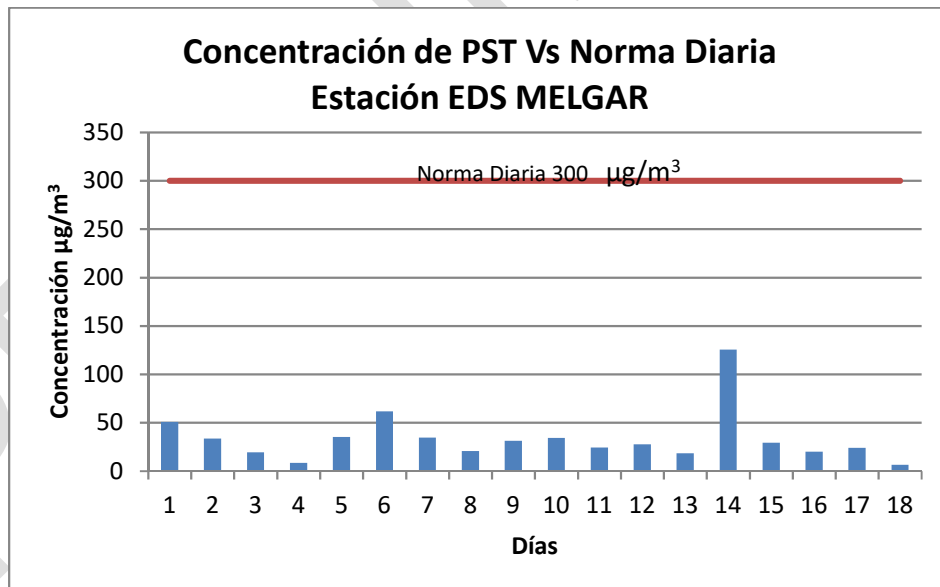
La Estación Boquerón 1, presentó su pico más alto el día 18, con un valor de 70,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual representa el 2,66% del límite establecido en 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Figura 269 Concentraciones PST Estación Boquerón 2



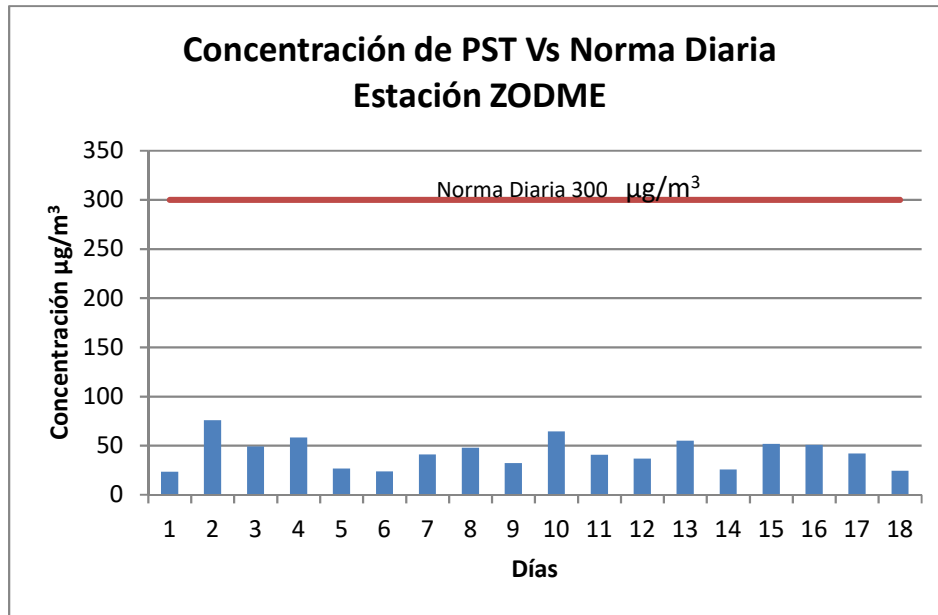
La Estación Boquerón 2, presentó su pico más alto el día 15, con un valor de 309,34 µg/m³, el cual representa el 103,11% del límite establecido en 300 µg/m³ por la Resolución 610/2010, Los demás los niveles de concentración medidos en las estaciones no superan la norma diaria para PST .

Figura 270 Concentraciones PST Estación EDS Melgar



La Estación EDS Melgar, presentó su pico más alto el día 15, con un valor de 125,35 µg/m³, el cual representa el 41,78% del límite establecido en 300 µg/m³ por la Resolución 610/2010, ninguna de las concentraciones medidas en las estaciones superan la norma diaria para PST .

Figura 271 Concentraciones PST Estación ZODME



La Estación ZODME, presentó su pico más alto el día 18, con un valor de 75,8 µg/m³, el cual representa el 25,26% del límite establecido en 300 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

- Promedio Aritmético PST Comparado a la Norma Anual

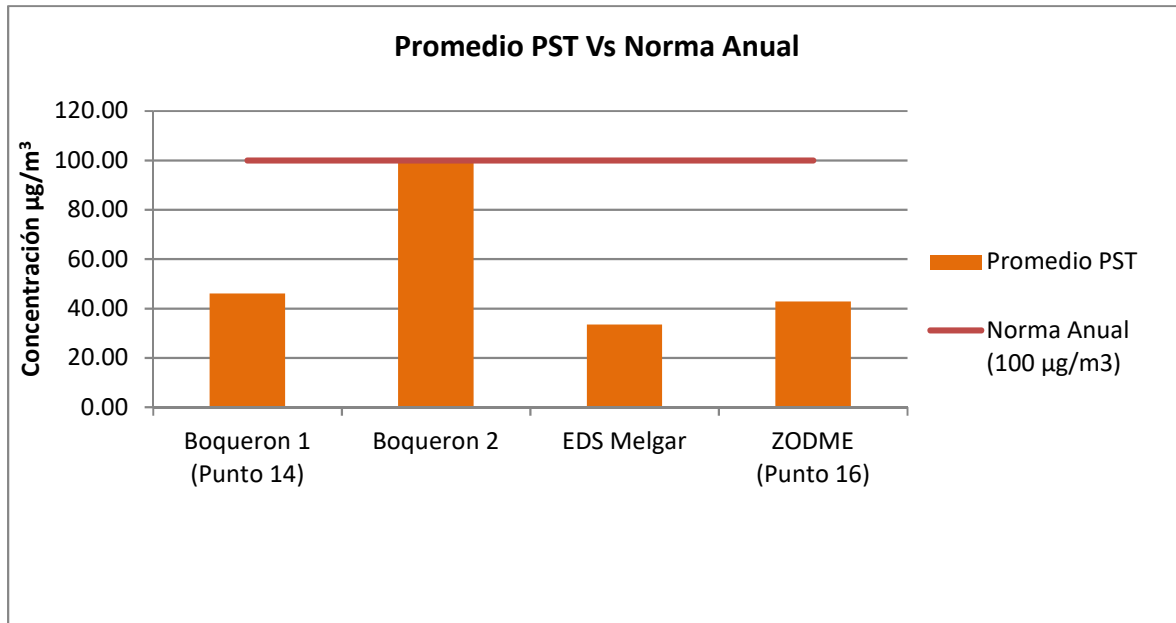
La Resolución 610/2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición anual para PST establece una concentración de 100 µg/m³. En la Tabla 232 se presentan los valores de los promedios aritméticos para cada una de las estaciones, comparados con la norma.

Tabla 232 Consolidado de resultados de PST

Estación	Promedio PST	Norma Anual (100 µg/m ³)	Porcentaje con Respecto a la Norma
	(µg/m ³)		
1 Boquerón 1 (Punto 14)	46,07	100	46,07%
2 Boquerón 2	99,74	100	99,74%
3 EDS. Melgar	33,52	100	33,52%
4 ZODME (Punto 16)	42,75	100	42,75%

Así mismo en la Figura 272 se presenta de manera gráfica los valores promedio del consolidado de datos obtenidos y al comparar con la norma anual de 100 µg/m³, se puede detectar que ninguna de las cuatro estaciones, supera el límite permisible anual; no obstante, es preciso destacar que estas concentraciones se comparan solo de forma indicativa, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año considerado y determinar el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma.

Figura 272 Concentraciones promedio PST vs Norma anual



○ PM₁₀

- Concentraciones diarias de PM₁₀ vs. Norma diaria

En la Tabla 234 se presenta el consolidado de los resultados para PM₁₀ diarios obtenidos en las cuatro (4) estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo.

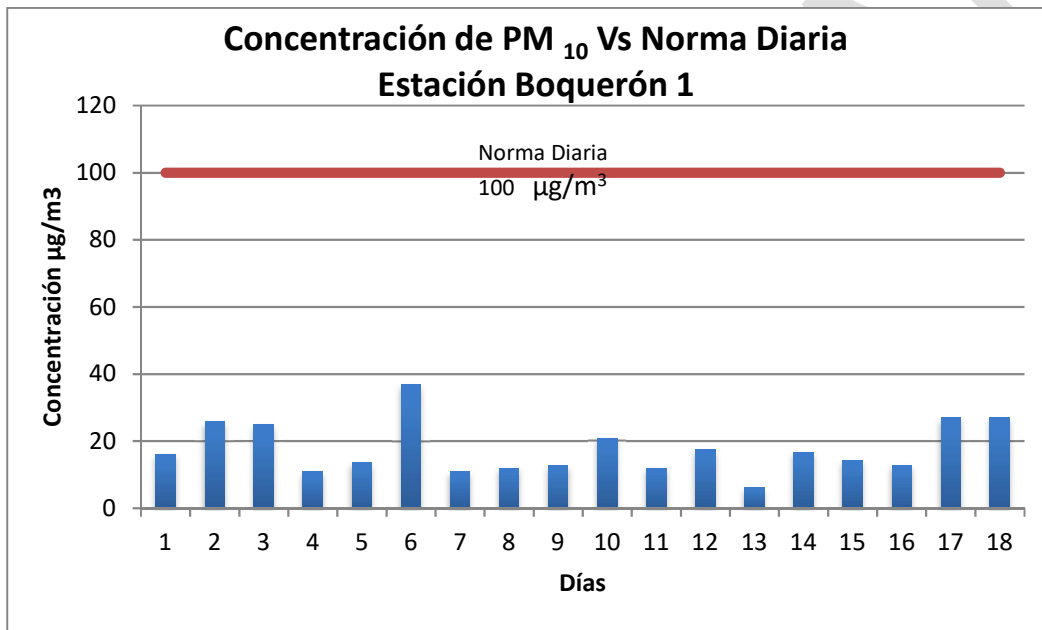
Tabla 233 Concentraciones diarias de PM₁₀ vs. Norma diaria

Día	Boquerón 1 (Punto 14)	Boquerón 2	EDS. Melgar	ZODME (Punto 16)	Norma Diaria (µg/m³)
Día 1	16,08	57,16	32,18	7,21	100
Día 2	25,82	88,44	25,65	37,00	100
Día 3	24,92	45,44	15,43	29,05	100
Día 4	10,88	30,18	22,68	37,21	100
Día 5	13,58	32,07	25,34	19,83	100
Día 6	36,93	39,47	-	14,59	100
Día 7	11,01	13,96	26,17	22,04	100
Día 8	11,98	48,93	26,33	15,20	100
Día 9	12,71	29,20	11,07	9,99	100
Día 10	20,93	49,73	18,20	42,66	100
Día 11	12	60,44	16,99	22,87	100
Día 12	17,45	39,84	11,03	25,69	100
Día 13	6,2	44,50	16,43	49,41	100
Día 14	16,64	17,07	5,28	10,12	100

Día	Boquerón 1 (Punto 14)	Boquerón 2	EDS. Melgar	ZODME (Punto 16)	Norma Diaria
					($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Día 15	14,3	145,93	68,12	24,67	100
Día 16	12,78	42,97	13,96	15,06	100
Día 17	26,93	26,95	7,86	12,73	100
Día 18	26,93	42,77	13,74	12,25	100
Día 19	22,23	-	2,75		

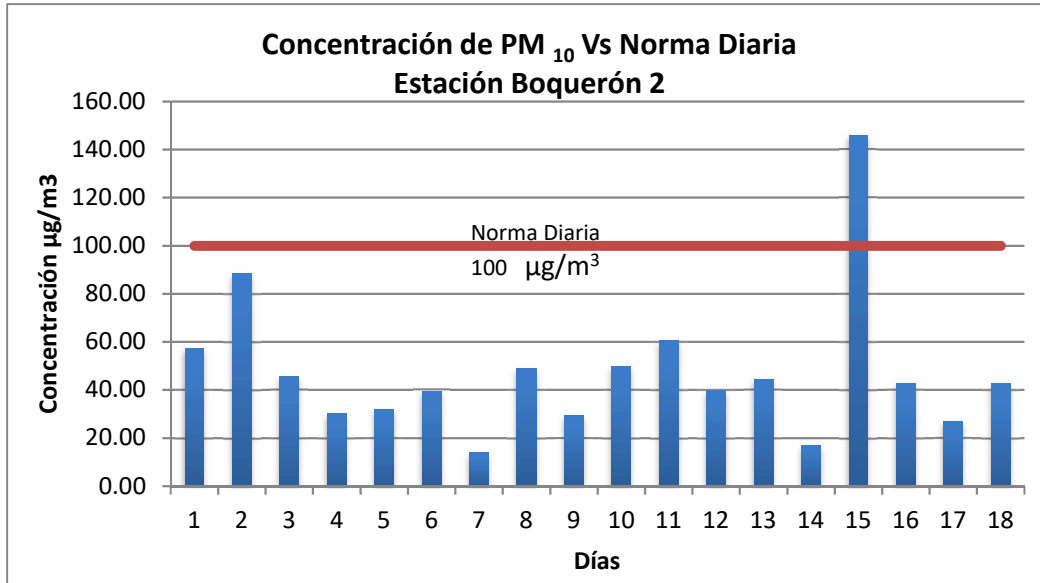
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S, AMBIENCIQ S.A.S.

Figura 273 Concentraciones de PM₁₀ Estación Boquerón 1



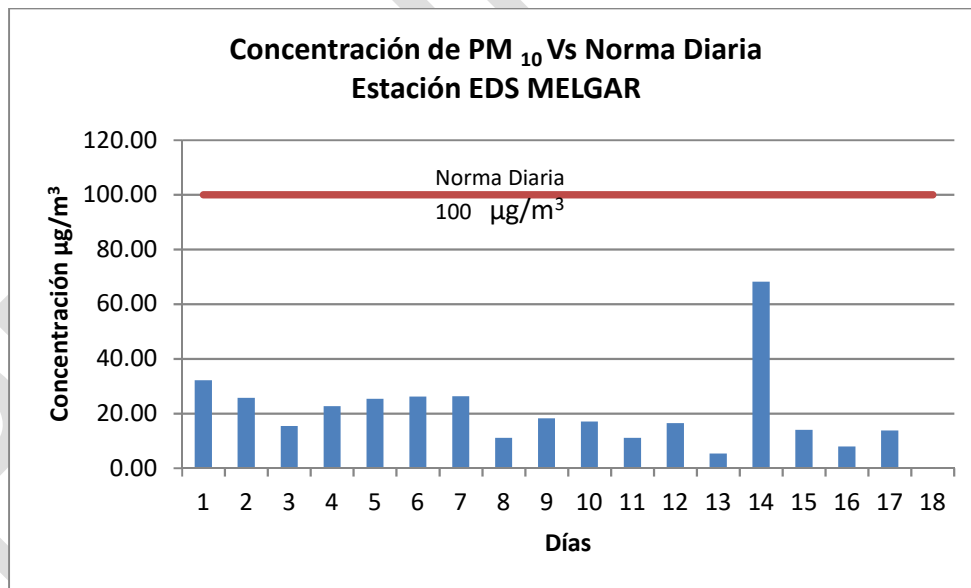
La Estación Boquerón 1, presentó su pico más alto el día 6, con un valor de 36,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual representa el 36% del límite establecido en 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por la Resolución 610/2010, todos los valores se encuentran muy por debajo de este límite, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Figura 274 Concentraciones de PM₁₀ Estación Boquerón 2



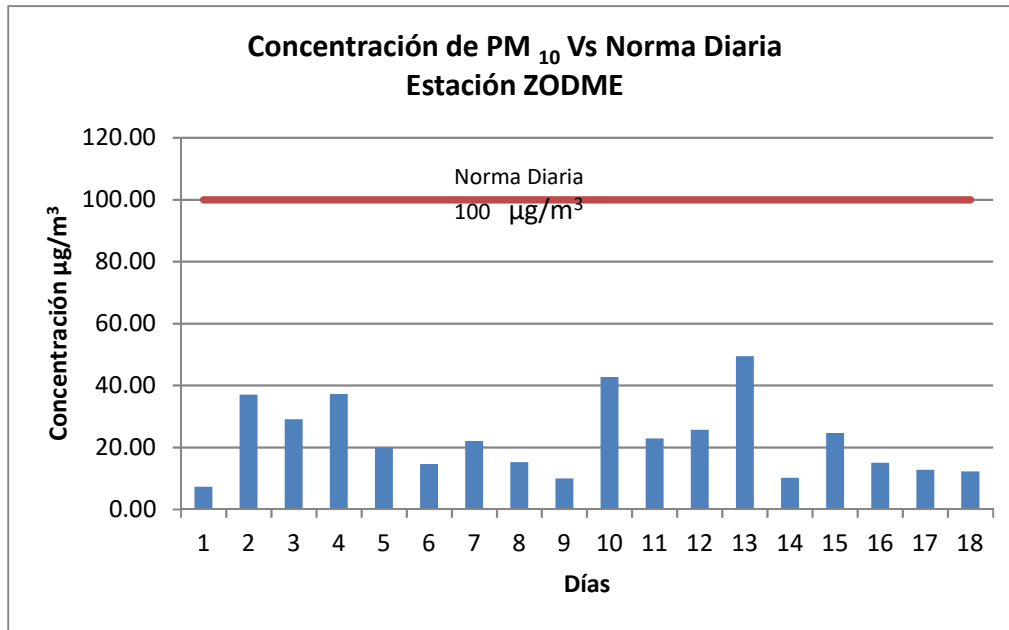
La Estación Boquerón 2, presentó su pico más alto el día 15, con un valor de 145,93 µg/m³, el cual representa un exceso del 145% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, todos los demás valores se encuentran por debajo de este límite, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Figura 275 Concentraciones de PM₁₀ Estación EDS. Melgar



La Estación EDS Melgar, presentó su pico más alto el día 14, con un valor de 68,12 µg/m³, el cual representa un 68% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, todos los valores se encuentran por debajo de este límite, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Figura 276 Concentraciones de PM₁₀ Estación ZODME



La Estación ZODME, presentó su pico más alto el día 13, con un valor de 49,41 µg/m³, el cual 49% del límite establecido en 100 µg/m³ por la Resolución 610/2010, todos los valores se encuentran por debajo de este límite, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

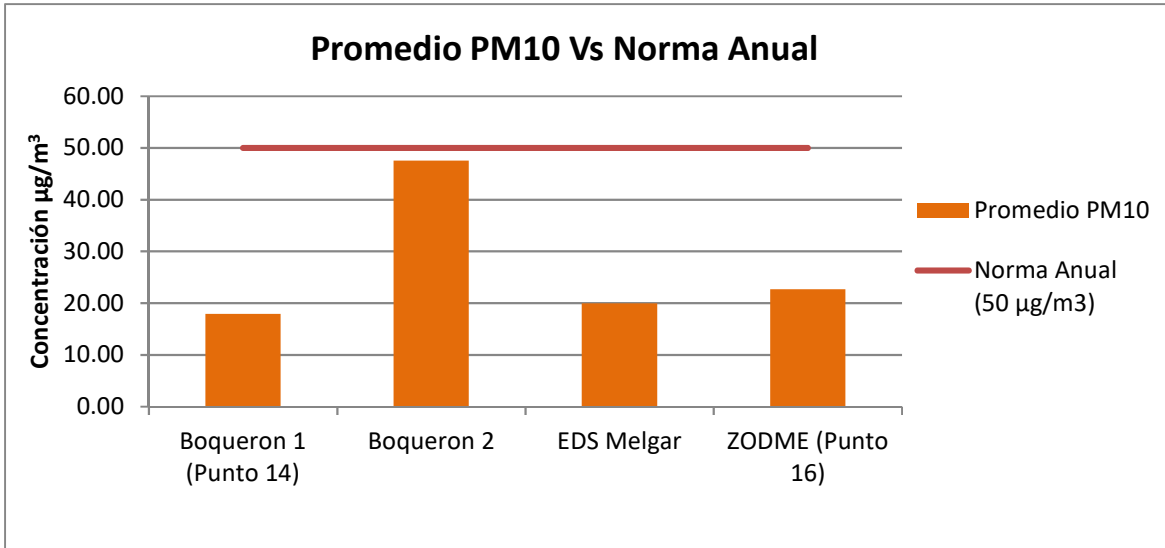
- Promedio Aritmético PM₁₀ Comparado a la Norma Anual

La Resolución 610/2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición anual para PM₁₀ establece una concentración de 50 µg/m³. En la Tabla 234 se presentan los valores de los promedios aritméticos para cada una de las estaciones, comparados con la norma.

Tabla 234 Consolidado de resultados de PM₁₀

	Estación	Promedio PM ₁₀ *	Norma Anual (50 µg/m ³)	Porcentaje con Respecto a la Norma
		(µg/m ³)		
1	Boquerón 1 (Punto 14)	17,91	50	36%
2	Boquerón 2	47,50	50	95%
3	EDS. Melgar	19,96	50	40%
4	ZODME (Punto 16)	22,64	50	45%

Figura 277 Concentraciones de PM₁₀ vs Norma Anual



La estación Boquerón 2 presenta el mayor promedio de concentración de PM₁₀ con 47,50 µg/m³, acercándose al límite que establece la norma anual para PM₁₀.

○ NO₂

• Concentraciones diarias de NO₂ vs. Norma diaria

En la Tabla 235 se presenta el consolidado de los resultados para NO₂ diarios obtenidos en las cuatro (4) estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo.

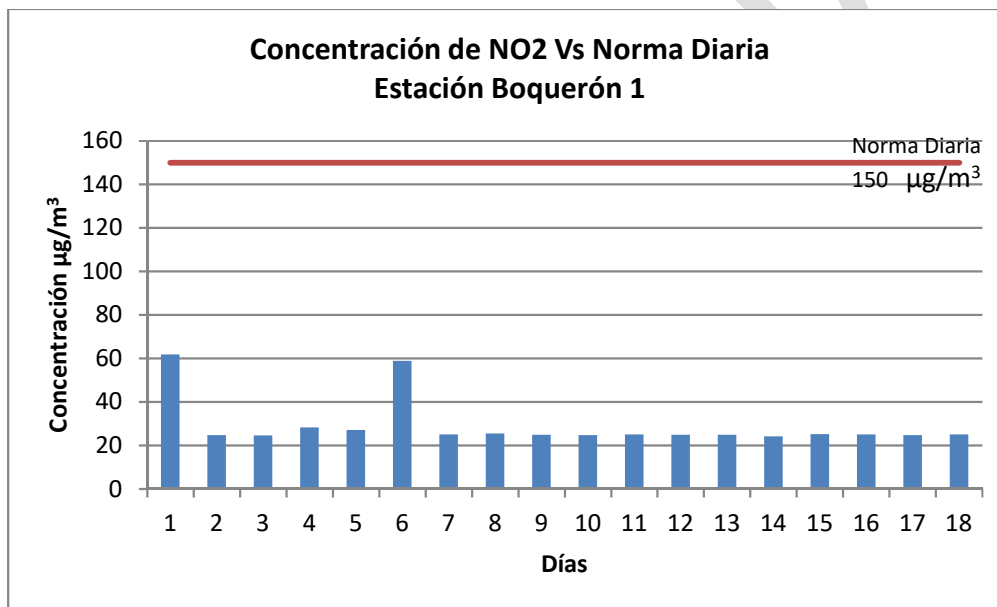
Tabla 235 Concentraciones diarias de NO₂ vs. Norma diaria

Día	Boquerón 1 (Punto 14)	Boquerón 2	EDS. Melgar	ZODME (Punto 16)	Norma Diaria
					(µg/m ³)
Día 1	61,73	<12,5	28	26,18	150
Día 2	24,7	<12,2	<12,6	23,16	150
Día 3	24,5	<12	<12,5	22,7	150
Día 4	28,32	<12	<12,4	33,33	150
Día 5	27,11	<12,3	<12,5	23,15	150
Día 6	58,8	<12,6	-	26,73	150
Día 7	24,99	<12,5	<13	29,08	150
Día 8	25,49	<12,4	<12,3	32,42	150
Día 9	24,93	<12,3	<12,6	29,33	150
Día 10	24,75	<12	<12,4	26,27	150
Día 11	25,06	<12,4	<12,4	29,48	150
Día 12	24,85	<12	<12,1	34,09	150

Día	Boquerón 1 (Punto 14)	Boquerón 2	EDS. Melgar	ZODME (Punto 16)	Norma Diaria
					($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Día 13	24,86	<12,3	<12,4	29,39	150
Día 14	24,18	<12,7	<12,5	24,97	150
Día 15	25,23	<12,1	<13	26,29	150
Día 16	24,94	<12,3	<12,7	22,66	150
Día 17	24,66	<12,8	<12,6	22,72	150
Día 18	24,98	<13	<12,5	22,49	150
Día 19		-	<12,2		

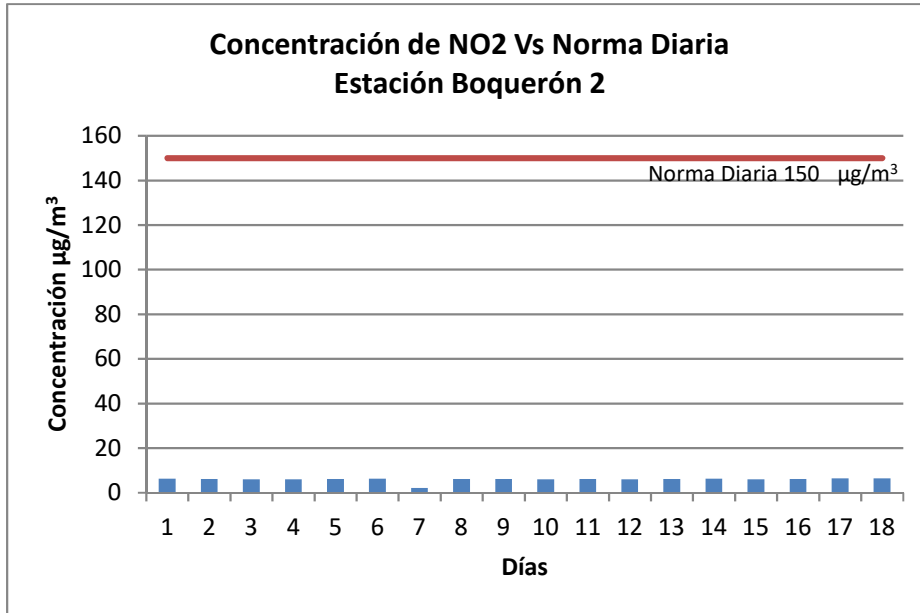
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S, AMBIENCIQ S.A.S.

Figura 278 Concentraciones NO₂ Estación Boquerón 1



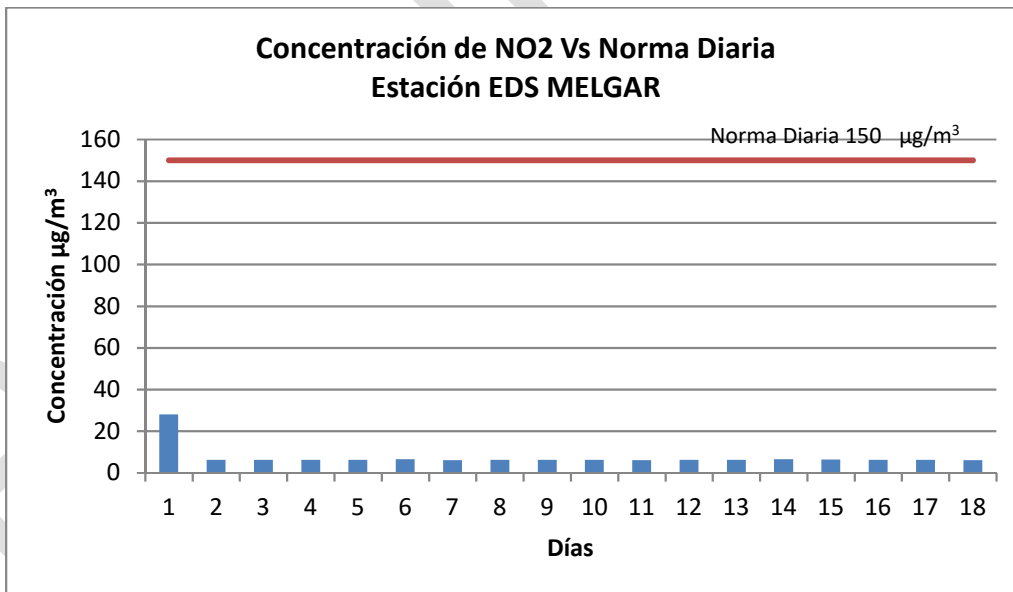
La Estación Boquerón 1, presentó su pico más alto el día 1, con un valor de 61,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual representa el 41% del límite establecido en 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por la Resolución 610/2010, todos los valores se encuentran muy por debajo de este límite, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Figura 279 Concentraciones NO₂ Estación Boquerón 2



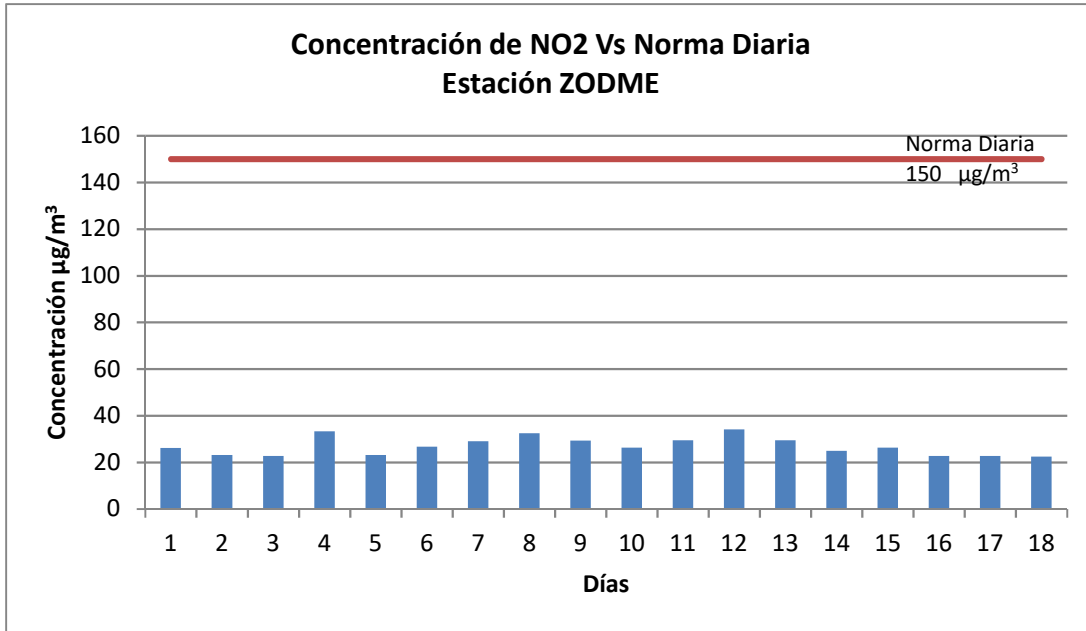
La Estación Boquerón 2, presentó valores por debajo del límite de detección del equipo, <12 µg/m³, todos los valores se encuentran muy por debajo del límite establecido en 150 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Figura 280 Concentraciones NO₂ Estación EDS Melgar



La Estación EDS Melgar, presentó un valor mayor el día 1 con 28 µg/m³ y los demás días presentó valores por debajo del límite de detección del equipo, <12 µg/m³, todos los valores se encuentran muy por debajo del límite establecido en 150 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Figura 281 Concentraciones NO₂ Estación ZODME



La Estación ZODME, presentó el mayor valor el día 12 con 34,09 µg/m³, todos los valores registrados, se encuentran por debajo del límite establecido en 150 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

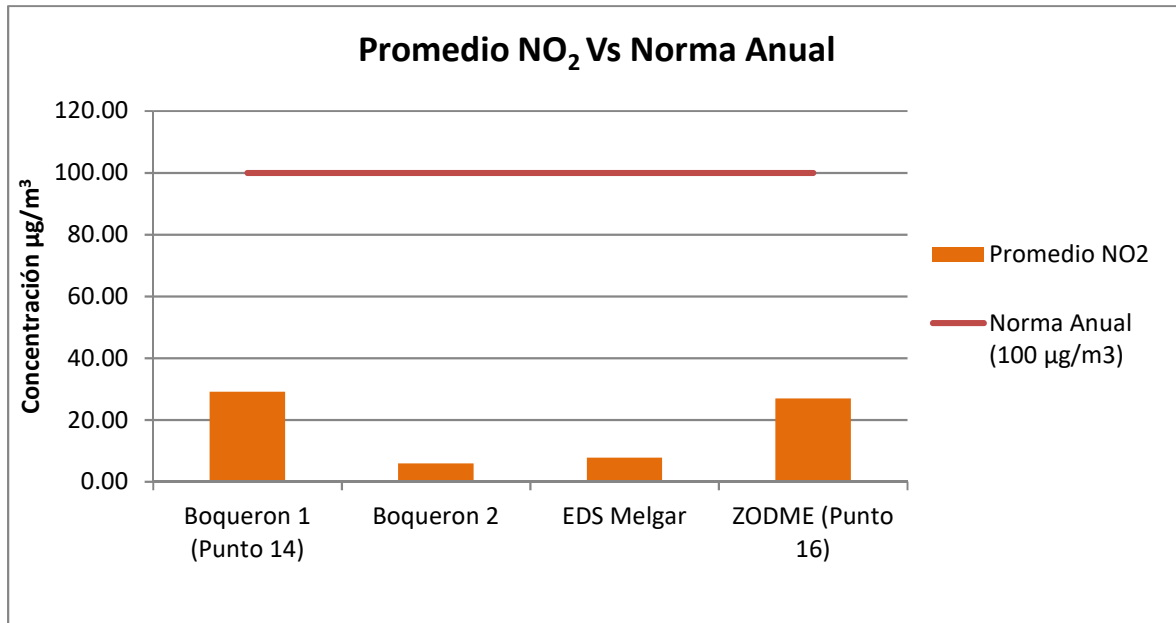
- Promedio Aritmético NO₂ Comparado a la Norma Anual

La Resolución 610/2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición anual para NO₂ establece una concentración de 100 µg/m³. En la Tabla 236 se presentan los valores de los promedios aritméticos para cada una de las estaciones, comparados con la norma.

Tabla 236 Consolidado de resultados de NO₂

Estación	Promedio NO ₂	Norma Anual (100 µg/m ³)	Porcentaje con Respecto a la Norma
	(µg/m ³)		
1 Boquerón 1 (Punto 14)	29,12	100	29%
2 Boquerón 2	5,95	100	6%
3 EDS. Melgar	7,82	100	8%
4 ZODME (Punto 16)	26,91	100	27%

Figura 282 Concentraciones de NO₂ vs Norma Anual



La estación Boquerón 1 presenta el mayor promedio de concentración de NO₂ con 29,12 µg/m³, que representa el 29% del valor límite establecido en la normatividad para promedio anual de concentración de NO₂.

○ SO₂

- Concentraciones diarias de SO₂ vs. Norma diaria

En la Tabla 237 se presenta el consolidado de los resultados para SO₂ diarios obtenidos en las cuatro (4) estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo.

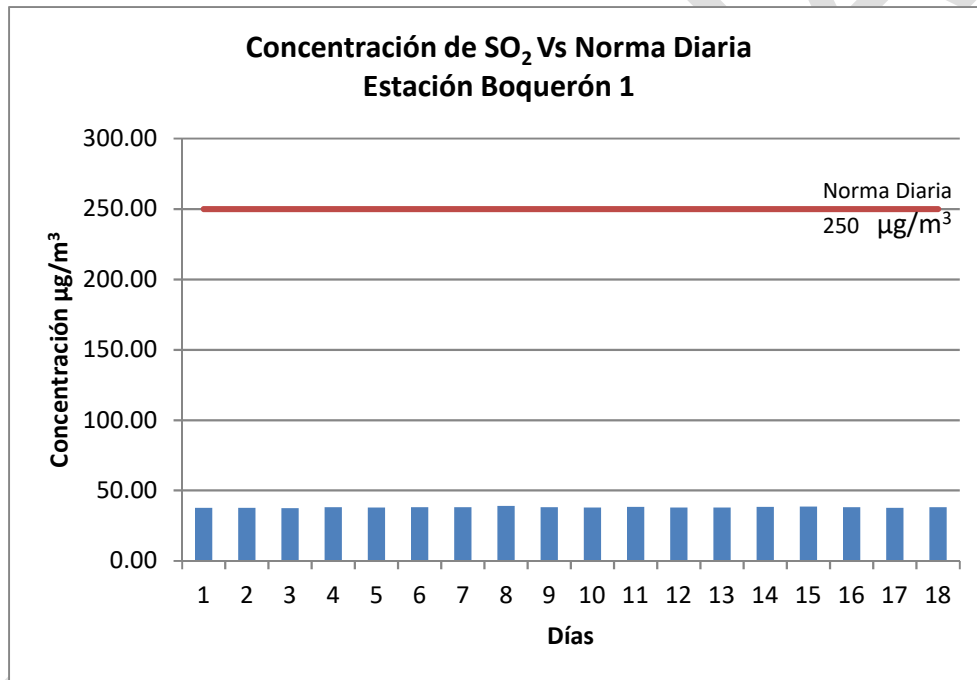
Tabla 237 Concentraciones diarias de SO₂ vs. Norma diaria

Día	Boquerón 1 (Punto 14)	Boquerón 2	EDS. Melgar	ZODME (Punto 16)	Norma Diaria (µg/m ³)
Día 1	37,66	<14,5	<14	33,97	250
Día 2	37,68	<14,1	<14,3	35,33	250
Día 3	37,37	<13,6	<14,2	34,63	250
Día 4	38,15	<13,7	<14,1	34,48	250
Día 5	37,94	<13,7	<14,2	35,3	250
Día 6	38,16	<11,6	-	34,69	250
Día 7	38,12	<14,3	<14,9	34,03	250
Día 8	38,88	<14,3	<14,3	34,54	250
Día 9	38,02	<14,2	<14,5	33,77	250
Día 10	37,75	<13,5	<14,8	35,38	250
Día 11	38,22	<14,2	<14,5	39,36	250
Día 12	37,90	<13,5	<14,1	33,8	250

Día	Boquerón 1 (Punto 14)	Boquerón 2	EDS. Melgar	ZODME (Punto 16)	Norma Diaria (µg/m ³)
Día 13	37,92	<14,2	<14,4	34,39	250
Día 14	38,40	<14,5	<14,4	34,94	250
Día 15	38,48	<13,9	<15	34,87	250
Día 16	38,03	<14,3	<14,4	34,51	250
Día 17	37,61	<15,2	<14,2	55,7	250
Día 18	38,10	<15	<14,2	34,31	250
Día 19		-	<14,1		250

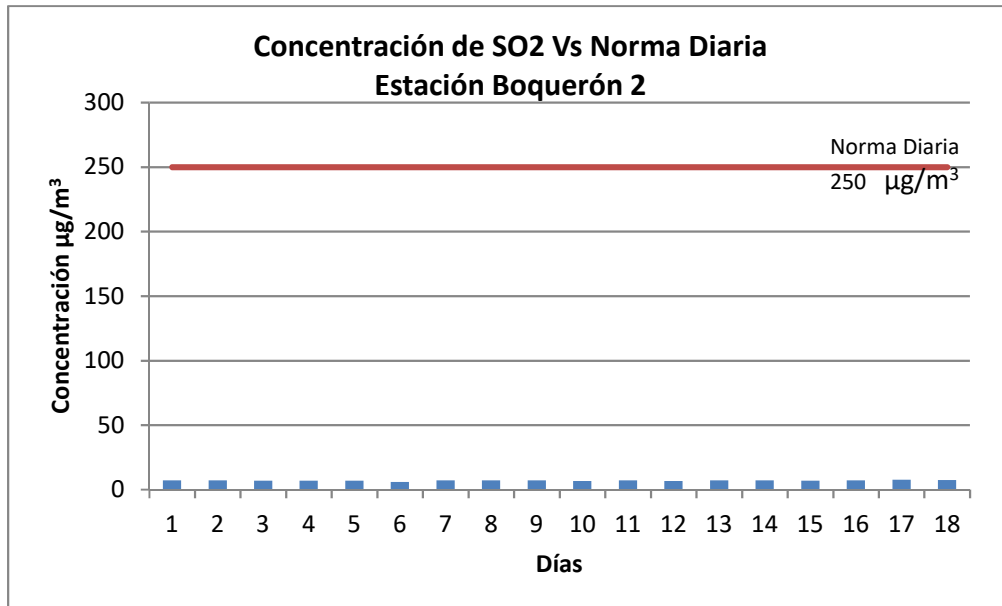
Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S, AMBIENCIQ S.A.S.

Figura 283 Concentraciones SO₂ Estación Boquerón 1



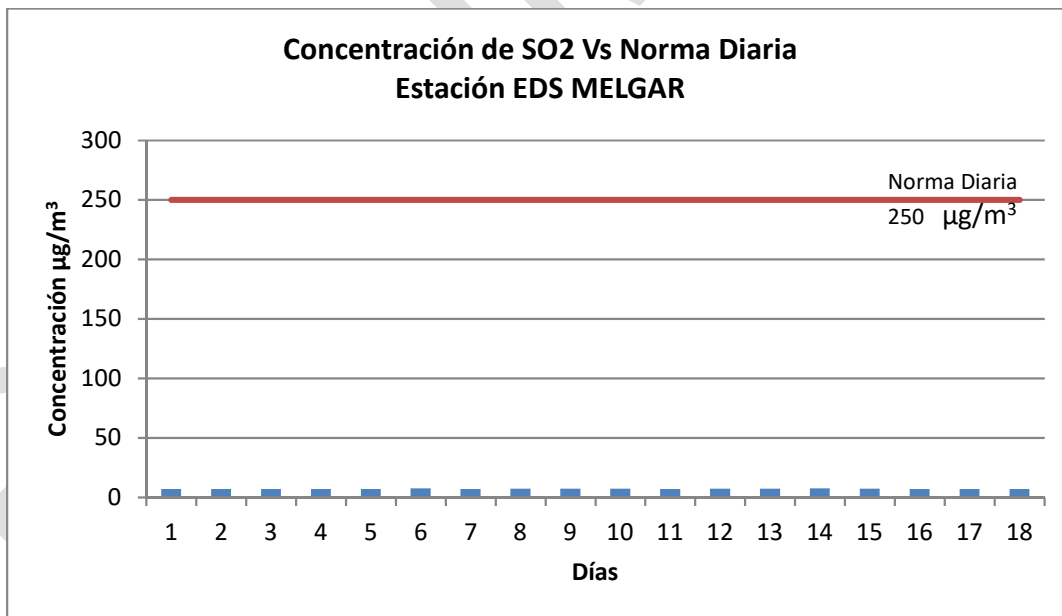
Para la Estación Boquerón 1, se registraron valores promedio entre 37 y 38 µg/m³, todos se encuentran por debajo del límite establecido en 250 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Figura 284 Concentraciones SO₂ Estación Boquerón 2



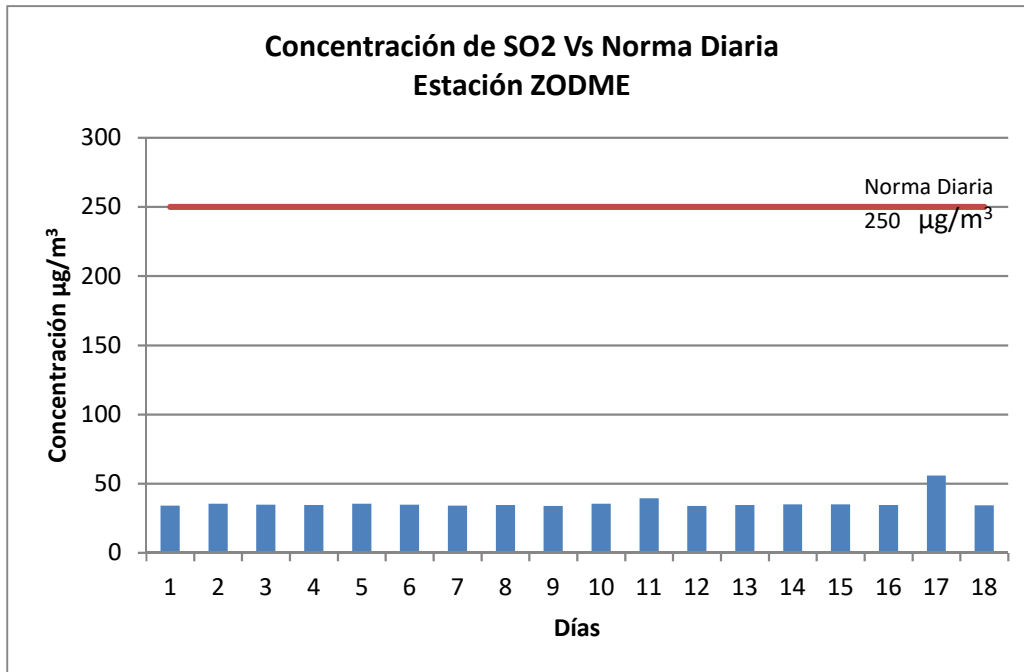
Para la Estación Boquerón 2, todos los valores se registraron por debajo del límite de detección del equipo <15 µg/m³, todos se encuentran por debajo del límite establecido en 250 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Figura 285 Concentraciones SO₂ Estación EDS Melgar



Para la Estación EDS Melgar, todos los valores se registraron por debajo del límite de detección del equipo <14 µg/m³, todos se encuentran por debajo del límite establecido en 250 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

Figura 286 Concentraciones SO₂ Estación ZODME



Para la Estación ZODME, el mayor valor de concentración se presentó el día 17 con 55,7 µg/m³, todos los valores se encontraron por debajo del límite establecido en 250 µg/m³ por la Resolución 610/2010, por lo que no simboliza riesgo de afectación a la salud de los pobladores de la zona.

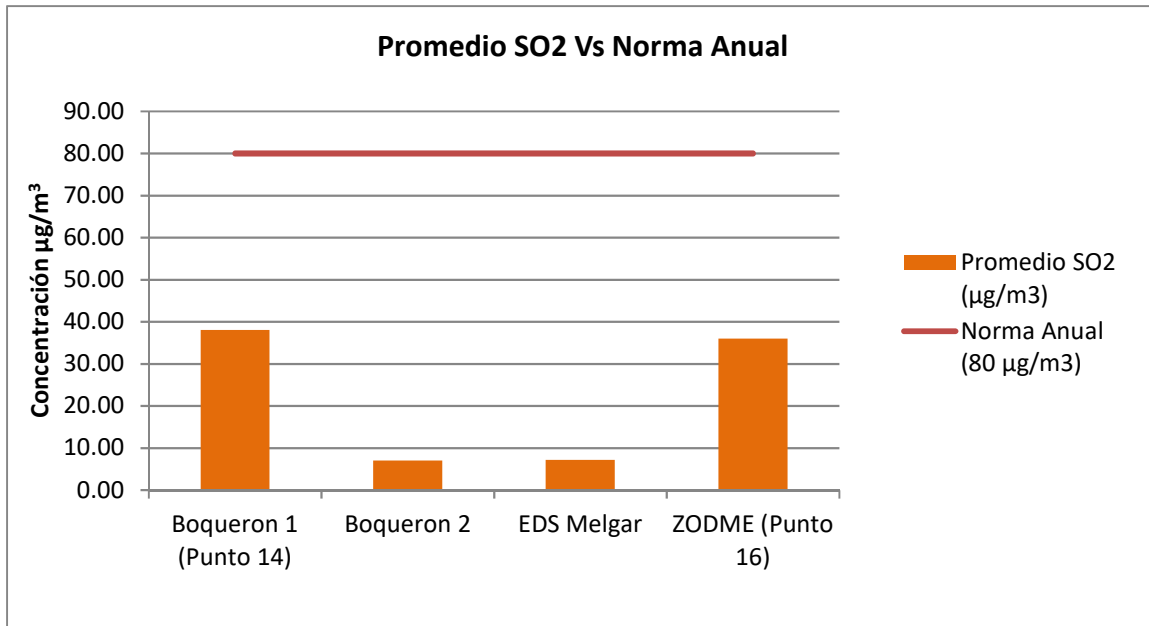
- Promedio Aritmético SO₂ Comparado a la Norma Anual

La Resolución 610/2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición anual para SO₂ establece una concentración de 80 µg/m³. En la Tabla 238 se presentan los valores de los promedios aritméticos para cada una de las estaciones, comparados con la norma.

Tabla 238 Consolidado de resultados de SO₂

	Estación	Promedio SO ₂	Norma Anual (80 µg/m ³)	Porcentaje con Respecto a la Norma
		(µg/m ³)		
1	Boquerón 1 (Punto 14)	38,02	80	48%
2	Boquerón 2	7,01	80	9%
3	EDS. Melgar	7,18	80	9%
4	ZODME (Punto 16)	36,00	80	45%

Figura 287 Concentraciones de SO₂ vs Norma Anual



La estación Boquerón 1 presenta el mayor promedio de concentración de SO₂ con 38,02 µg/m³, que representa el 47,5% del valor límite establecido en la normatividad para promedio anual de concentración de SO₂, y la estación Zodme presenta también valores promedio importantes de concentración de SO₂ con 36 µg/m³, que representa el 45% del valor límite normativo anual.

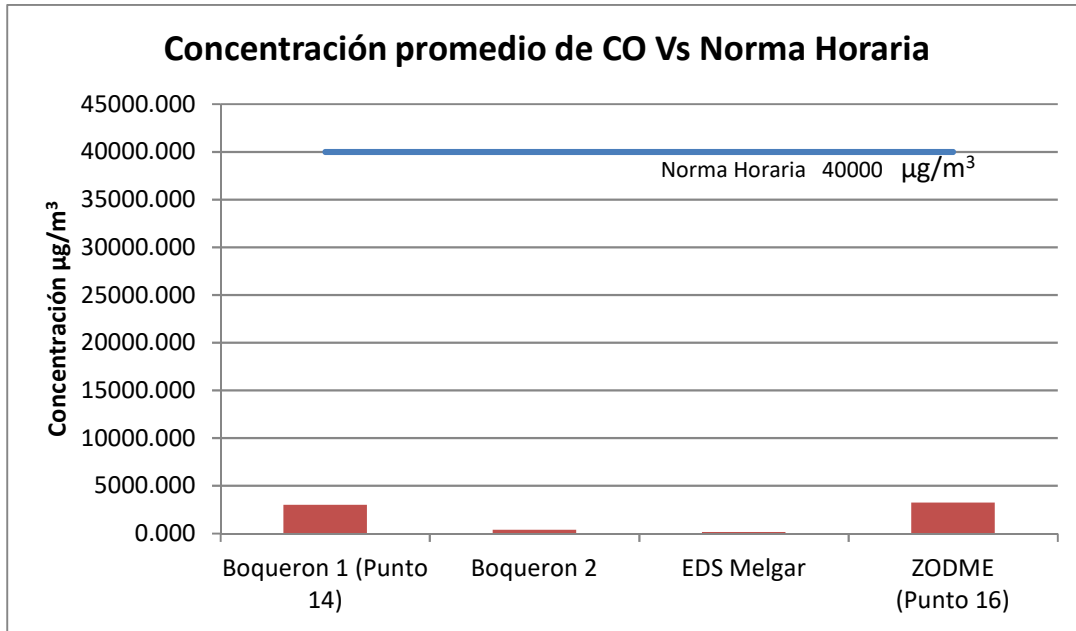
- CO
- Concentraciones promedio diarias de CO vs. Norma diaria

La Resolución 610 de 2010, en sus lineamientos respecto al nivel máximo permisible de exposición para CO horaria establece una concentración de 40.000 µg/m³. En la Tabla 239 se registran las concentraciones promedio horarias obtenidas en cada estación durante el periodo de monitoreo (24 horas).

Tabla 239 Concentraciones promedio diarias de CO

Estación	Concentración Promedio* Horaria (µg/m ³)	Norma Horaria (µg/m ³)
Boquerón 1 (Punto 14)	2995,973	40000
Boquerón 2	372,064	40000
EDS Melgar	157,397	40000
ZODME (Punto 16)	3221,622	40000

Figura 288 Concentraciones de CO vs Norma Horaria



Es evidente que las concentraciones de CO reportadas en las cuatro estaciones de monitoreo son mínimas y se hallan muy distantes de superar los límites permisibles definidos en la normativa

PRELIMINAR

5.1.12.4. Ruido

5.1.12.4.1. Inventario de fuentes

Para la realización del inventario de fuentes se realizó un recorrido por el área de influencia del proyecto cubriendo el periodo diurno y nocturno, en la Tabla 240 se muestra el resultado de este inventario.

Tabla 240 Fuentes identificadas en cada punto durante el periodo de medición

ID	Punto de medición	Día Ordinario – Diurno	Día Ordinario – Nocturno	Día Dominical – Diurno	Día Dominical – Nocturno
R1	EDS MELGAR	Paso constante de vehículos pesados, bocinas de camiones, automóviles y motos, explosión de llanta de camión, paso de motos, ruido por carrocerías de tractomulas, freno de aire de camión.	Perros ladrando. Paso de vehículos pesados, ruido por freno de aire de camión, bocina de camión, paso de helicóptero. Personas hablando. Música a pocos metros	Paso constante de vehículos, bocinas de vehículos. Perros ladrando. Personas hablando.	Paso de vehículos pesados, paso de bus intermunicipal, freno de aire de camión, arranque de camión. Perros ladrando.
R2	BOQUERÓN	Paso vehicular constante, paso de vehículos pesados, freno de aire de camión, resonador de exhosto, bocinas de camiones y motos, paso de moto de alto cilindraje. Ruido de chicharras	Paso vehicular constante, paso de vehículos pesados, ruido por freno de camión. Perros ladrando, ruido de chicharras, grillos y ranas.	Paso constante de vehículos de carga y livianos, bocinas de camiones.	Ruido por chicharras, grillos y ranas. Paso de camión y de carro.
R3	LA CASCADA	Paso de vehículos livianos y pesados, bocina de camión, freno de aire de camión, paso de moto de alto cilindraje. Canto de aves y de chicharras.	Paso de vehículos pesados, freno de aire de camión, ruido por arranque de camión. Perros ladrando, canto de ranas, grillos y chicharras.	Paso de vehículos pesados, chillido de llanta tras frenado rápido, paso de moto de alto cilindraje, bocinas de vehículos. Personas hablando y gritando	Ruido por chicharras, grillos y ranas. Paso vehicular. Estornudo fuerte de persona
R4	CASERÍO	Paso de vehículos pesados, freno de aire de camión. Música a pocos metros del punto	Paso vehicular constante, ruido por freno de camión, paso de moto de alto cilindraje, bocina de camión, ruido de motor en camión estacionado. Perros ladrando	Paso constante de vehículos livianos y de carga, bocinas de vehículos, freno de camión, bocina de bus intermunicipal. Perros ladrando. Personas hablando y ruido por música.	Perros ladrando, ruido por grillos, chicharras y ranas. Paso de patrulla de policía pitando
R5	ZODME	Paso de volquetas y demás vehículos de carga, freno de motor de camión, motor en alta revolución, bocina de reversa, explosión de llanta. Personas hablando. Ruido por planta eléctrica.	Paso vehicular, bocinas de vehículos, freno de aire de camión. Personas hablando.	Paso vehicular liviano y de carga, paso de helicóptero, paso de moto con exhosto modificado, bocina de camión.	Paso de vehículos, paso de moto de alto cilindraje. Ruido de ranas, chicharras y grillos.

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S, Registros de campo monitoreo de ruido ambiental

5.1.12.4.2. Receptores de ruido

Como receptores de ruido se identificaron en campo, los asentamientos poblacionales, viviendas e infraestructura social, compilada en la Tabla 241, que se encuentra dentro del área de influencia del componente Aire identificada para el proyecto, en la Figura 289 se muestra la ubicación espacial de esta infraestructura.

Tabla 241 Infraestructura Social identificada dentro del AI del componente atmosférico.

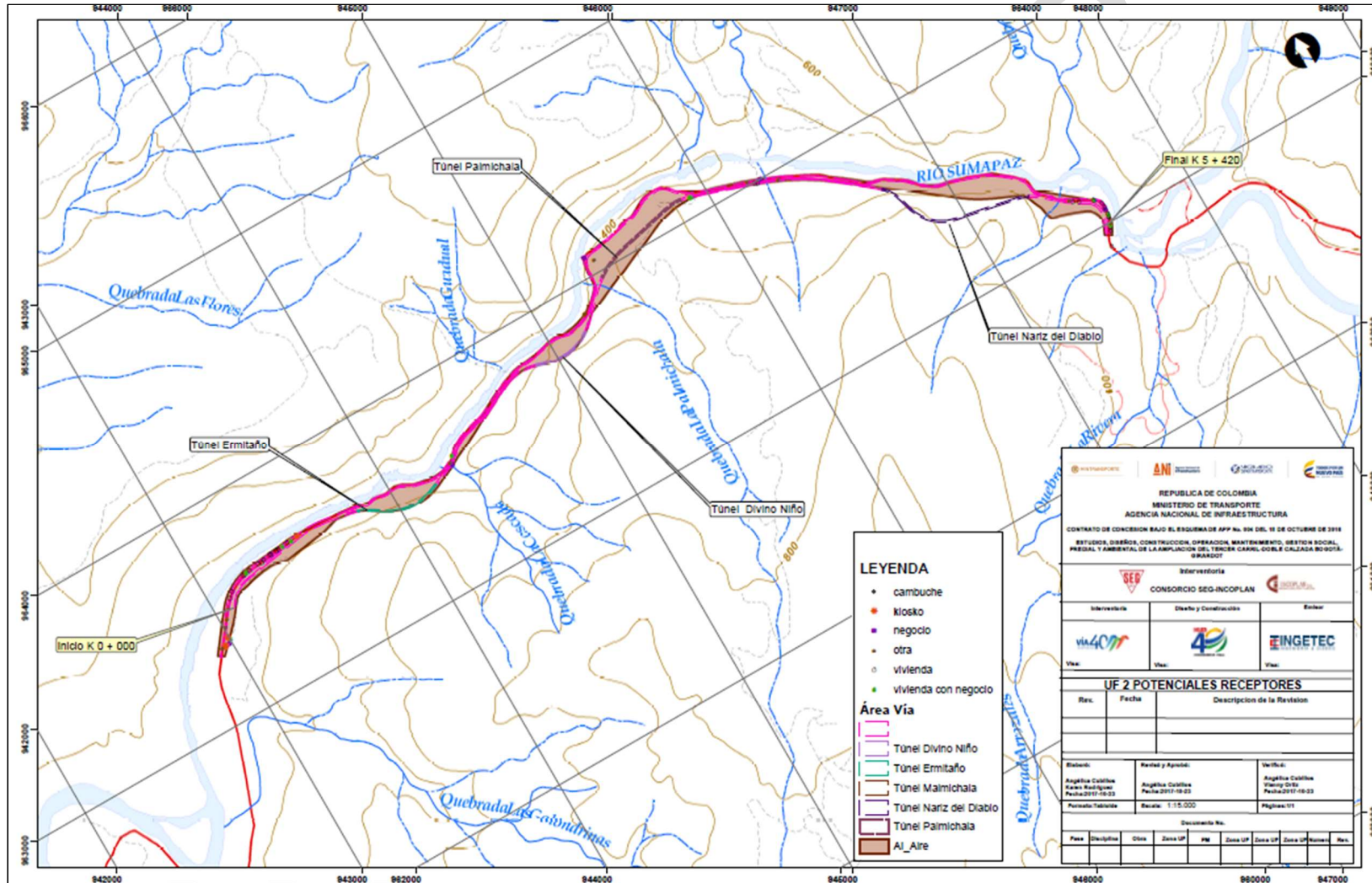
No	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	VEREDA	INFRAESTRUCTURA SOCIAL IDENTIFICADA
1	TOLIMA	ICONONZO	BOQUERÓN	vivienda
2				vivienda
3				Vivienda con negocio - Venta de refrescos
4				otra - construcción en obra negra
5				cambuche
6				Vivienda con negocio - Venta de refrescos
7				vivienda
8				negocio - restaurante
9				vivienda
10				vivienda
11				Vivienda con negocio - Balneario
12				vivienda
13				vivienda
14				vivienda
15				otra - Infraestructura ANI
16	TOLIMA	MELGAR	MALACHÍ	quiosco - venta de refrescos
17				otra - Ancianato
18				quiosco
19				otra - Condominio
20				otra - Condominio
21				otra - Condominio
22				vivienda
23				negocio - Balneario
24				vivienda
25				otra - Parqueadero
26				Vivienda con negocio - venta de vino de palma
27				vivienda
28				vivienda
29				otra - Virgen
30				Vivienda con negocio
31				vivienda
32				vivienda
33				vivienda
34				vivienda
35				vivienda
36				vivienda
37				vivienda
38				Vivienda con negocio - venta de vino de palma
39				vivienda
40				Vivienda con negocio - monta llantas

No	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	VEREDA	INFRAESTRUCTURA SOCIAL IDENTIFICADA
41				vivienda
42				quiosco - venta de refrescos
43			TOKIO	otra - Vivienda deshabitada
44				otra - Casa quinta
45				vivienda
46				vivienda
47				otra - acceso a puente río Sumapaz
48			LA REFORMA	negocio - hotel
49				otra - Vivienda deshabitada
50				otra - Divino Niño
51				Vivienda con negocio - Venta de refrescos
52				Vivienda con negocio - monta llantas
53				negocio - venta de refrescos

Fuente: INGETEC, 2017.

PRELIMINAR

Figura 289 Localización de los potenciales receptores área de influencia Aire



Fuente: INGETEC, 2017.

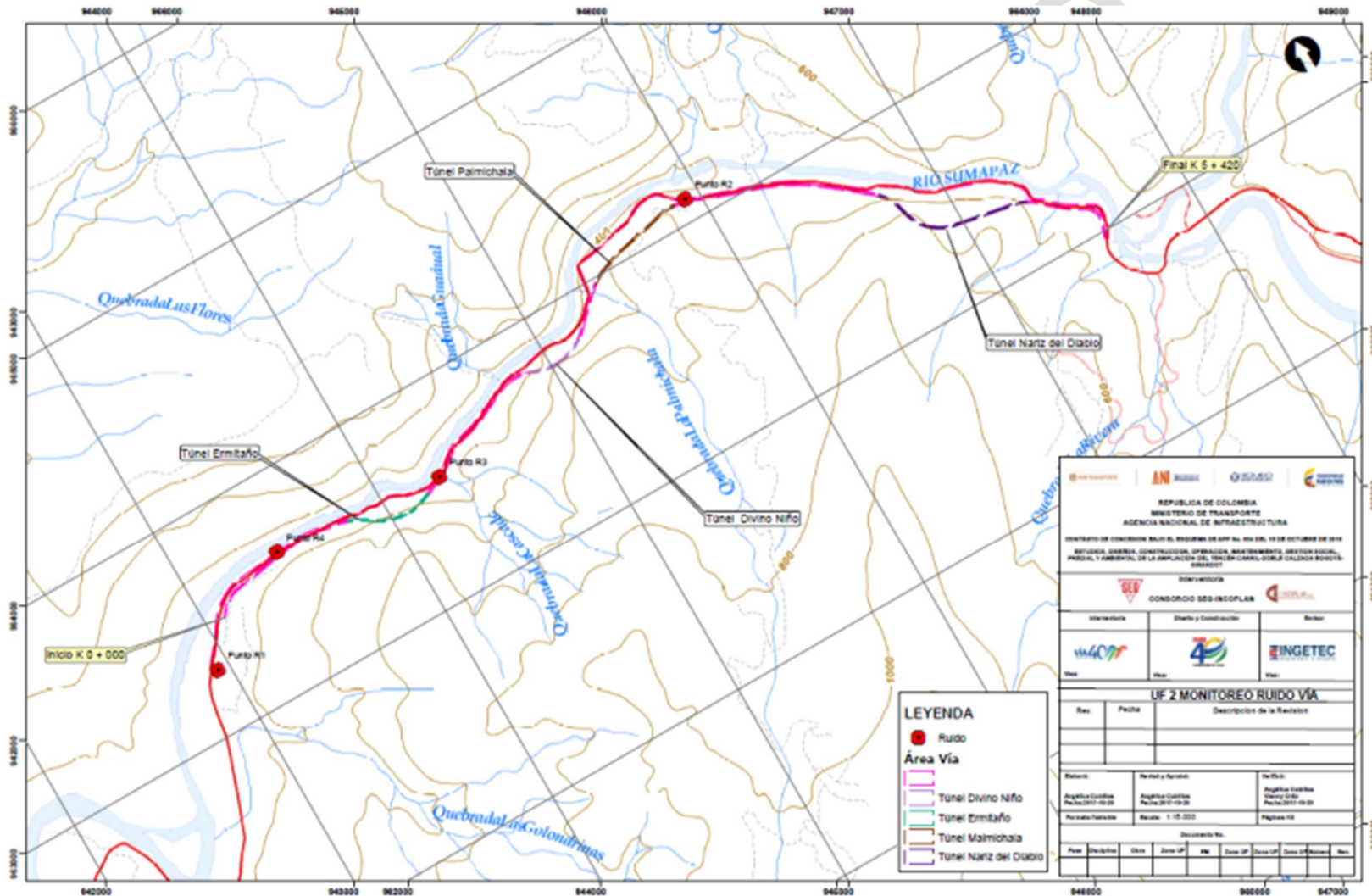
5.1.12.4.3. Puntos de monitoreo

Para la evaluación de la presión sonora en el área de influencia proyecto se instalaron cinco (5) estaciones de monitoreo en la Tabla 243 se muestra la localización de estaciones de monitoreo de ruido ambiental, definidas en la salida pre campo (Ver Plano G-LAB-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2530-A0).

Tabla 242 Puntos de monitoreo de ruido ambiental UF2

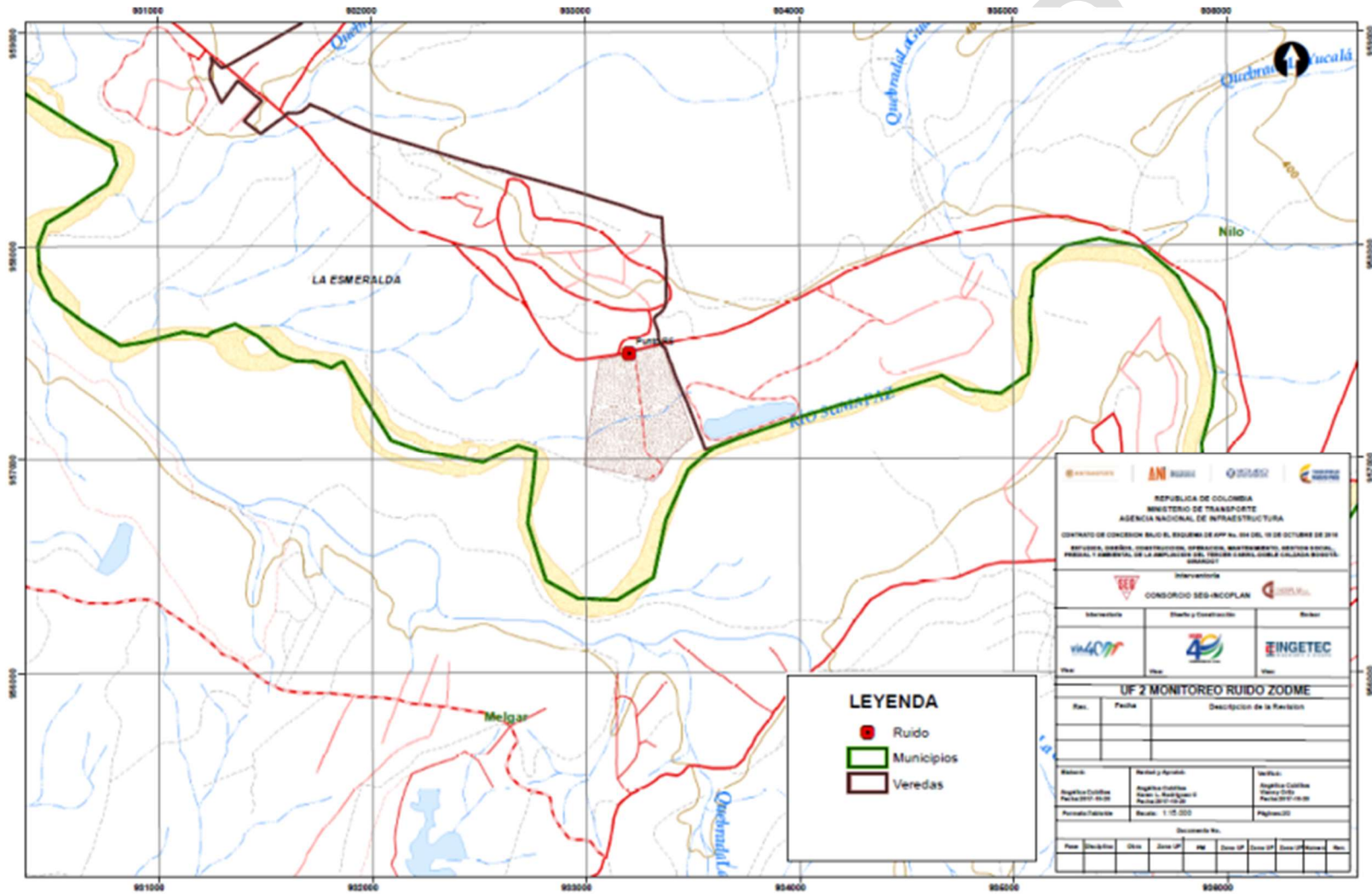
ID	NOMBRE	X	Y
Punto R1	EDS MELGAR	942941,69	963292,61
Punto R2	BOQUERÓN	945928,27	964106,84
Punto R3	LA CASCADA	944290,12	963559,58
Punto R4	CASERÍO	943454,45	963630,78
Punto R5	ZODME	933201,78	957495,71

Figura 290 Localización de los puntos de monitoreo de ruido de la UF2 (Área de la vía)



Fuente: INGETEC, 2017.

Figura 291 Localización de los puntos de monitoreo de ruido de la UF2 (ZODME)



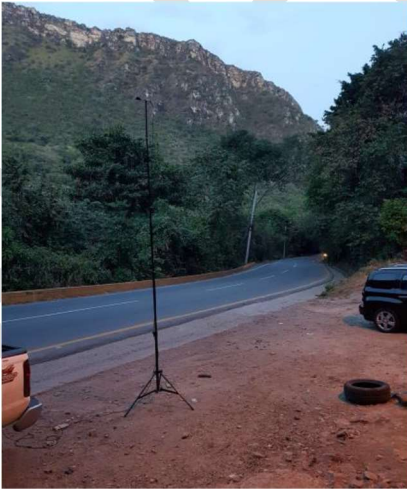
Fuente: INGETEC, 2017.


5.1.12.4.4. Descripción de las estaciones de monitoreo


A continuación son descritos cada uno de los puntos definidos para el monitoreo de ruido ambiental, ubicados y puestos en operación, especificando su georreferenciación en coordenadas planas MAGNA Colombia Bogotá, un registro fotográfico, descripción de la ubicación y equipos utilizados:


Tabla 243 Descripción técnica de las estaciones de monitoreo de ruido ambiental

Punto No. 1:	Nombre:	EDS MELGAR	
	Ubicación:	Punto ubicado en la estación de servicio localizada sobre la Ruta Nacional 40 E, autopista Girardot Bogotá DC, en este tramo se comunica el Municipio de Melgar con el Sector el Boquerón.	
	Coordenadas:	X = 942941,69	Y = 963292,61
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	
	Equipo:	CESVA SC260 # SERIAL: T233T56 CALIBRADOR # SERIAL: 49601	
	Estándar Permissible:	Día: 80	Noche: 70

Punto No. 2	Nombre:	BOQUERÓN	
	Ubicación:	Punto localizado a poca distancia de la Ruta Nacional 40 E, autopista Girardot Bogotá DC. En el sector Boquerón	
	Coordenadas:	X = 945928,27	Y = 964106,84
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales	
	Equipo:	CESVA SC260 # SERIAL: T233T56 CALIBRADOR # SERIAL: 49601	
	Estándar Permissible:	Día: 80	Noche: 70

Punto No. 3	Nombre:	LA CASCADA	
	Ubicación:	Punto localizado a poca distancia de la Ruta Nacional 40 E, autopista Girardot Bogotá DC, frente al parador La Cascada.	
	Coordenadas:	X = 944290,12	Y = 963559,58
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales	
	Equipo:	CESVA SC260 # SERIAL: T233T56 CALIBRADOR # SERIAL: 49601	
	Estándar Permissible:	Día: 80	Noche: 70

Punto No. 4	Nombre:	CASERÍO	
	Ubicación:	Punto ubicado en un caserío cerca de la Ruta Nacional 40 E, autopista Girardot Bogotá DC. Se encuentra siguiente a una curva.	
	Coordenadas:	X = 943454,45	Y = 963630,78
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales	
	Equipo:	CESVA SC260 # SERIAL: T233T56 CALIBRADOR # SERIAL: 49601	
	Estándar Permissible:	Día: 80	Noche: 70

Punto No. 5	Nombre:	ZODME	
	Ubicación:	Punto localizado sobre la Ruta Nacional 40 E, autopista Girardot Bogotá DC, en el tramo que conduce Girardot con Melgar, cercano a la entrada de piscilago.	
	Coordenadas:	X = 933201,78	Y = 957495,71
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Residencial Suburbana	
	Equipo:	CESVA SC260 # SERIAL: T233T56 CALIBRADOR # SERIAL: 49601	
	Estándar Permissible:	Día: 80	Noche: 70

5.1.12.4.5. Metodología de muestreo

La metodología utilizada está basada en la normativa base Resolución 627 de 2006 del actual MADS. El procedimiento técnico específico llevado en K2 INGENIERÍA S.A.S. para las mediciones de ruido ambiental, se encuentra acreditado por el IDEAM mediante la resolución 1695 del 4 de agosto de 2016 producto de la renovación de la resolución 0031 del 21 de enero de 2013 con extensión del alcance con las resoluciones 0232 del 5 de febrero y la resolución 1313 del 16 de junio, ambas del 2017. El monitoreo fue realizado entre los días del 18 al 21 de agosto de 2017.

o Trabajo de campo

Para el cálculo de los niveles de presión sonora ajustados, se sigue la metodología de ajustes por tonos e impulsos establecidos en la Resolución 627 de 2006 (Ver Anexo C).

Antes de cada medición, el sonómetro se verificó con su respectivo pistófono, se midió la velocidad del viento con un sensor in-situ de manera que reportara preferiblemente una magnitud inferior a los 3 m/s, o en su defecto se definió una microlocalización que favoreciera las bajas velocidades. La pantalla antiviento se instaló sobre el micrófono siempre que el equipo se encontrara midiendo. No se realizaron mediciones durante lluvias y cerca de pavimentos mojados por los cuales transitan vehículos. De igual manera, se procuró un mínimo número de personas alrededor del sonómetro, siendo como mínima la presencia del operador del equipo. Las lecturas fueron tomadas con el filtro de ponderación de frecuencia A y respuesta lenta (Slow), con el fin de cuantificar los niveles equivalentes de presión sonora, y filtro frecuencial 1/3 de octavas con respuesta Impulse para realizar los ajustes normativos, y finalmente poder comparar los resultados con la normatividad ambiental vigente, Resolución 627 de 2006 del actual MADS.

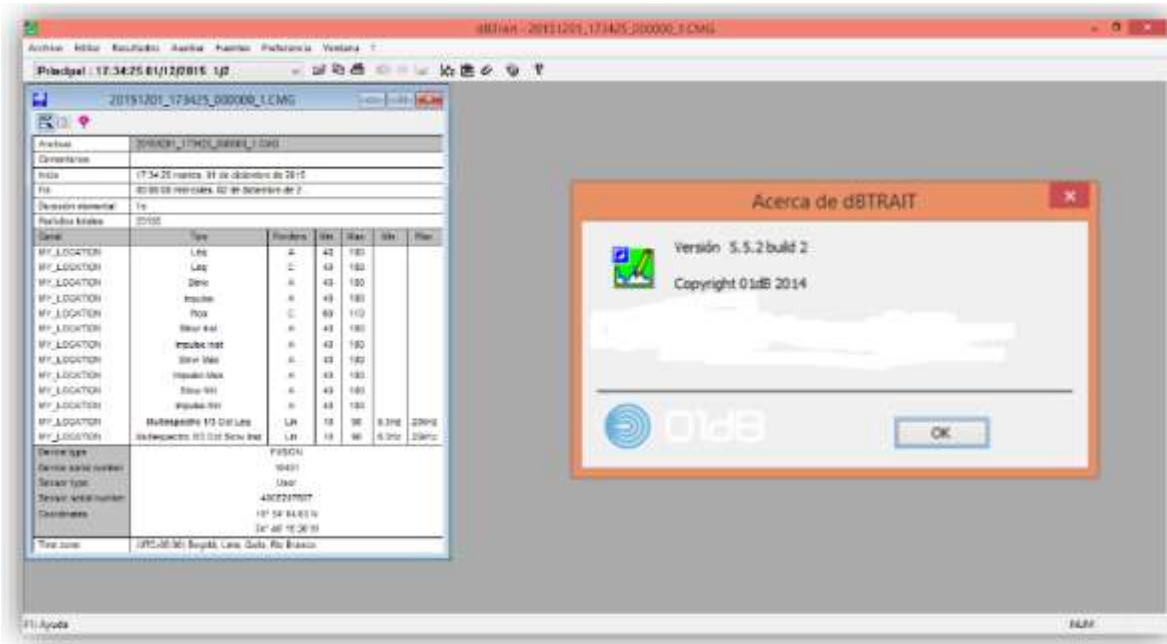
Las mediciones unitarias de ruido ambiental tuvieron una duración de una hora según lo recomendado por la Res. 627 de 2006. Los parámetros de interés fueron: los niveles equivalentes sonoros (LAeq), LAeq máximos, LAeq mínimos para cada horario de medición.

En el caso de ruido ambiental, el sensor del equipo se ubicó a una altura de 4 m con ayuda de un trípode rotándose en las direcciones Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hacia arriba con duración distribuida uniformemente durante la hora de medición; el enfoque metodológico del presente monitoreo acogió en todo sentido los lineamientos definidos en el Anexo 3, Capítulo II de la Resolución 627 de 2006 del MADS denominado "Procedimiento de Medición para Ruido Ambiental". Las mediciones de ruido ambiental se realizaron en horario diurno y nocturno para un día ordinario y un día dominical.

○ Procesamiento de Cálculo

Para el procedimiento de los datos obtenidos de ruido ambiental durante las mediciones en campo, los sonómetros se cuentan con el software dBTRAIT⁵ (Ver Figura 292), para el procesamiento de los datos y la descarga de los parámetros a evaluar.

Figura 292 Ventana de inicio del software dBtrait



Fuente: Base de datos K2 Ingeniería S.A.S

○ Procedimiento de Cálculo

El resultado de la medición de ruido ambiental es obtenido mediante la siguiente expresión (Res. 627 de 2006)::

Ecuación 2

$$L_{Aeq} = 10 \times \text{Log} \left(\left(\frac{1}{5} \right) \times \left(10^{\frac{L_N}{10}} + 10^{\frac{L_O}{10}} + 10^{\frac{L_S}{10}} + 10^{\frac{L_E}{10}} + 10^{\frac{L_V}{10}} \right) \right)$$

Dónde:

L_{Aeq} = Nivel equivalente resultante de la medición.

L_N = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido norte.

⁵ <http://www.acoemgroup.com/catalog/dBTRAIT-Software-for-data-processing-1-0-265-product>

L_O = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido oeste.

L_S = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido sur.

L_E = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido este.

L_V = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical.

En lo que respecta a los ajustes, las mediciones se corrigieron por tono (K_T) y por impulso (K_I). Se debe resaltar que los niveles corregidos de presión sonora, son los que se compararon con los estándares máximos permisibles de ruido ambiental y emisión de ruido como se establece en el Artículo 6 "ajustes" parágrafo segundo de la Resolución 627 de 2006.

Se selecciona el mayor valor de K entre K_I , K_T , K_S , y K_R :

Ecuación 3

$$L_{RA(X),T} = L_{A(X),T} + (K_I, K_T, K_S, K_R)$$

Dónde:

K_I es un ajuste por impulsos (dBA(A))

K_T es un ajuste por tono y contenido de información (dBA(A))

K_R es un ajuste por la hora del día (dBA(A))

K_S es un ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo bajas frecuencias (dBA(A))

(X) corresponde a L_{Aeq} resultante de la medición para este estudio

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, solo se corrige por un solo factor K , el de mayor valor en dBA(A).

5.1.12.4.6. Análisis Meteorológico

Para la caracterización de las variables meteorológicas del área de estudio se ubicó una estación meteorológica Vantage Vue; marca Davis Instruments (Ver Figura 298), en el Punto 1 EDS MELGAR (ver Tabla 244). Con la finalidad de estudiar el comportamiento de las condiciones atmosféricas durante las mediciones realizadas.

Figura 293 Estación meteorológica



(Estación meteorológica)



(Modelo Vantage PRO2)

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Tabla 244 Microlocalización estación meteorológica

Estación Meteorológica	NORTE	ESTE	Altura (msnm)
Estación Boquerón	4°16'17.2"N	74°33'52.4"W	521

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

En la Tabla 245 se muestran los datos diarios obtenidos a partir de la estación meteorológica instalada, en ella se consolida el valor promedio de: velocidad del viento, temperatura, presión barométrica y humedad relativa así como la precipitación acumulada.

Tabla 245 Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo

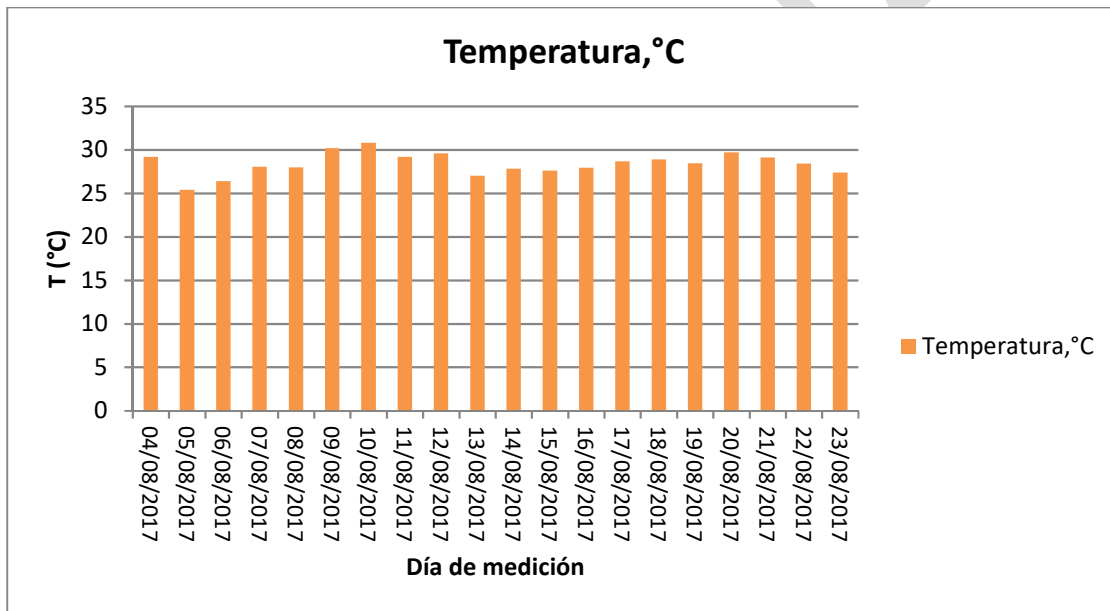
Periodo de monitoreo	Temperatura, °C	Presión atmosférica, mmHg	Precipitación, mm de H ₂ O	Velocidad del viento, m/s	Humedad relativa, %
04/08/2017	29.20	725.20	0.00	1.35	24.50
05/08/2017	25.40	726.10	0.00	0.40	26.40
06/08/2017	26.40	725.60	0.00	1.30	30.70
07/08/2017	28.06	727.46	0.00	1.14	27.56
08/08/2017	27.97	725.88	0.00	0.55	27.69
09/08/2017	30.20	724.58	0.00	1.77	29.75
10/08/2017	30.80	722.55	0.00	1.77	30.37
11/08/2017	29.20	724.16	0.00	1.17	24.87
12/08/2017	29.59	724.10	0.00	1.41	29.24
13/08/2017	27.01	726.18	0.00	0.75	26.61
14/08/2017	27.81	725.41	4.05	0.98	27.41
15/08/2017	27.60	725.04	0.25	1.09	27.23
16/08/2017	27.94	725.78	3.04	0.59	27.63
17/08/2017	28.69	726.45	0.00	1.02	28.28
18/08/2017	28.89	724.99	0.00	1.88	28.56
19/08/2017	28.46	723.80	0.00	1.83	28.24
20/08/2017	29.70	723.20	0.00	2.20	30.00

Periodo de monitoreo	Temperatura, °C	Presión atmosférica, mmHg	Precipitación, mm de H ₂ O	Velocidad del viento, m/s	Humedad relativa, %
21/08/2017	29.10	723.50	0.00	1.30	24.30
22/08/2017	28.40	724.40	0.00	0.90	29.10
23/08/2017	27.4	725.5	0.00	1.8	28.7
Promedio	28.39	724.99	7.34	1.26	27.86
Máximo	30.80	727.46	4.05	2.20	30.70
Mínimo	25.40	722.55	0.00	0.40	24.30

*Precipitación acumulada

- Temperatura

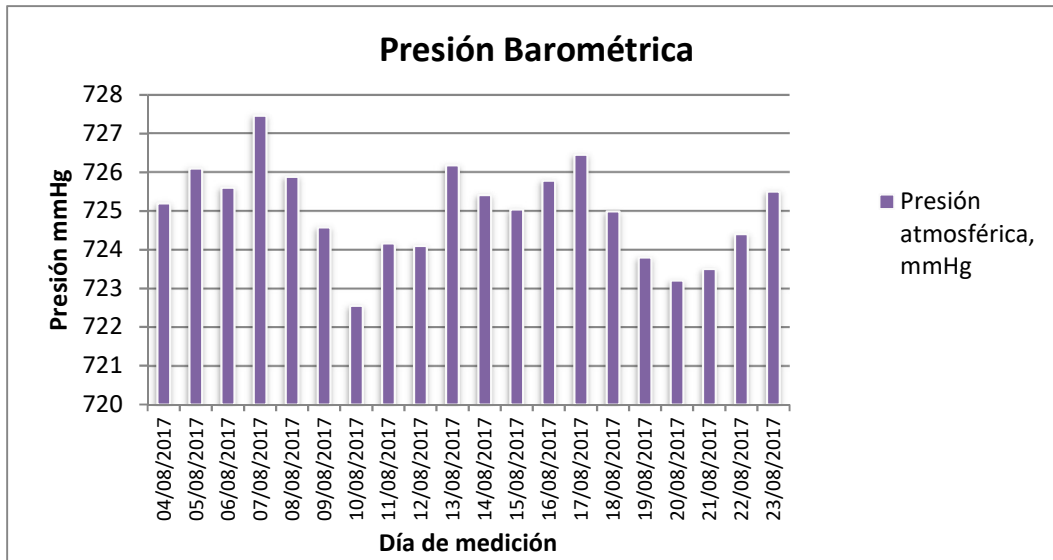
Figura 294 Variación de la temperatura



Durante el periodo de monitoreo, se presentó una temperatura promedio de 28,39 °C, una máxima de 30.8 °C el día 10 de agosto y una mínima de 25,40 °C el día 5 de agosto como se puede observar en la Figura 295.

- Presión barométrica

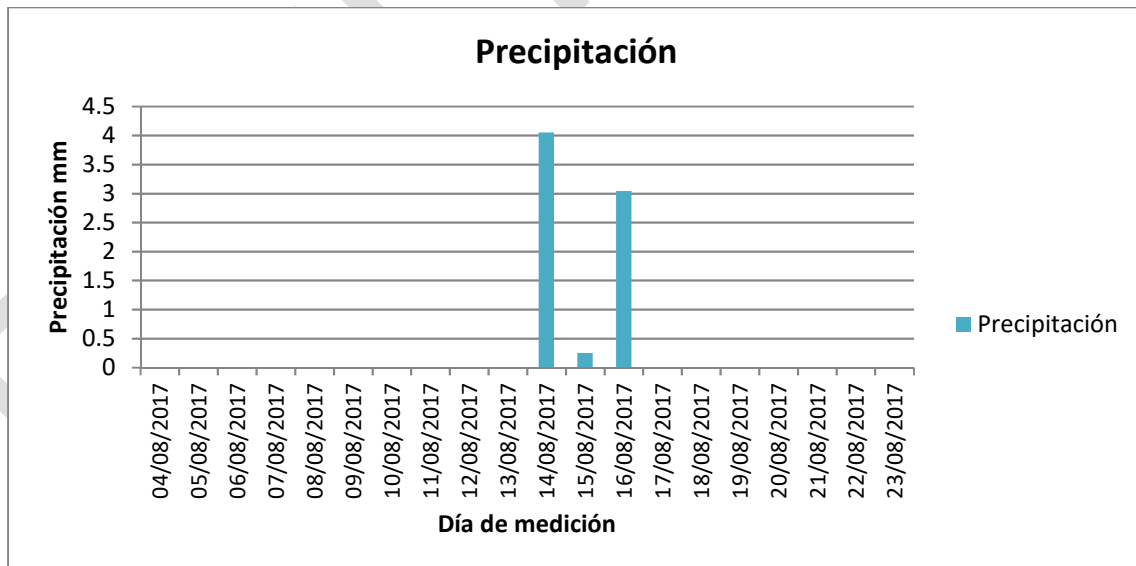
Figura 295 Variación de la presión barométrica



En la Figura 296 se muestra de manera gráfica la presión barométrica promedio diaria registrada. Las variaciones de los promedios diarios de presión oscilaron entre 722,55 mm de Hg y 727,46 mm de Hg, los cuales corresponden a los valores mínimo y máximo reportados durante el monitoreo y fueron registrados en los días 10 y 07 de agosto, respectivamente. El promedio durante el periodo de monitoreo fue de 724,99 mm de Hg.

- Precipitación

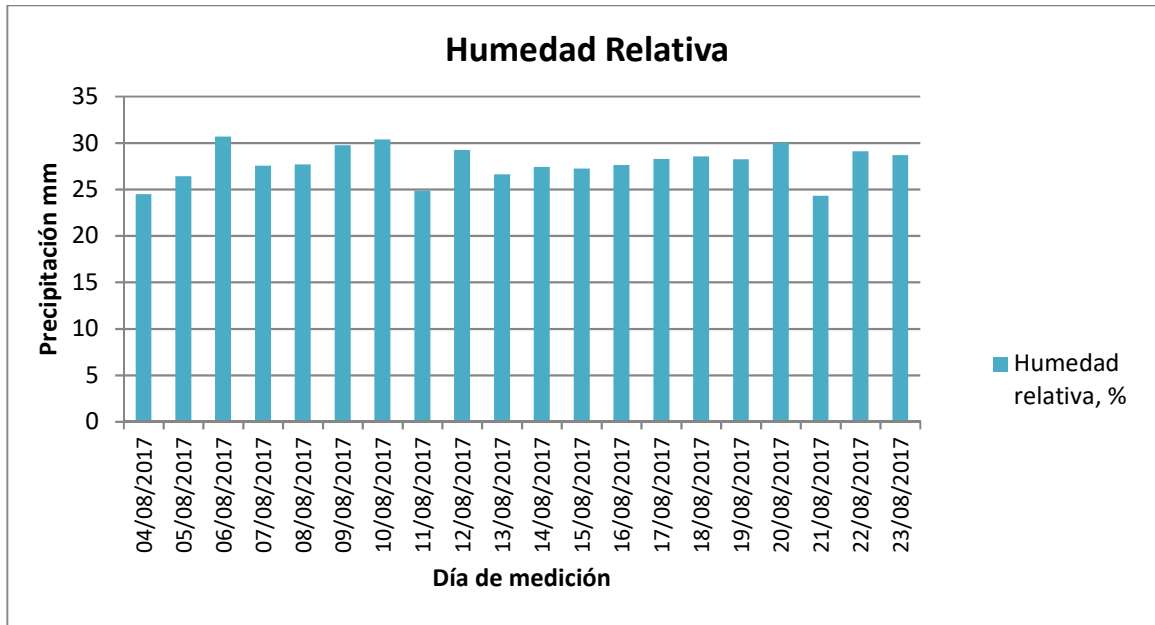
Figura 296 Variación de precipitación



En la Figura 297 se presenta la precipitación acumulada diaria. La precipitación acumulada durante el periodo de monitoreo fue de 7,34 mm de agua; el día 14 de agosto de 2017 se alcanzó el máximo registro, 4,05 mm de agua, los otros días no se registraron datos de precipitación.

- Humedad relativa

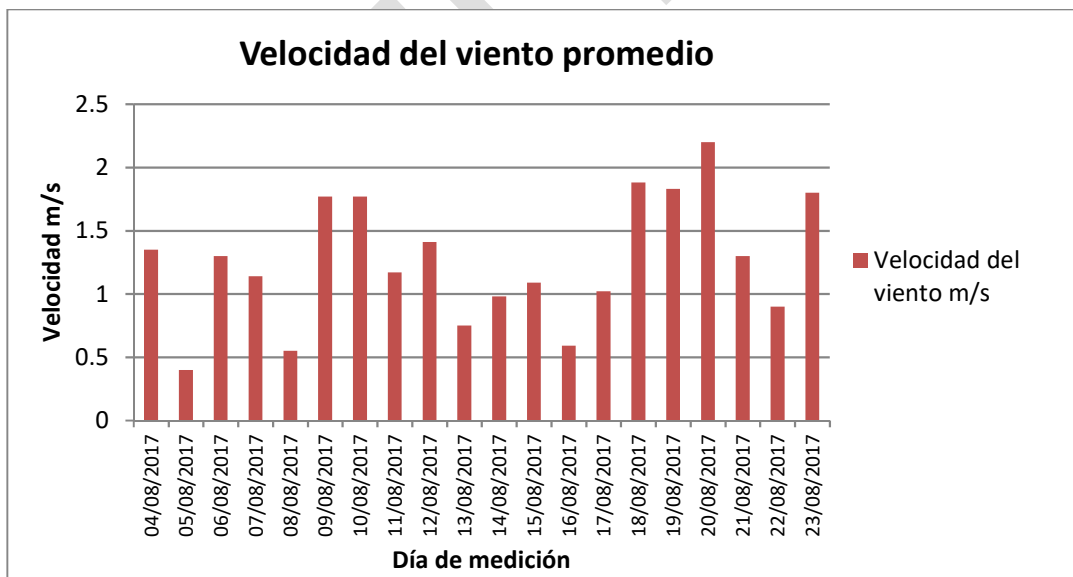
Figura 297 Variación de la humedad relativa



La humedad relativa registró valores entre 24,3 y 30,7% presentándose este valor máximo el día 6 de agosto.

- Velocidad del viento

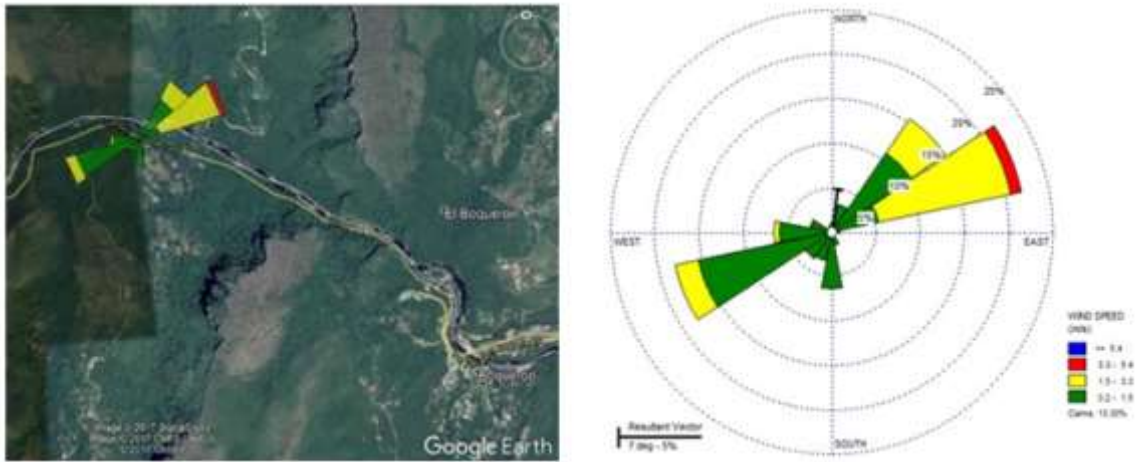
Figura 298 Variación de la velocidad del viento



La velocidad del viento presentó un valor promedio de 27,86 m/s, un valor máximo de 2,2 m/s presentada el día 20 de agosto y una velocidad mínima de 0,4 m/s presentada el día 5 de agosto.

En la Tabla 246 se presenta la distribución de frecuencias de dirección y velocidad del viento, de acuerdo a la escala de Beaufort, se aprecia que el 13.3% de los registros corresponden a vientos calmas, el 62.3% a periodos de aire ligero, las brisas ligeras presentan un 23.1% y el 1.2% restante corresponde brisas suaves. Como se puede apreciar en la Ilustración 6, se presenta una marcada predominancia de los vientos provenientes de la dirección Este Noreste (ENE), Oeste Suroeste (WSW) y Noreste (NE) representando un 21.8%, 18% y 15.4%, respectivamente.

Figura 299 Rosa de vientos



Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Tabla 246 Distribución de registros de acuerdo al rango de velocidad y a la dirección del viento

Direcciones / Clases de viento (m/s)	Aire ligero 0.2 - 1.5	Brisa Ligera 1.5 - 3.3	Brisa Suave 3.3 - 5.4	Brisa Moderada y mayores ≥ 5.4	Total
N	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%
NNE	3.2%	0.0%	0.0%	0.0%	3.2%
NE	10.8%	4.6%	0.0%	0.0%	15.4%
ENE	5.5%	15.1%	1.2%	0.0%	21.8%
E	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
ESE	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
SE	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%
SSE	1.6%	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%
S	6.4%	0.0%	0.0%	0.0%	6.4%
SSW	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	3.4%
SW	3.6%	0.1%	0.0%	0.0%	3.7%
WSW	15.4%	2.6%	0.0%	0.0%	18.0%
W	5.9%	0.7%	0.0%	0.0%	6.6%
WNW	2.5%	0.1%	0.0%	0.0%	2.6%
NW	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%

Direcciones / Clases de viento (m/s)	Aire ligero 0.2 - 1.5	Brisa Ligera 1.5 - 3.3	Brisa Suave 3.3 - 5.4	Brisa Moderada y mayores >= 5.4	Total
NNW	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%
Sub-Total	62.3%	23.1%	1.2%	0.0%	86.7%
Calmas	-	-	-	-	13.3%
Incompletos	-	-	-	-	0%
Total	-	-	-	-	100%

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Para mayor precisión en las mediciones, se utilizó un sensor ultrasónico de viento portátil para medir la velocidad del viento en el momento de la medición (ver Anexo C) y así poder verificar si se cumple con lo establecido en la resolución en el parágrafo del artículo 20 de la Resolución 627 de 2006 (velocidades de viento menores a 3 m/s). Se empleó para toda medición la pantalla anti-viento dada por el fabricante para garantizar la representatividad de cada medición, referenciados en la Resolución 627 de 2006

5.1.12.4.7. Normatividad Aplicable de Ruido Ambiental

La Resolución 627 de 2006 expedida por el actual MADS es la normativa vigente en Colombia mediante la cual se establecieron los estándares máximos permisibles de ruido ambiental (ruido total en la zona debido a las fuentes presentes) y emisión de ruido (ruido generado específicamente por una fuente objeto) diferenciados por uso de suelo y horario de medición. Estos horarios están establecidos de la siguiente manera en la normatividad (ver Tabla 247).

Tabla 247 Horarios Establecidos por la Resolución 0627 de 2006

Tipo de Horario	Hora de Inicio	Hora Final
Diurno	7:01 a.m.	9:00 p.m.
Nocturno	9:01 p.m.	7:00 a.m.

Fuente: Res. 627 del 07 de Abril del 2006 del actual MADS

Estándares Máximos Permisibles de Emisión De Ruido

En la Tabla 248 del presente informe se presentan niveles máximos permisibles de Emisión de Ruido de acuerdo con lo establecido en la Resolución 627 de 2006 en el Artículo 9 del Capítulo II:

Tabla 248 Estándares Máximos Permisibles para Emisión de Ruido

SECTOR	SUBSECTOR	MÁXIMOS PERMISIBLES RUIDO AMBIENTAL dBA	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	50
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes. Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.	65	55

SECTOR	SUBSECTOR	MÁXIMOS PERMISIBLES RUIDO AMBIENTAL dBA	
		Día	Noche
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.	80	75
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: Res. 627 del 07 de abril del 2006 del actual MADS

- “Parágrafo Primero: Cuando la emisión de ruido en un sector o subsector, trascienda a sectores o subsectores vecinos o inmersos en él, los estándares máximos permisibles de emisión de ruido son aquellos que corresponden al sector o subsector más restrictivo.
- Parágrafo Segundo: Las vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales, en general las vías, son objeto de medición de ruido ambiental, más no de emisión de ruido por fuentes móviles.
- Parágrafo Tercero: Las vías troncales, vías arterias y vías principales, en áreas urbanas o cercanas a poblados o asentamientos humanos, no se consideran como subsectores inmersos en otras zonas o subsectores”. Estándares Máximos Permisibles de Ruido Ambiental

En la Tabla 249 del presente informe, se presentan los niveles máximos permisibles de Emisión de Ruido de acuerdo con lo establecido en la Resolución 627 de 2006 en el Artículo 9 del Capítulo II:

Tabla 249 Estándares Máximos Permisibles para Ruido Ambiental

SECTOR	SUBSECTOR	MÁXIMOS PERMISIBLES RUIDO AMBIENTAL, dBA	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50

SECTOR	SUBSECTOR	MÁXIMOS PERMISIBLES RUIDO AMBIENTAL, dBA	
		Día	Noche
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70	
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: Res. 627 del 07 de abril del 2006 del actual MADS.

5.1.12.4.8. Análisis de Resultados

- Mediciones Día Ordinario

En la Tabla 250 se presentan los resultados corregidos del nivel de presión sonora equivalente ponderado A total (LAeq) obtenidos en el día ordinario para cada horario de medición y se compara con los valores máximos establecidos en la Resolución 627 de 2006 para el uso del suelo clasificado. (ver planos G-LAB-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2531-A0 y G-LAB-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2532-A0)

- Sector C.

Tabla 250 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Ordinario

PUNTO	LRAeq Ruido día Corregido Día (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Día	Excedencia con respecto a la norma	LRAeq Ruido Corregido Noche (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LAeq Noche	Excedencia con respecto a la norma
Punto1 EDS Melgar	98,1	80	123%	82,7	70	118%
Punto2 Boquerón	86,1	80	108%	70,7	70	101%
Punto3 La Cascada	72,1	80	90%	70,3	70	100%
Punto 4 Caserío	71,7	80	90%	70,9	70	101%
Punto5 Zodme	72,3	80	90%	78,5	70	112%

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Figura 300 Resultado de niveles sonoros día ordinario – Horario diurno

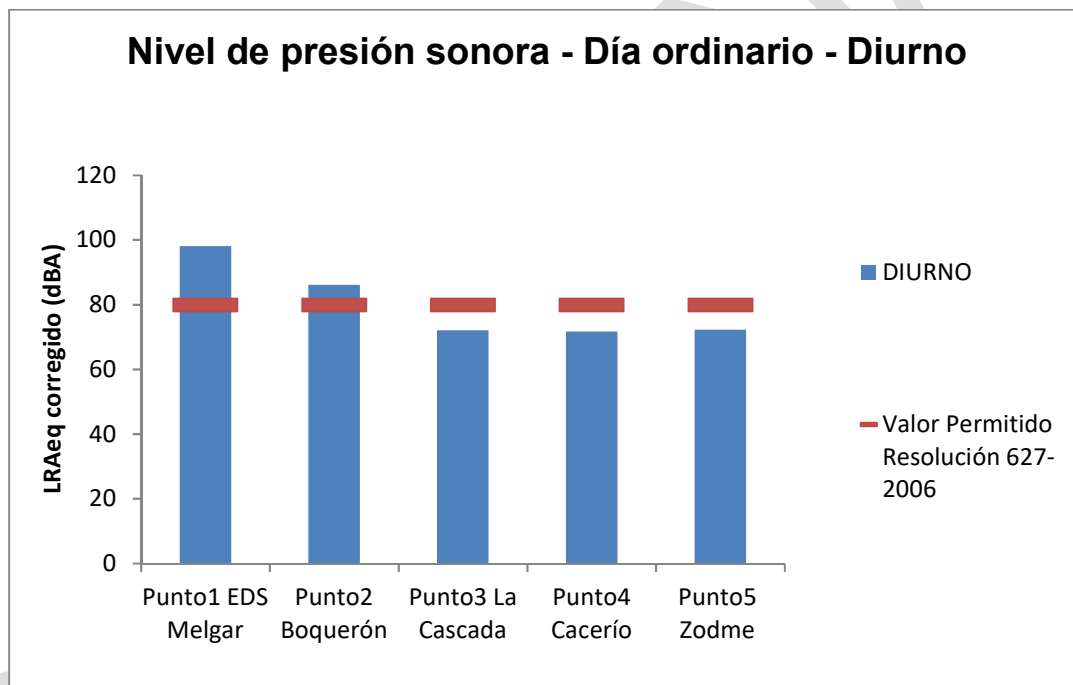
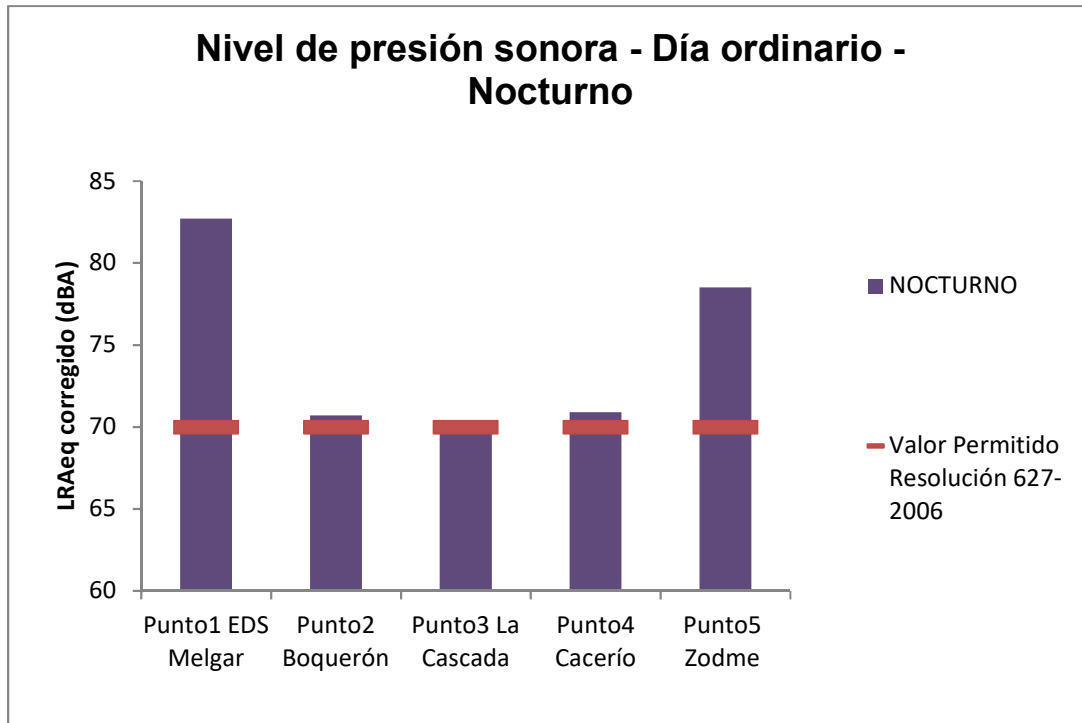


Figura 301 Resultado de niveles sonoros día ordinario – Horario nocturno



En la Tabla 251 y Figura 302 se pueden observar los resultados de las mediciones de ruido ambiental (día ordinario) comparado con los niveles de presión sonora establecidos para el uso del suelo clasificado en la zona. Para el horario diurno, los puntos EDS Melgar y Boquerón, superan los límites sonoros establecidos por la normatividad, para el horario nocturno, todas las estaciones exceden el valor de 70 dBA, establecido en la norma, de acuerdo a las fuentes identificadas en las bitácoras de campo, los niveles de ruido son influenciados por el ruido generado por flujo constante de vehículos livianos y de carga por la Ruta Nacional 40 E, autopista Girardot Bogotá D.C.

- Mediciones día Dominical

A continuación en la Tabla 251 se presentan los resultados corregidos del nivel de presión sonora equivalente ponderado A total (LRAeq) obtenidos en el día dominical para cada horario de medición y se compara con los valores máximos establecidos en la Resolución 627 de 2006 para el uso del suelo clasificado. (Ver planos G-LAB-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2533-A0 y G-LAB-000-UF2E-XXXXX-A-PDE-INGET-2534-A0)

- Sector C.

Tabla 251 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Dominical

PUNTO	LRAeq Ruido día Corregido Día (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LRAeq Día	Excedencia con respecto a la norma	LRAeq Ruido Corregido Noche (dBA)	Valor Permitido Resolución 627-2006 LRAeq Noche	Excedencia con respecto a la norma
Punto1 EDS Melgar	73,9	80	92%	58,9	70	84%
Punto2 Boquerón	74,4	80	93%	62,2	70	89%
Punto3 La Cascada	77,4	80	97%	62,3	70	89%

Punto4 Cacerío	73,5	80	92%	58,7	70	84%
Punto5 Zodme	75,5	80	94%	69,3	70	99%

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

En la Figura 302 y Figura 303 se pueden observar los resultados de las mediciones de ruido ambiental obtenidos en el día dominical comparado con la normatividad vigente. Se observa que todos los puntos para los días dominicales cumplen con el límite permisible para la actividad industrial; de igual manera que para la jornada ordinaria las fuentes identificadas corresponden al flujo constate de vehículos a excepción que los de carga pesada transitan en menor cantidad.

Figura 302 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Dominical - horario diurno

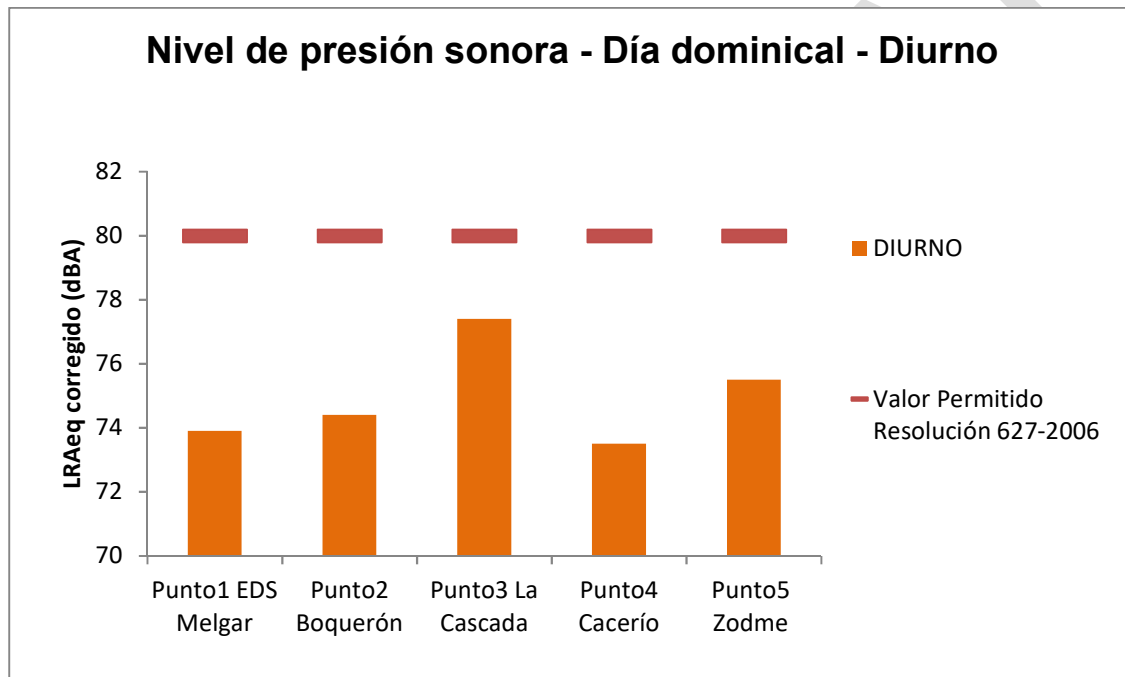
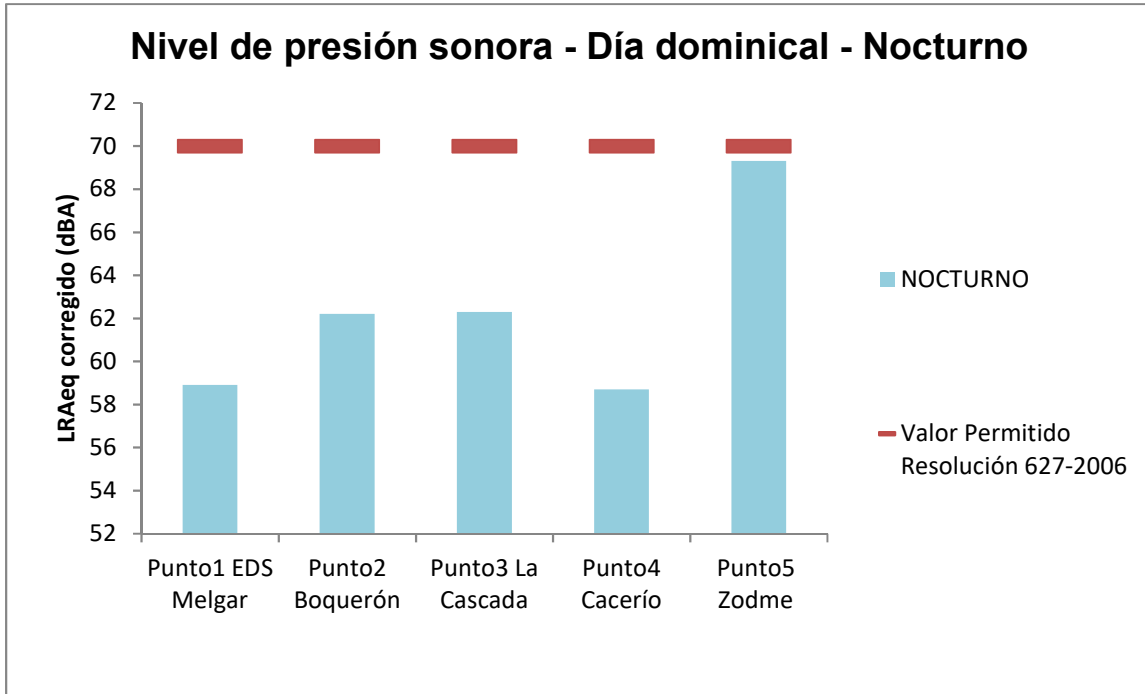


Figura 303 Resultados monitoreo de ruido ambiental – Dominical - horario nocturno



PRELIMINAR