

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA
SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO
AUTOPISTA AL MAR 1.**



Elaborado para:



Elaborado por:



**Bogotá D.C.
Febrero de 2017**



 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	23
5.1 MEDIO ABIÓTICO	23
5.1.1 Geología	23
5.1.1.1 Aspectos conceptuales y metodológicos	23
5.1.1.2 Caracterización geológica regional	27
5.1.1.3 Caracterización geológica Unidad funcional 1	41
5.1.1.4 Tectónica Unidad funcional 1 (UF1)	91
5.1.1.5 Caracterización geológica tramo túnel	97
5.1.1.6 Sectorización geológica y geomorfológica	115
5.1.2 Geomorfología.....	158
5.1.2.1 Aspectos conceptuales y metodológicos	158
5.1.2.2 Geoformas asociadas a unidades geomorfológicas	160
5.1.2.3 Análisis multitemporal de procesos morfodinámicos en el área de influencia	173
5.1.3 Paisaje.....	196
5.1.3.1 Unidades de Paisaje Local	197
5.1.3.2 Descripción del Proyecto Frente al Componente Paisajístico	197
5.1.3.3 Calidad Visual del Paisaje	209
5.1.3.4 Calidad Visual del Paisaje Urbano	214
5.1.3.5 Análisis de la Visibilidad	217
5.1.3.6 Sitios de Interés Paisajístico	219
5.1.3.7 Percepción de la Comunidad Como referente de su Entorno Físico	220
5.1.4 Suelos y usos de la Tierra.....	220
5.1.4.1 Análisis Fisiográfico	222
5.1.4.2 Suelos del Relieve Montañoso Fluvio-gravitacional	229
5.1.4.3 Valle Aluvial Intramontano de los Ríos Cauca y Aurrá	233
5.1.4.4 Capacidad de Uso del Suelo	235
5.1.4.5 Uso Actual del Suelo	239
5.1.4.6 Uso Reglamentado del Suelo	242
5.1.4.7 Conflictos de uso del Suelo	252
5.1.4.8 Análisis de vulnerabilidad del recurso suelo en los Túneles	257
5.1.5 Hidrología.....	261
5.1.5.1 Introducción	261
5.1.5.2 Alcance de los estudios	262
5.1.5.3 Fuentes de información	262
5.1.5.4 Área de Influencia	267

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

5.1.5.5	Tramos en Túnel	311
5.1.6	Calidad del agua	330
5.1.6.1	Cuerpos de Agua Continentales	331
5.1.7	Usos del agua.....	413
5.1.7.1	Identificación de Usos Actuales y Proyectados	413
5.1.7.2	Inventario de todos los usos y usuarios y sus demandas hídricas	421
5.1.7.3	Usuarios aprobados por CORANTIOQUIA	432
5.1.7.4	Conflictos Disponibilidad y Uso del agua	456
5.1.8	Hidrogeología	457
5.1.8.1	Información Secundaria	458
5.1.8.2	Inventario de puntos de agua subterráneas	460
5.1.8.3	Unidades Hidrogeológicas	482
5.1.8.4	Zonas de recarga y descarga.	495
5.1.8.5	Direcciones de Flujo	501
5.1.8.6	Modelo Hidrogeológico Conceptual	506
5.1.8.7	Modelo matemático del flujo de agua subterránea para el tramo del túnel	529
5.1.8.8	Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación	553
5.1.8.9	Análisis de Riesgo a la contaminación del Acuífero por obras planteadas.	560
5.1.9	Geotecnia.....	567
5.1.9.1	Geotecnia para tramo túnel (Unidad Funcional 3)	567
5.1.9.2	Geotecnia para Unidad Funcional 1	583
5.1.10	Atmósfera	622
5.1.10.1	Meteorología	622
5.1.10.2	Identificación de Fuentes de Emisión	643
5.1.10.3	Potenciales receptores en el área de influencia	645
5.1.10.4	Calidad del Aire	646
5.1.10.5	Ruido	665
5.1.11	Amenazas Naturales	688
5.1.11.1	Aspectos básicos a tener en cuenta en la zonificación de las amenazas naturales	688
5.1.11.2	Técnicas utilizadas para la zonificación de amenazas naturales	690
5.1.11.3	Método de trabajo utilizado para la zonificación de las amenazas naturales	693
5.1.11.4	Amenaza Sísmica	693
5.1.11.5	Amenaza por Licuación	694
5.1.11.6	Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa	701
5.1.11.7	Amenaza por avenidas torrenciales	702
5.1.11.8	Amenaza por inundaciones	715
5.1.11.9	Amenaza volcánica	720

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
Tabla 5-1 Información geológica disponible.....	24
Tabla 5-2 Fotografías aéreas interpretadas.....	27
Tabla 5-3 Unidades litológicas.....	32
Tabla 5-4 Estructuras más representativas en el área de influencia.....	93
Tabla 5-5 sondeos ejecutados para el tramo Túnel de occidente.....	97
Tabla 5-6 Grados de meteorización de rocas, según clasificación ISRM.....	101
Tabla 5-7 Accidentes tectónicos identificados en el tramo del túnel, sobre el Stock de Altavista.....	112
Tabla 5-8 Listado de accidentes tectónicos en la unidad Pzes.....	112
Tabla 5-9 Inventario de procesos morfodinámicos asociados a la vía actual, tramo K0+000 – K3+040.....	121
Tabla 5-10 Inventario de procesos morfodinámicos asociados a la vía actual, tramo K3+040 – K7+280.....	135
Tabla 5-11 inventario de procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa, tramo K7+280 – K10+800.....	150
Tabla 5-12 Fotografías aéreas interpretadas.....	159
Tabla 5-13 Unidades Geomorfológicas.....	162
Tabla 5-14 Leyenda fisiográfica de paisaje.....	201
Tabla 5-15 Zonas Homogéneas para las Unidades Funcionales 1 y 3.....	204
Tabla 5-16 Unidades de Paisaje Natural.....	205
Tabla 5-17. Criterios de valroecacion y puntuación para evaluar la calidad visual del paisaje BLM (1980).....	210
Tabla 5-18. Clases utilizadas para evaluar la calidad visual y puntaje.....	211
Tabla 5-19 Evaluación de la calidad visual para cada unidad de paisaje.....	212
Tabla 5-20 Distribución Espacial de la Calidad Paisajística.....	214
Tabla 5-21. Homologacion para paisaje urbano del método indirecto (BLM, 1980).....	215
Tabla 5-22. Escala de notación para clasificacion de la calidad visual urbana.....	216
Tabla 5-23 Evaluación de la Calidad Visual de las Unidades de Paisaje Urbano.....	217
Tabla 5-24 Leyenda Fisiográfica de Suelos.....	226
Tabla 5-25 clases y sub-clases agrológicas en el área de influencia.....	237
Tabla 5-26 Vocación de Uso del Suelo en el Área de influencia.....	238
Tabla 5-27 Uso Actual del Suelo en el Área de influencia.....	240
Tabla 5-28 Uso reglamentado del suelo en el área de influencia del tramo Túnel-Santa Fe.....	244
Tabla 5-29 Codificación de los Grados de Conflictos de Usos del Suelo.....	253

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Tabla 5-30 Matriz de determinación de Conflicto de Uso del Suelo	254
Tabla 5-31 Conflictos de Uso del Suelo	255
Tabla 5-32. Estaciones utilizadas en el análisis hidrológico	264
Tabla 5-33 Relación de las estaciones utilizadas en el análisis climatológico para estimación de caudales	266
Tabla 5-34 Cuerpos Loticos identificados en el proyecto vial UF 3 y 1	270
Tabla 5-35 Cuencas hidrográficas en la zona de estudio.....	283
Tabla 5-36 Cuencas menores zona de estudio.....	285
Tabla 5-37. Frecuencia de Caudales Máximos Estación Penalta	291
Tabla 5-38 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método Racional.....	297
Tabla 5-39 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método SCS	298
Tabla 5-40 Caudales característicos (m ³ /s) en la cuenca del río Aurrá– Estación Penalta	301
Tabla 5-41. Balance Hídrico a nivel mensual de largo plazo – estación Cañafisto	302
Tabla 5-42. Caudales medios estimados en cuencas de sitio de cruce (m ³ /s).....	303
Tabla 5-43 Caudales mínimos estimados en cuencas de sitio de cruce (m ³ /s).....	305
Tabla 5-44. Características morfométricas de las principales cuencas menores	309
Tabla 5-45. Principales parámetros morfométricos de las cuencas menores	310
Tabla 5-46. Red hidrográfica sector segundo Túnel de Occidente.....	311
Tabla 5-47. Cuerpos de agua loticos identificados en el sector de túnel.....	314
Tabla 5-48. Posibles sistemas loticos sector de túnel entre las coordenadas X: 1156219,63/ Y: 1189340,91 y X: 1153745,94 y Y: 1191286,8	320
Tabla 5-49 Rendimientos medios mensuales (m ³ /s km ²) – Estación Penalta (Río Aurrá). 322	322
Tabla 5-50 Caudales medios mensuales (l/s) – Quebrada sitio túnel	322
Tabla 5-51 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método Racional.....	327
Tabla 5-52 Caudales mínimos mensuales (l/s) – Quebradas sitio Túnel.....	329
Tabla 5-53. Georreferenciación de las estaciones de muestreo UF 3.....	332
Tabla 5-54. Georreferenciación de las estaciones de muestreo UF1	333
Tabla 5-55. Métodos y parámetros evaluados.....	336
Tabla 5-56. Requerimientos de manipulación y preservación de la muestra	337
Tabla 5-57. Descripción de puntos de monitoreo UF 3.....	338
Tabla 5-58. Descripción de puntos de monitoreo UF 1.....	346
Tabla 5-59. Resultados <i>In situ</i> y de laboratorio de los cuerpos de agua superficial.....	357
Tabla 5-60. Resultados <i>In situ</i> y de laboratorio de los cuerpos de agua superficial.....	375
Tabla 5-61. Cálculo del índice de Langelier.....	397
Tabla 5-62. Cálculo del índice de Langelier.....	398
Tabla 5-63. Capacidad buffer en cuerpos de agua superficial analizados UF3.....	399
Tabla 5-64. Capacidad buffer en cuerpos de agua superficial analizados UF1	399
Tabla 5-65. Ponderación asignada a las variables fisicoquímicas.....	400
Tabla 5-66. Resultados índices de calidad de agua ICA	401
Tabla 5-67. Índice de calidad de aguas superficiales Ica.	403
Tabla 5-68 Categoría y descriptor del IACAL	404
Tabla 5-69. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia ...	411
Tabla 5-70. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia ...	412
Tabla 5-71. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia ...	412

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Tabla 5-72. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia ...	413
Tabla 5-73. Dotación neta asumida para el cálculo de la demanda.....	414
Tabla 5-74. Proyección de la demanda de agua potable para habitantes de la cuenca del río Aburrá.....	414
Tabla 5-75. Demanda hídrica proyectada para la zona rural de la cuenca	415
Tabla 5-76. Demanda de agua en la cuenca de las quebrada La Clara y La Sucia	416
Tabla 5-77. Demanda total de agua en la cuenca del río Aurra.....	417
Tabla 5-78. Unidades de manejo para la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia....	418
Tabla 5-79. Usuarios identificados en el trabajo de campo – cuerpos loticos.....	426
Tabla 5-80. Usuarios identificados en el trabajo de campo en la zona correspondiente el Tunel de Occidente- Cuerpos Loticos	429
Tabla 5-81. Concesiones otorgadas en la cuenca del río Aburrá.....	432
Tabla 5-82. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca del río Aburrá	434
Tabla 5-83. Concesiones otorgadas en la cuenca de las quebradas La Seca – La Sucia....	435
Tabla 5-84. Concesiones otorgadas en la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia municipio de Medellín.....	439
Tabla 5-85. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia en los municipios de Ebéjico, San Jerónimo y Sopetrán.....	444
Tabla 5-86. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia en el municipio de Medellín	445
Tabla 5-87. Concesiones otorgadas en la cuenca del río Aurra.....	451
Tabla 5-88. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca del río Aurra	454
Tabla 5-89 Puntos de agua subterránea inventariados para las Unidades Funcionales 1 y 3.	462
Tabla 5-90 Puntos de agua subterránea inventariados para el área del túnel.	465
Tabla 5-91 Resultados de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas subterráneas	467
Tabla 5-92 Parámetros analizados en el laboratorio.....	471
Tabla 5-93 Unidades Hidrogeológicas presentes en el área de influencia	484
Tabla 5-94 Relación de áreas de las unidades hidrogeológicas para el área de influencia	487
Tabla 5-95 Relación de áreas de las unidades hidrogeológicas para el área de influencia	488
Tabla 5-96 Unidades Hidrogeológicas en el área del túnel	492
Tabla 5-97 Variables y evaluación de zonas de recarga.....	497
Tabla 5-98 Datos estructurales de las principales fallas y diaclasas identificadas en la galería piloto utilizada para la caracterización estructural del área de influencia	514
Tabla 5-99 Coordenadas de los puntos centrales de las Tomografías.....	515
Tabla 5-100 Parámetros de adquisición por tomografía.....	517
Tabla 5-101 Cálculo de la recarga (infiltración) anual en el	533
Tabla 5-102 Tipos de terreno considerados en el modelo.....	534
Tabla 5-103 Lectura de caudales infiltrados en el Túnel de Occidente.....	534
Tabla 5-104 Permeabilidad de los distintos materiales	548
Tabla 5-105 Caudales aforados en el túnel existente.	549
Tabla 5-106 Caudales en el túnel existente	550
Tabla 5-107 Caudales de infiltración en el Túnel de Occidente durante la fase de	

Construcción.....	551
Tabla 108 Caudales de infiltración en el Túnel de Occidente durante la fase de explotación	552
Tabla 5-109 Valoraciones parámetros método GOD	554
Tabla 5-110 Distribución del Parámetro “G” en el área de estudio	555
Tabla 5-111 Valor de parámetro “O” asignado	556
Tabla 5-112 Valor del Parámetro “D” asignados	557
Tabla 5-113 Vulnerabilidad a la Contaminación de sistemas acuíferos “GOD”	558
Tabla 5-114 Clasificación adoptada por la evaluación del Factor de peligrosidad (Fp)	563
Tabla 5-115 Clasificación adoptada por la evaluación del Factor de contacto (Fc).....	564
Tabla 5-116 Cálculo del riesgo (R) mínimo y máximo posibles y del riesgo normalizado (Rn), entre 0 y 1	565
Tabla 5-117 Clasificación del riesgo para la zona de estudio.	565
Tabla 5-118 Perforaciones realizadas durante el estudio de la segunda calzada del túnel de Occidente.....	569
Tabla 5-119 Clasificación Geotécnica para la Zona del Túnel de Occidente	572
Tabla 5-120 Resumen de la zonificación geotécnica del túnel, Unidad Funcional 3 (UF3)	573
Tabla 5-121 Categoría y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables	586
Tabla 5-122 Valores de susceptibilidad por litología.....	587
Tabla 5-123 Valores de susceptibilidad por geomorfología.....	591
Tabla 5-124 Valores de susceptibilidad por hidrogeología.....	594
Tabla 5-125 Valores de susceptibilidad por cobertura de la tierra	597
Tabla 5-126 Valores de susceptibilidad por densidad de drenajes.....	600
Tabla 5-127 Ponderación de fallas según su tipo	602
Tabla 5-128 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas	602
Tabla 5-129 Valores de susceptibilidad por pendientes	605
Tabla 5-130 Susceptibilidad de procesos morfodinámicos	607
Tabla 5-131 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno	610
Tabla 5-132 Intervalos de categoría de precipitación.....	613
Tabla 5-133 Intervalos de categorías de sismicidad.....	616
Tabla 5-134 Categorías para la zonificación geotécnica	617
Tabla 5-135 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica.....	619
Tabla 5-136 Estaciones climatológicas seleccionadas en la zona de estudio.....	622
Tabla 5-137. Periodo de reporte de estaciones IDEAM para análisis de temperatura	625
Tabla 5-138 Valores de presión atmosférica	628
Tabla 5-139. Periodo de reporte de estaciones IDEAM para análisis de precipitación	630
Tabla 5-140. Valores de precipitación total media mensual multianual (mm)	630
Tabla 5-141. Valores de humedad relativa (%).....	634
Tabla 5-142 Valores de humedad relativa media, máxima y mínima mensual multianual (%)	635
Tabla 5-143. Valores medios mensuales de velocidad del viento (m/s)	636
Tabla 5-144. Valores medios mensuales de brillo solar	638
Tabla 5-145 Valores medios mensuales de nubosidad.....	639

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Tabla 5-146. Valores medios mensuales multianuales de evaporación	640
Tabla 5-147. Centros Poblados.....	645
Tabla 5-148. Puntos de monitoreo de calidad del aire	648
Tabla 5-149. Índices de calidad del aire diarios estación 1	662
Tabla 5-150. Índices de calidad del aire diarios estación 2	663
Tabla 5-151. Índices de calidad del aire diarios estación 3	663
Tabla 5-152. Índices de calidad de Aire acumulados en los puntos evaluados.....	663
Tabla 5-153. Rangos en los que han sido clasificados los valores del ICA de acuerdo con el color asignado para facilitar su interpretación	663
Tabla 5-154. Índices de calidad del aire diarios estación 1	664
Tabla 5-155. Índices de calidad del aire diarios estación 2	664
Tabla 5-156. Índices de calidad del aire diarios estación 3	664
Tabla 5-157. Índices de calidad de Aire acumulados en los puntos evaluados.....	664
Tabla 5-158. Asentamientos identificados	668
Tabla 5-159 Puntos de medición de ruido ambiental	669
Tabla 5-160. Datos generales de la medición.....	671
Tabla 5-161. Equipos utilizados para la medición	671
Tabla 5-162 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dBA	673
Tabla 5-163 Principales variables meteorológicas – Tiempo ejecución estudio, día hábil.....	675
Tabla 5-164 Principales variables meteorológicas – Tiempo ejecución estudio, día no hábil.	676
Tabla 5-165 Descripción de puntos de monitoreo.....	677
Tabla 5-166 Rangos de valoración de amenaza por licuación	697
Tabla 5-167 Valores de susceptibilidad por características litológicas.....	697
Tabla 5-168 Valores de susceptibilidad por características geomorfológicas.....	698
Tabla 5-169 Intervalos y categorías de la amenaza por licuación.....	699
Tabla 5-170Categorías de evaluación para la precipitación total anual el área de influencia	704
Tabla 5-171 Categorías de evaluación para la Densidad de drenaje en el área de influencia	707
Tabla 5-172 Categorías de evaluación para el tiempo de concentración en el área de influencia	710
Tabla 5-173 Intervalos y categorías de la amenaza por avenidas torrenciales.....	712
Tabla 5-174 Tipos de amenaza por avenidas torrenciales en las cuencas del área de influencia	713
Tabla 5-175 Intervalos y categorías de amenaza por inundaciones	717
Tabla 5-176 Susceptibilidad a inundaciones por características geomorfológicas	717
Tabla 5-177 Categorías de evaluación para la precipitación total anual en las cuencas de la zona de estudio	719
Tabla 5-178 Amenaza por inundación.....	719

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 5-1 Vertiente occidental de Cordillera Central en el área de influencia	28
Figura 5-2 Sistema de fallas que afectan el área de estudio	29
Figura 5-3 Geología del área de estudio, Unidades Funcionales 1 y 3	31
Figura 5-4 Sondeos de exploración de suelos en Neis granítico de Palmitas (Pgnp).....	44
Figura 5-5 Influencia estructural en Granito néisico de Palmitas (Pgnp).....	48
Figura 5-6 Sondeos de exploración de suelos en Esquistos cuarzo sericíticos, Pzes	50
Figura 5-7 Influencia estructural en Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes)	53
Figura 5-8 Influencia de fallas San Jerónimo – La Sucia en Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes)	54
Figura 5-9 Influencia estructural en trazo de falla San Jerónimo, afecta Esquistos verdes (Pev) y Gabros de Romeral (Jgr).....	57
Figura 5-10 Perfil de meteorización de Gabros de Romeral (Jgr).....	59
Figura 5-11 Sondeos de exploración de suelos en Gabros de Romeral (Jgr).....	60
Figura 5-12 Sondeos de exploración de suelos en KvQG	63
Figura 5-13 Influencia estructural en rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande (KvQG).....	65
Figura 5-14 Sondeos de exploración en depósitos coluvio aluviales y sedimentos Formación Amagá	68
Figura 5-15 Influencia estructural en sedimentos de Formación Amagá (Ngas).....	69
Figura 5-16 Sondeo exploratorio en depósitos de deslizamiento (K2+560)	81
Figura 5-17 Perfil estratigráfico lleno antrópico La Volcana.....	85
Figura 5-18 Sondeo de exploración en lleno antrópico (K1+284 – K1+466).....	86
Figura 5-19 Llenos antrópicos La Aldea y El Hormiguero	87
Figura 5-20 Sondeo de exploración en lleno antrópico (K3+448 – K3+700).....	88
Figura 5-21 Sondeo de exploración de suelos en lleno antrópico K4+300.....	90
Figura 5-22 Representación estereográfica equiareal sobre planilla de Schmidt, hemisferio inferior	92
Figura 5-23 Histograma de número de casos para cada familia.....	93
Figura 5-24 Representación estereográfica equiareal de los planos S1 y S0 por unidades litológicas	94
Figura 5-25 Geología túnel San Jerónimo.....	100
Figura 5-26 Perfiles de meteorización en Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes), realizados en el tramo túnel.....	102

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Figura 5-27 Ubicación de sondeos sobre Esquistos Cuarzo sericíticos (Pzes).....	103
Figura 5-28 Ubicación de Sondeos sobre Stock de Altavista (Kida)	105
Figura 5-29 Perfiles de meteorización en Stock de Altavista (Kida), realizados en el tramo túnel	106
Figura 5-30 Suelos residuales y mantos de alteración en sondeos realizados en tramo túnel	108
Figura 5-31 Perfil geológico del túnel, costado SE	110
Figura 5-32 Perfil geológico del túnel, zona de contacto Kida y Pzes	111
Figura 5-33 Perfil geológico del túnel, costado NW	111
Figura 5-34 Perfil simplificado del Túnel de Occidente	114
Figura 5-35 Procesos morfodinámicos identificados en Granito néisico de Palmitas (Pgnp	119
Figura 5-36 Valle estrecho en V, quebrada La Frisola, en rocas del Granito néisico de Palmitas	130
Figura 5-37 Llenos antrópicos en el tramo K01+290 – K01+470, K01+623 – K01+679 .	134
Figura 5-38 Cruce de la vía a través de la quebrada Salto y Pisquines	141
Figura 5-39 Cruce de la nueva vía por parte terminal de depósito de deslizamiento (Qd)	144
Figura 5-40 Cruce de la vía por depósito de deslizamiento, K03+928 – K03+955	145
Figura 5-41 Depósitos de ladera en K5+750 – K5+950 y K6+000 – K6+050	146
Figura 5-42 Mapa geomorfológico Unidad Funcional 1	161
Figura 5-43 Morfodinámica tramo K00+000 – K03+039, Periodo 2.010 – 2.011	176
Figura 5-44 Morfodinámica en subtramo K00+500 – K00+900 de la vía existente.....	177
Figura 5-45 Morfodinámica en tramo K03+039 – K07+280	178
Figura 5-46 Morfodinámica en tramo K07+280 – K10+800	179
Figura 5-47 Morfodinámica en tramo K10+800 – K16+333	180
Figura 5-48 Morfodinámica en tramo K16+333 K17+800	181
Figura 5-49 Morfodinámica, parte NW de Unidad Funcional 3 (UF3), 2012-2015	182
Figura 5-50 Morfodinámica salida túnel de occidente (K00+000) – K03+039, 2015	183
Figura 5-51 Evolución de la morfodinámica en el K00+500 – K00+900 (abscisado vía existente).....	184
Figura 5-52 Evolución de la morfodinámica en el K02+300 – K03+039 (abscisado vía nueva)	184
Figura 5-53 Morfodinámica tramo K03+039 – K07+280.....	185
Figura 5-54 Evolución de la morfodinámica en el K04+000 – K04+800 (abscisado vía nueva)	186
Figura 5-55 Geología en tramo K04+000 – K04+800	186
Figura 5-56 Morfodinámica tramo K07+280 – K10+800.....	187
Figura 5-57 Evolución morfodinámica de subtramo K04+7280 – K09+130.....	189
Figura 5-58 Morfodinámica tramo K10+800 – K16+333.....	190
Figura 5-59 Morfodinámica tramo K16+333 – K17+800.....	191
Figura 5-60 Distribución espacial de las unidades de paisaje	203
Figura 5-61 Unidad A4-Agroforestal	207
Figura 5-62 Unidad A1-Ganadería	208
Figura 5-63 Unidad A6-Ganadería.....	209

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Figura 5-64 Calidad visual del paisaje	213
Figura 5-65 Visibilidad del área de influencia	218
Figura 5-66 Imagen Palsar Alos 1	222
Figura 5-67 Distribución espacial de las unidades cartográficas de suelos.....	225
Figura 5-68 Suelos típicos de la Asociación A1	229
Figura 5-69 Suelos típicos de la Asociación B1.....	233
Figura 5-70 Suelos típicos de la asociación B3.....	235
Figura 5-71 Estructura de la nomenclatura de las Clases Agrologicas	237
Figura 5-72 Vocación de uso del suelo	239
Figura 5-73 Uso actual del suelo	241
Figura 5-74 Conflicto de uso del suelo.....	256
Figura 5-75 Clases agrológicas en la UF 3.....	258
Figura 5-76. Localización estaciones hidrométricas - zona de estudio.....	265
Figura 5-77. Localización estaciones climatológicas - zona de estudio.....	267
Figura 5-78. Red de drenaje en el área de estudio.....	269
Figura 5-79. Localización cuencas menores en sitios de cruce de la zona de estudio	284
Figura 5-80. Caudales máximos mensuales multianuales - Estación Penalta (Río Aurrá)	290
Figura 5-81 Análisis Caudales Máximos Estación Penalta.....	291
Figura 5-82 Hidrograma Unitario Adimensional del U.S.S.C.S.	295
Figura 5-83 Curva de duración de Caudales de corrientes.....	299
Figura 5-84. Caudales medios mensuales multianuales - Estación Penalta (Río Aurrá) ...	300
Figura 5-85 Curva de Duración de Caudales (CDC) del Río Aurrá – Estación Penalta	300
Figura 5-86 Balance Hídrico mensual – estación Cañafisto.....	302
Figura 5-87. Caudales medios mensuales multianuales - Estación Penalta (Río Aurrá) ...	304
Figura 5-88. Mapa de zonas susceptibles a la inundación (IDEAM, 2012).....	307
Figura 5-89. Localización red hidrográfica sector segundo Túnel de Occidente.....	312
Figura 5-90 Caudales medios mensuales – Quebradas sitio túnel.....	322
Figura 5-91 Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S.	326
Figura 5-92 Localización red hidrográfica sector segundo Túnel de Occidente.....	330
Figura 5-93. Estaciones de muestreo. UF 3.....	333
Figura 5-94. Estaciones de muestreo UF 1	334
Figura 5-95. Temperatura de los cuerpos de agua superficial.....	360
Figura 5-96. pH de los cuerpos de agua superficial	361
Figura 5-97. Oxígeno disuelto, DBO y DQO de los cuerpos de agua superficial.....	362
Figura 5-98. Conductividad de los cuerpos de agua superficial.....	363
Figura 5-99. Diferentes tipos de sólidos.	364
Figura 5-100. Turbiedad de los cuerpos de agua superficial.....	364
Figura 5-101. Acidez, Alcalinidad, Dureza cálcica y Dureza total de los cuerpos de agua superficial	365
Figura 5-102 Fosforo total de los cuerpos de agua superficial.....	366
Figura 5-103. Nitrógeno total de los cuerpos de agua superficial	366
Figura 5-104 Aceites y grasas de los cuerpos de agua superficial	367
Figura 5-105. Bario y Níquel de los cuerpos de agua superficial.....	368
Figura 5-106 Metales presentes en los cuerpos de agua superficial.....	372

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Figura 5-107. Coliformes fecales de los cuerpos de agua superficial	373
Figura 5-108. Coliformes totales de los cuerpos de agua superficial	373
Figura 5-109. Temperatura de los cuerpos de agua superficial	378
Figura 5-110. pH de los cuerpos de agua superficial	379
Figura 5-111. Oxígeno disuelto de los cuerpos de agua superficial	379
Figura 5-112. DBO y DQO de los cuerpos de agua superficial	380
Figura 5-113. Conductividad de los cuerpos de agua superficial	381
Figura 5-114. Sólidos disueltos-suspendidos	382
Figura 5-115. Turbiedad de los cuerpos de agua superficial	383
Figura 5-116. Color verdadero de los cuerpos de agua superficial	384
Figura 5-117. Acidez, Alcalinidad, Dureza cálcica y Dureza total de los cuerpos de agua superficial	385
Figura 5-118. Fósforo total de los cuerpos de agua superficial	385
Figura 5-119. Nitrógeno total de los cuerpos de agua superficial	386
Figura 5-120 Fenoles totales de los cuerpos de agua superficial	387
Figura 5-121. Aceites y grasas de los cuerpos de agua superficial	387
Figura 5-122. Arsénico de los cuerpos de agua superficial	388
Figura 5-123. Bario de los cuerpos de agua superficial	389
Figura 5-124. Cadmio de los cuerpos de agua superficial	389
Figura 5-125. Cobre de los cuerpos de agua superficial	390
Figura 5-126. Cromo total de los cuerpos de agua superficial	390
Figura 5-127. Mercurio de los cuerpos de agua superficial	391
Figura 5-128. Níquel de los cuerpos de agua superficial	391
Figura 5-129. Plata de los cuerpos de agua superficial	392
Figura 5-130. Plomo de los cuerpos de agua superficial	393
Figura 5-131. Selenio de los cuerpos de agua superficial	393
Figura 5-132. Zinc de los cuerpos de agua superficial	394
Figura 5-133. Coliformes fecales de los cuerpos de agua superficial	395
Figura 5-134. Coliformes totales de los cuerpos de agua superficial	395
Figura 5-135. IACAL en condiciones de año medio UF 3	405
Figura 5-136. IACAL en condiciones de año medio UF 1	406
Figura 5-137. Relación precipitación vs caudales, (variables climatológicas vs	409
Figura 5-138. Comportamiento estacional de los sólidos suspendidos totales en series de tiempo, (valores promedio mensuales - multianuales)	410
Figura 5-139 Distribución espacial del inventario de puntos de agua	461
Figura 5-140 Distribución espacial del inventario de puntos de agua en el área del túnel	464
Figura 5-141 Comportamiento de la Temperatura	468
Figura 5-142 Comportamiento del pH	469
Figura 5-143 Comportamiento de la conductividad	470
Figura 5-144 Comportamiento del Oxígeno Disuelto	471
Figura 5-145 Comportamiento de la Acidez y alcalinidad total	473
Figura 5-146 Comportamiento Dureza Calcica y Dureza total	474
Figura 5-147 Comportamiento de DQO y DBO	475
Figura 5-148 Comportamiento de la Turbiedad	476

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Figura 5-149 Nitrógeno Total.....	477
Figura 5-150 Grasas y Aceites	478
Figura 5-151 Sólidos Disueltos totales, Sólidos Totales, Sólidos suspendidos Totales.....	479
Figura 5-152 Coliformes totales	480
Figura 5-153 Coliformes Fecales	481
Figura 5-154 Metales.....	482
Figura 5-155 Provincias Hidrogeológicas de Colombia.	483
Figura 5-156 Distribución espacial de las unidades hidrogeológicas en el área de influencia	485
Figura 5-157 Porcentaje de ocupación de las unidades hidrogeológicas.	488
Figura 5-158 Porcentaje de ocupación de las unidades hidrogeológicas	489
Figura 5-159 Distribución espacial de las Unidades Hidrogeológicas identificadas en el área del túnel	494
Figura 5-160 Potencialidad de las zonas de recarga para el área de influencia de las unidades funcionales 1 y 3	499
Figura 5-161 Potencialidad de las zonas de recarga para el área del túnel	501
Figura 5-162 Isopiezas del área de sustracion del DMI.	502
Figura 5-163 Definición de las direcciones de flujo	503
Figura 5-164 Direcciones de Flujo en el Área de estudio	504
Figura 5-165 Direcciones de flujo para el área del túnel (Unidad funcional 3).....	506
Figura 5-166 Nomenclatura adoptada en el levantamiento geológico estructural en la galería piloto (túnel existente).....	509
Figura 5-167 Sección No 1 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 1+050 del túnel proyectado.....	509
Figura 5-168 Sección No 2 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 1+500 del túnel proyectado.....	510
Figura 5-169 Sección No 3 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 2+000 del túnel proyectado.....	510
Figura 5-170 Sección No 4 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 2+500 del túnel proyectado.....	511
Figura 5-171 Sección No 5 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 3+000 del túnel proyectado.....	511
Figura 5-172 Sección No 6 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 3+500 del túnel proyectado.....	512
Figura 5-173 Sección No 7 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 4+000 del túnel proyectado.....	512
Figura 5-174 Sección No 8 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 4+500 del túnel proyectado.....	513
Figura 5-175 Sección No 9 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 4+990 del túnel proyectado.....	513
Figura 5-176 Localización de las tomografías geoeléctricas.....	515
Figura 5-177 Dispositivo Wenner	516
Figura 5-178 Resistividad de Geomateriales.....	518
Figura 5-179 Tomografía 1 (Longitud 600 metros).	519

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.2		

Figura 5-180 Tomografía 2 (Longitud 300 metros).....	520
Figura 5-181 Tomografía 3 (Longitud 300 metros).....	521
Figura 5-182 Tomografía 4 (Longitud 300 metros).....	523
Figura 5-183 Tomografía 5 (Longitud 300 metros).....	524
Figura 5-184 Modelo Hidrogeológico conceptual Unidad funcional 1 (parte 1).....	526
Figura 5-185 Modelo Hidrogeológico conceptual Unidad funcional 1 (parte 2).....	527
Figura 5-186 Modelo Hidrogeológico conceptual para la Unidad funcional 3 (túnel).....	528
Figura 5-187 Perforaciones asociadas al área del túnel.....	531
Figura 5-188 Planta del modelo de cálculo del área de influencia mostrando la discretización.....	536
Figura 5-189 Perspectiva del modelo de cálculo del área del túnel.....	537
Figura 5-190 Perfil del modelo mostrando la posición del túnel proyectado.....	537
Figura 5-191 Mapa de contornos en perspectiva de la elevación del nivel freático.....	538
Figura 5-192 Mapa de direcciones de flujo en profundidad (macizo rocoso), producto del cálculo para el área del túnel.....	540
Figura 5-193 Comportamiento hidrológico del túnel existente.....	549
Figura 5-194 Comportamiento hidrológico del Túnel de Occidente en fase de construcción.....	551
Figura 5-195 Comportamiento hidrológico del Túnel de Occidente en fase de explotación.....	552
Figura 5-196 Porcentajes de Vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.....	559
Figura 5-197 Mapa de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos.....	560
Figura 5-198 Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos para el para el área el túnel (unidad funcional 3).....	562
Figura 5-199 Mapa de Riesgo a la contaminación del Acuífero por obras planteadas.....	566
Figura 5-200 Unidades litológicas en Unidad Funcional 3, tramo túnel.....	568
Figura 5-201 Perfil Geológico dela zona de influencia del túnel de Occidente Unidad Funcional 3.....	571
Figura 5-202 Zonificación Geotécnica del túnel UF 3.....	579
Figura 5-203 Zonificación Geotécnica Túnel de Occidente, Sector 1: K00+797 – K02+500.....	580
Figura 5-204 Zonificación Geotécnica Túnel de Occidente, Sector 2: K2+500 – K3+700. Zona de Contacto entre Formaciones.....	581
Figura 5-205 Zonificación Geotécnica Túnel de Occidente, Sector 3: K3+700 – K5+366582	582
Figura 5-206 Diagrama metodológico para la obtención de la zonificación geotécnica....	585
Figura 5-207 Susceptibilidad por litología.....	589
Figura 5-208 Mapa de susceptibilidad por litología.....	590
Figura 5-209 Susceptibilidad por geomorfología.....	592
Figura 5-210 Mapa de susceptibilidad por geomorfología.....	593
Figura 5-211 Susceptibilidad por hidrogeología.....	595
Figura 5-212 Mapa de susceptibilidad por hidrogeología.....	596
Figura 5-213 Susceptibilidad por cobertura de la tierra.....	598
Figura 5-214 Mapa de susceptibilidad por cobertura de la tierra.....	599
Figura 5-215 Susceptibilidad por densidad de drenajes.....	600

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Figura 5-216 Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes.....	601
Figura 5-217 Susceptibilidad por densidad fallas.....	603
Figura 5-218 Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas	604
Figura 5-219 Susceptibilidad por pendientes	605
Figura 5-220 Mapa de susceptibilidad por pendientes	606
Figura 5-221 Susceptibilidad por Morfodinámica.....	608
Figura 5-222 Mapa de susceptibilidad por Morfodinámica	609
Figura 5-223 Susceptibilidad general del terreno.....	611
Figura 5-224 Mapa de Susceptibilidad General del Terreno.....	612
Figura 5-225 Factor detonante por precipitación	614
Figura 5-226 Factor detonante por precipitación	615
Figura 5-227 Mapa de factor detonante por sismicidad	616
Figura 5-228 Distribución de amenaza geotécnica	618
Figura 5-229 Mapa amenaza geotecnica	619
Figura 5-230. Localización de las estaciones IDEAM con información histórica de variables climatológicas	624
Figura 5-231. Temperatura Media, Máxima y Mínima mensual multianual	626
Figura 5-232. Isotermas en el área de estudio	627
Figura 5-233 Presión Atmosférica.....	629
Figura 5-234. Precipitación total media mensual multianual (mm)	631
Figura 5-235 Distribución espacial de la precipitación	633
Figura 5-236. Humedad relativa mensual multianual	634
Figura 5-237 Humedad relativa media, máxima y mínima mensual multianual	635
Figura 5-238. Velocidad del viento media mensual multianual	636
Figura 5-239. Rosa del viento estación Aeropuerto Olaya Herrera	637
Figura 5-240. Brillo Solar medio mensual multianual	638
Figura 5-241. Nubosidad media mensual multianual.....	639
Figura 5-242 Valores medios de evaporación mensual multianual.....	640
Figura 5-243 Zonificación climática en el área de influencia del proyecto	642
Figura 5-244. Puntos de muestreo de calidad de aire UF3.....	650
Figura 5-245. Puntos de muestreo de calidad de aire UF1	651
Figura 5-246. Valores diarios de PST Estación 1, en función de la precipitación.	652
Figura 5-247. Valores diarios de PST Estación 2, en función de la precipitación.	653
Figura 5-248. Valores diarios de PST Estación 3, en función de la precipitación.	653
Figura 5-249. Valores diarios de PST Estación 1, en función de la precipitación.	654
Figura 5-250. Valores diarios de PST Estación 2, en función de la precipitación.	654
Figura 5-251. Valores diarios de PST Estación 3, en función de la precipitación.	655
Figura 5-252. Valores medios de PST en estaciones 1, 2, y 3. UF 3	656
Figura 5-253. Valores medios de PST en estaciones 1, 2, y 3. UF 1	656
Figura 5-254. Valores diarios de NO ₂ Estación 1	657
Figura 5-255. Valores diarios de NO ₂ Estación 2	657
Figura 5-256. Valores diarios de NO ₂ Estación 3	658
Figura 5-257. Valores diarios de SO ₂ Estación 1	658
Figura 5-258. Valores diarios de SO ₂ Estación 2	658

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Figura 5-259. Valores diarios de SO ₂ Estación 3	659
Figura 5-260. Valores diarios de NO ₂ Estación 1	660
Figura 5-261. Valores diarios de NO ₂ Estación 2	660
Figura 5-262. Valores diarios de NO ₂ Estación 3	660
Figura 5-263. Valores diarios de SO ₂ Estación 1	661
Figura 5-264. Valores diarios de SO ₂ Estación 2	661
Figura 5-265. Valores diarios de SO ₂ Estación 3	661
Figura 5-266. Localización cartográfica de los puntos de medición de ruido ambiental UF 3	670
Figura 5-267 Localización cartográfica de los puntos de medición de ruido ambiental UF 1	670
Figura 5-268. Puntos de monitoreo corregidos en horario diurno hábil, Sector C. Ruido Intermedio Restringido, Zona Con Otros Usos Relacionados Como Vías - Sector C. Ruido Intermedio Restringido, Zona Con Uso permitidos comerciales (UF 3).....	680
Figura 5-269 Puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno hábil, Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas otros usos relacionados como vías principales - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con usos permitidos comerciales.....	681
Figura 5-270. Puntos de monitoreo corregidos en horario diurno hábil, Sector B. Tranquilidad y ruido moderado - Sector C. Ruido Intermedio Restringido, Zona Con Otros Usos Relacionados Como Vías Principales.....	682
Figura 5-271 Puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno hábil, Sector D. Zona Suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos relacionados como vías principales.....	683
Figura 5-272. Puntos de monitoreo corregidos en horario diurno No hábil, Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos relacionados como vías principales - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con usos permitidos comerciales. ...	684
Figura 5-273. Puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno no hábil, Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos relacionados como vías principales - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos permitidos comerciales.	685
Figura 5-274. Puntos de monitoreo corregidos en horario diurno No hábil, Sector B. Zona de tranquilidad y ruido moderado - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos relacionados como vías principales	686
Figura 5-275. Puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno no hábil, Sector B. Zona de tranquilidad y ruido moderado - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos relacionados como vías principales	687
Figura 5-276 Amenaza sísmica	694
Figura 5-277 Amenaza por licuación	700
Figura 5-278 Amenaza por licuación	701
Figura 5-279 Mapa de Amenaza geotécnica	702
Figura 5-280 Mapa de categorización de la Precipitación como factor de torrencialidad en el área de influencia.....	705
Figura 5-281 Mapa de categorización de la Densidad de Drenajes (Dd) como factor de torrencialidad en el área de influencia.....	708

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.2		

Figura 5-282 Mapa de categorización de tiempo de concentración como factor de torrencialidad en el área de influencia..... 711

Figura 5-283 Amenaza por avenidas torrenciales 714

Figura 5-284 Proporción de área amenaza torrencialidad 715

Figura 5-285 Sistema de Transferencia 716

Figura 5-286 Amenaza por inundación en el área de influencia 720

Figura 5-287 Mapa de Amenaza volcánica por Volcán Nevado del Ruiz 721

Figura 5-288 Amenaza volcánica Volcán Nevado del Tolima..... 721

Figura 5-289 Amenaza volcánica Volcán Nevado Santa Isabel..... 722

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

PÁG.

Fotografía 5-1 Relieve de montañas altas y escarpadas en rocas del granito néisico de Palmitas (Pgnp)	34
Fotografía 5-2 Afloramiento de esquistos cuarzo sericíticos en cortes de antigua carretera al mar	35
Fotografía 5-3 Contacto entre rocas intrusivas Diorita de Altavista (Kida) y Esquistos Cuarzo Sericíticos (Pzes), antigua vía al mar	36
Fotografía 5-4 Afloramiento de diorita, Kida.....	36
Fotografía 5-5 Granito néisico de palmitas (Pgnp), observado aproximadamente en el K0+770 (UF1)	42
Fotografía 5-6 Zona de contacto entre Esquistos verdes (Pev) y Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	42
Fotografía 5-7 Afloramiento de Granito néisico de palmitas (Pgnp), alrededores de K-02+00.....	43
Fotografía 5-8 Afloramiento de rocas básicas intrusivas con xenolitos de composición ácida, puede corresponder a variaciones texturales del granito néisico de palmitas (Pgnp) o intrusiones menores de la Diorita de Altavista.....	43
Fotografía 5-9 Perfil de meteorización, Granito Néisico de Palmitas, Pgnp (K00+800, UF1)	45
Fotografía 5-10 Influencia estructural en Granito Néisico de Palmitas (Pgnp), aproximadamente en K02+320 (UF1).....	46
Fotografía 5-11 Estrías de falla sobre rocas del Granito néisico de Palmitas	46
Fotografía 5-12 Esquistos sericíticos con intercalaciones de esquistos verdes, afloramiento en margen derecha quebrada La Frisola	49
Fotografía 5-13 Afloramiento de esquistos, en quebrada Frisola.....	51
Fotografía 5-14 Contacto Esquistos del Cuarzo sericíticos (Pzes) y Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	51
Fotografía 5-15 Contacto fallado entre Esquistos (Pzes) y Gabros (Jgr)	52
Fotografía 5-16 Suelos residuales en zona de contacto entre Esquistos Verdes (Pev) y Gabro (Jgr).....	55
Fotografía 5-17 Afloramiento de esquistos verdes (Pev), horizonte de meteorización IV ..	56
Fotografía 5-18 Afloramiento de gabros (Jgr).....	58
Fotografía 5-19 Panorámica de Gabros de Romeral, afectados por deslizamientos planares en laderas con influencia de sistema de fallas San Jerónimo	61
Fotografía 5-20 Pórfidos de la Formación Quebradagrande (KvQG).....	62
Fotografía 5-21 Afloramiento de rocas porfídíticas, Complejo Quebradagrande, KvQG.....	63

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Fotografía 5-22 Afloramiento de rocas basálticas con evidencia de fallamiento (KvQG) ..	64
Fotografía 5-23 Rocas basálticas muy fracturadas (KvQG).....	64
Fotografía 5-24 Afloramiento de rocas sedimentarias de la Formación Amagá, K16+500 (UF1)	66
Fotografía 5-25 Afloramiento de basaltos KvQG suprayacidos por sedimentos de Formación Amagá	66
Fotografía 5-26 Contacto rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande (KvQG) con rocas sedimentarias de la Formación Amagá (Ngas)	67
Fotografía 5-27 Depósitos aluviales, quebrada La Frisola.....	70
Fotografía 5-28 Depósitos aluviales, quebrada La Frisola.....	70
Fotografía 5-29 Margen izquierda quebrada La Volcana.....	71
Fotografía 5-30 Alrededores del K7+00. Cruce sobre quebrada Miserenga, en valle en V.	71
Fotografía 5-31 Alrededores de K7+200. Cruce sobre quebrada La Roncha	72
Fotografía 5-32 Cruce a través de quebrada La Rochela.....	72
Fotografía 5-33 Material transportado por la quebrada La Causala.....	73
Fotografía 5-34 Depósitos aluviales, quebrada Sanjuana I, alrededores de K13+800.....	74
Fotografía 5-35 Descripción perfil de depósito coluvio aluvial (Qcal).....	75
Fotografía 5-36 Panorámica de depósito coluvio aluvial (Qcal), en K12+500.....	75
Fotografía 5-37 Panorámica de depósitos de ladera en alrededores de la boca del túnel existente.....	76
Fotografía 5-38 Depósito de deslizamiento (Qd), en ladera SW del túnel, parte alta	76
Fotografía 5-39 Panorámica ladera SE del túnel, depósito de deslizamiento (Qd).....	77
Fotografía 5-40 Depósito de deslizamiento, marzo de 2013	78
Fotografía 5-41 Depósito coluvial que suprayace zona de contacto entre esquistos (Pzes) y Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	79
Fotografía 5-42 Panorámica de Qd, alrededores a la salida del túnel	79
Fotografía 5-43 Panorámica de Qd.....	80
Fotografía 5-44 Depósito de deslizamiento, Qd.....	80
Fotografía 5-45 K0+500 (UF3). Lleno antrópico La Laguna (2013).....	82
Fotografía 5-46 Depósito La Laguna (2016), medidas de estabilización.....	83
Fotografía 5-47 Alrededores de K0+300. Lleno antrópico El Galpón (Qll), resultante de las excavaciones del actual túnel de occidente	84
Fotografía 5-48 K3+133 – K3+300. Lleno antrópico La Aldea (Qll), 2016.....	89
Fotografía 5-49 K5+500 – K5+600. Lleno antrópico (Qll), 2016.....	91
Fotografía 5-50 Traza de falla San Jerónimo	95
Fotografía 5-51 Desarrollo de facetas triangulares.....	95
Fotografía 5-52 Traza de la Falla de San Jerónimo en Saltos y Pisquines.....	96
Fotografía 5-53 Esquistos cuarzo sericíticos en túnel de Occidente	99
Fotografía 5-54 Muestra de mano de diorita de Altavista, obtenida de material de lleno resultante de la excavación del túnel de Occidente existente.....	104
Fotografía 5-55 Diorita y pórfidos de la Diorita de Altavista (Kida).....	104
Fotografía 5-56 Perfil de meteorización, Kida (según Dearman, 1974-1991).....	109
Fotografía 5-57 Ladera SW del túnel, montañas denudativas afectadas por deslizamientos activos de gran magnitud.....	115

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Fotografía 5-58 Panorámica de Kida, costado SW del túnel.....	116
Fotografía 5-59 Cicatrices de deslizamientos en ladera SW del túnel	116
Fotografía 5-60 Movimientos del terreno, ver deterioro de la vía, costado SW del túnel .	117
Fotografía 5-61 Obras de protección del terreno y evidencia de movimientos lentos del terreno, costado SW del túnel.....	117
Fotografía 5-62 Afloramiento de esquistos cuarzo sericíticos ligeramente meteorizados .	118
Fotografía 5-63 Panorámica al fondo de montañas estructurales en Esquistos cuarzo sericíticos	118
Fotografía 5-64 Margen derecha quebrada La Volcana, en suelos residuales del Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	131
Fotografía 5-65 Alrededores de K1+800. Laderas en Granito néisico de Palmitas, afectadas por sobrepastoreo.....	131
Fotografía 5-66 Uso inadecuado de suelos sobre la ladera occidental de la actual vía, hace que ésta sea de alta susceptibilidad a erosión y movimientos en masa	132
Fotografía 5-67 K02+700 aproximadamente. Paso de la vía por área de deslizamiento activo	132
Fotografía 5-68 Cruce por quebrada La Frisola	133
Fotografía 5-69 Lleno antrópico.....	134
Fotografía 5-70 Lleno antrópico entre K3+120 – K3+290	139
Fotografía 5-71 Lleno antrópico entre K03+437 – K03+681	140
Fotografía 5-72 Afloramiento de gabros (Jgr).....	140
Fotografía 5-73 Margen derecha de cruce sobre quebrada Miserenga.....	141
Fotografía 5-74 Aproximadamente K6+800. Zona de contacto Pzes/Jgr	142
Fotografía 5-75 Margen derecha Q. Saltos y Pisquines	142
Fotografía 5-76 Aproximadamente K07+130. Margen derecha quebrada La Roncha	143
Fotografía 5-77 Aproximadamente K07+130. Margen izquierda quebrada La Roncha....	143
Fotografía 5-78 Relieve de montañas en rocas volcánicas, Complejo Quebradagrande (KvQG).....	146
Fotografía 5-79 Relieve de montañas estructurales, laderas largas, escarpadas en KvQG	147
Fotografía 5-80 K09+000. Paso aproximado de la vía, por laderas estructurales muy escarpadas, de alta susceptibilidad a movimientos en masa.....	147
Fotografía 5-81 Relieve de montañas estructurales, laderas largas, escarpadas en KvQG	148
Fotografía 5-82 K09+000. Paso aproximado de la vía, por laderas estructurales muy escarpadas, de alta susceptibilidad a movimientos en masa.....	148
Fotografía 5-83 K09+400. Laderas en rocas volcánicas, pendientes escarpadas, susceptibles de erosión y movimientos en masa.....	149
Fotografía 5-84 K11+000. Margen derecha quebrada Sanjuana I, depósitos de ladera.....	152
Fotografía 5-85 Depósitos coluvio aluviales que conforman abanicos aluviales y abanicos terraza	153
Fotografía 5-86 K14+000. Descripción perfil de Qcal.....	153
Fotografía 5-87 K14+400. Descripción perfil de Qcal.....	154
Fotografía 5-88 Perfil de suelo en alrededores de Zodme 1	155
Fotografía 5-89 Erosión en surcos en suelo residual de Diorita de Altavista	155
Fotografía 5-90 Perfil de meteorización de suelos residuales en laderas donde se proyecta la	

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

conformación de Zodme 1	156
Fotografía 5-91 Afloramiento de Diorita de Altavista (Kida) en vía que comunica la ZODME 1 con el resto del AI	157
Fotografía 5-92 Depósitos de ladera que cubren parte de la Diorita de Altavista (Kida) ..	157
Fotografía 5-93 Panorámica al E del túnel, ver movimientos en masa de grandes dimensiones asociados a la Diorita de Altavista	164
Fotografía 5-94 Panorámica del relieve en montañas denudativas en rocas intrusivas.....	164
Fotografía 5-95 Laderas en rocas montañas denudativas con abundantes deslizamientos activos y cicatrices de deslizamientos (DI).....	165
Fotografía 5-96 Panorámica de coluvios de remoción en montañas denudativas (Dcr), K02+600, UF1	166
Fotografía 5-97 Cunetas y disipadores de energía construidos para estabilizar escombrera	166
Fotografía 5-98 Escombrera en parte baja de área proyectada para ZODME 1.....	167
Fotografía 5-99 Ubicación Zodme 1	167
Fotografía 5-100 Ubicación Zodme 1	167
Fotografía 5-101 Panorámica de Montañas denudativas estructurales (DS).....	168
Fotografía 5-102 Laderas en paisaje de filas y vigas (DSI), alrededores del K6+200	169
Fotografía 5-103 Alrededores de K09+400. Panorámica laderas estructurales en paisaje de montañas estructurales denudativas (SDle).....	170
Fotografía 5-104 Valle estrecho en V, quebrada Miserenga	170
Fotografía 5-105 Panorámica de lomas y colinas de piedemonte (DSlo), alrededores de K16+500.....	171
Fotografía 5-106 Margen derecha río Aurrá, relieve de lomas y colinas (DSlo)	172
Fotografía 5-107 Panorámica hacia el NW de lomas y colinas de piedemonte	172
Fotografía 5-108 Abanico aluvial disectado, tramo entre K11+350 – K12+800.....	173
Fotografía 5-109 Abanico aluvial, relieve plano a ligeramente plano, tramo K13+057 – K16+333	173
Fotografía 5-110 Morfodinámica tramo Unidad Funcional 3, Periodo 2.010 – 2.011.....	175
Fotografía 5-111 Talud inestable en K08+800 (abscisado nueva vía).....	188
Fotografía 5-112 Panorámica de ZODME 1	192
Fotografía 5-113 Panorámica de ZODME 1	192
Fotografía 5-114 Panorámica de laderas en montañas denudativas (DI), costado SW de vía que comunica UF1 con ZODME 1	193
Fotografía 5-115 Panorámica de laderas en montañas denudativas (DI), costado SW de vía que comunica UF1 con ZODME 1.....	193
Fotografía 5-116 Desplazamiento de gaviones sobre vía que comunica UF1 y ZODME 1	194
Fotografía 5-117 Desprendimientos del terreno en vía que comunica UF1 y ZODME 1	195
Fotografía 5-118 Puente de Occidente sobre el río Cauca	219
Fotografía 5-119 Río Cauca	220
Fotografía 5-120 Diferentes usos en el municipio de Medellín	243
Fotografía 5-121 Suelos de la Clase 7p-10.....	259
Fotografía 5-122 Suelos de la Clase 6p-7.....	260

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Fotografía 5-123 Suelos de la Clase 4p-10.....	260
Fotografía 5-124. Margen izquierda del río Cauca a la altura del municipio de Santa Fe de Antioquia	287
Fotografía 5-125. Panorámica del río Cauca a la altura del municipio de Santa Fe de Antioquia	287
Fotografía 5-126. Panorámica del río Aurrá a la altura del municipio de Sopetrán.....	288
Fotografía 5-127. Río Aburrá/Medellín a la altura de la ciudad de Medellín	289
Fotografía 5-128. Evidencia de restricciones de acceso en el sector de túnel.....	320
Fotografía 5-129. Presencia de ganado en fincas a lo largo de la vía en San Jerónimo....	422
Fotografía 5-130. Bebedero para ganado vereda La Sucia, municipio de Medellín	422
Fotografía 5-131 Bebedero para ganado vereda Naranjal, municipio de Medellín.....	422
Fotografía 5-132. Tanques de almacenamiento en el sector de la Cuchilla, Municipio de Medellín.....	423
Fotografía 5-133. Tubería que conecta a acueducto en el sector de Mestizal, Municipio de San Jerónimo	423
Fotografía 5-134. Tanque de almacenamiento y distribución de agua cruda, en la vereda Naranjal del municipio de Medellín	424
Fotografía 5-135. Caja para captación de afloramiento de agua en la vereda Urquita del municipio de Medellín.....	424
Fotografía 5-136 Acueducto Naranjal-Cuchilla-Uvito-Llano, con captación de la quebrada la Frisola. Tratamiento de desinfección.....	424
Fotografía 5-137. Viviendas en construcción o modificación de las mismas, La Volcana Guayabal del municipio de Medellín	425
Fotografía 5-138. Sitio recreativo en la Quebrada la Iguana en el sector de Boqueron en el municipio de Medellín.....	425
Fotografía 5-139 Extracción de material en la quebrada La Frisola, vereda La Volcana-Guayabal del municipio de Medellín	425
Fotografía 5-140 Manantial.....	466
Fotografía 5-141. Zonas de restaurantes y parqueaderos. (X: 1153430,506; Y: 1191820,671) y (X: 1152373,791; Y: 193243,068).....	644
Fotografía 5-142. Viviendas en remodelación – viviendas a la altura cercana de la vía (X: 1153138,461; Y: 1192585,438) y (X: 1153095,318; Y: 1192227,306).....	644
Fotografía 5-143. Fuentes Móviles (Vía Túnel de Occidente-San Jerónimo).....	645
Fotografía 5-144. Lugares turísticos y de recreación	666
Fotografía 5-145. Restaurantes y estacionamiento de vehículos sobre la vía	666
Fotografía 5-146. Construcción de viviendas.....	667
Fotografía 5-147. Tránsito de vehículos.....	667
Fotografía 5-148. Tránsito de vehículos particulares y de carga pesada.....	668

	<p style="text-align: center;">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p style="text-align: center;">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p style="text-align: center;">VERSIÓN 0.2</p>	

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Teniendo en cuenta la estructura propuesta por los términos de referencia, en los numerales siguientes se expone la caracterización ambiental para los elementos que conforman el medio abiótico, posteriormente se abordaran los medios biótico y socioeconómico respectivamente.

5.1 MEDIO ABIÓTICO

Para este medio se abordan los componentes de geología, geomorfología, paisaje, suelos y uso de la tierra, hidrología, calidad del agua, usos del agua, hidrogeología, geotecnia y atmósfera.

5.1.1 Geología

5.1.1.1 Aspectos conceptuales y metodológicos

La Geología estudia los materiales que componen la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre¹. El análisis de las características litológicas y estructurales del terreno sobre el cual se pretende desarrollar este proyecto, es necesario para prever problemas de estabilidad y erosión, que puedan afectar no solo el proyecto y su vida útil, sino también terrenos aledaños, infraestructura y población cercana.

Este documento cumple con los requerimientos de los términos de referencia establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en resolución 751 de 2015, “Términos de Referencia para la elaboración del EIA, requerido para el trámite de licencia ambiental de los proyectos de construcción de carreteras y/o túneles con sus accesos”, y para ello se ha llevado la metodología que se explica a continuación.

En la caracterización del componente geología, se describen las condiciones físicas del entorno regional y local del área de influencia desde el punto de vista de su composición litológica, rasgos estructurales, identificación y descripción de zonas de amenazas naturales: sísmica, volcánica, por erosión y movimientos en masa. A continuación se presenta la metodología implementada en la caracterización geológica.

5.1.1.1.1 Recopilación, análisis y procesamiento de información secundaria

Consistió en la recopilación y análisis de la información geológica reportada en diferentes entidades, como INGEOMINAS y otros estudios geológicos y geotécnicos realizados en el área del proyecto, los cuales se relacionan en la Tabla 5-1.

¹ TARBUCK, Edwards y LUTGENS, Frederic. Ciencias de la Tierra. Una Introducción a la Geología Física. Prentice Hall. Edición 8ª, España.

Tabla 5-1 Información geológica disponible

DOCUMENTO	AUTOR	FECHA
Plancha 130, Santa Fe de Antioquia. Escala 1:100.000	INGEOMINAS	1983, versión digital 2009
Plancha 146, Medellín Occidental. Escala 1:100.000	INGEOMINAS	1983, versión digital 2009
Geología del departamento de Antioquia. Escala 1:400.000	INGEOMINAS	1999
Estudios y Diseños para el Puente sobre la Quebrada La Arenera – Conexión Vial Aburrá Río Cauca	O.F.B. y Compañía Ltda. Consultores	Agosto de 2012
Diseño de Muro en PR 40+000 Sector El Guaico, en la Vía Antigua de la Conexión Vial Aburrá - Río cauca	O.F.B. y Compañía Ltda. Consultores	Julio de 2012
Diseño de Estructura en PR 17+200 Sector Meloneras en Conexión Vial Aburrá - Río Cauca	O.F.B. y Compañía Ltda. Consultores	Julio de 2012
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 01. Deslizamiento Los Restrepo km 08+000 - PR 46A+300	INTEINSA	Marzo de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 02 Puente Quebrada La Negra y Depósito El Galpón.	INTEINSA	Marzo de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 03. Proceso Erosivo La Nuez km 16+900 (PR37A+000).	INTEINSA	Enero de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 04. Proceso Erosivo El 19. km 19+000.	INTEINSA	Octubre de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 05. Procesos Erosivos El 20. km 20+00 (PR 34A+000 INVIAS).	INTEINSA	Octubre de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 06 Puente Saltos y Pisquines.	INTEINSA	Marzo de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 07 Puente Quebrada La Seca.	INTEINSA	Mayo de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos	INTEINSA	Agosto de 2013



**CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR
CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN
JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.**



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

VERSIÓN 0.2

DOCUMENTO	AUTOR	FECHA
Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 08 Meloneras.		
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 09. Puente en Arco Río Aurrá. PR 16+000 INVIAS.	INTEINSA	Octubre de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 10 Proceso morfodinámico El Yolombo.	INTEINSA	Mayo de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 11. Proceso Morfodinámico Boquerón Sector La Legumbreira (PR 60+000 INVÍAS)	INTEINSA	Octubre de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 12. La Truchera. PR 46+000 INVIAS	INTEINSA	Agosto de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 14. Quebrada La Guamala PR 40+200 INVIAS	INTEINSA	Octubre de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 15 Puente Quebrada La Grande.	INTEINSA	Marzo de 2014
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 16 Depósito La San Francisca	INTEINSA	Marzo de 2014
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 18 Depósito El Hormiguero.	INTEINSA	Octubre de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 19. Zona Box Culvert Quebrada La García.	INTEINSA	Octubre de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 22. La Causala. PR 48+000 INVIAS.	INTEINSA	Octubre de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 23. La Londoño. PR 39+300 del INVIAS.	INTEINSA	Octubre de 2013

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

DOCUMENTO	AUTOR	FECHA
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 29 Depósito Palma 3.	INTEINSA	Octubre de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 30. Diseño hidráulico Depósitos La Palma.	INTEINSA	Agosto de 2013
Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 31 Descargas Depósitos La Palma.	INTEINSA	Octubre de 2013
Consultoría para la Realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería requeridos para la Construcción de un Viaducto en el Sector conocido como Urquita Ubicado en la Antigua vía al mar. Volumen III. Geología para ingeniería. Informe v5	O.F.B. y Compañía Ltda. Consultores	Junio de 2015
Conexión vial Guillermo Gaviria Correa. Depósitos el hormiguero y casino - Topco	SOLINGRAL	
Interventoría y Apoyo Gerencial de la Construcción y Pavimentación de la Carretera Medellín - Santa Fé de Antioquia. Anexo geológico-geotécnico del túnel de occidente	INTEGRAL S.A.	

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Finalmente, se tomaron dos fuentes bibliográficas fundamentales en este proyecto, que obedecen a los estudios y diseños para la construcción de la vía:

- Grupo TYPESA – Consultores Regionales Asociados, CRA S.A.S. Duplicación del Túnel de Occidente. Diseño Fase II. Capítulo III. Diseño del túnel. Obra Civil. Noviembre de 2013.
- Consorcio Mar 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), Contrato 014 de 2015, suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 01. Mayo de 2016.

5.1.1.1.2 Generación de cartografía temática

La primera etapa de trabajo consistió en el empalme de la cartografía geológica de las planchas 1:100.000 de INGEOMINAS con una cobertura del 100% del área de estudio.

Una segunda etapa en la elaboración de la cartografía geológica y estructural, consistió en la fotointerpretación geológica del área de influencia, la cual permitió mejorar los contactos litológicos y lineamientos estructurales, a una escala promedio 1:25.000. Para esta labor se trabajó con la siguiente información:

- Ortofotomapa, 2015
- Fotografías aéreas obtenidas del Convenio Gobernación de Antioquia – EPM – ISAGEN – IGAC,

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

2010 - 2011, escala aproximada 1:10.000 – 1:15.000.

Tabla 5-2 Fotografías aéreas interpretadas

Vuelo	Faja	Fotos	Fecha	Nº fotos
14603008072011	21	768-774	08/07/2011	7
14603008072011	20	805-811	08/07/2011	7
14603008072011	19	888-894	08/07/2011	7
14603020032010	18	309-314	20/03/2010	6
14603020032010	17	217-223	20/03/2010	10
13003015032010	18	1845-1852	05/03/2010	8
13003015032010	19	1744-1748	05/03/2010	5
13003015032010	17	1858-1861	15/03/2010	4
Total fotos				54

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.1.3 Trabajo de campo

El trabajo de campo comprendió un recorrido del área de influencia, enfocado a la verificación de la cartografía geológica y geomorfológica, complemento de la caracterización litológica y condiciones de estabilidad geotécnica del terreno.

5.1.1.1.4 Informe

En conjunto con la información secundaria y el trabajo de campo se realizó la caracterización litológica del área de influencia. Específicamente, para el tema del túnel, se presenta una caracterización detallada, escala 1:2.000, con base en la información del documento “Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, del Contrato 014 de 2015, suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

5.1.1.2 Caracterización geológica regional

Se describen aspectos litológicos, grados meteorización, caracterización de depósitos cuaternarios, condiciones de estabilidad del terreno, presencia de discontinuidades estructurales en macizos rocosos, tanto a nivel regional como de detalle.

5.1.1.2.1 Geología estructural

El área de estudio se localiza en el departamento de Antioquia al noroccidente del país, en la cordillera Central, en donde se encuentran desde rocas sedimentarias hasta ígneas y metamórficas de edades desde el Paleozoico hasta Cretáceo superior. La cordillera Central colombiana comprendida entre el cañón del río Cauca y el valle del río Magdalena, presenta características morfológicas y litológicas variadas. El área de estudio se ubica entre la margen derecha del río Cauca y costado noroccidental del Valle de Aburrá, en la vertiente occidental y piedemonte de la Cordillera Central (Figura 5-1).

Figura 5-1 Vertiente occidental de Cordillera Central en el área de influencia



Fuente: Google Earth, Imagen Landsat, 2016

Colombia es un país de alta actividad sísmica generada por un complejo marco geodinámico de convergencia de las placas: Nazca, Caribe y Sur América, y dos micro placas: Panamá y el Bloque Andino. Este ambiente tectónico complejo genera una estructura cortical con un complejo sistema de fallas regionales. Estas estructuras, en el departamento de Antioquia, están enmarcadas dentro de dos grandes sistemas de fallas aproximadamente paralelas entre sí, donde el primer sistema lo conforman la zona de fallas Palestina y el segundo sistema corresponde a Cauca-Romeral (Ingeominas, 2001)².

“La Cordillera Central se caracteriza por ser una cadena que ha sufrido intensos plegamientos, fallamientos e intrusiones batolíticas de gran magnitud, que han oscurecido las relaciones estratigráficas y estructurales originales entre las diferentes unidades litológicas que la constituyen”³. El área de estudio ubicado en la Cordillera Central, en el departamento de Antioquia, tiene influencia directa del sistema de fallas Cauca – Romeral, con dirección NE – SW; en particular, en el área de estudio su dirección regional es N-S.

El sistema de fallas Cauca – Romeral, se extiende a través de Colombia por más de 800 km, de norte a sur, con prolongación hacia Ecuador. Su traza más oriental es la Falla San Jerónimo y la más occidental la Falla Cauca, con una complejidad de estructuras como grabens, horts, sinclinales y anticlinales. Asociado a este sistema de fallas se han identificado anomalías gravimétricas y magnéticas (Case et al., 1971), concentración de focos de actividad sísmica, alineamiento de deslizamientos, cárcavas y bifurcaciones de quebradas. Este sistema de falla pone en contacto unidades muy diversas en edad (Paleozoico hasta Terciario) y composición (intrusivas, efusivas, sedimentarias y metamórficas).

Durante el Terciario hay un predominio de esfuerzos tensionantes y descompresivos, dando origen a grabenes y sinclinales; particularmente en el Oligoceno – Mioceno, se presenta la depositacion de sedimentos de la Formación Amagá (González, 1976). Durante el cuaternario predomina un ambiente denudativo y depositacional fluvial, con origen de gruesos depósitos aluviales, flujos de roca,

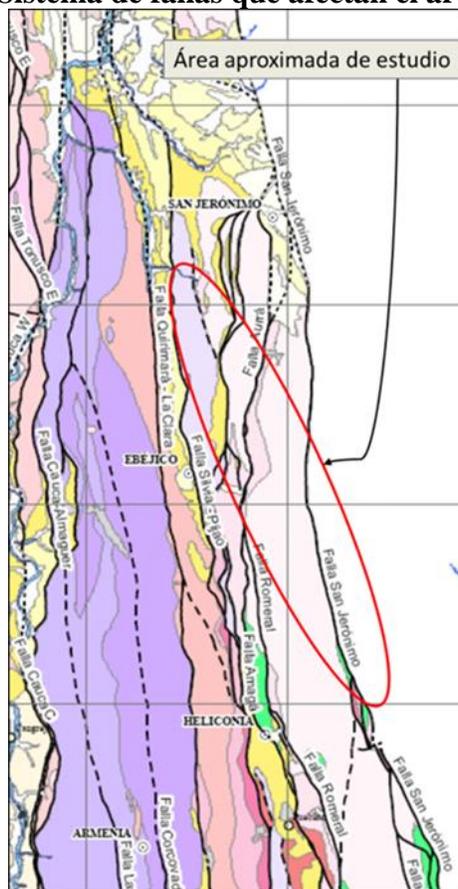
² Consorcio Microzonificación 2006 – Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.

³ INGEOMINAS. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Memoria Explicativa. Bogotá, 2001.

escombros y terrazas escalonadas⁴.

En la Figura 5-2 se delimita el área de estudio, donde se muestra un esquema estructural definido por tres grandes bloques tectónicos alargados N-S, limitados por fallas de carácter regional cuyo límite al oriente es la Falla San Jerónimo, y al occidente la Falla Silvia-Pijao; dentro de estos bloques se presentan fallas de gran extensión y que afectan el área de estudio como la falla Uvito.

Figura 5-2 Sistema de fallas que afectan el área de estudio



Fuente: IINGEOMINAS – GEOESTUDIOS. Complementación Geológica, Geoquímica y Geofísica de la parte Occidental de las Planchas 130 Santafé de Antioquia y 146 Medellín Occidental. Escala: 1:100.000. Figura 81

Las siguientes son las fallas y características principales, que afectan a las diferentes unidades litológicas del área de estudio.

5.1.1.2.1.1 Falla San Jerónimo

La Falla de San Jerónimo representa la traza más oriental del Sistema de Fallas de Romeral. Con base en estudios de gravedad (Case et al., 1971) y gradientes de velocidad sísmica (Meissner et al., 1976),

⁴ MEJÍA N., Mario. Reseña Explicativa del Mapa Geológico Preliminar 146 Medellín.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

afirman que la Falla Romeral marca el límite entre la corteza oceánica al occidente, conformada por las rocas de la Cordillera Occidental, y la corteza continental al oriente, constituida por las rocas intrusivas y metamórficas de la Cordillera Central. González (1977) denomina el sistema de Fallas Romeral al conjunto de estructuras anastomosadas, limitadas por las fallas Sabanalarga al occidente y San Jerónimo al oriente. Woodward Clyde Consultants-WCC (1979), considera que este sistema representa una zona de subducción cretácea, conformada por fallas anastomosadas de dirección predominante NNW. Finalmente, González y Maya (1995) definen la Falla San Jerónimo, como la estructura más oriental del SFR y la cual debe corresponder al límite occidental del material de afinidad continental⁵.

La traza principal de la zona de falla San Jerónimo es de tipo inverso, de dirección N-S a N20W, con un buzamiento de alto ángulo al E, y un gran componente sinestro lateral que separa las rocas metamórficas del Grupo Ayurá Montebello de las rocas que conforman el Complejo Quebradagrande⁶.

Atraviesa, junto con la falla Sucia y otras fallas regionales de dirección N-S, ubicadas al oriente de esta última, la parte central del área de estudio, aproximadamente entre el K3+00 - K11+500.

5.1.1.2.1.2 Falla Silvia – Pijao

Estructura regional definida por Maya & González (1995); marca el límite oeste del Complejo Quebradagrande en el área de estudio, con las rocas que conforman el bloque del Complejo Arquía: Diorita de Pueblito y Gabros de Romeral. En la depresión de Santa Fé de Antioquia la falla cambia de rumbo y está cubierta bajo parte de la Formación Amagá. Se infiere su continuidad hacia el norte del lado del río Cauca, hasta la quebrada Seca, en cercanías de la localidad de Sucre. Su trazo tiene una dirección esencialmente N-S, un comportamiento de carácter inverso y vergencia al oriente. Asociada a la Falla Silvia-Pijao, se identifica la Falla Aurrá, es una falla secundaria con trazo subparalelo, de forma anastomosada⁷.

5.1.1.2.1.3 Falla Aurrá

Denominada por Grosse (1926) como “Sobrescurrimiento de Aurrá”, está relacionada con las Fallas de Uvito; de carácter inverso y bajo ángulo de inclinación con vergencia al occidente, en su trazo más sur enmascara la Falla Romeral⁸. Afecta rocas del Complejo Quebradagrande. De dirección NE – SW a NS, está cartografiada como falla cubierta que cruza paralela al trazado de la vía, aproximadamente entre los K13+200 – K17+000, donde cambia a dirección NW hasta encontrarse con la falla Uvito.

⁵ Ordóñez Carmona, Oswaldo, y otros. Generalidades del Sistema de Fallas de Romeral en las cercanías a Medellín. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/266854403>

⁶ INGEOMINAS. Complementación geológica, geoquímica y Geofísica de la parte Occidental de las Planchas 130 Santa Fé de Antioquia y 146 Medellín Occidental. Escala: 1:100.000. Bogotá, 2005.

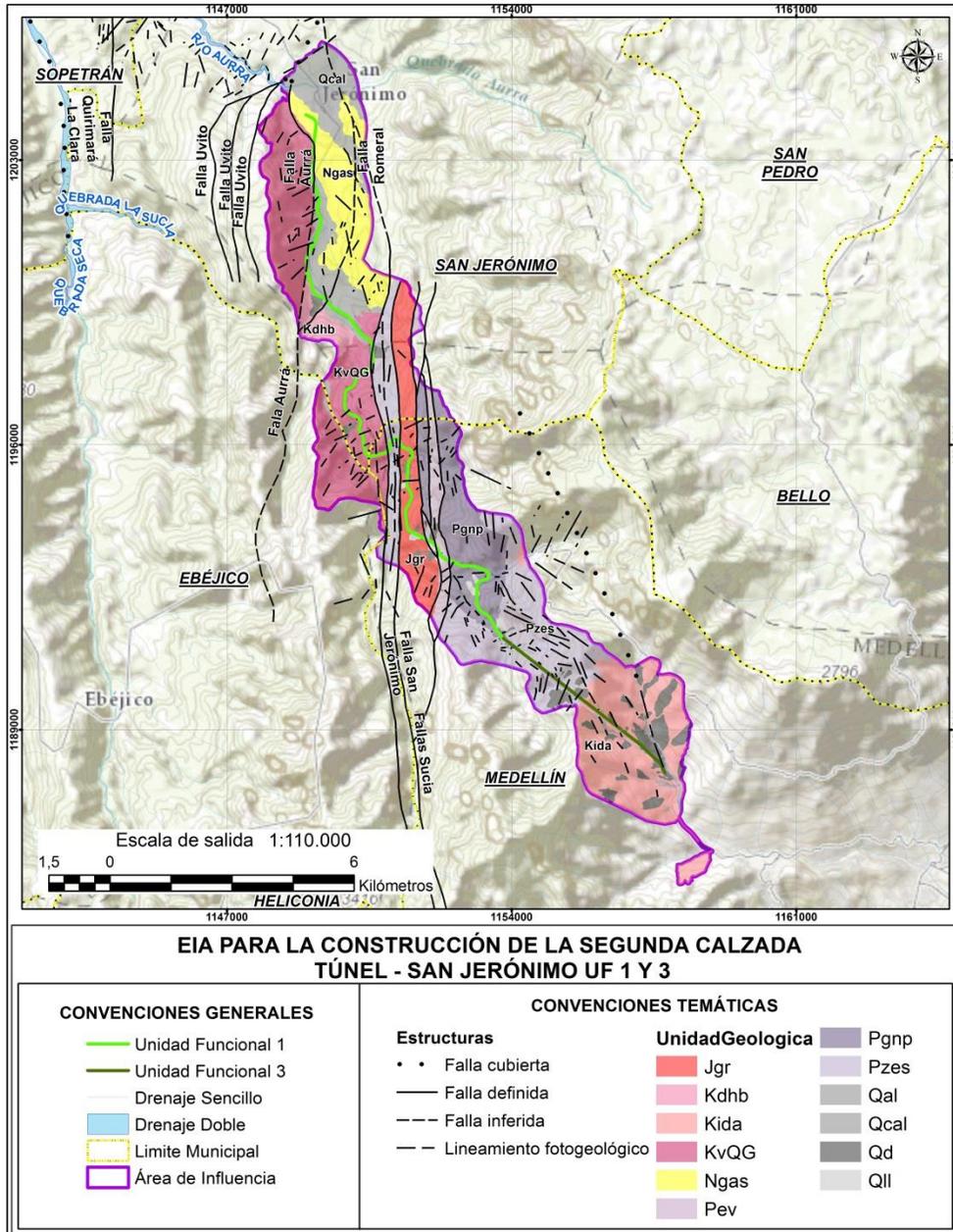
⁷ INGEOMINAS. Complementación geológica, geoquímica y Geofísica de la parte Occidental de las Planchas 130 Santa Fé de Antioquia y 146 Medellín Occidental. Escala: 1:100.000. Bogotá, 2005.

⁸ INGEOMINAS. Complementación geológica, geoquímica y Geofísica de la parte Occidental de las Planchas 130 Santa Fé de Antioquia y 146 Medellín Occidental. Escala: 1:100.000. Bogotá, 2005

5.1.1.2 Unidades Litológicas

A continuación se describen las unidades litológicas que afloran en el área de influencia, desde la más antigua a la más reciente, con el fin de tener una relación estratigráfica y cronológica de su génesis (ver Figura 5-3 y Tabla 5-3).

Figura 5-3 Geología del área de estudio, Unidades Funcionales 1 y 3



Fuente: INGEOMINAS (1983), modificado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

Tabla 5-3 Unidades litológicas

EÓN	ERA	EDAD		SÍMB.	UNIDAD	DESCRIPCIÓN		
		PERIODO	ÉPOCA					
FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO		Qll	Lleno antrópico	Depósitos de sobrantes de excavación resultantes principalmente de la anterior construcción del túnel de occidente y actual vía Medellín – Santa Fe de Antioquia.		
				Qal	Depósitos Aluviales	Se encuentran en los valles de todos los ríos y algunas quebradas que por su morfología permiten acumulación de estos sedimentos. Predominan gravas gruesas con intercalaciones ocasionales de grava guijosa.		
				Qcal	Depósitos coluvio aluviales	Depósitos producto de desprendimientos del terreno asociados a la influencia de drenajes ubicados en fuertes pendientes, en un relieve de montañas. Materiales sueltos de composición variable, de acuerdo al material parental; se observan tanto sobre rocas de la Diorita de Altavista como sobre los Esquistos cuarzo sericíticos. En el piedemonte se identifican como abanicos aluviales resultantes de flujos provenientes de las partes altas de la Cordillera.		
				Qd	Depósitos de derrubio/depósitos de deslizamientos	Depósitos de ladera. Depósitos coluviales de espesores variables 5m o mayores. Cuando su material parental son esquistos y neises, pueden observarse con 80% de matriz areno gravosa, suelta, color gris medio; clastos (20%), diámetro promedio 1-7cm, angulares, composición de esquistos, moderada a altamente meteorizados, ejemplo Qd ubicado cerca a la salida del túnel. Cuando proviene de rocas ígneas de la Diorita de Altavista, se caracterizan por ser de gran espesor, con matriz 60%, textura arenosa, suelta a medianamente suelta, color pardo, clastos 40%, son bloques angulares de rocas meteorizadas, de composición ígnea y metamórfica. Espesores observados entre 20-30m.		
			Neógeno					
			Mioceno	Plioceno	Ngas	Pgam	Formación Amagá ⁹	Ngas. Miembro superior. Areniscas bien cementadas, color crema arcillas pizarrosas gris verdosas y ocre. Localmente bancos delgados de conglomerados y carbón. Oligoceno tardía – Mioceno Temprano.
		Pgai						Pgam. Miembro Medio. Arcillas pizarrosas grises, areniscas claras y grises, localmente conglomeráticas, mantos de carbón hasta 2m de espesor. Oligoceno medio.
		Pgai						Pgai. Miembro Inferior. Conglomerados, areniscas conglomeráticas, areniscas crema y grises, arcillolitas arenosas, arcillolitas pizarrosas grises y gris verdosas.
			PALEÓGENO	Oligoceno				
				Eoceno				
	Paleoceno							
	MESOZOICO	CRETÁCICO	Superior	Kdhb	Diorita hornbléndica	Grupo de cuerpos alargados que se extiende entre las Fallas de Uvitó y Romeral, en dirección N15W a N10E. La composición normal es una diorita cuarzosa de grano medio, textura granular, hipidiomórfica granular, ocasionalmente ofítica con cataclasis y dioritas hornbléndicas.		
			Inferior	Kida	Diorita de Altavista	Cuerpo granítico intrusivo de composición diorítica según Travis (1965), o Monzodiorita según Streckeisen (1974), que aflora en la margen occidental del Valle del Río Medellín. Debido a su variedad petrográfica lo ubican como Plutón de Epizona, entre las rocas se encuentran desde porfiríticas de matriz afaníticas y composición intermedia a dioritas, cuarzodioritas y granitos. La roca predominante es félsica, de color gris, cremas hasta verdes en las rocas porfiríticas ¹⁰ .		

⁹ INGEOMINAS. Geología de la Plancha 130 Santa fe de Antioquia. Escala 1:100.000. 1983

¹⁰ GONZALEZ, Humberto y LONDOÑO, Ana Cristina. Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia. Diorita de Altavista (Stock de Altavista) (K1da). Cordillera Central. Departamento Antioquia. Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero – Ambiental y Nuclear, INGEOMINAS. 2002.

EDAD				SÍMB.	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
EÓN	ERA	PERIODO	ÉPOCA			
				KvQG	Fm. Qebradagrande Miembro volcánico	Capas delgadas estratificadas formando bancos mayores de 2 metros de liditas, lodolitas, grauvacas, intercaladas ocasionalmente por bancos de tobas silicificadas y conglomerados finos, localmente es bastante rica en materia orgánica.
		JURÁSICO		Jgr	Gabros de Romeral	Gabros de grano fino a pegmatíticos, asociados al sistema de fallas de Romeral.
		TRIÁSICO				
	PALEOZOICO	PÉRMICO		Pzes Pev	Grupo Ayurá Montebello	Rocas Metamórficas ¹¹ Pzes. Filitas, esquistos cuarzo sericíticos y esquistos aluminicos. Metamorfismo regional de grado bajo a medio. Pev. Esquistos verdes compuestos por alicita, epidota, clorita y actinolita. Metamorfismo regional de grado bajo a medio.
CARBONÍFERO DEVÓNICO						
SILÚRICO			Pgnp		Granito néisico de Palmitas	Cuerpo alargado orientado N10W, presenta contacto fallado por el Oeste con delgadas franjas de esquistos cuarzo-sericíticos cataclásticos, por el Batolito Antioqueño encontrándose xenolitos del granito néisico en este. Tiene la apariencia de una roca de alto grado de metamorfismo, facies granulita, debido a la alteración superficial de gran parte de los componentes. La estructura néisica es desarrollada gracias a metamorfismo dinamotérmico a partir de una roca granítica. Millward y Verdugo (1981) dataron con Rb/Sr 420 ± 80 m. a. Cámbrico – Ordoviciano ¹² .
ORDOVÍCIO						
		CÁMBRICO				

Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

¹¹ INGEOMINAS. Geología de la Plancha 130. Santa Fe de Antioquia. Escala 1:100.000. 1983 (versión digital 2009).

¹² AREA METROPOLITANA – Consorcio Microzonificación 2006. Microzonificación Sísmica detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.2		

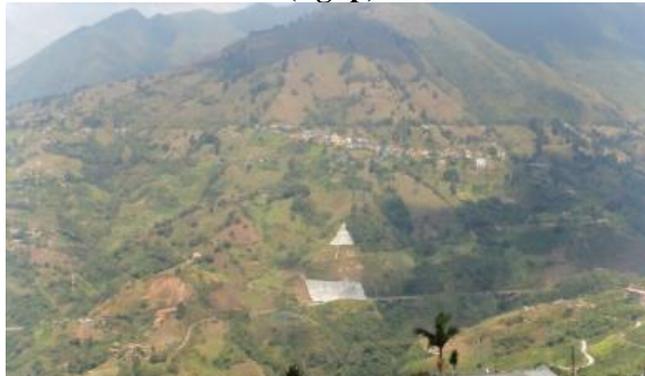
Las siguientes descripciones son tomadas principalmente de las memorias de las planchas del Servicio Geológico colombiano relacionadas en la Tabla 5-1.

5.1.1.2.2.1 Unidades del Paleozoico

5.1.1.2.2.1.1 Granito Néisico de Palmitas (Pgnp)

En el área de influencia, este cuerpo tiene un cubrimiento de 552,14 ha (10,3%); esta unidad litológica aflora en K0+124 de la Unidad Funcional 1. Se ubica en un paisaje de montañas altas, de pendientes escarpadas (50-60°), susceptibles al desarrollo de procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa. Fotografía 5-1.

Fotografía 5-1 Relieve de montañas altas y escarpadas en rocas del granito néisico de Palmitas (Pgnp)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Se presenta como un cuerpo elongado en dirección NS. Es una roca de textura grueso granular, de minerales que alcanzan entre dos y cuatro milímetros, con aspecto bandeado. Está compuesta esencialmente por hornblenda, plagioclasa, biotita y cuarzo. Las bandas se encuentran composicionalmente definidas de biotita y cuarzo y por lo tanto el color de la roca consta de la intercalación de tonalidades negro y blanco. A nivel de muestra de mano, presenta continuidad marcada por el bandeamiento composicional de minerales micáceos, cuarzo y feldespato¹³. En el corregimiento de San Sebastián de Palmitas, aflora en las veredas La Frisola, La Potrera, Miserenga y El Pomar.

5.1.1.2.2.1.2 Grupo Ayurá Montebello

La Cordillera Central está constituida por un conjunto de rocas poli metamórficas con dataciones desde Precámbricas a Mesozoicas (Willward y Verdugo, 1981), parte de estas unidades litológicas está conformada por el Grupo Ayurá Montebello, que consta de anfibolitas, neises, cuarcitas y esquistos de composición diversa.

¹³ Consorcio Microzonificación 2006 – Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

El Grupo Ayurá Montebello ha sido también denominado Complejo Arquía¹⁴, en el cual se han definido Anfibolitas de Sucre (PRas), Esquistos Verdes (PZav) y Negros (PZan). En este informe se ha acogido la terminología y cartografía establecida por INGEOMINAS en el Mapa Geológico de la Plancha 146 Medellín Occidental, escala 1:100.000 (1983).

En el área de estudio se han identificado dos unidades de rocas metamórficas: Filitas, esquistos cuarzo sericíticos y esquistos alumínicos (Pzes) y Esquistos verdes (Pev).

5.1.1.2.2.1.2.1 Filitas, esquistos cuarzo sericíticos y esquistos alumínicos (Pzes)

Los Esquistos Cuarzo sericíticos, “son rocas producto de metamorfismo regional de grado bajo a medio, color negro debido al contenido de grafito, tienen un alto contenido de cuarzo y se hacen más claros al aumentar el contenido de cuarzo y moscovita. Comúnmente se observa gradación de los esquistos cuarzo sericíticos y filitas a esquistos verdes actinolíticos (INGEOMINAS, 1983)¹⁵. Estos materiales conforman al igual que la mayoría de las rocas de la zona, cuerpos alargados en dirección de las estructuras principales (NS), y se identifican en la zona central del área de estudio, delimitados por las fallas San Jerónimo y Sucia. Hacia el sur del área de estudio, donde se proyecta la construcción del segundo Túnel de Occidente, se encuentran en contacto al SE con la Diorita de Altavista (Kida) y al NW con el Granito Néisico de Palmitas (Pgnp).

Sobre la antigua vía al mar, por fuera del área de influencia, se identificaron afloramientos de esta unidad litológica; rocas moderada a débilmente meteorizadas (horizonte III a II, metodología Deerman, 1974-1991), afectadas por deslizamientos planares asociados a los taludes de la vía. Son esquistos grises oscuros, sericíticos a cuarzo sericíticos, con presencia de clorita Fotografía 5-2. Sobre estos taludes se midió esquistosidad: NS/38W (continua (>10m), selladas a cerradas (<2mm), secas).

Fotografía 5-2 Afloramiento de esquistos cuarzo sericíticos en cortes de antigua carretera al mar



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

¹⁴ INGEOMINAS. Complementación geológica, geoquímica y Geofísica de la parte Occidental de las Planchas 130 Santa Fé de Antioquia y 146 Medellín Occidental. Escala: 1:100.000. Bogotá, 2005.

¹⁵ OFB y Compañía Ltda. Consultores. Diseño de Muro en PR 40+000 Sector el Guaico en la vía antigua de la Conexión Vial Aburrá - Río Cauca. Medellín, julio de 2012.

Sobre este mismo sector se identificó una zona de contacto entre los esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) y rocas intrusivas de la Diorita de Altavista (Kida), ver Fotografía 5-3. La roca ígnea es color gris pálido, textura fanerítica de grano medio a fino, con presencia de feldespatos. Sistema de diaclasas dominante: NS/50E (poco continuas (2-5m), muy cerradas (2-6mm), secas).

Fotografía 5-3 Contacto entre rocas intrusivas Diorita de Altavista (Kida) y Esquistos Cuarzo Sericíticos (Pzes), antigua vía al mar



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

En corte de carretera, se identificó cicatriz de deslizamiento antiguo sobre diorita (Kida) en contacto con esquistos (Pzes). La diorita se encuentra ligeramente meteorizada, color crema, textura fanerítica de grano fino, masiva. Dimensiones del talud: altura: 20m, ancho: 10m, pendiente: 70°. Se obtuvo un plano de falla: 195/58NW y se identificó un sistema de diaclasas: 150/45NE (discontinuas (>2m), muy cerradas (2-6mm), secas) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Fotografía 5-4 Afloramiento de diorita, Kida



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

5.1.1.2.2.1.2.2 Esquistos verdes (Pev)

Estos materiales al igual que la mayoría de las rocas de la zona, son cuerpos alargados de dirección NS, delimitados por contactos fallados con Gabros de Romeral (Jgr) al occidente y Granito néisico del Palmitas (Pgnp) al oriente, hacia la parte central del área de estudio. Los esquistos verdes corresponden a una variación gradaciones de la unidad de Esquistos cuarzo sericíticos, con aumento de anfíboles, plagioclasa y clorita y/o epidota¹⁶.

5.1.1.2.2.2 Unidades del Mesozoico.

5.1.1.2.2.2.1 Periodo Jurásico. Gabros de Romeral (Jgr)

De la era Mesozoico afloran los Gabros de Romeral (Jgr) que hacen parte del Complejo Ofiolítico de Romeral. Son cuerpos de rocas ultramáficas asociadas al sistema de fallas de Romeral, que forman un cinturón bien definido, denominado por Álvarez (1983), Cinturón Ofiolítico de Romeral. Está constituido por rocas ultramáficas asociadas a gabros y lavas básicas de afinidad ofiolítica, que hacen parte del Complejo Ofiolítico del Cauca (Toussaint y Restrepo, 1974)¹⁷.

Los Gabros de Romeral (JgR) están conformados por cuerpos pequeños de gabro, relacionados con el sistema tectónico de Romeral (Ingeominas, 2001). Algunos de estos cuerpos han sido reportados con nombres específicos en la literatura geológica: Gabro de Palmitas (Grosse, 1926) La Estrella y San Sebastián (Mejía, 1984). Esta unidad corresponde a gabros de grano medio a fino, foliados, con efectos dinámicos superpuestos a los protoclasticos. Particularmente los gabros forman cuerpos alargados de dirección norte sur, limitados por contactos fallados con las unidades adyacentes. Gran parte de la superficie aflorante se encuentra en estado saprolítico y alcanza hasta 40 m de profundidad. En general, es un suelo limoso, color amarillo rojizo a gris claro, con motas blancas y negras, de consistencia firme; puede contener núcleos de roca de textura granítica, meteorizada de color gris amarillento, con oxidaciones y meteorización hacia las paredes de las discontinuidades¹⁸.

5.1.1.2.2.2.2 Periodo Cretácico

5.1.1.2.2.2.2.1 Complejo Quebradagrande. Miembro Volcánico (KvQG)

El Complejo Quebradagrande fue descrito y nombrado inicialmente por Botero (1963) como Formación Quebradagrande. Esta unidad está conformada por un miembro volcánico y un miembro volcano sedimentario que se encuentra entre mezclados, e impiden una separación definida entre las dos unidades. En el I Simposio de Geología Regional del Ingeominas se propuso el nombre de Complejo Quebradagrande como reemplazo a la Formación Quebradagrande (Álvarez, 1995, Maya y González, 1995), debido a las variaciones litoestratigráficas del miembro sedimentario y del miembro

¹⁶ Mejía, Mario. Memorias Mapa Geológico Preliminar Plancha 146. INGEOMINAS. Escala 1:100.000.

¹⁷ Consorcio Microzonificación 2006 – Área Metropolitana. Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado. Medellín, 2007.

¹⁸ Consorcio Microzonificación 2006 – Área Metropolitana. Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado. Medellín, 2007

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

volcánico¹⁹.

Miembro Volcanosedimentario (KvsQG). Cuerpo elongado en dirección N-S, compuesto de intercalaciones de esquistos silíceos negros, filitas grafitosas, liditas, algunas cuarcitas, delgados conglomerados y calizas clásticas negras con escasos fósiles marinos. Son sedimentos de origen marino, neríticos, euxínicos. No son identificados en el área de estudio.

Miembro Volcánico (KvQG). De composición toleítica y está conformado por espilitas, diabasas y basaltos, y en menor proporción andesitas, brechas y tobas. En general son rocas máficas con coloraciones verde oscura producida por la intensa alteración de los minerales máficos que las constituyen. En cercanías a las zonas de fallas se encuentran estructuras esquistosas por efectos dinámicos y donde se dificulta la separación con la unidad de esquistos verdes²⁰.

5.1.1.2.2.2.2 Stock de Altavista (Kida)

La Diorita de Altavista constituye un stock de 83 km², de forma alargada con su dimensión mayor en dirección N10°W, paralela a la tendencia regional de las estructuras geológicas en el área.

Este plutón sobresale por su amplia variedad petrográfica, textural y estructural, y por su relación compleja con las rocas encajantes, que permiten clasificarlo como plutón de epizona (Buddington, 1959). Los tipos de roca varían desde pórfidos con matriz afanítica y composición intermedia a dioritas, cuarzodioritas y granitos, con textura hipidiomórfica; en los bordes presenta facies gabroide por asimilación de las rocas encajantes y son comunes estructuras brechoides. Desarrolla autolitos de composición diorítica, irregulares, con bordes angulosos y digitados, a veces embebidos en una roca granular de composición granitoide²¹.

Es principalmente una roca de tipo leucocrático, inequigranular, con fenocristales de plagioclasas zonada (Anortita, 10 a 35%, con valores máximos del 60% en zonas de borde), cuarzo y ortosa que destacan en una matriz de igual composición; se menciona la presencia de hornblenda y biotita; como minerales de alteración se identifica sericita, clorita y caolín.²²

El color de la roca varía desde muy oscuro, casi negro, hasta gris medio a claro, en los tipos granulares; las porfiríticas son por lo general, color gris verdoso a veces crema. La textura varía de fanerítica granular fina a porfirítica y a medida que se acerca a las zonas de contacto, presenta zonas de brecha. Las edades radiométricas disponibles de este cuerpo, tanto por el método K/Ar como Rb/Sr, varían

¹⁹ Consorcio Microzonificación 2006 – Área Metropolitana. Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado. Medellín, 2007

²⁰ Consorcio Microzonificación 2006 – Área Metropolitana. Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado. Medellín, 2007

²¹ GONZALEZ, Humberto y LONDOÑO, Ana Cristina. Diorita de Altavista (Stock de Altavista). (K1dA). Cordillera Central. Departamento de Antioquia. Catálogo de las unidades Litoestratigráficas de Colombia. Comisión Estratigráfica de INGEOMINAS. Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero – Ambiental y Nuclear. 2002.

²² CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

entre 77 y 151+15 Ma, que caen, predominantemente, en el Cretácico temprano²³.

5.1.1.2.2.2.3 Diorita de Heliconia (Kdha) – Diorita Hornbléndica (Kdhb)

Aflora en el extremo noroccidental del área de estudio, pero no es cruzada por la vía. Corresponde a un stock alargado que intruye a la Formación Quebradagrande. La Diorita de Heliconia está constituida principalmente por cuarzdioritas y dioritas cuarzosas de grano medio, blancas a gris verdosas oscuras, con aspecto moteado, predominio de minerales leucocráticos sobre los melanocráticos; textura hipidiomórfica granular, ocasionalmente ofítica con evidencia de cataclasis²⁴. Localmente es de facies máfica, de grano más fino y color verde oscuro (Diorita Hornbléndica, Kdhb). Álvarez y González (1978) la consideran post-Cretácico inferior.

5.1.1.2.2.3 Unidades del Cenozoico

5.1.1.2.2.3.1 Periodo Paleógeno – Neógeno. Formación Amagá (Ngas, Pgam, Pgai)

Rocas Sedimentarias continentales de origen fluvio lacustre, compuestas por conglomerados, areniscas, arcillolitas y mantos de carbón. Aflora en K16+333 – K17+800 de la UF1. La formación es dividida en tres miembros, de los cuales, en el área de influencia solo aflora en miembro superior (Ngas).

5.1.1.2.2.3.1.1 Miembro inferior (Pgai)

El Miembro Inferior es un conglomerado basal polimíctico de cantos gruesos y fábrica clasto soportada que se interdigita con litoarenitas, arenitas arcillosas y arenitas conglomeráticas en una sucesión con tendencia grano decreciente; en menor proporción se interponen arcillolitas y lodolitas a veces carbonosas de color negro a rojizo. Los clastos de los conglomerados son predominantemente de esquistos verdes, esquistos negros, cuarzo y cuarcitas. Las areniscas son líticas a subarcósicas, por lo general con matriz arcillosa llegando a ser hasta grauvacas²⁵; frecuentemente conglomeráticas, grano decrecientes hacia el techo y constituyen cuerpos lenticulares, de elevada persistencia lateral y base erosiva, es frecuente la estratificación cruzada; hacia el techo se hace mención de la existencia de delgadas capas de carbón de 0,1 – 0,5 m de espesor. Los contactos con las demás unidades son tajantes a transicionales (tomado de Ingeominas, 1.984). Grosse (1.926), le asigna un espesor de 220 m²⁶.

5.1.1.2.2.3.1.2 Miembro Medio (Pgam)

Consta principalmente de arcillolitas de color gris oscuro a claro y rojizo, interpuestas frecuentemente con niveles de carbón de hasta 3 m de espesor y escasas arcosas de grano grueso, colores blanco y gris.

²³ GONZALEZ, Humberto y LONDOÑO, Ana Cristina. Diorita de Altavista (Stock de Altavista).(K1dA). Cordillera Central. Departamento de Antioquia. Catálogo de las unidades Litoestratigráficas de Colombia. Comisión Estratigráfica de INGEOMINAS. Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero – Ambiental y Nuclear. 2002

²⁴ INGEOMINAS. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Bogotá, 1986, página 203

²⁵ GEOESTUDIOS. Complementación Geológica, Geoquímica y Geofísica de la parte Occidental de las Planchas 130 Santa Fe de Antioquia y 146 Medellín Occidental. INGEOMINAS. Escala: 1:100.000. Bogotá, octubre de 2005

²⁶ CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Los niveles de carbón de este intervalo son los que en la región de Amagá – Titiribí – Angelópolis, están siendo explotados intensamente por minería a cielo abierto y subterránea²⁷.

Se caracteriza por la presencia de mantos de carbón intercalados, en una secuencia predominantemente formada por areniscas y lutitas hojosas negruzcas a grises, con ausencia de conglomerados. Los bancos de arenisca son similares a los descritos para el Miembro inferior, con un tamaño de grano desde grueso a fino, cemento silíceo y una matriz arcillosa. Los estratos lutíticos se presentan estratificados en bancos de espesor fino a medio, con estratificaciones claras y persistentes. Su color varía desde tonos negruzcos o grises a verdosos. Pueden aparecer concreciones de siderita y bancos con estructura nodular. Son frecuentes los restos fósiles vegetales. El signo distintivo de este miembro es la presencia de estratos de carbón; existen mantos de carbón que llegan a tener espesores hasta de 4 m. Algunos sectores de la formación fueron intruídos por masas ígneas porfídicas. El espesor de este miembro puede llegar a los 200.m. Las franjas carboníferas en la región están divididas de acuerdo a su posición geográfica en las áreas Venecia-Fredonia, Amagá-Angelópolis, Venecia-Bolombolo y Titiribí, (tomado de ECOCARBON, 1995).

5.1.1.2.2.3.1.3 *Miembro Superior (Ngas)*

Conformado principalmente por areniscas arcósicas y líticas, localmente con cemento calcáreo, color amarillo claro y blanco, con interposiciones delgadas de carbón y arcillolitas de color rojo y gris con lentes, capas lenticulares y nódulos sideríticos y ferruginosos²⁸.

Conforma una secuencia monótona y alternante de areniscas y lutitas pizarrosas negras a grises y se caracteriza por la ausencia de mantos potentes de carbón y carencia de conglomerados. Son características la presencia de concreciones calcáreas. El espesor total de este miembro es mayor de 1.000 m (Grosse, 1.926). Las capas de areniscas son de color gris, grano medio a fino, pueden incluir fragmentos de cuarzo y líticas (incluso pequeños fragmentos de carbón) y matriz arcillosa con algo de cemento silíceo, o ferruginoso en algún caso. Las lutitas son hojosas o pizarrosas con coloraciones desde negras o grises en la base, a ocre hacia techo. Fuera de la zona de estudio, está cubierto discordantemente por la Formación Combia y localmente está intruída por cuerpos de pórfidos andesíticos que producen débiles efectos de contacto en las lutitas y areniscas. El contacto con el miembro medio es normal y está marcado por capas de areniscas grises localmente conglomeráticas (Ingeominas 1.980)²⁹.

Van Der Hammen (1958) asignó el rango de edad para esta formación desde el Oligoceno tardío para el Miembro Inferior hasta Mioceno temprano para el Miembro Superior³⁰.

²⁷ GEOESTUDIOS. Complementación Geológica, Geoquímica y Geofísica de la parte Occidental de las Planchas 130 Santa Fe de Antioquia y 146 Medellín Occidental. INGEOMINAS. Escala: 1:100.000. Bogotá, octubre de 2005

²⁸ GEOESTUDIOS. Complementación Geológica, Geoquímica y Geofísica de la parte Occidental de las Planchas 130 Santa Fe de Antioquia y 146 Medellín Occidental. INGEOMINAS. Escala: 1:100.000. Bogotá, octubre de 2005

²⁹ CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

³⁰ GEOESTUDIOS. Complementación Geológica, Geoquímica y Geofísica de la parte Occidental de las Planchas 130 Santa Fe de Antioquia y 146 Medellín Occidental. INGEOMINAS. Escala: 1:100.000. Bogotá, octubre de 2005.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

5.1.1.2.3.2 Periodo Cuaternario

Los depósitos cuaternarios se identificaron en toda el área de influencia, destacándose depósitos de deslizamientos, depósitos aluviales, coluvio aluviales y llenos antrópicos, los cuales se relacionan a continuación.

5.1.1.3 Caracterización geológica Unidad funcional 1

En este numeral se presentan las características litológicas y estructurales de las unidades litológicas cruzadas por la vía en el tramo Unidad Funcional 1. La información presentada obedece a observaciones de campo, con apoyo del trabajo realizado para estudio y Diseños de la Vía³¹.

5.1.1.3.1 Granito néisico de Palmitas (Pgnp)

Esta unidad litológica aflora en sobre la vía entre el K0+115 – K3+050; en algunos tramos presenta coberturas de depósitos cuaternarios como depósitos de deslizamientos, Qd (K0+243 – K0+348, K0+584 – K0+615, K0+623 – K0+706, K2+387 – K2+584), depósitos aluviales de la quebrada La Frisola, Qal (K0+046 – K0+115, K0+168 – K0+243) y llenos antrópico, Qll (K1+284 – K1+465, K1+613 – K1+680).

En el área de estudio esta unidad litológica se encuentra en contacto fallado (ver Anexo Cartográfico) por el occidente con delgadas franjas de Esquistos verdes (Pev), Gabros de Romeral (Jgr) y por el oriente con Esquistos Cuarzo sericíticos (Pzes).

Entre el K0+700 - K0+800 se identificó un afloramiento donde estas rocas se observaron compactas, oscuras, con predominio de minerales ferromagnesianos, de bandeamiento leve, presencia de minerales de hornblenda elongada, cuarzo y feldespato potásico. Ver Fotografía 5-5. Aproximadamente en el K3+050, sobre la vía existente, se identificó zona de contacto entre Esquistos verdes y Granito néisico de Palmitas, con plano de contacto de dirección N20E/70SE (continuo (>10m), extremadamente cerrado (<2mm), seco, sin relleno) Fotografía 5-6.

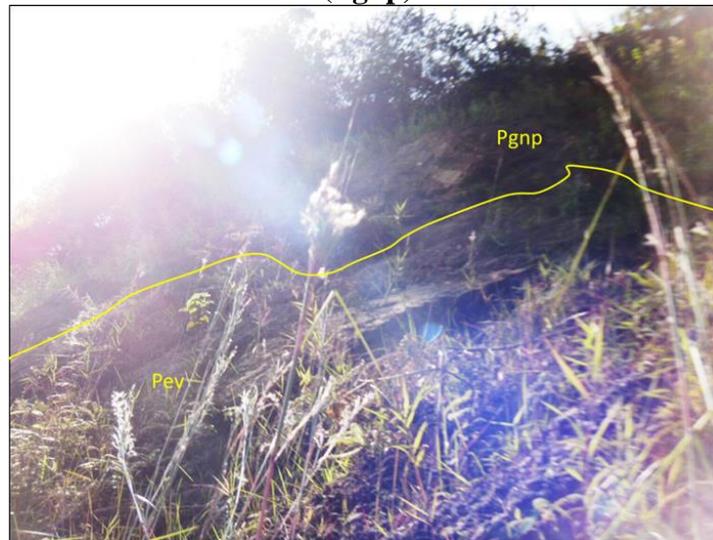
³¹ CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016

Fotografía 5-5 Granito néisico de palmitas (Pgnp), observado aproximadamente en el K0+770 (UF1)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Fotografía 5-6 Zona de contacto entre Esquistos verdes (Pev) y Granito néisico de Palmitas (Pgnp)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

En alrededores del K02+000 (UF1), sobre la vía actual, aflora roca fresca, muy compacta, bandeada, con predominio minerales oscuros (hornblenda de diámetro promedio 3cm, cuarzo) Fotografía 5-7.

Fotografía 5-7 Afloramiento de Granito néisico de palmitas (Pgnp), alrededores de K-02+00



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Esta roca presenta cambios composicionales y texturales, de apariencia masiva a ligeramente bandeada, grueso granular, con predominio de minerales máficos, color gris oscuro a verdoso; se observaron fenocristales de hornblenda hasta 2cm de longitud, biotita, y cristales anhedrales de feldespatos (<2mm); la roca puede observarse con apariencia textural masiva. En campo se identificaron xenolitos de rocas intrusivas félsicas tipo granodiorita a cuarzdiorita (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), que pueden pertenecer al Granito Néisico de Palmitas o corresponder a pequeñas intrusiones de la Diorita de Altavista.

Fotografía 5-8 Afloramiento de rocas básicas intrusivas con xenolitos de composición ácida, puede corresponder a variaciones texturales del granito néisico de palmitas (Pgnp) o intrusiones menores de la Diorita de Altavista



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

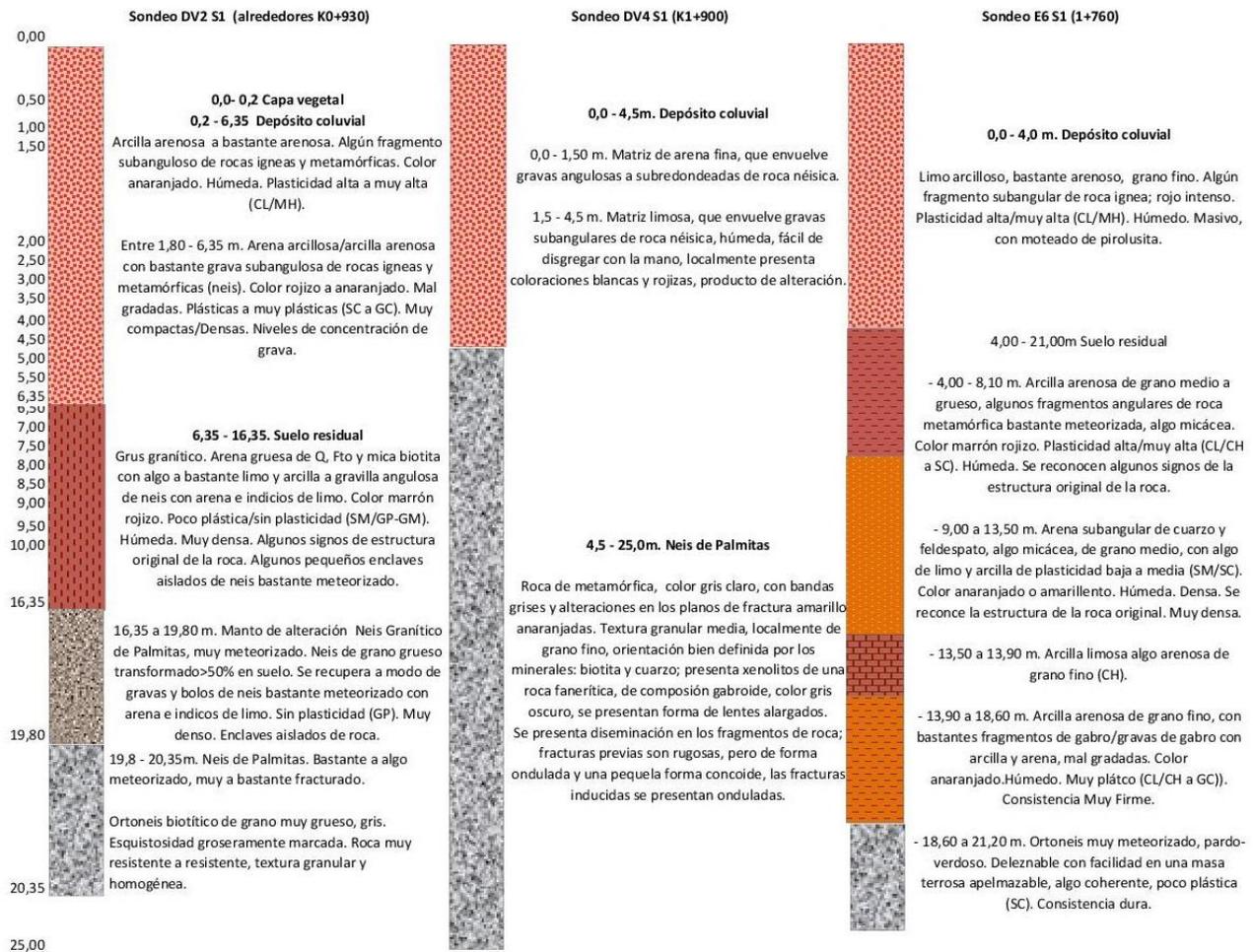
5.1.1.3.1.1 Perfil de meteorización

En sondeos de exploración de suelos realizados para los estudios de Diseño de la vía³², se evidencia

³² CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito

que gran parte de la zona donde aflora el neis de Palmitas, tiene una cobertura coluvial entre 0.2 – 4.5m; los suelos residuales que desarrolla esta unidad litológica, presentan variación textural entre arena gruesa con algo o bastante limo y arcilla a arcilla arenosa de grano medio a grueso, con fragmentos angulares de roca metamórfica bastante meteorizada. El espesor de los suelos residuales se observó entre 10-17 m, ver Figura 5-4. La roca puede encontrarse en profundidades de 4,5 a 21,0 m, y se observa desde bastante (horizonte III, clasificación ISRM) a algo meteorizada (horizonte II, clasificación ISRM).

Figura 5-4 Sondeos de exploración de suelos en Neis granítico de Palmitas (Pgnp)

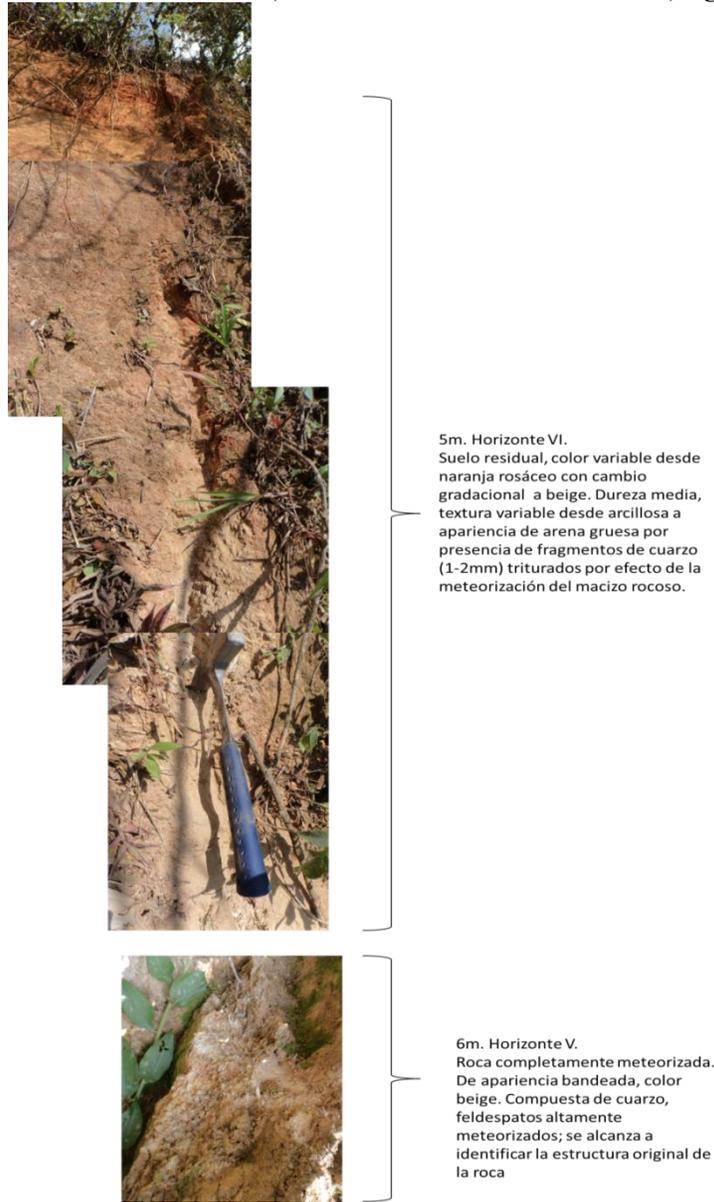


Fuente: EUROCONSULT, Ingenieros Consultores. Sondeos DV2 S1 (alrededores K0+930), DV4 S1 (K1+900), 2016 y E6 S1 (1+760)

En el k00+800 (UF1) se identificó un perfil de meteorización del Granito néisico de Palmitas, que se caracteriza por suelos residuales (Horizonte de meteorización VI) de textura arcillosa producto de alteración de plagioclasas, con presencia de fragmentos de cuarzo que le imprimen apariencia arenosa

gruesa; el horizonte V, roca completamente meteorizada, tiene una profundidad media 5 – 6m. En la Fotografía 5-9, se describe el perfil de meteorización con base en la metodología Dearman (1974 – 1991), ver metodología en Anexo C1.

Fotografía 5-9 Perfil de meteorización, Granito Néisico de Palmitas, Pgnp (K00+800, UF1)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

5.1.1.3.1.2 Aspectos estructurales

Esta unidad litológica presenta alta influencia estructural por efecto de las fallas regionales San Jerónimo y falla Sucia, que hacen parte del sistema de fallas Cauca – Romeral, de dirección N-S. En el

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

K02+030 se determinó bandeamiento en dirección N30°W/subhorizontal, la roca está afectada por dos sistemas de diaclasas N75°W/55°NE y 184°/74°W, discontinuas, extremadamente cerradas, sin relleno, ver Fotografía 5-10; también se observaron estrías de falla en la dirección N10°W/subhorizontal, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Fotografía 5-10 Influencia estructural en Granito Néisico de Palmitas (Pgnp), aproximadamente en K02+320 (UF1)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Fotografía 5-11 Estrías de falla sobre rocas del Granito néisico de Palmitas



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

El cruce de la vía actual a través de esta unidad litológica presenta abundantes cicatrices de deslizamientos y deslizamientos activos, que evidencian la alta inestabilidad del terreno, debida a factores como fallamiento regional, fuertes pendientes del terreno (ligeramente escarpada 25-50% a moderadamente escarpada 50-75%) y actividad antrópica, como la construcción de vías y deforestación.

En informe de INTEINSA (2013)³³, “la zona de Palmitas presenta una gran afectación tectónica por la

³³ INTEINSA – ALCALDÍA DE MEDELLÍN – INVÍAS – ÁREA METROPOLITANA. Consultoría Para La Realización De Los

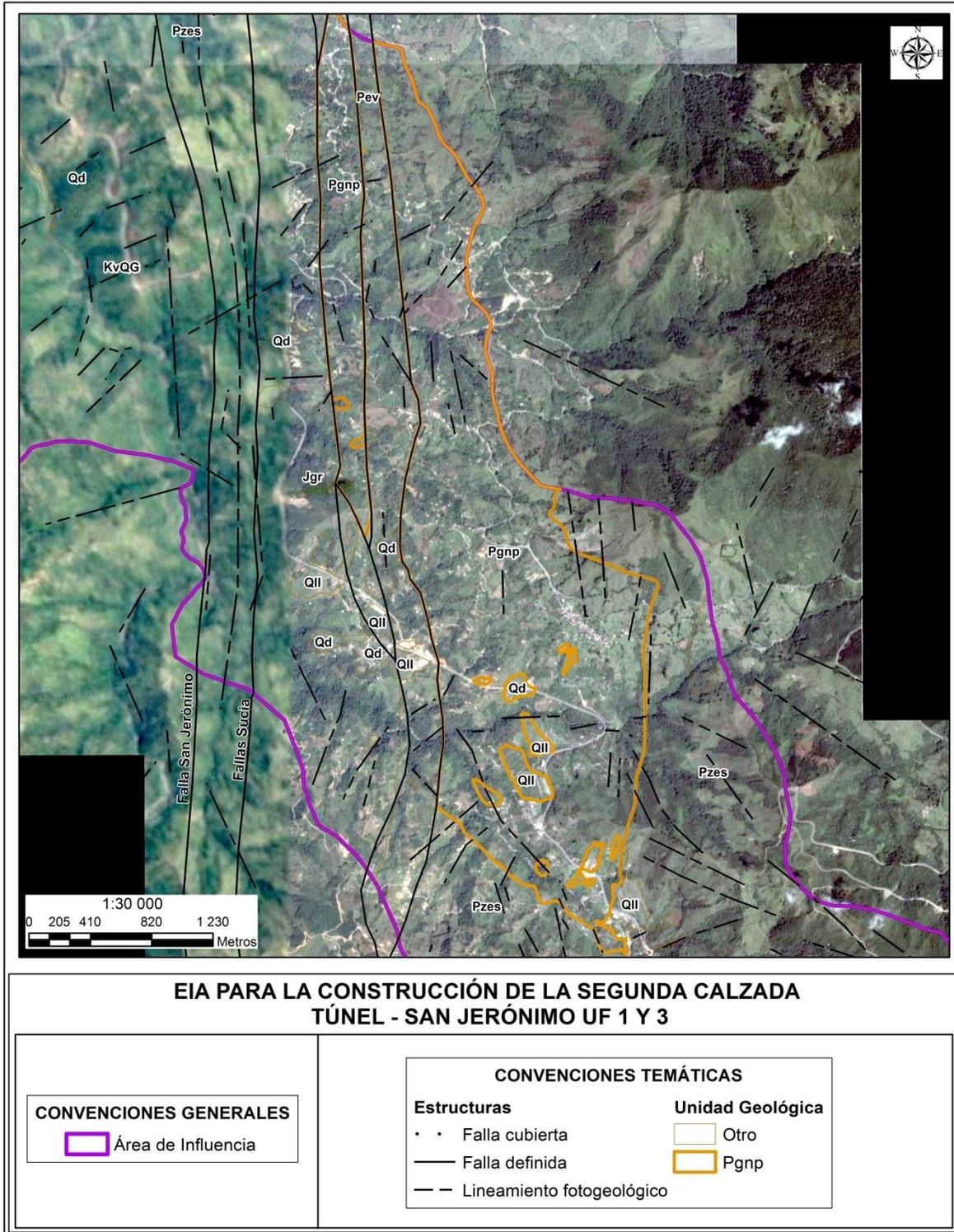
	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.2</p>	

Falla San Jerónimo, con numerosas fallas asociadas; en alrededores del K02+400, se observó fallamiento en dirección general N10°W. Otras fallas de importancia a nivel local son Palmitas, Boquerón con dirección N50°W en su tramo sur para luego cambiar a noroeste en la parte norte. La Arenosa con dirección N25°E, La Negra, La Sucia y La Frisola y en general se manifiestan por su gran afectación a las rocas creando zonas de alto fracturamiento. Estas estructuras dan lugar a un drenaje altamente controlado, como son la quebrada La Sucia, que durante todo su recorrido se presenta paralela a la Falla San Jerónimo o la quebrada La Frisola, que presenta fuertes cambios en su dirección a lo largo de su recorrido. Este control estructural genera alto fracturamiento en las rocas y presencia de silletas y facetas triangulares”.

- **Lineamientos fotogeológicos**

Esta unidad litológica se encuentra muy cerca del área de influencia del sistema de fallas San Jerónimo y La Sucia; entre el K0+400 – K3+00 se identificaron lineamientos fotogeológicos de cortas distancias (40-500m), que se definieron principalmente sobre drenajes de segundo y tercer orden, alineados. Las direcciones delimitadas se encuentran entre los rangos N4W – N43W, N10E – N37E y N50E – N82E, ver Figura 5-5.

Figura 5-5 Influencia estructural en Granito néisico de Palmitas (Pgnp)



Fuente: INGEOMINAS, Geología de la Plancha 146. Modificado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.3.2 Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes)

Afloran en K06+738 - K07+318 y K10+567 - K11+026; a lo largo de estos tramos, se presentan coberturas de depósitos de deslizamientos (Qd) en K10+825 – K11+026.

Cerca de la salida del túnel, en margen derecha de la quebrada La Frisola, se identificó el contacto entre Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) y Granito Néisico de Palmitas (Pgnp); son esquistos negros, sericíticos, compactos, con variaciones locales a esquistos verdes, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Fotografía 5-12 Esquistos sericíticos con intercalaciones de esquistos verdes, afloramiento en margen derecha quebrada La Frisola

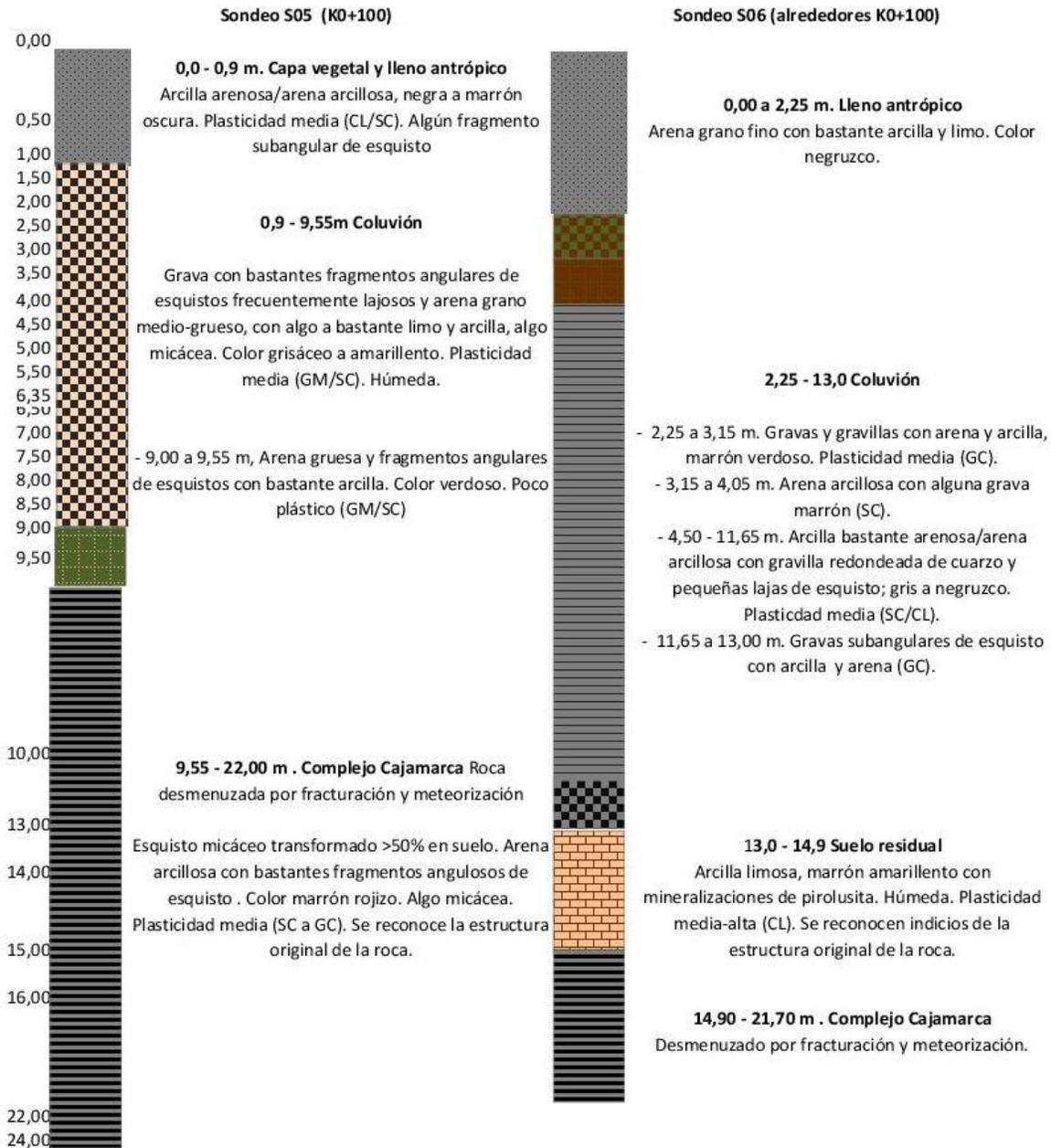


Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

5.1.1.3.2.1 Perfil de meteorización

En Figura 5-6 se observan los resultados de sondeos de exploración de suelos, realizados sobre el trazado de la vía, y donde se identifican esquistos cuarzo sericíticos, con coberturas de llenos antrópicos y depósitos coluviales. Esta roca ha sido identificada desde algo meteorizada, con resistencia media a baja y alto grado de fracturación, hasta con >50% transformado en suelo. Los suelos residuales que desarrolla son arenas arcillosas con bastantes fragmentos angulares de esquistos a arcillas limosas, plasticidad media – alta (CL); pueden reconocerse indicios de la estructura original de la roca. En la Figura 5-6 puede observarse también el perfil de meteorización de esta unidad litológica, en el tramo del túnel.

Figura 5-6 Sondeos de exploración de suelos en Esquistos cuarzo sericíticos, Pzes



Fuente: EUROCONSULT, Ingenieros Consultores. Sondeos S05 (K0+100), S06 (alrededores K0+100), 2016

5.1.1.3.2.2 Aspectos estructurales

Cerca de la salida del túnel, en margen derecha de la quebrada La Frisola, se identificó el contacto entre Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) y Granito Néisico de Palmitas (Pgnp); se determinó esquistosidad con dirección 80°/45°S (poco continua (2-5m), sellada a extremadamente cerrada (<2mm), seca; ver Fotografía 5-13, Fotografía 5-14. En la Fotografía 5-15 se observa contacto entre esquistos y granito néisico de Palmitas, con plano de contacto 80/60SE (discontinuo (<2m), extremadamente cerrado (<2mm, seco).

Fotografía 5-13 Afloramiento de esquistos, en quebrada Frisola



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Fotografía 5-14 Contacto Esquistos del Cuarzo sericíticos (Pzes) y Granito néisico de Palmitas (Pgnp)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Esta unidad litológica, al igual que en toda la región, es de alta influencia estructural debido a las fallas San Jerónimo y La Sucia que en el área de estudio presentan una dirección dominante N-S; las fallas delimitan el afloramiento de esta unidad litológica en los tramos K06+730 – K07+280 (UF1), en el cual

se identifica una zona de alta inestabilidad geotécnica sobre las quebradas Salto y Pisquines, que ponen en contacto rocas del paleozoico (Pzes) con rocas del Cretáceo (KvQG) y Mesozoico (Jgr).

En informe INTEINSA (2013)³⁴, se hace una evaluación detallada de las áreas de inestabilidad geotécnica que han generado deterioro del puente de la actual vía al mar en K6+900. De acuerdo con dicho estudio, los esquistos cuarzo sericíticos se presentan como un paquete estrecho de dirección general N – S, en contacto fallado con los Gabros de Romeral (Jgr) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Fotografía 5-15 Contacto fallado entre Esquistos (Pzes) y Gabros (Jgr)



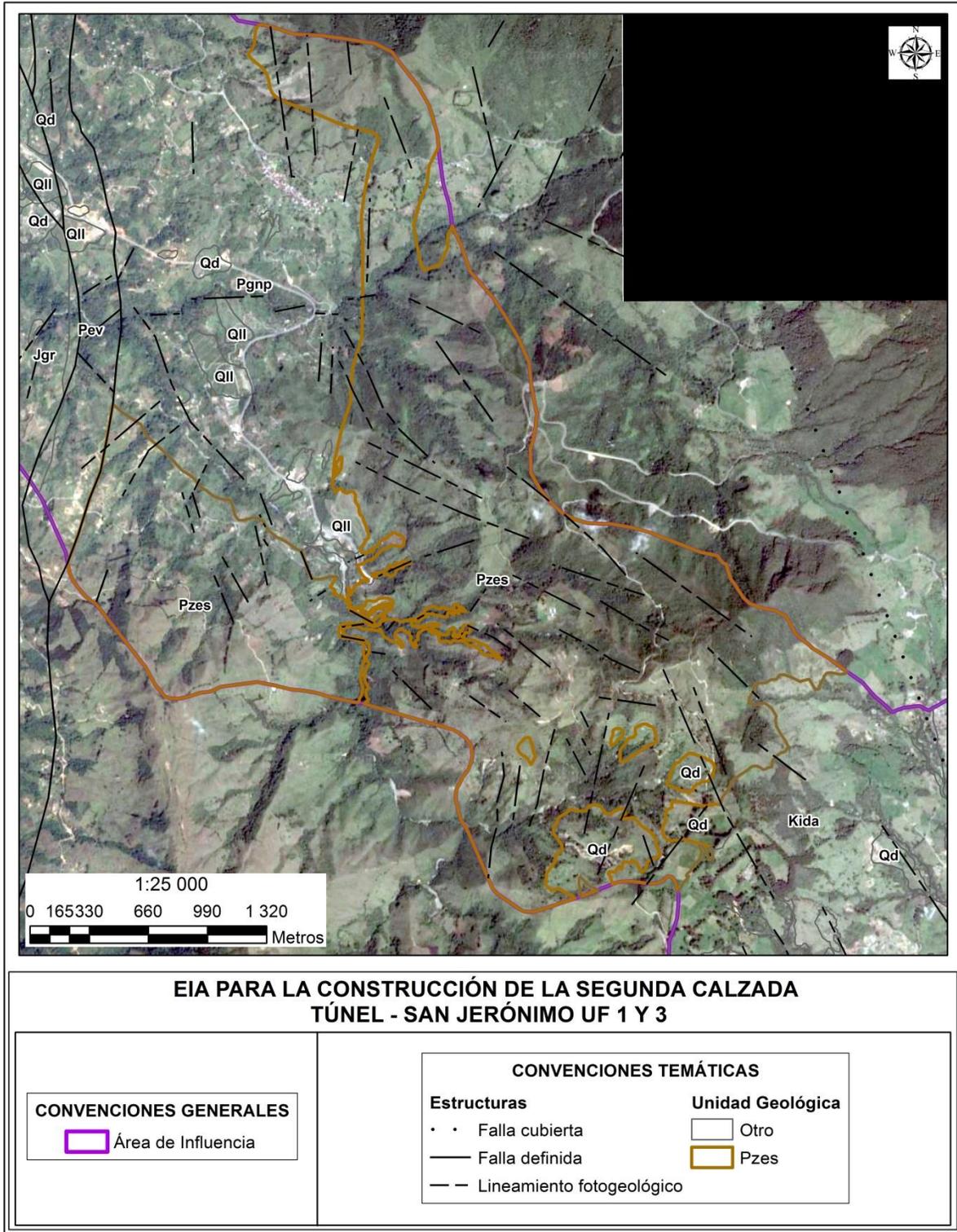
Fuente: INTEINSA. Consultoría para la Realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización De Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía, 2013.

- **Lineamientos fotogeológicos**

Esta unidad litológica se encuentra muy cerca del área de influencia del sistema de fallas San Jerónimo y La Sucia, principalmente en el tramo K6+800 – K7+300 de la vía proyectada. En el tramo del túnel predominan lineamientos de dirección N19W a N69W (Figura 5-7) y en el tramo cercano al paso de las fallas San Jerónimo y La Sucia, la dirección dominante N5E – N24E y N2W – N6W (Figura 5-8).

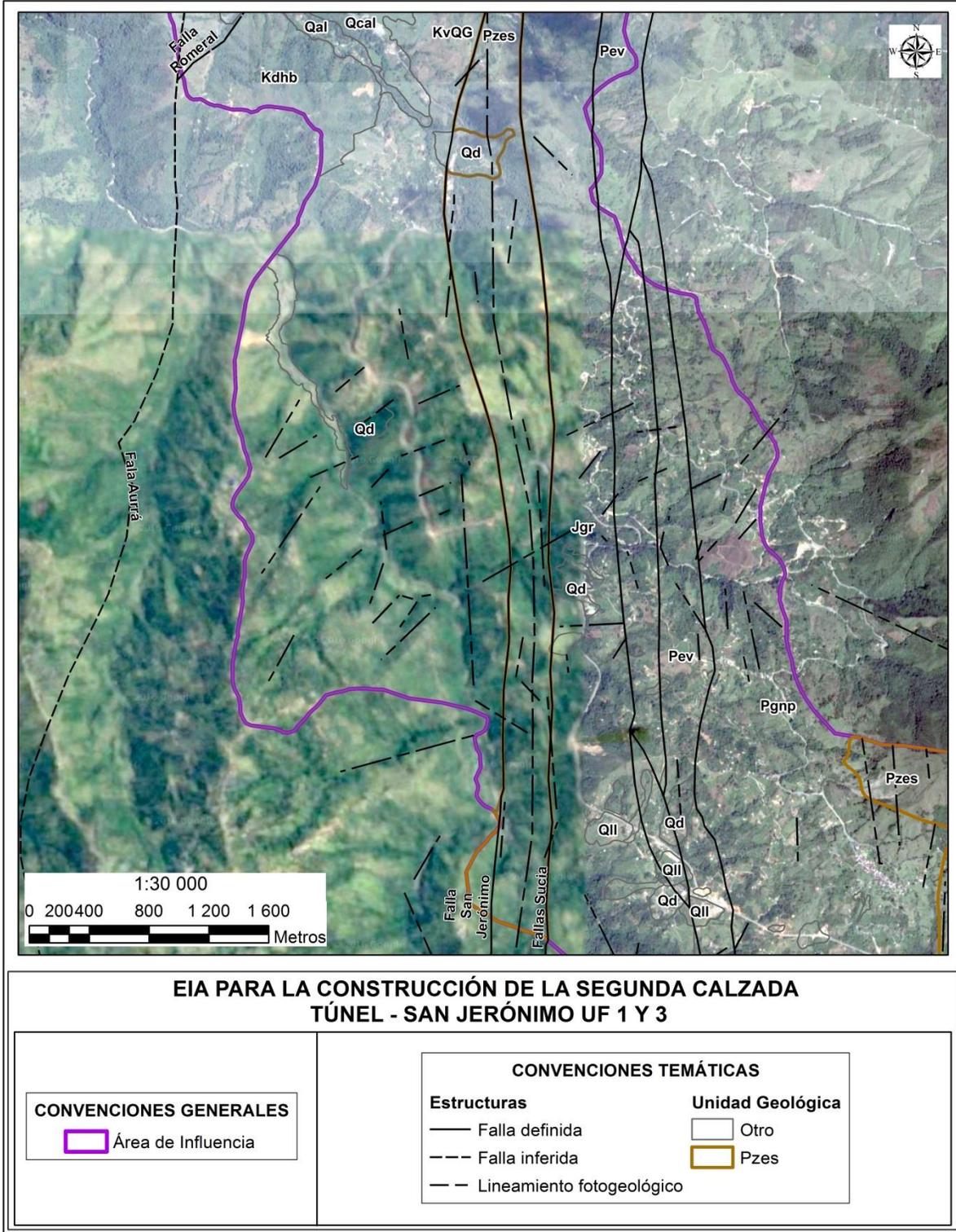
³⁴ INTEINSA. Consultoría para la Realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización De Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía, 2013.

Figura 5-7 Influencia estructural en Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes)



Fuente: INGEOMINAS, Geología de la Plancha 146. Modificado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

Figura 5-8 Influencia de fallas San Jerónimo – La Sucia en Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes)



Fuente: INGEOMINAS, Geología de la Plancha 146. Modificado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

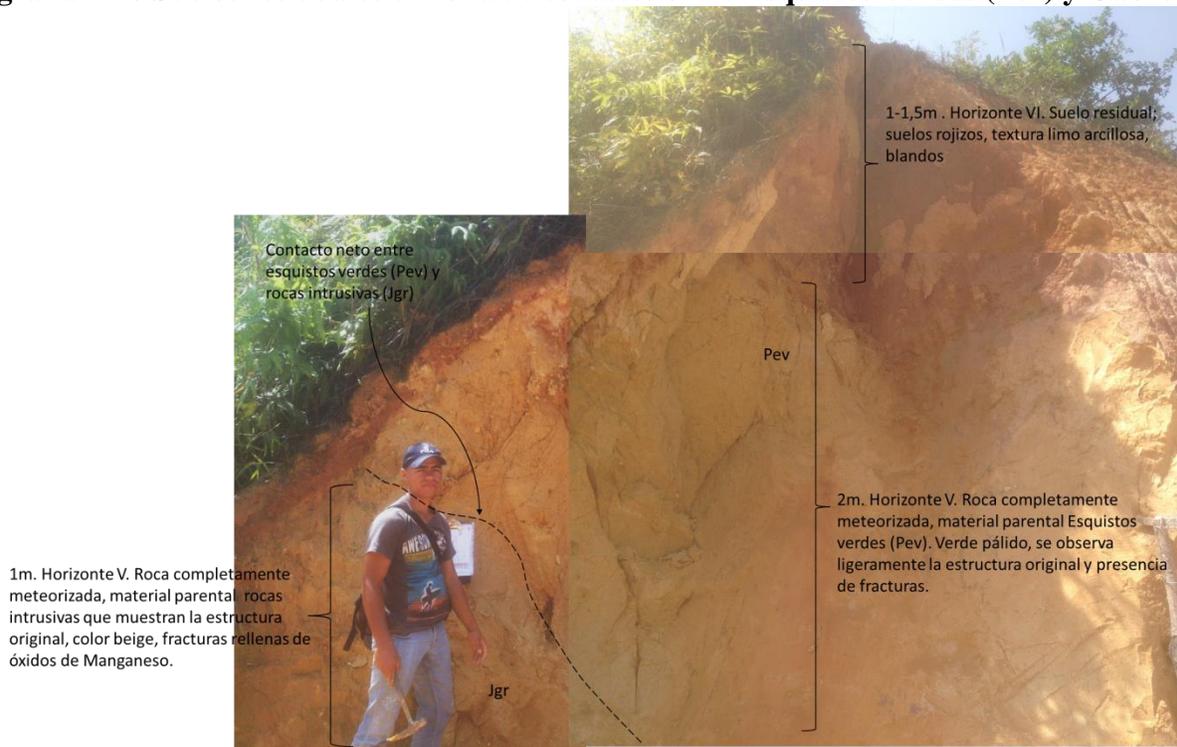
5.1.1.3.3 Esquistos verdes (Pev)

Esta unidad litológica aflora en una franja entre el K03+050 - K03+860, con coberturas superficiales de depósitos de deslizamiento, Qd en K3+335 – K3+380 y llenos antrópicos en K03+134 – K03+300 y K03+448 – K03+699.

5.1.1.3.3.1 Perfil de meteorización

En el K3+400 aproximadamente, se identificó una zona de contacto entre esquistos verdes (Pev) y el intrusivo máfico que conforma los Gabros de Romeral (Jgr), ver Fotografía 5-16. Esta unidad de esquistos desarrolla suelos residuales (horizonte VI) rojizos de textura limo arcillosa, blandos, con un espesor observado de 1 – 1,5m, el horizonte V corresponde a una roca completamente meteorizada, color verde pálido, en la cual se alca a observar su estructura original y la presencia de fracturas.

Fotografía 5-16 Suelos residuales en zona de contacto entre Esquistos Verdes (Pev) y Gabro (Jgr)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

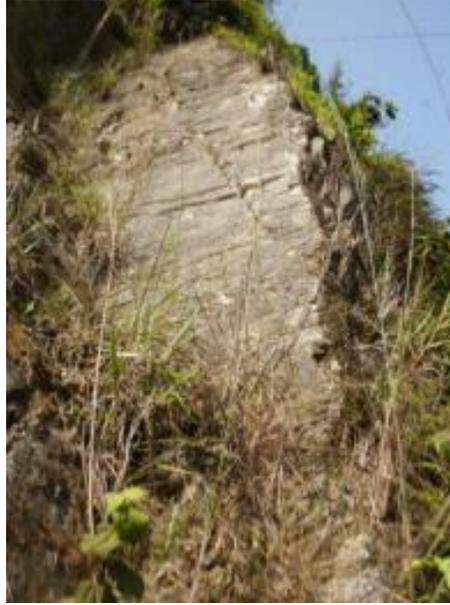
5.1.1.3.3.2 Aspectos estructurales

En alrededores del K3 pudo identificarse afloramiento de la unidad de Esquistos verdes en contacto con granito néisico de palmitas (Pgnp) El neis se presenta suelos en el horizonte VI, con desarrollo de suelos residuales profundos, de por lo menos 20m de espesor. Los esquistos verdes afloran en el horizonte IV, roca altamente meteorizada (horizonte IV), físil, color verde claro con venillas pardas

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

delgadas y abundantes; plano de contacto: N20E/70SE; el plano de contacto es continuo (>10m), extremadamente cerrado (<2mm), seco, sin relleno. Ver Fotografía 5-17.

Fotografía 5-17 Afloramiento de esquistos verdes (Pev), horizonte de meteorización IV

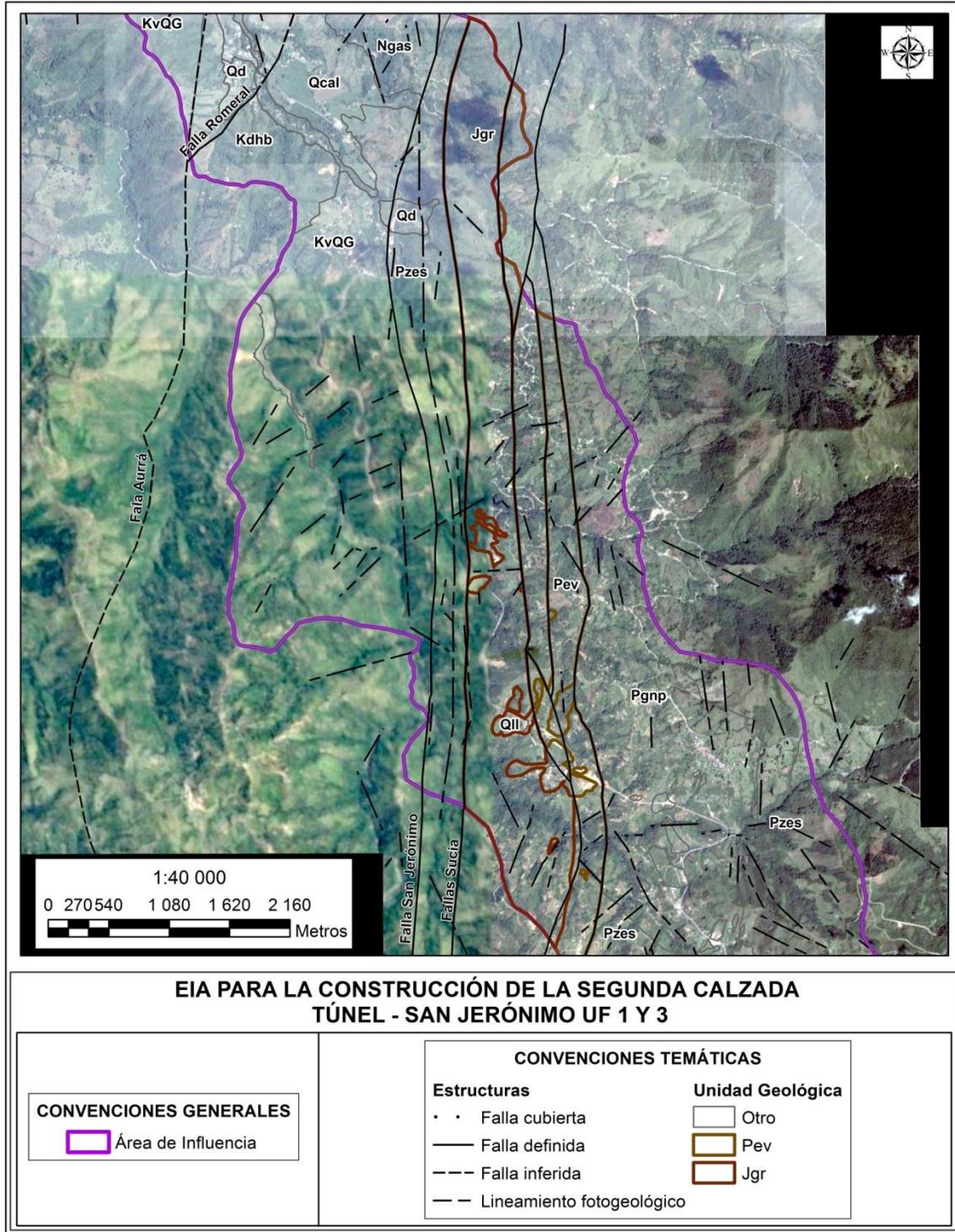


Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

- **Lineamientos fotogeológicos**

Al igual que en la unidad de Esquistos cuarzo sericíticos, esta unidad litológica se encuentra en el área de influencia del sistema de fallas San Jerónimo y La Sucia. Se identificaron lineamientos fotogeológicos de dirección dominante entre N2W – N43W, en menor proporción se delimitaron estructuras entre N5E – N82E, ver Figura 5-9.

Figura 5-9 Influencia estructural en trazo de falla San Jerónimo, afecta Esquistos verdes (Pev) y Gabros de Romeral (Jgr)



Fuente: INGEOMINAS, Geología de la Plancha 146. Modificado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

	<p style="text-align: center;">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p style="text-align: center;">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p style="text-align: center;">VERSIÓN 0.2</p>	

5.1.1.3.4 Gabros de Romeral (Jgr)

Afloran en el área de estudio como un cuerpo alargado, paralelo a los esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) y esquistos verdes (Pev) del Grupo Ayurá Montebello y se encuentra en contacto fallado con estas unidades litológicas, a través de la falla La Sucia.

Esta unidad litológica está referenciada entre K03+860 – K6+779, con coberturas de depósitos de deslizamiento, Qd en K3+847 – K3+873, K5+793 – K5+988, K6+036 – K6+100; cobertura de llenos antrópicos en K3+873 – K4+205 y K5+511 – K5+574.

Aproximadamente en el K06+150, la roca se observó débilmente meteorizada (Horizonte II), de textura fanerítica de grano medio, con predominio de minerales máficos como hornblenda y un bajo porcentaje de feldspatos, Fotografía 5-18.

Fotografía 5-18 Afloramiento de gabros (Jgr)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

5.1.1.3.4.1 Perfil de meteorización

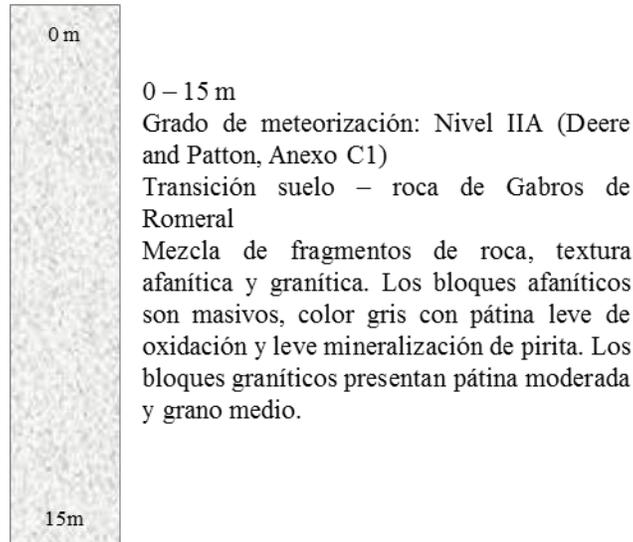
En el K4+700, de acuerdo con observaciones del INTEINSA – INVIAS – ÁREA METROPOLITANA³⁵, la meteorización de estas rocas desarrolla un saprolito porfídico (grado de meteorización IC, Deere and Patton, ver Anexo C1), de textura limo arenosa, color gris verdoso, moteado de blanco y un saprolito granítico de textura arenosa, pardo grisáceo, moteado de blanco, con fragmentos de roca moderadamente meteorizados.

El nivel de transición de suelo a roca (Nivel IIA, Deere and Patton, ver Anexo C1) presenta texturas afanítica y granítica, que corresponde a una mezcla de suelo y roca. El Nivel IIA de la roca de textura afanítica, contiene bloques de color gris oscuro, finogranulares, con una leve meteorización, pátina sobre las discontinuidades y presencia de mineralizaciones de pirita; el suelo es arenoso, de color gris y

³⁵ INTEINSA – INVIAS – ÁREA METROPOLITANA. Consultoría Para La Realización De Los Estudios Geotécnicos Y Diseños De Ingeniería Necesarios Para Las Obras De Mitigación Y Estabilización De Puntos Críticos En La Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa Y La Antigua Vía Al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 04. Proceso Erosivo El 19. km 19+000. Medellín, 2014.

humedad baja. El Nivel IIA de textura granítica contiene bloques moderadamente meteorizados, color blanco moteado de negro, pátina amarilla a naranja, equigranular, con una composición mineralógica dominada por plagioclasas y piroxenos³⁶.

Figura 5-10 Perfil de meteorización de Gabros de Romeral (Jgr)

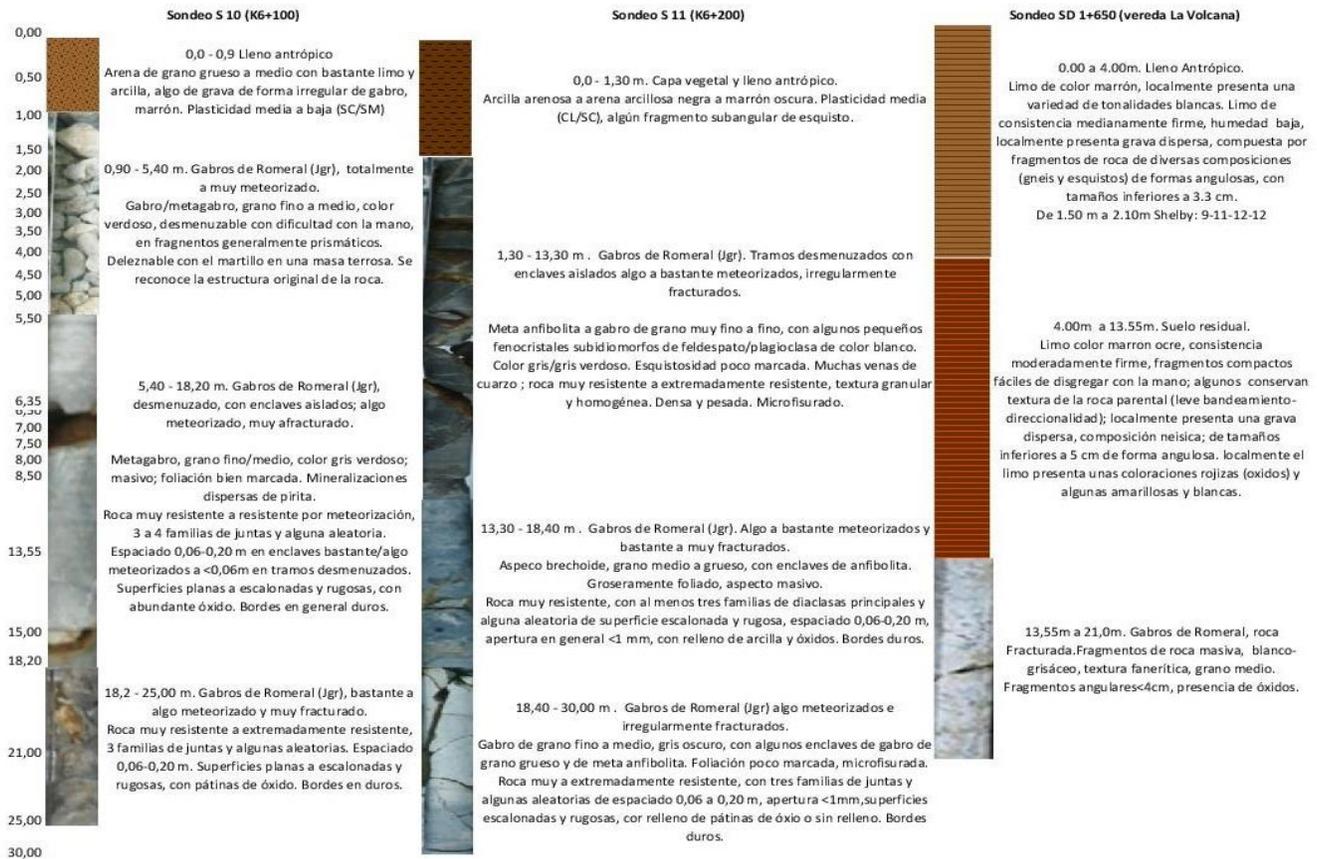


Fuente: INTEINSA – Alcaldía de Medellín – Gobernación de Antioquia – Área Metropolitana – INVÍAS. Consultoría Para La Realización De Los Estudios Geotécnicos Y Diseños De Ingeniería Necesarios Para Las Obras De Mitigación Y Estabilización De Puntos Críticos En La Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa Y La Antigua Vía Al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 04. Proceso Erosivo El 19. km 19+000. Informe final I-2348-El 19-02-Rev1.

En sondeos de exploración de suelos realizados para los estudios de diseño de la vía, sobre esta unidad litológica (Figura 5-11), se evidencia que en el terreno por el cual cruzará la vía, esta unidad litológica presenta grados de meteorización desde algo meteorizado (horizonte II, clasificación ISRM) hasta completamente meteorizado (horizonte V, clasificación ISRM) y se encuentra a partir de un metro de profundidad; también puede observarse suelo residual con espesor de 9-10m, con textura limosa y fragmentos de roca fáciles de disgregar. Cuando se observa la roca, es masiva, resistente a muy resistente a la meteorización, y afectada por familias de diaclasas.

³⁶ INTEINSA – Alcaldía de Medellín – Gobernación de Antioquia – Área Metropolitana – INVÍAS. Consultoría Para La Realización De Los Estudios Geotécnicos Y Diseños De Ingeniería Necesarios Para Las Obras De Mitigación Y Estabilización De Puntos Críticos En La Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa Y La Antigua Vía Al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 04. Proceso Erosivo El 19. km 19+000. Informe final I-2348-El 19-02-Rev1. Enero 2013.

Figura 5-11 Sondeos de exploración de suelos en Gabros de Romeral (Jgr)



Fuente: EUROCONSULT, Ingenieros Consultores. Sondeos S10 (K6+100), S11(K6+200), SD 1+650 (vereda La Volcana), 2016

5.1.1.3.4.2 Aspectos estructurales

En esta región constituyen una estrecha franja de terreno con eje mayor de orientación N-S que se extiende a lo largo del Vial existente; sus contactos son fallados, por las fallas N-S del Sistema San Jerónimo, y transversalmente, por fallas E-W. La disposición y deformación tectónica de estos cuerpos es concordante con los Esquistos cuarzo sericíticos y Esquisto Verdes³⁷.

INGEOMINAS (2001) indica una afinidad genética que podría corresponder a complejos ofiolíticos desmembrados y emplazados tectónicamente a favor del sistema de fallas del Romeral, y corresponder a una zona de sutura de margen continental activo entre un litosferoclasto de naturaleza continental y un sistema de arco isla. Comprende diversos tipos litológicos, de forma que frecuentemente se adoptan términos locales; la roca típica tiene apariencia de anfibolita, también presenta aspecto néisico y gabroide (gabros y neises de Palmitas descritos por Goose en 1926, o los gabros de La Estrella o San

³⁷ CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

*Sebastián de Mejía en 1984)*³⁸.

En la Fotografía 5-19 se muestra panorámica de esta unidad litológica, con presencia de laderas rectas, estructurales, afectadas por fallamiento regional.

Fotografía 5-19 Panorámica de Gabros de Romeral, afectados por deslizamientos planares en laderas con influencia de sistema de fallas San Jerónimo



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

- Lineamientos fotogeológicos

Esta unidad litológica ubicada en el área de influencia del sistema de fallas San Jerónimo y La Sucia, tiene un dominio de lineamientos fotogeológicos de dirección N7W – N6E, en menor proporción se identificaron lineamientos de dirección N20E – N87E.

5.1.1.3.5 Complejo Quebradagrande, miembro volcánico (KvQG)

Esta unidad litológica aflora en extremo norte del área de influencia, en contacto con rocas sedimentarias de la Formación Amagá al NW y SW de San Jerónimo, y en contacto fallado con esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) del Grupo Ayurá Montebello, a través de la Falla San Jerónimo. Se identificó en la Unidad Funcional 1 en K07+314 - K10+578, K11+100 - K11+353.

En alrededores del K07+800 se identificaron rocas moderadamente meteorizadas (Horizonte III), con alto grado de fracturamiento, conformadas por pórfidos de matriz fina, afanítica, silicificada, color violeta (80% de matriz), con 20% de minerales anhedrales de feldespatos, elongados de longitud promedio 1 mm, color beige, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Es una roca

³⁸ CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

compacta y muy fracturada, con presencia de espacios vacíos.

Fotografía 5-20 Pórfidos de la Formación Quebradagrande (KvQG)



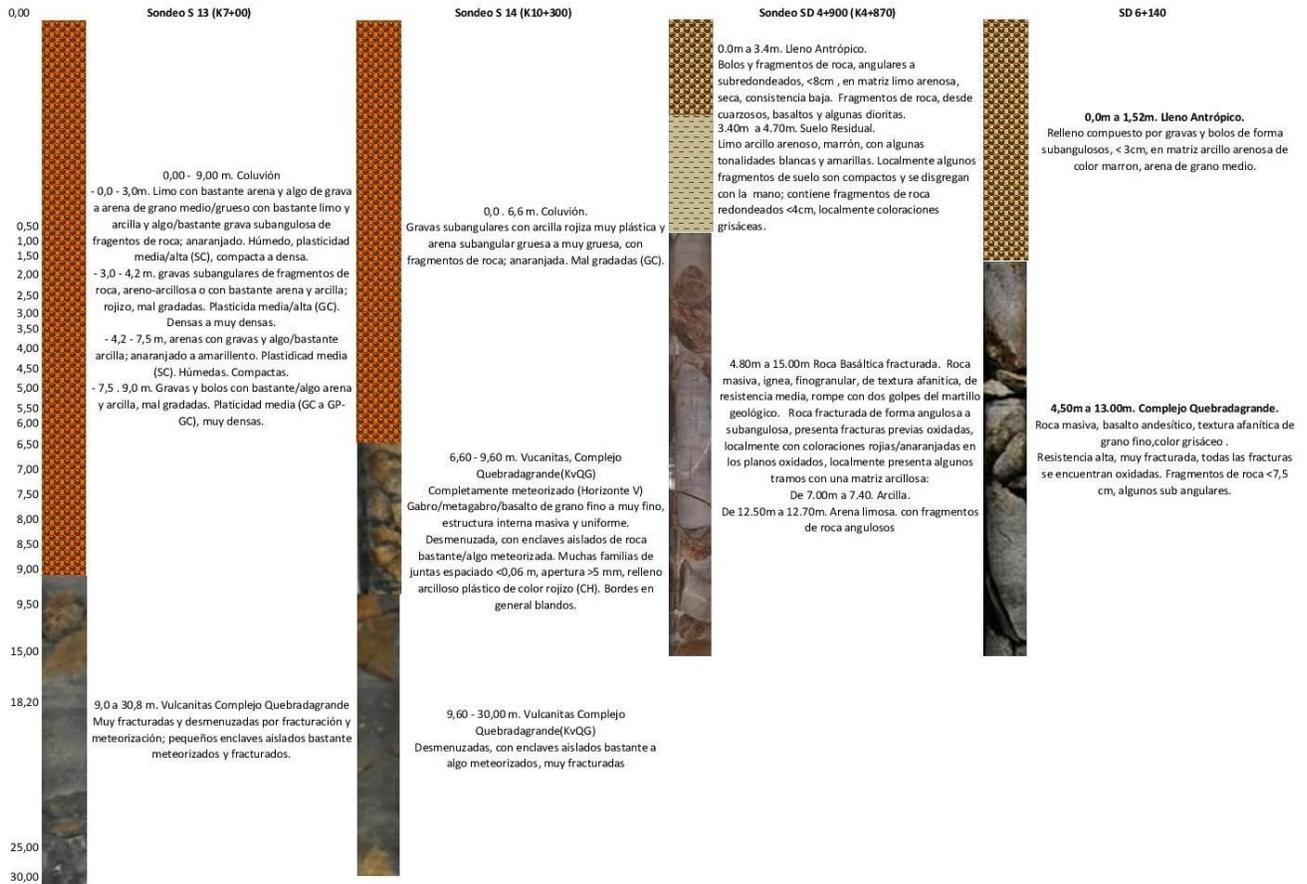
Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

5.1.1.3.5.1 Perfil de meteorización

En sondeos de exploración de suelos realizados para los estudios de Diseño de la vía³⁹, presentan cobertura de depósitos de deslizamientos y llenos antrópicos de espesores entre 1.5 – 9m. Los basaltos se encuentran desde bastante meteorizados (horizonte III, clasificación ISRM) a completamente meteorizados (horizonte V, clasificación ISRM), muy fracturados, afectados por sistemas de diaclasas y de resistencia media a alta (Figura 5-12). En la Fotografía 5-21 se observa afloramiento de roca porfídica moderadametne meteorizada (horizonte III, clasificación Deerman, 1974 – 1911).

³⁹ CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

Figura 5-12 Sondeos de exploración de suelos en KvQG



Fuente: EUROCONSULT, Ingenieros Consultores. Sondeos S13 (7+00), S14 (K10+300), SD 4+900 (K4+870), SD 6+140, 2016

Fotografía 5-21 Afloramiento de rocas porfídíticas, Complejo Quebadagrande, KvQG



Horizonte III. Roca moderadamente meteorizada. Textura porfídica, color pardo moteado con beige; alto grado de fracturamiento de la roca, con presencia de venas de cuarzo relleno de grietas

Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

5.1.1.3.5.2 Aspectos estructurales

En alrededores del K10+200 se identificaron rocas basálticas, débilmente meteorizadas (grado de meteorización II, Deerman (1974-1991); son rocas básicas verdosas, compactas, con pequeños cristales de minerales oscuros (diámetro <1mm), vidrio volcánico (?), textura granular. Se identificó plano de falla (N68°E/84°S), con presencia de estrías de falla, relleno de óxidos de hierro y minerales blancos (feldespatos) Fotografía 5-22 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** También se midió un sistema de diaclasas subverticales con dirección N25°E/83°W (discontinuas (<2m), secas, extremadamente cerradas (<2mm) a amplias (>2cm), con rellenos de arenas de grano medio, sueltas).

Fotografía 5-22 Afloramiento de rocas basálticas con evidencia de fallamiento (KvQG)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Fotografía 5-23 Rocas basálticas muy fracturadas (KvQG)

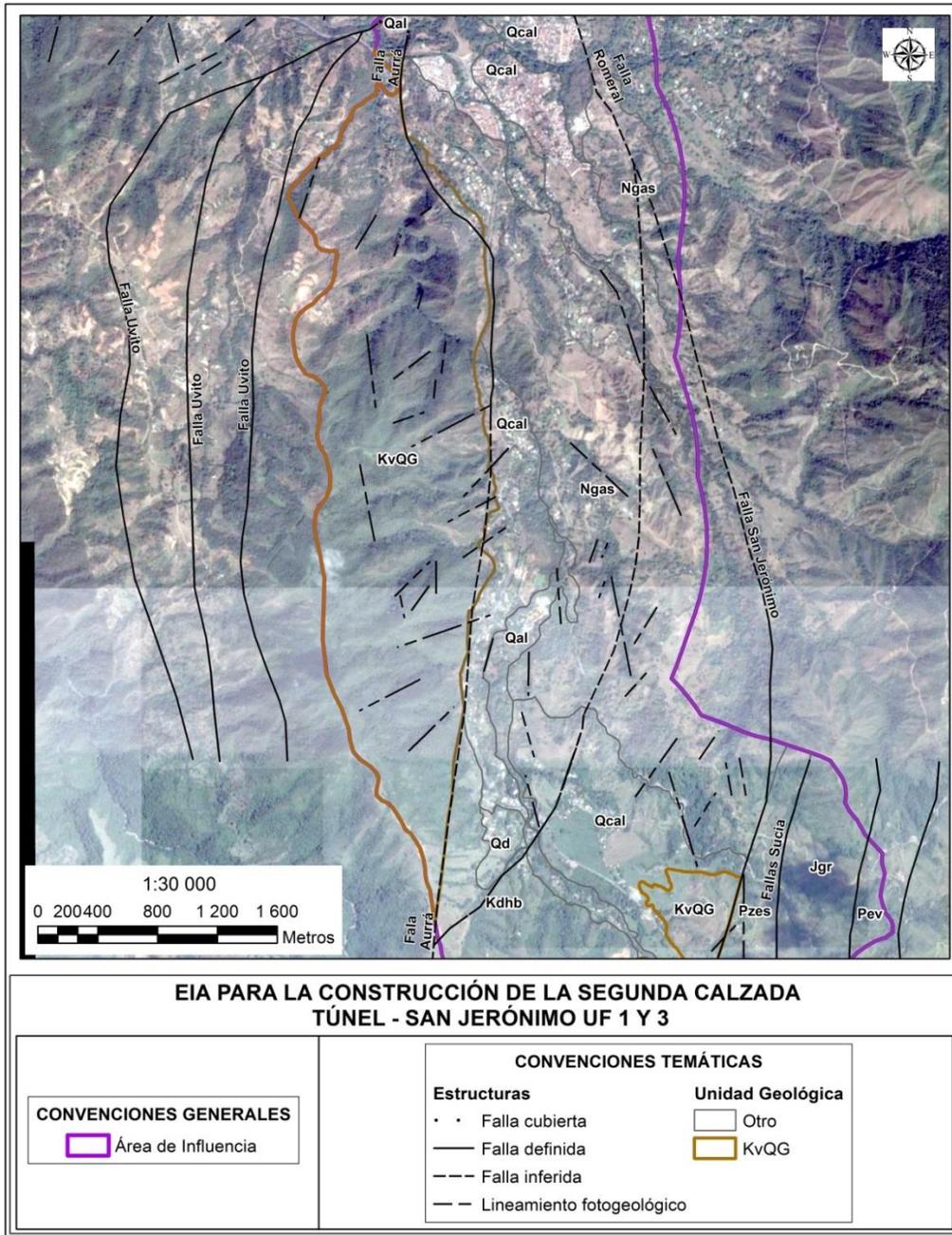


Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

- Lineamientos fotogeológicos

Esta unidad litológica se encuentra afectada por el trazo de la falla Aurrá, de dirección dominante NE – SW, y los lineamientos fotogeológicos obedecen a esta misma tendencia, con rangos entre N71E – N34E y N18E – N10W, Figura 5-13.

Figura 5-13 Influencia estructural en rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande (KvQG)



Fuente: INGEOMINAS, Geología de la Plancha 146. Modificado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.3.6 Formación Amagá. Miembro superior (Ngas)

Estas rocas afloran en las abscisas K16+345 – K17+800. En Fotografía 5-24 se identificaron rocas sedimentarias de la Formación Amagá, compuestas de conglomerados, con un 60% de matriz arenosa media, suelta, color café claro, clastos redondeados a subredondeados de cuarzo, liditas y fragmentos de roca, de diámetro promedio 1-4 cm, con leve orientación de los clastos.

Fotografía 5-24 Afloramiento de rocas sedimentarias de la Formación Amagá, K16+500 (UF1)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

En alrededores del K16+400, se observó un contacto gradacional entre rocas basálticas color verde claro, afectadas por tres sistemas de diaclasas, perpendiculares entre sí, que al partir la roca permiten el desarrollo de bloques rectangulares: N15°E/55°W (continuas (>10m), cerradas (6-20mm), secas, sin relleno), N22°E/48°SE (discontinuas (<2m), cerradas (6-20mm), secas, sin relleno) y N84°W/85°N (continuidad media (5-8m), cerradas (6-20mm), secas, sin relleno), ver Fotografía 5-25.

Fotografía 5-25 Afloramiento de basaltos KvQG suprayacidos por sedimentos de Formación Amagá



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

En la parte superior de este afloramiento, los basaltos se observan suprayacidos por estratos de conglomerados de la Formación Amagá, con un espesor aproximado de 25-30m. Fotografía 5-26.

Fotografía 5-26 Contacto rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande (KvQG) con rocas sedimentarias de la Formación Amagá (Ngas)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

5.1.1.3.6.1 Perfil de meteorización

En sondeos exploratorios realizados para los estudios y diseños de la vía, se pudieron caracterizar los sedimentos de la Formación Amagá, como estratos de 10-20m espesor, cuyo grado de meteorización puede observarse desde suelos residuales (horizonte VI) conformados por arcillas con algo de arena, plásticas a muy plásticas, firmes a muy firmes, hasta rocas muy a bastante meteorizadas (horizontes IV a III), pueden observarse estratos con predominio de lutitas grises, deleznable hasta areniscas de grano muy fino, deleznable. En ambos casos puede presentarse una transformación <50% en suelo (ver Figura 5-14).

Figura 5-14 Sondeos de exploración en depósitos coluvio aluviales y sedimentos Formación Amagá

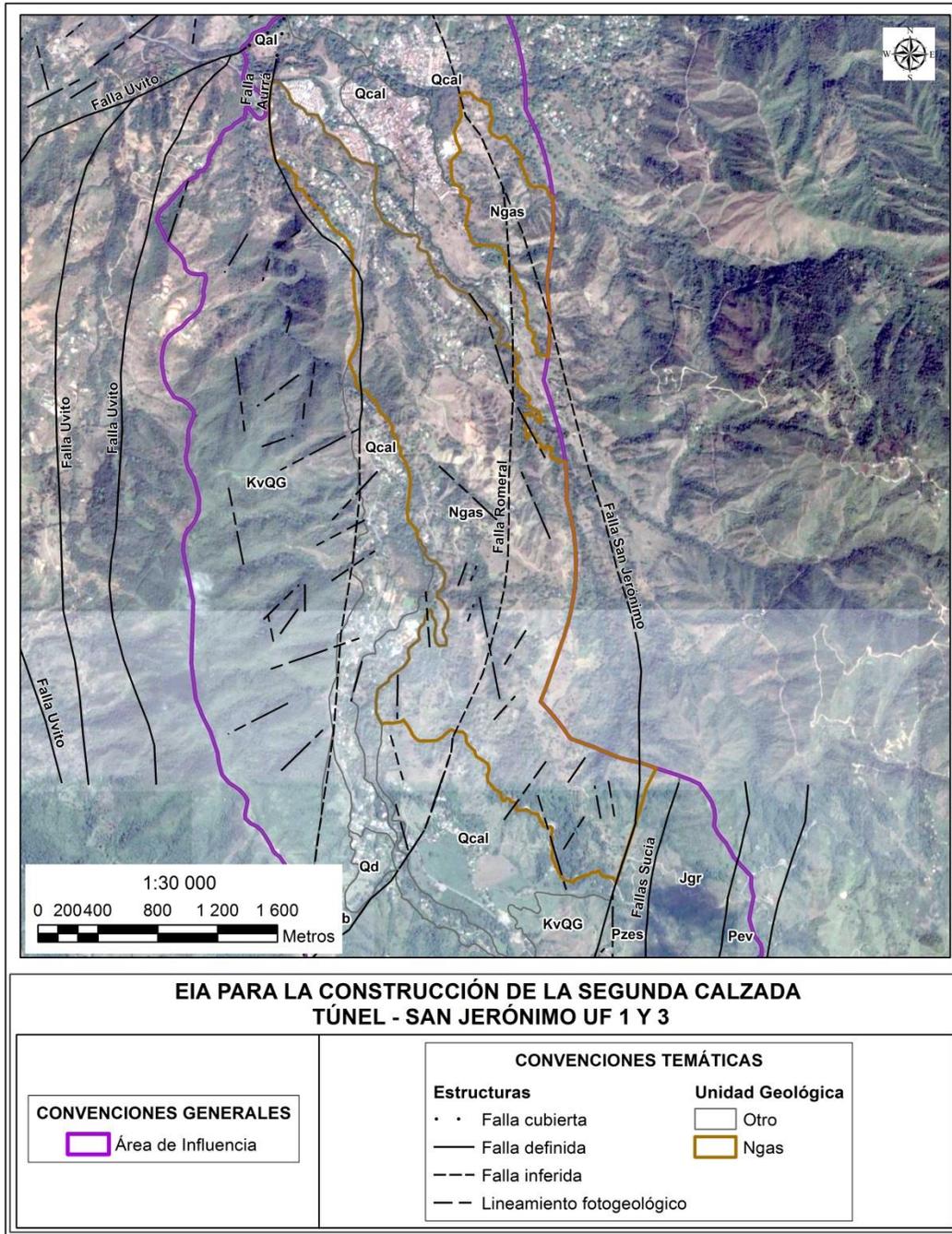


Fuente: EUROCONSULT, Ingenieros Consultores. Sondeos E26 S1 (K12+800), E27 S1 (K16+200), 2016

- Lineamientos fotogeológicos

Los lineamientos fotogeológicos identificados en esta unidad litológica son de dominio NS – N42E y en menor proporción N4W – N47W, Figura 5-15.

Figura 5-15 Influencia estructural en sedimentos de Formación Amagá (Ngas)



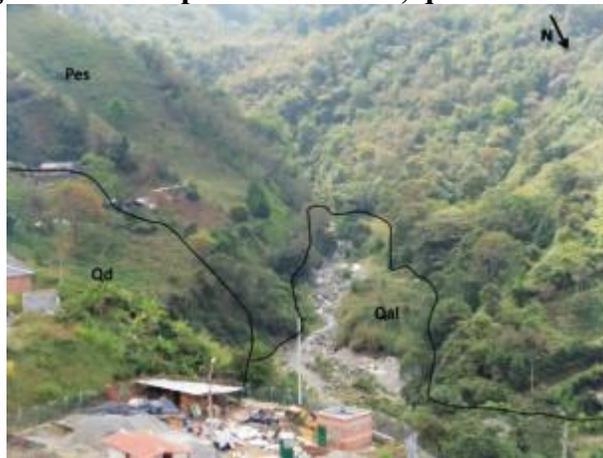
Fuente: INGEOMINAS, Geología de la Plancha 146. Modificado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.3.7 Depósitos cuaternarios

5.1.1.3.7.1 Depósitos Aluviales (Qal)

Son depósitos aluviales intramontanos, en su mayoría de tipo torrencial, que conforman valles en V, típicos de relieves de alta montaña, como es el caso de la morfología que caracteriza el tramo de la Unidad Funcional 1. Estos depósitos fueron delimitados en quebradas y ríos del área de influencia, ver ejemplos en la Fotografía 5-27 y Fotografía 5-28.

Fotografía 5-27 Depósitos aluviales, quebrada La Frisola



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Fotografía 5-28 Depósitos aluviales, quebrada La Frisola



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

En el tramo K0+000 – K11 la vía realizará cruces de valles en V, generados de quebradas provenientes del relieve de montaña, por ejemplo la quebrada Volcana (Fotografía 5-29), quebrada Miserenga (Fotografía 5-30), quebrada La Roncha (Fotografía 5-31), y quebrada La Rochela (Fotografía 5-32).

Estos depósitos aluviales se caracterizan por ser angostos, de poco espesor, compuestos por abundantes cantos rodados, subredondeados, de composición variable, arena suelta.

Fotografía 5-29 Margen izquierda quebrada La Volcana



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Fotografía 5-30 Alrededores del K7+00. Cruce sobre quebrada Miserenga, en valle en V



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Fotografía 5-31 Alrededores de K7+200. Cruce sobre quebrada La Roncha



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Fotografía 5-32 Cruce a través de quebrada La Rochela



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Algunos de estos depósitos aluviales en relieve de alta montaña, corresponden a depósitos aluvio torrenciales, como sucede en la quebrada La Causala, que será cruzada por la vía en el K2+944.

En estudio de INTEINSA (2013)⁴⁰, la quebrada La Causala es una corriente que fluye en sentido Occidente-Oriente, con un poder de arrastre fuerte, que lleva material de toda la cuenca y deposita en la

⁴⁰ INTEINSA. Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 22. La Causala. PR 48+000 INVIAS. Informe Final. I-2348-lc-01-rev1. Octubre de 2013.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

vía principal. En la parte alta de la cuenca de la quebrada La Causala evidencia un proceso de inestabilidad de grandes dimensiones. El material proveniente de deslizamiento se convierte en material de carga y épocas de altas precipitaciones se generan procesos aluviotorrenciales que transportan volúmenes importantes de agua, sedimentos y escombros, que pueden desplazarse a grandes velocidades. La Fotografía 5-33 muestra las características del material transportado por la quebrada. La fotografía de la izquierda corresponde a un evento que se presentó en diciembre de 2011 y muestra el material que se extiende por la calzada de la vía.

Fotografía 5-33 Material transportado por la quebrada La Causala



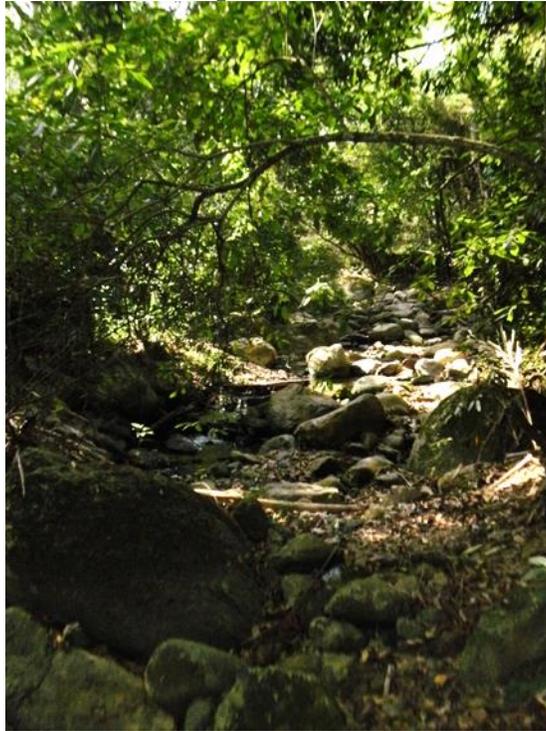
Fuente: INTEINSA. Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 22. La Causala. PR 48+000 INVIAS. Informe Final. I-2348-lc-01-rev1. Octubre de 2013

“El depósito aluviotorrencial tiene una relación matriz/fragmentos de 60/40, con matriz areno limosa y fragmentos angulares a redondeados cuya litología corresponde a rocas de contacto y diorita, con tamaños variable entre gravas, cantos y bloques, alcanzando un diámetro de 50 cm. De acuerdo con los ensayos de laboratorio, la matriz es areno limosa (SM), de color ocre y húmeda, con 45% de arenas y 25% de finos, además 30% de gravas que hacen parte de los fragmentos de roca, angulares y frescas”⁴¹.

Entre el K11 – K17+800, las quebradas y ríos que cruzará el eje de la vía, presentan un cambio morfológico fuerte, pasan de un paisaje de montaña a un paisaje de piedemonte, con reducción de las pendientes del terreno, aumenta la depositación de sedimentos y mayor amplitud en los depósitos aluviales asociados. Como ejemplo, la Fotografía 5-34 muestra el valle aluvial y depósitos aluviales asociados a la quebrada Sanjuana I.

⁴¹ INTEINSA. Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 22. La Causala. PR 48+000 INVIAS. Informe Final. I-2348-lc-01-rev1. Octubre de 2013

Fotografía 5-34 Depósitos aluviales, quebrada Sanjuana I, alrededores de K13+800



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

5.1.1.3.7.2 Depósitos coluvio aluviales (Qcal)

Corresponden principalmente a abanicos aluviales y abanicos terraza, que hacen parte del piedemonte de la vertiente occidental de la Cordillera Central. Comprenden 453,38 ha (8,5%) del área de influencia. Estos depósitos se cruzan en K11+338 - K12+817, K12+836 - K12+873 y K13+057 - K16+333 de la UF1.

En la Fotografía 5-35; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se hace una descripción de la composición y características físicas de un abanico aluvial por el que cruza la vía. Estos depósitos desarrollan un relieve ondulado de pendientes fuertemente onduladas (10°), superficialmente se observan grandes bloques de roca, de diámetro 30 cm – 1m. En esta zona no se observan problemas de estabilidad del terreno; el depósito conforma un relieve de colinas bajas de apariencia estable, matriz medianamente suelta, susceptible a erosión en surcos y cárcavas, pero de pendientes suaves, de apariencia estable (Fotografía 5-36).

Fotografía 5-35 Descripción perfil de depósito coluvio aluvial (Qcal)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Fotografía 5-36 Panorámica de depósito coluvio aluvial (Qcal), en K12+500



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

En los sondeos realizados para los estudios de diseño de la vía, se muestran las características observadas en este depósito coluvio aluvial, que ha sido considerado también como terraza aluvial.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

5.1.1.3.7.3 Depósitos de derrubio (Qd)

Depósitos de ladera de dimensiones variables asociados a movimientos en masa antiguos y recientes. Estos depósitos se observan en mayor proporción sobre las rocas intrusivas de la Diorita de Altavista (Kida) y la zona de alta influencia estructural del sistema de fallas San Jerónimo – La Sucia, en la unidades litológicas Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes), Esquistos verdes (Pev), Gabros de Romeral (Jgr) y Granito néisico de Palmitas (Pgnp).

Estos depósitos son cruzados en la Unidad Funcional 1 por el K00+000 - K00+045, K00+055 - K00+064, K00+242 - K00+349, K00+584 - K00+623, K00+696 - K00+711, K02+371 - K02+570, K03+326 - K03+368, K03+928 - K03+955, K05+751 - K05+946, K05+997 - K06+056, K10+825 - K11+102, K12+873 - K13+057. En el tramo del túnel (UF3) también se cruzan algunos depósitos de ladera, de dimensiones variables.

Fotografía 5-37 Panorámica de depósitos de ladera en alrededores de la boca del túnel existente.



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Fotografía 5-38 Depósito de deslizamiento (Qd), en ladera SW del túnel, parte alta



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.2		

Fotografía 5-39 Panorámica ladera SE del túnel, depósito de deslizamiento (Qd)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

A continuación se relacionan algunos de los depósitos de deslizamientos identificados en campo y otros que han requerido manejo geotécnico, sobre la vía actual y en alrededores de ella.

- Aproximadamente 1Km antes del túnel existente

Corresponde a un deslizamiento que ha sido estabilizado, ubicado en la vía actual, aproximadamente 1 Km antes de la boca del túnel de Occidente.

Este depósito es el resultado de un deslizamiento rotacional que reposa en la base del talud, a causa de desconfinamiento generado por el corte de la vía, presencia de aguas y por las características del material que conforman el talud (Fotografía 5-40). Mediante la ejecución de trincheras en el depósito, se concluyó que el material removido obedece a un desplazamiento de suelos residuales de esquistos y rocas graníticas del Stock de Altavista. Son suelos limosos a arena limosos, de color variado, humedad media a baja y la parte fina es de baja plasticidad⁴².

⁴² INTEINSA. Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio crítico 01. Deslizamiento los restrepo km 08+000 - PR 46a+300. Marzo de 2013.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

Fotografía 5-40 Depósito de deslizamiento, marzo de 2013



Fuente: INTEINSA. Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio crítico 01. Deslizamiento los restrepo km 08+000 - PR 46a+300. Marzo de 2013.

- Alrededores de K0+050. Depósito coluvial en margen derecha quebrada La Frisola.

En zona de esquistos del Grupo Ayurá Montebello (Pzes), se identifica depósito de ladera de espesor 5m aproximadamente; matriz en un 80%, areno gravosa, suelta, color gris medio, clastos (20%) de diámetro promedio 1-7cm, angulares, de composición esquistos, moderada a altamente meteorizados, ubicado cerca a la salida del túnel, Fotografía 5-41; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Fotografía 5-41 Depósito coluvial que suprayace zona de contacto entre esquistos (Pzes) y Granito néisico de Palmitas (Pgnp)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-42 Panorámica de Qd, alrededores a la salida del túnel



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

- K02+370 – K02+570

Depósito de ladera (Fotografía 5-43), con predominio de matriz (80-90%), textura areno limosa, color pardo amarillo, medianamente densa, con 10-20% de bloques angulares de roca, composición esquistos

verdes y neises, de diámetro 3cm – 1m; sobre la ladera, se observaron bloques de 1-1,5m de diámetro superficial, Fotografía 5-44.

Fotografía 5-43 Panorámica de Qd



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

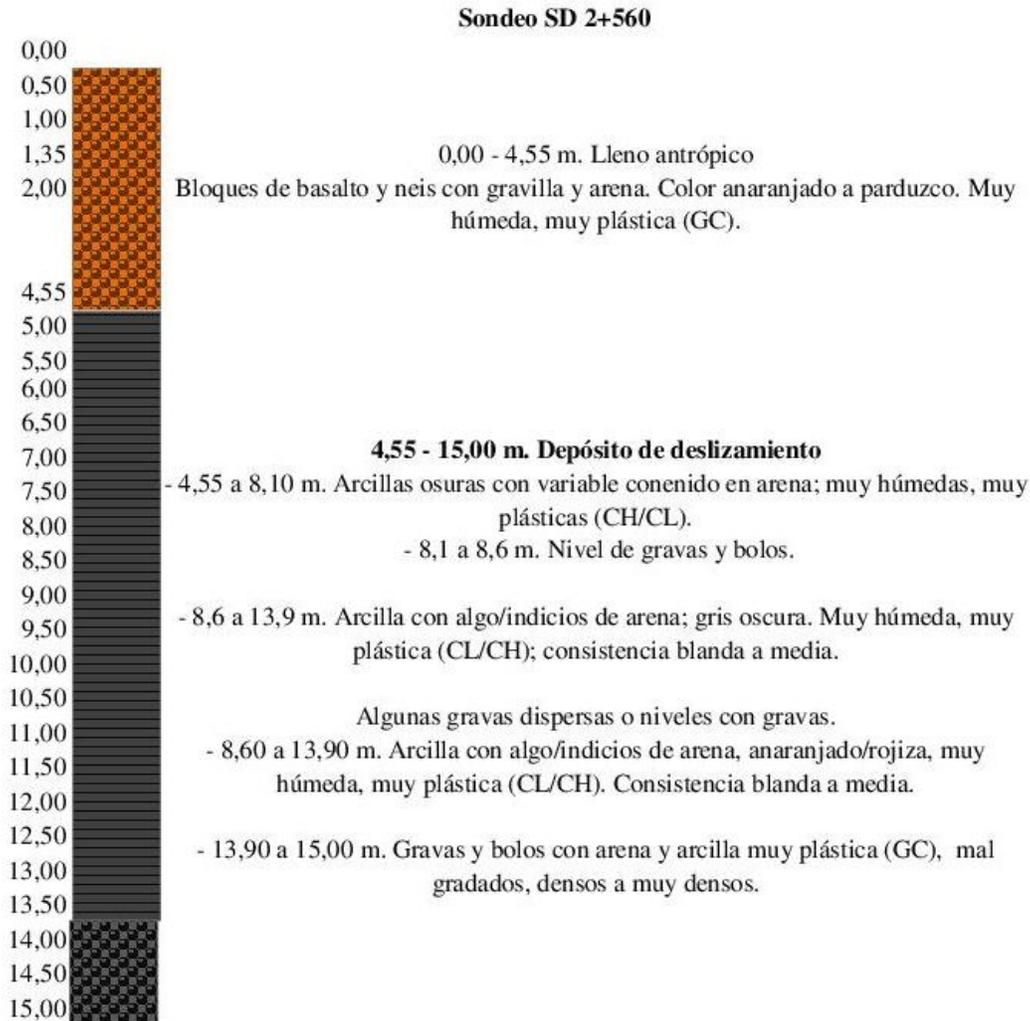
Fotografía 5-44 Depósito de deslizamiento, Qd



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Como resultado de los sondeos exploratorios realizados para CONSORCIO MAR 1 en los estudios de diseño, la Figura 5-16 muestra que el depósito de deslizamiento ubicado entre K02+370 – K02+570, tiene por lo menos un espesor de 10m, compuesto de arcillas con algo de arena y algunas capas de gravas con arena y arcilla, muy plásticas, de consistencia blanda a media y densa a muy densa en la capa de gravas.

Figura 5-16 Sondeo exploratorio en depósitos de deslizamiento (K2+560)



Fuente: EUROCONSULT, Ingenieros Consultores. Sondeos SD2+560, 2016

5.1.1.3.7.4 Llenos antrópicos (QII)

Son depósitos resultantes principalmente de sobrantes de excavaciones de la construcción de la vía actual Medellín – Santa Fe de Antioquia. Son materiales de composición heterométrica y dimensiones variables, dispuestos a media ladera, en terrenos de fuertes pendientes (25-50% hasta >75%), algunos de los cuales han evidenciado movimientos e inestabilidad geotécnica, por lo que han requerido intervención e implementación de obras de control y estabilidad. A continuación se relacionan algunos de los rellenos identificados en campo y otros que han requerido manejo geotécnico.

- “*Depósitos de La Laguna, Palma, San Cristóbal y El Uvito. Se trata de depósitos mayoritariamente arcillo-limosos sobre suelos residuales que se sitúan a ambos lados del Vial en las inmediaciones del portal oriental del túnel. El trazado estudiado afecta a los depósitos de La*

Laguna (0+320 a 0+660 del Proyecto, en el margen izquierdo de la actual vía, y San Cristóbal, entre el margen derecho de la vía y el cauce de la Quebrada Iguana. Sus espesores máximos reconocidos son del orden de 5 a 10 m. En el caso del depósito de La Laguna, se han desarrollado patologías que afectan a la calzada actual”⁴³.

En informe de Acero y Concreto S.A.S (2013)⁴⁴, en este sitio se presentan problemas de estabilidad asociados a la presencia de materiales de lleno, dispuestos sobre suelos residuales de baja calidad geotécnica, con presencia de altos niveles freáticos. Estas características generan una reducción de la resistencia de estos suelos y favorecen el desarrollo de deformaciones lentas, aún a pesar de que el terreno presenta pendientes suaves a moderadas. En el sector se han construido obras de drenaje como canales, cunetas y drenes sub-horizontales que mitigaron el proceso pero no fueron suficientes para controlar el movimiento en masa (Fotografía 5-45).

Fotografía 5-45 K0+500 (UF3). Lleno antrópico La Laguna (2013)



Fuente: ACERO Y CONCRETO S.A.S. Estudio Gotécnico en el Sector La Laguna, Portal Oriental Túnel de Occidente, de la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa. Informe final. Ingeniería Civil, Geológica y Ambiental. Medellín, julio de 2013

En Acero y Concreto S.A.S (2013) se describen las condiciones estratigráficas de este relleno, con base en la ejecución de sondeos exploratorios: “desde la superficie hasta 11,50 m de profundidad, se encontraron materiales antrópicos espesores entre con espesores 2,8 – 4,0 m. su composición es variable, arena limosa, limos arcillosos algo arenosos, localmente pueden presentarse zonas con abundantes bloques de roca totalmente meteorizados y también zonas localmente muy arcillosas; alto contenido de humedad; consistencia media, poco plásticos. Estos materiales poseen compacidades media a altas producto de la compactación en la disposición de los mismos.

“Como característica especial se detectaron en los materiales de lleno, intercalaciones o lentes arcillosos de color gris oscuro con fuerte olor a material vegetal en descomposición, lo cual

⁴³ CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

⁴⁴ ACERO Y CONCRETO S.A.S. Estudio Gotécnico en el Sector La Laguna, Portal Oriental Túnel de Occidente, de la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa. Informe final. Ingeniería Civil, Geológica y Ambiental. Medellín, julio de 2013.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

permite inferir, que no hubo un tratamiento adecuado del terreno previo a la disposición de los materiales. Esta característica puede dar lugar a potenciales superficies de falla que deterioran aún más la estabilidad. Igualmente aparecen lentes de arenas de alta permeabilidad que favorecen la acumulación de aguas, lo cual incrementa la presión de poros y disminuye la resistencia al cortante. Subyaciendo el material de lleno, fue identificado un suelo residual clasificado como nivel IB (según Deere and Patton), con espesor entre 2 y 3 m”⁴⁵.

El alineamiento del túnel cruza por este depósito que actualmente se observa estabilizado mediante terracedo, con pendiente 30°, cunetas y zanjas perimetrales cubiertas con geotextil, Fotografía 5-46; corresponden a la misma ladera relacionada en la estación 083. Sin embargo pueden encontrarse áreas de cárcavas en proceso de estabilización, con ancho promedio 1m, profundidad 60 cm, en dirección paralela a la pendiente del depósito.

Fotografía 5-46 Depósito La Laguna (2016), medidas de estabilización



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

- Depósito de El Galpón, situado aguas arriba del emboquille occidental del Túnel de Occidente (alrededores de K0+100 – K0+500, UF1) y junto a la Quebrada La Negra. conformado por gravas y bloques de esquisto y granodiorita procedentes de la excavación del túnel. Se asienta sobre limos y arcillas correspondientes a un deslizamiento remanente. Su espesor máximo es del orden de los 15 m.

El lleno antrópico reportado en la zona de estudio corresponde al Depósito El Galpón, conformado con el rezaigo de la construcción del túnel. Compuesto por fragmentos de esquistos de color gris oscuro y rocas ígneas volcánicas de color gris verdoso, entre 1 cm y 40 cm de diámetro, con algunos pequeños fragmentos de cuarzo y sin presencia de matriz, se encuentra sobre el margen derecho de la quebrada La Negra, en el talud superior de la vía, suprayaciendo el depósito tipo flujo de lodos. Con base en

⁴⁵ ACERO Y CONCRETO S.A.S. Estudio Gotécnico en el Sector La Laguna, Portal Oriental Túnel de Occidente, de la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa. Informe final. Ingeniería Civil, Geológica y Ambiental. Medellín, julio de 2013.

sondeos de exploración se determinó un espesor entre 6 y 13 m y un espesor máximo de 15 m⁴⁶.

Fotografía 5-47 Alrededores de K0+300. Lleno antrópico El Galpón (QII), resultante de las excavaciones del actual túnel de occidente



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

- Depósito de La Volcana. Se localiza entre K1+284 – K1+466. Compuesto de arcillas limosas con espesor máximo 15 m.

Este lleno antrópico fue utilizado como botadero de suelos residuales y materiales producto de deslizamientos sobre la vía actual, en Figura 5-17 se muestra un perfil estratigráfico realizado para este sitio, resultado de un estudio hecho por SOLINGRAL⁴⁷.

⁴⁶ INTEINSA. Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía Sitio Crítico 02. Puente Quebrada La Negra y Depósito El Galpón. Informe final. I-2348-QLN-02-Rev3. Medellín, marzo de 2013.

⁴⁷ SOLINGRAL. Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa Adecuación Final Depósito Volcana 1. I-008-092007- Adecuación Depósito Volcana 1.

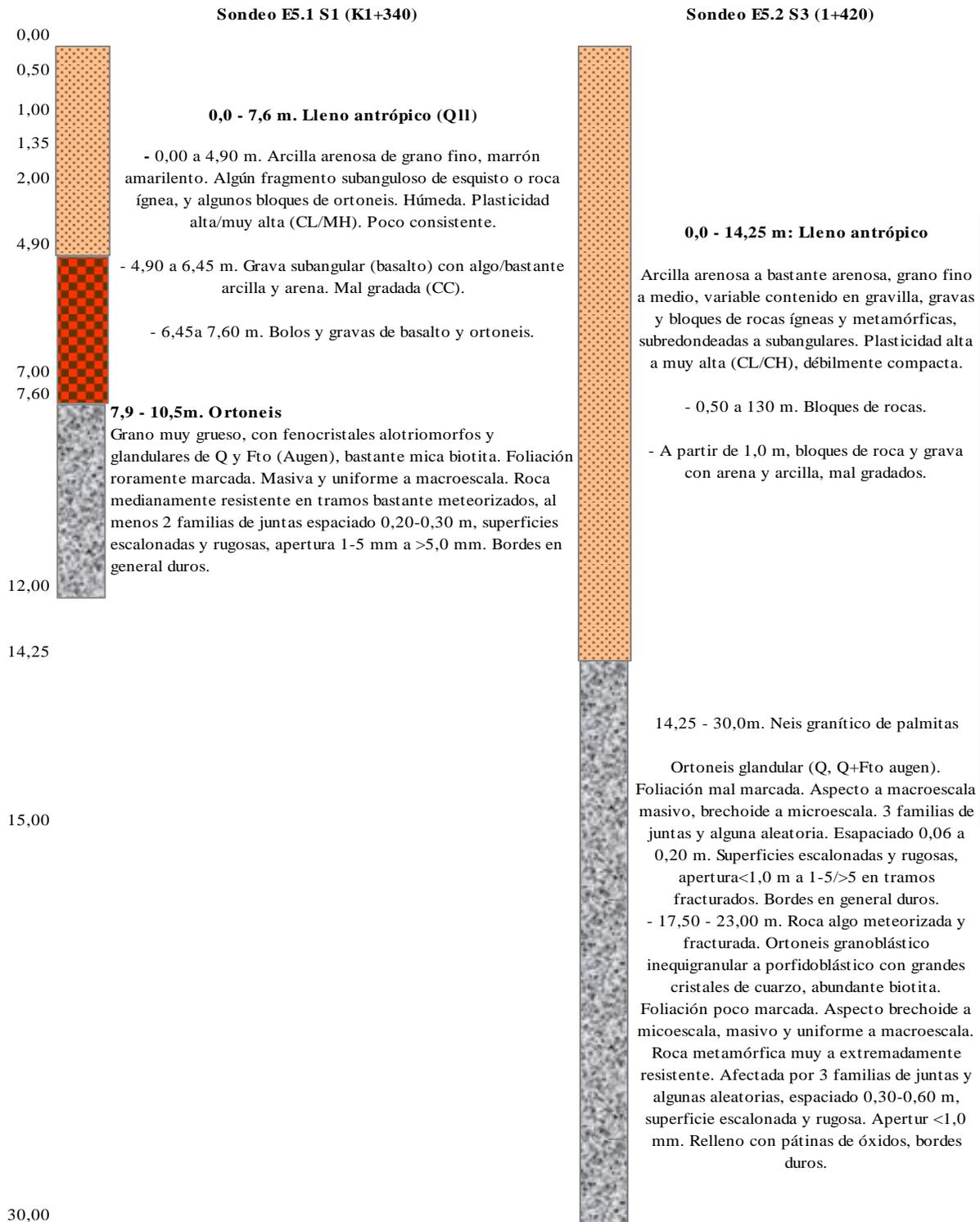
Figura 5-17 Perfil estratigráfico lleno antrópico La Volcana



Fuente: SOLINGRAL. Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa Adecuación Final Depósito Volcana 1. I-008-092007- Adecuación Depósito Volcana 1

Los sondeos de exploración realizados para los estudios de diseño, muestran en la Figura 5-18 un espesor entre 7-15m, con composición variable arcillas arenosas con fragmentos de roca, gravas arcilosas y arenosas hasta bloques de rocas.

Figura 5-18 Sondeo de exploración en lleno antrópico (K1+284 – K1+466)



Fuente: EUROCONSULT, Ingenieros Consultores. Sondeos E5.1 S1 (K1+340), E5.2 S3 (K1+420), 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

- Depósitos La Aldea y El Hormiguero, entre K3+133 – K3+300 y K3+448 – K3+700, respectivamente. Se trata de depósitos de materiales arcillo limosos, conformados sobre suelos residuales y coluviales. Sus espesores máximos detectados son del orden de los 10 y 15 m respectivamente, En el depósito El Hormiguero se han desarrollado patologías por deslizamiento⁴⁸.

Figura 5-19 Llenos antrópicos La Aldea y El Hormiguero



Fuente: CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016.

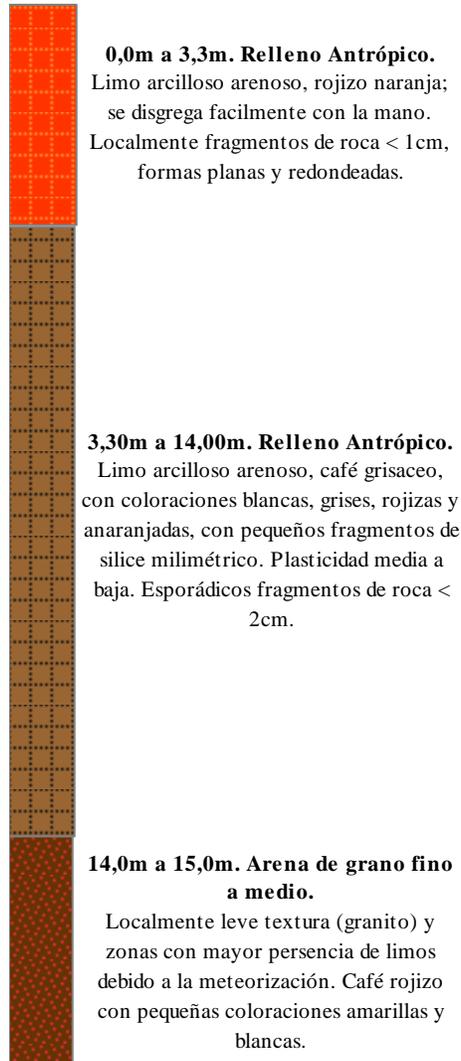
En este sitio se han presentado problemas de estabilidad en la parte baja del depósito (costado oriental) y en la parte alta (costado noroccidental). El depósito tiene una altura de 60m y una extensión de 3,5 ha, sobre las que se dispusieron materiales provenientes de las excavaciones realizadas para conformar la banca de la vía actual. Los materiales dispuestos son limo arenosos a reanas limosas que envuelven gravas, cantos y bloques de roca de tamaños heterométricos⁴⁹.

En sondeos exploratorios para los estudios de diseo se realizó una exploración en el depósito ubicado en el tramo K3+448 – K3+700 (Figura 5-20), tiene un espesor 14m, de composición limo arcilloso con fragmentos de roca <1-2cm, plasticidad media a bajo y deleznable.

⁴⁸ CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

⁴⁹ SOLINGRAL. Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa. Adecuación final Depósito La Aldea I. I-008-092007. Medellín.

Figura 5-20 Sondeo de exploración en lleno antrópico (K3+448 – K3+700)
 Sondeo SD 3+450



Fuente: EUROCONSULT, Ingenieros Consultores. Sondeos SD 3+450, 2016

Este lleno antrópico fue observado recientemente, cuenta con manejo de aguas de escorrentía y cuatro niveles de terrazas, ver y Fotografía 5-48.
 Fotografía 5-48 y Fotografía 5-48.

Fotografía 5-48 K3+133 – K3+300. Lleno antrópico La Aldea (Qll), 2016

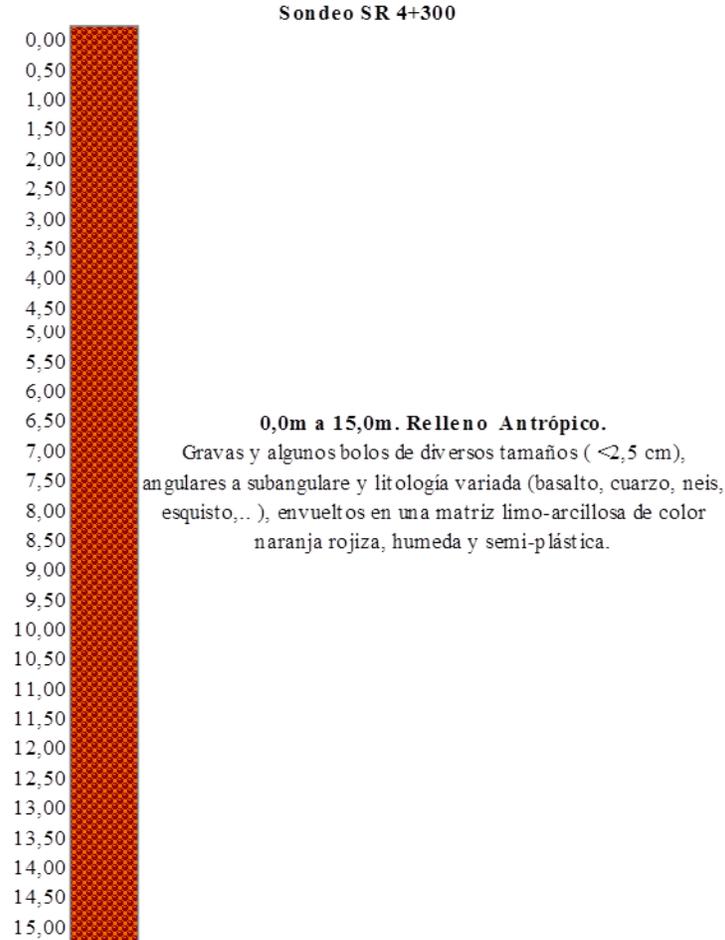


Consultoría Colombiana S.A., 2016

- Lleno antrópico en K 3+973 – K4+200

En la Figura 5-21 se muestra el material observado en sondeo exploratorio realizado para los estudios de diseño de la vía sobre el K4+300. El lleno antrópico tiene un espesor de 15m, y composición dominante de gravas conformadas por fragmentos de roca de composición variable en matriz limo arcillosa, húmeda y semi plástica.

Figura 5-21 Sondeo de exploración de suelos en lleno antrópico K4+300



Fuente: EUROCONSULT, Ingenieros Consultores. Sondeos SR 4+300, 2016

- Depósitos de las Partidas de Ebéjico (El Guamal). Se localiza K5+500 – K5+600, cerca de la altura de la Quebrada La Potrera. Compuesto por material arcillo limoso con variable contenido en bloques de rocas ígneas. No se han detectado patologías destacables⁵⁰.

⁵⁰ CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

Fotografía 5-49 K5+500 – K5+600. Lleno antrópico (QII), 2016



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.4 Tectónica Unidad funcional 1 (UF1)

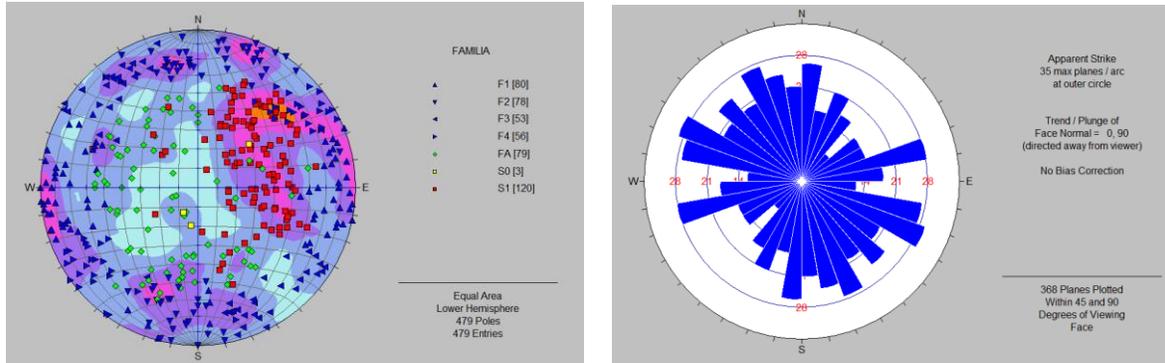
En este numeral se presenta un análisis de las características estructurales observadas en el tramo del Unidad Funcional 1; esta información es tomada del documento realizado por Consorcio Mar 1, “Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la unidad funcional 3, del contrato 014 de 2015, suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S”.

La UF1 tiene una marcada influencia estructural por el Sistema de Fallas de San Jerónimo, el cual hace parte del sistema Cauca-Romeral. Se trata de un conjunto de fallas que se relevan entre sí con trazos anastomosados. Pone en contacto rocas de dominio continental, ubicadas al oriente de la falla, representadas en la zona por los Esquistos Cuarzoserícíticos (Pzes) y Gabros del Romeral (Jgr), con rocas de dominio oceánico, ubicadas al occidente de la falla y representadas por los basaltos del Complejo Quebradagrande (KvQg). Por otro lado, controlan la intrusión del Neis de Palmitas (Pgng). Presenta una dirección general N10°W y es atravesada en Saltos y Pisquines por el actual trazado de la carretera⁵¹.

En el mismo documento mencionado, Consorcio Mar 1(2016), hizo un análisis de las discontinuidades estructurales en el área de influencia, donde la Figura 5-22 muestra la distribución de las lecturas estructurales realizadas entre el Túnel de Occidente y el Valle de San Juana.

⁵¹ CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016.

Figura 5-22 Representación estereográfica equiareal sobre planilla de Schmidt, hemisferio inferior



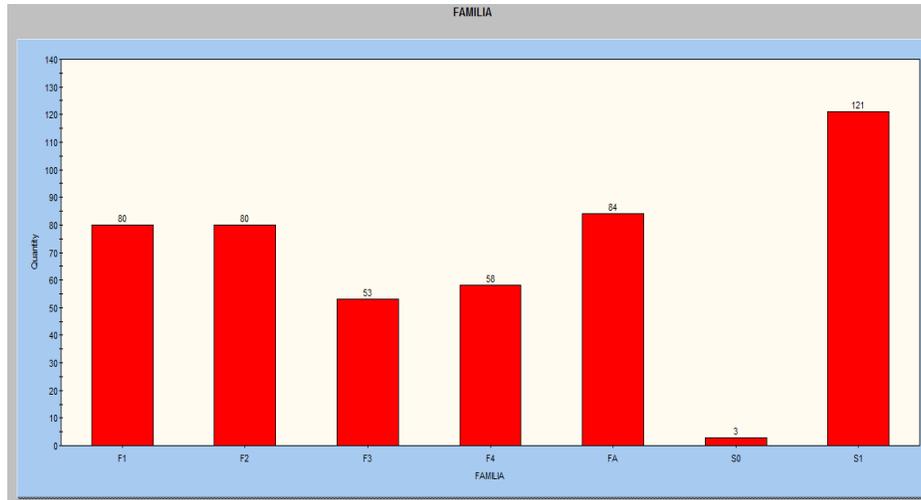
Fuente: CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016

El mencionado estudio utilizó la siguiente nomenclatura para la caracterización de familias de discontinuidades:

- S0, planos de estratificación de rocas sedimentarias.
- S1, planos de esquistosidad principal
- F1, fracturas y diaclasas con orientación Norte-Sur.
- F2, fracturas y diaclasas de orientación E-W.
- F3 y F4, fracturas y diaclasas NE – SW y NW – SE, respectivamente.
- FA, superficies de fracturas, diaclasas o esquistosidades secundarias con bajas cantidades de buzamiento (<50°).
- J, red de diaclasado; para la representación estereográfica se indica en función de su orientación (FX).

La Figura 5-23 muestra la representación en histograma de los planos de discontinuidades medidos; el plano donde existe mayor número de lecturas corresponde a la esquistosidad principal (S1). Las familias F1, F2, FA son planos de estratificación, y las familias F3 y F4 corresponden a la red de diaclasado y fracturación. La representación estereográfica muestra una distribución perimetral de la red de fracturación, y una concentración de planos de estratificación en los cuadrantes derechos.

Figura 5-23 Histograma de número de casos para cada familia



Fuente: CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016

“En el análisis de estructuras se concluyó que la familia FA presenta una distribución muy dispersa, y se concentra en una posición media en los cuadrantes izquierdos e inferior derecho. Un análisis de la naturaleza y orientación de las juntas determinó:

- Una distribución bimodal de la esquistosidad.
- Una red de diaclasado básica consistente en dos familias de juntas conjugadas entre sí y cuasi-perpendicular a S1. Una familia es perpendicular a la dirección de buzamiento de la esquistosidad y se ha designado como J1. Otra familia es subvertical y paralela a la dirección de buzamiento de S1, designándose como J2.
- Una red de fracturación formada por fracturas N-S y E-W, y NW-SE a NE-SW de forma subordinada”.

Tabla 5-4 Estructuras más representativas en el área de influencia

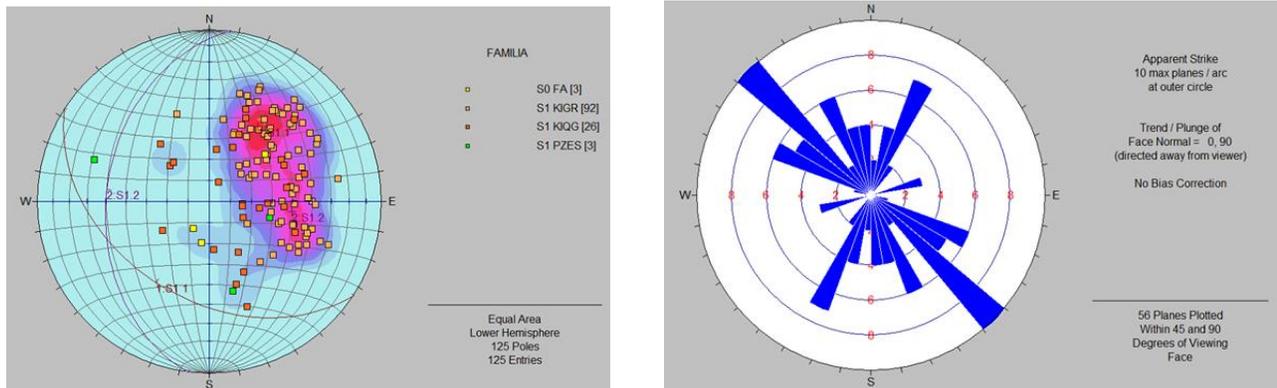
FAMILIA	DIRECIÓN DE BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	DESCRIPCIÓN
S1.1	213	43	Agrupación principal
S1.2	277	40	Agrupación subordinada
S1.3	314	31	Agrupación marginal
S0	020	16	Estratificación unidad Amagá
F1	082	85	Fracturación.
F2	167	68	Fracturación.
F3	344	69	Fracturación y diaclasado.
F4	201	80	Fracturación y diaclasado.
FA.1	021	59	Diaclasado J1 agrupación S1.1.

FAMILIA	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	DESCRIPCIÓN
FA.2	113	55	Diaclasado J1 agrupación S1.2.
J2	146	73	Diaclasado J2 agrupación S1.1.

Fuente: CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016.

“Considerando únicamente las orientaciones de la esquistosidad o estratificación para cada unidad litológica, la Figura 5-24 muestra las representaciones estereográficas; se presenta una distribución bimodal de S1 especialmente para la unidad de Gabros de Romeral. La unidad de basaltos del Complejo Quebradagrande presenta una muy elevada dispersión de valores de orientación, propio de series muy afectadas por plegamiento, y se ajusta a una orientación general 285/30. En la unidad Pzes se presenta grandes dispersiones de resultados, poniendo en evidencia que se trata de una serie de materiales metamórficos intensamente plegados, y su pertenencia a regiones tectónicas diferentes.

Figura 5-24 Representación estereográfica equiareal de los planos S1 y S0 por unidades litológicas



Fuente: CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016

Estas orientaciones son compatibles con las del margen occidental en Complejo Quebradagrande, afectado por pliegues de plano axial subvertical de orientación general: rumbo N010°E y 15° a 30° de buzamiento, laminados por fallas también N-S.

- **Accidentes tectónicos**

“Toda la zona de estudio está configurada geológicamente por los accidentes tectónicos agrupados en su conjunto con el nombre de Sistemas de Fallas del Romeral y sus estructuras asociadas.

Se ha adoptado como nomenclatura a este sistema de fracturas el criterio de González (1977), que define a ese sistema como al conjunto de fallas anastomosadas, limitadas al Oeste por la Falla de

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

Sabanalarga, y la de San Jerónimo al Este, posteriormente, este sistema de fallas ha sido interpretado como una zona de subducción de edad cretácica (Ordóñez-Carmona et al, 2014), y donde se incluye también a la Falla de San Jerónimo, que constituye el límite occidental de los materiales de afinidad continental. La Falla de San Jerónimo es el accidente tectónico más importante afectado por el conjunto del corredor definido por el Proyecto MAR1. Está formado por un complejo conjunto de trazas de falla con orientación N-S y que presentan una importante influencia morfológica, destacando marcadas inflexiones en las pendientes de las laderas, silletas, bermas, relieves aislados, collados, o control estructural de la red de drenaje entre otros.

Este sistema de fallas se desarrolla sobre una banda de terreno de 1 a 2 Km de ancho. Se citan en bibliografía (Ordoñez-Carmona et al, 2014, entre otros), algunos valles desplazados, desarrollo de facetas triangulares y alineamientos de cabeceras de deslizamientos de ladera. En la zona de estudio, estos accidentes se manifiestan en valles lineales N-S, entre los que destacan La Frisola, y el Valle de San Jerónimo, excavado por los ríos Aburrá y San Juana (Fotografía 5-50 y Fotografía 5-51).

Fotografía 5-50 Traza de falla San Jerónimo



Fuente: CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016

Fotografía 5-51 Desarrollo de facetas triangulares



	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Fuente: CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016

Uno de los accidentes principales de este sistema de fallas es atravesado por el trazado estudiado en la zona de Saltos y Pisquines, donde la estructura existente presenta patologías por desplazamiento en uno de sus estribos. Ver Fotografía 5-52.

Fotografía 5-52 Traza de la Falla de San Jerónimo en Saltos y Pisquines



Fuente: CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016.

El conjunto de accidentes tectónicos que componen la Falla de San Jerónimo presentan fuerte ángulo de buzamiento hacia el Oeste, y destacan por presentar una fuerte deformación de tipo dúctil que se manifiesta en rocas gabroicas de los Complejos de Gabros del Romeral y Volcánico de Quebradagrande. Estos accidentes controlan el desarrollo de una tectónica en escamas imbricadas (o “lajas”), de forma que el bloque oriental cabalga sobre el occidental.

Las estructuras de primer orden de este sistema de fallas desarrolla la formación de fajas miloníticas, como muestra de la intensa deformación dúctil que representan. En estas rocas miloníticas llegan a presentar bandeado milonítico o esquistosidad de flujo y lineaciones minerales.

Las estructuras de segundo orden, sub-verticales y con ligero buzamiento al oeste, generalmente presentan funcionamiento como fallas inversas, y desarrollan brechas de falla o cataclastitas cortando la deformación dúctil inicial.

Se reconoce también un sistema de fallas perpendiculares al sistema San Jerónimo, que en ocasiones llegan a cortarlo. Su orientación (ENE-WSW) corresponde a una orientación tipo F2. Presentan respuesta morfológica, dado que a su favor se excavan con frecuencia las quebradas afluentes de la red de drenaje principal, así como el curso bajo de la quebrada de la Frisola. No se ha detectado la presencia de milonita asociada a estos accidentes, pero sí de cataclastita⁵².

⁵² CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016.

5.1.1.5 Caracterización geológica tramo túnel

Para la descripción de las características litológicas y estructurales del túnel, se tomó como referencia información geológica detallada de estudios y diseños realizados para el nuevo túnel de occidente. Los estudios de referencia son:

- Ingenieros Constructores y Arquitectos TYPESA – Consultores Regionales Asociados, CRA S.A.S. Duplicación del Túnel de Occidente. Diseño Fase II. Capítulo III. Diseño del Túnel. Obra Civil. 1242-FASE_II-TU_OCC-GE-03-GeologíaGeotecnia-Ed05.docx. Noviembre de 2013.

Este informe presenta la descripción geológico-geotécnica del macizo rocoso donde se proyecta la construcción del nuevo Túnel de Occidente, fundamentada en los levantamientos geológicos realizados durante la excavación del actual Túnel, por parte de la empresa concesionaria del túnel de Occidente, cuya información es de alta confiabilidad.

- CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016.

Este estudio fue realizado a escala 1:2.000 (ver Mapa geológico en Anexo DVM-TSJ-AMB-CONCOL-045), con apoyo de una exploración geológica detallada de campo que comprende descripciones litológicas, caracterización estructural, descripción de meteorización y resistencia de las rocas. Se realizaron análisis estadístico de discontinuidades (orientación, espaciamiento, relleno y condición), según las normas de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas.

Se contó con el apoyo de exploración del subsuelo (ejecutada entre noviembre de 2015 y enero de 2016), mediante la ejecución de sondeos mecánicos a rotación, ubicados en los emboquilles del nuevo túnel, denominados S1, S2, S3, S4. Adicionalmente se realizaron dos sondeos en el interior del túnel actual (ST1, ST2), el primero (ST1) inclinado 15° respecto a la vertical 15°, con rumbo paralelo a la orientación del túnel, y el segundo (ST2), 30° cuyo rumbo corta el eje del túnel, buscando atravesar la foliación o principal familia de diaclasas. Estos sondeos se complementaron con la perforación de un sondeo en superficie, con inclinación vertical (ST5). En la Tabla 5-5 se presenta la ubicación de los sondeos mencionados.

Tabla 5-5 sondeos ejecutados para el tramo Túnel de occidente

Sondeo	Ubicación	Profundidad (m)
S1	K0+740	35
S2	K0+860	60,4
S3	K5+320	45
S4	K0+010	45
ST1	K10+910 MI	65,5
ST2	K12+210 MD	5,5
ST5	K5+300	80

Fuente: CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

5.1.1.5.1 Unidades litológicas

El basamento que será cruzado por el túnel corresponde a dos unidades litológicas, Esquistos Cuarzo sericíticos (Pzes) del Complejo Cajamarca y Diorita de Altavista (Kida).

5.1.1.5.1.1 Esquistos cuarzo-sericíticos (Pzes)

En el área del túnel, esta unidad litológica está dispuesta subparalela al sistema de fallas de Romeral con orientación general norte-sur; en superficie se observó esquistosidad con dirección NS/38W y N12E/50W. Durante la excavación del túnel existente, esta unidad litológica fue identificada a partir de la abscisa K3+020 hasta el portal salida (K5+300 aproximadamente), constituida por la intercalación de paquetes de esquistos cuarzosericíticos, filitas y cuarcitas calcáreas con espesores promedio de 10m cada uno⁵³; entre estos paquetes es común la presencia de esquistos grafitosos de menor espesor.

Los esquistos sericíticos están conformados principalmente por cuarzo y sericita, constituyendo el 95% de la roca; el resto está compuesto de clorita, biotita y grafito; también se indica la existencia de porfidoblastos de andalucita, rotados y sericitizados. Los esquistos sericíticos pasan a designarse como filitas al presentar un grado de recristalización más intenso con menor presencia de grafito y aumento de biotita; con mayores contenidos de cuarzo y mayor grado de recristalización, constituyen cuarcitas biotíticas⁵⁴.

La paragénesis metamórfica corresponde a un metamorfismo de tipo regional, de baja presión, facies esquisto verde, de materiales pelíticos, con abundante materia orgánica (tipo facies distales de plataforma marina siliciclástica). En los sondeos realizados, se han diferenciado los siguientes tipos litológicos⁵⁵:

- *Esquistos micáceos con sericita y foliación bien marcada, microfisurados. Matriz rocosa generalmente intacta y juntas oxidadas. Tamaño de grano fino/muy fino. Color gris verdoso. En ocasiones con finas venas de cuarzo orientadas a favor de la foliación principal de este macizo (S1: N57W/43SW) y algunas con orientación aleatoria. Roca resistente pero físil y frágil. Rompe en dados irregulares.*
- *Esquistos pizarrosos a carbonosos de color gris verdoso oscuro. Tamaño de grano fino/muy fino, hojosos; roca muy físil con fracturación a favor de S1 (N57W/43SW), superficies onduladas y lisas/pulidas. Matriz rocosa bastante/algo meteorizada, desmenuzable en finas lajas. Generalmente juntas oxidadas. El testigo se aja al ser expuesto a la intemperie.*

⁵³ INTEGRAL S.A. Interventoría y Apoyo Gerencial de la Construcción y Pavimentación de la Carretera Medellín - Santa Fé de Antioquia. Anexo Geológico – Geotécnico del Túnel de Occidente. Conexión Vial Aburrá - Río Cauca. Informe Final de Geología. Febrero de 2002.

⁵⁴ CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

⁵⁵ CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.2		

Fotografía 5-53 Esquistos cuarzo sericíticos en túnel de Occidente

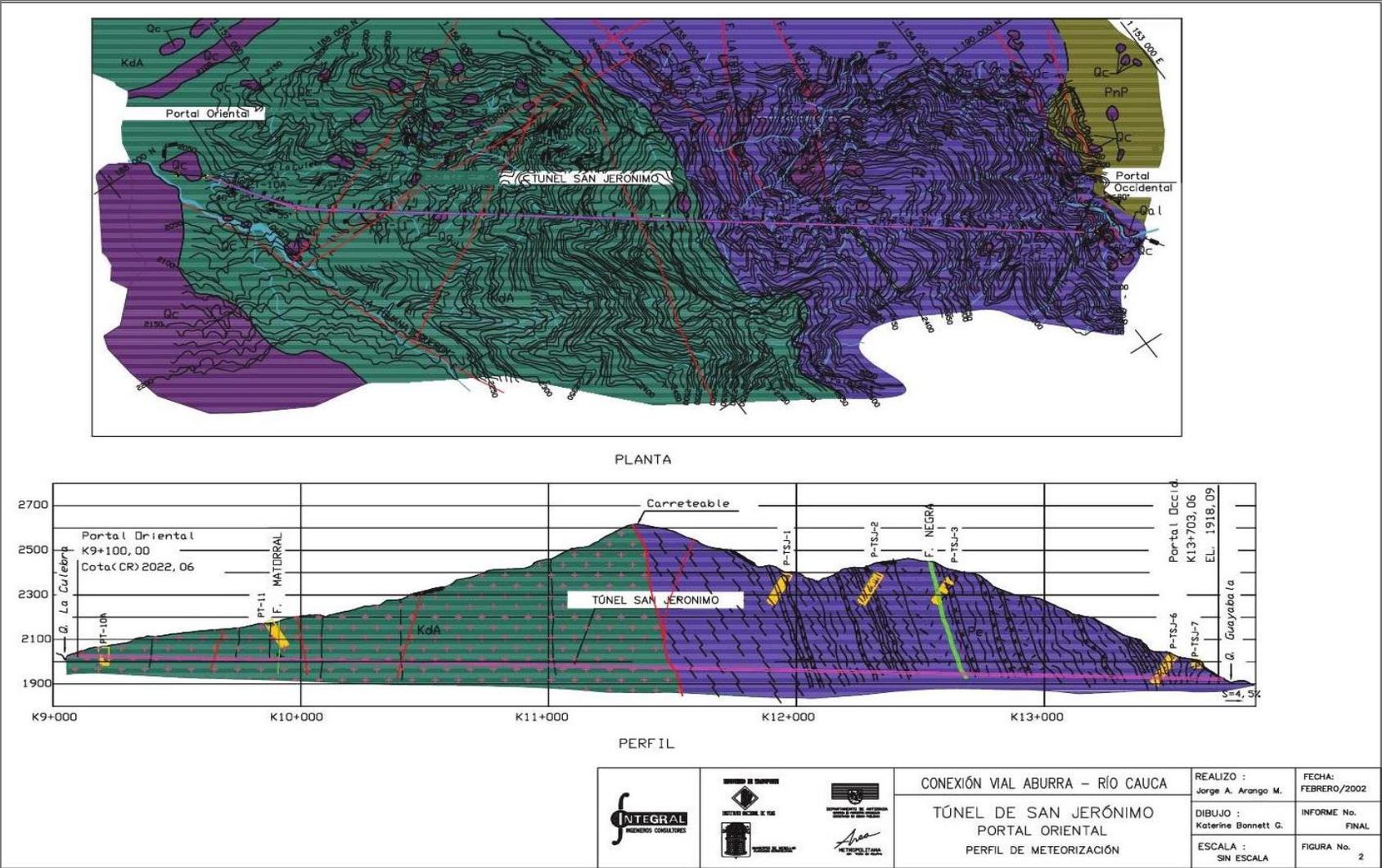


Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

El contacto con el stock de Altavista durante la excavación, se caracterizó por la presencia de un paquete de 7 m de espesor de roca ultrabásica fallada o cataclástica, en partes con abundante contenido de serpentina y talco (Figura 5-25). Por efecto de la intrusión del stock de altavista en esta roca, durante la construcción del túnel se identificaron algunos cuerpos de cornubiana, diques de aplita y microdiorita porfídica de poco espesor, y numerosas inyecciones de cuarzo, principalmente a través de la foliación, las cuales han favorecido el sellamiento de discontinuidades y especialmente de la foliación⁵⁶.

⁵⁶ INTEGRAL S.A. Interventoría y Apoyo Gerencial de la Construcción y Pavimentación de la Carretera Medellín - Santa Fé de Antioquia. Anexo Geológico – Geotécnico del Túnel de Occidente. Conexión Vial Aburrá - Río Cauca. Informe Final de Geología. Febrero de 2002.

Figura 5-25 Geología túnel San Jerónimo



Fuente: Interventoría y Apoyo Gerencial de la Construcción y Pavimentación de la Carretera Medellín - Santa Fé de Antioquia. Anexo Geológico-Geotécnico del Túnel de Occidente. Conexión Vial Aburrá - Río Cauca. Informe Final de Geología. INTEGRAL S.A. Febrero de 2002.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

- Perfil de meteorización

El documento Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la unidad funcional 3, contrato 014 de 2015 suscrito entre la ANI y la Concesionaria desarrollo vial al mar S.A.S., realizó la caracterización de perfiles de meteorización con base en la clasificación International Society for Rock Mechanics (ISRM), ver Tabla 5-6.

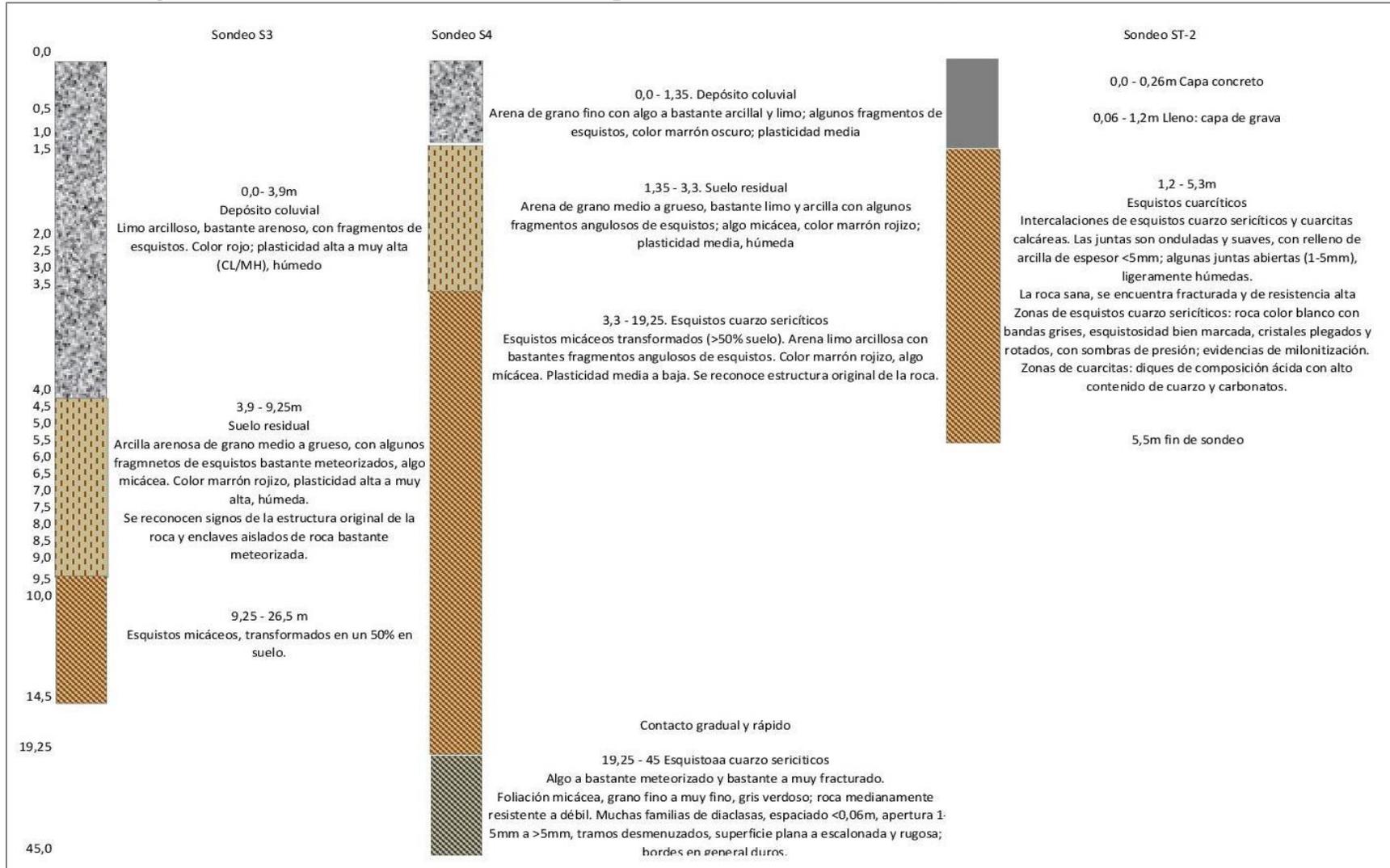
Tabla 5-6 Grados de meteorización de rocas, según clasificación ISRM

GRADO	TERMINO	DESCRIPCION
I	Fresco	No aparecen signos de meteorización.
II	Algo meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.
III	Bastante meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV	Muy meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto o transformado en suelo. Se conserva intacta la estructura original del macizo rocoso.
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica mineral.

Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

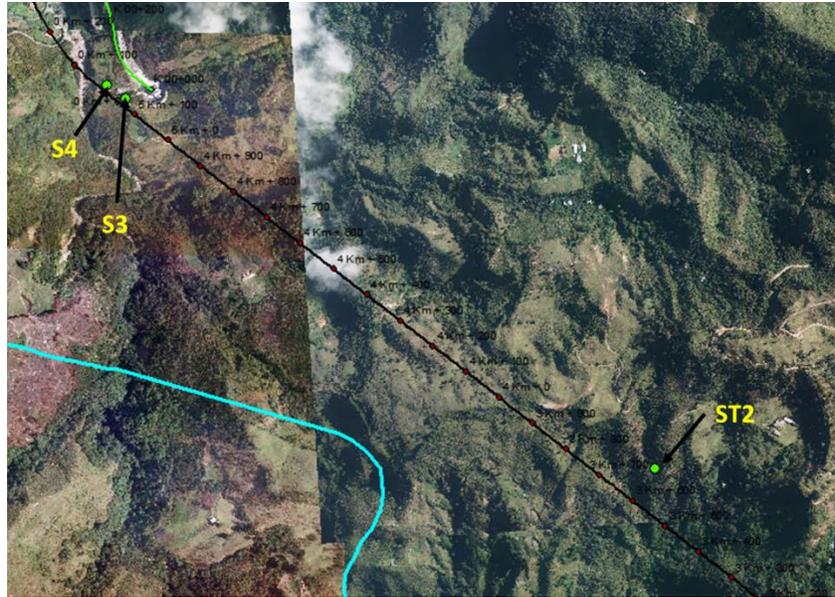
Con base en la información que suministraron los sondeos realizados en el tramo del túnel, sobre esta unidad litológica, la Figura 5-26 muestra un resumen de los perfiles de meteorización. En la zona del emboquille occidental se identificó el suelo residual a una profundidad entre 1,35 m – 3,9 m con espesores de 1,95 – 3,3 m. Entre 3,3m y 9,25m se presentaron esquistos micáceos transformados en un 50% en suelo, con desarrollo de arenas limo arcillosas, bastantes fragmentos angulosos de esquistos, plasticidad media a baja; a este nivel se pudo reconocer la estructura original de la roca. En esta zona, se cuenta con una cobertura de depósitos coluviales de 1,35 – 3,9 m de espesor. Ver ubicación de estos sondeos en la Figura 5-27.

Figura 5-26 Perfiles de meteorización en Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes), realizados en el tramo túnel



Fuente: EUROCONSULT Ingenieros Consultores Control De Calidad. Cliente: SACYR-STRABAG-ONCAY, 2015

Figura 5-27 Ubicación de sondeos sobre Esquistos Cuarzo sericíticos (Pzes)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

5.1.1.5.1.2 Stock de Altavista (Kida)

Esta unidad litológica tiene un cubrimiento de 734,60 ha (13,72%), aflora únicamente en la Unidad Funcional 3, K00+668 - K00+753, K01+177 - K01+184, K01+220 - K01+506, K01+554 - K01+590, K01+606 - K01+715, K01+738 - K01+775, K01+824 - K01+862, K01+887 - K01+897, K01+935 - K02+021, K02+038 - K02+100, K02+111 - K02+159, K02+199 - K02+267, K02+363 - K02+488, K02+857 - K02+917.

Estas rocas en estado fresco, se observaron de grano fino, color gris verdoso con variaciones texturales entre porfiríticas, con matriz afanítica y minerales de feldespatos de 0,2 – 0,4 mm de diámetro promedio, también presenta pátina de óxidos de hierro; ver Fotografía 5-54.

Fotografía 5-54 Muestra de mano de diorita de Altavista, obtenida de material de lleno resultante de la excavación del túnel de Occidente existente



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Durante la excavación del túnel existente se encontró este cuerpo en una longitud de 2400 m, con un sector inicial muy meteorizado de 200m y otros 500m con abundante meteorización, diaclasas y frecuentes rellenos de material limo-arcilloso⁵⁷. Aparece intensamente meteorizada en superficie, aflora en el fondo de la Quebrada La Culebra en inmediaciones de las instalaciones de control del Túnel de Occidente (Fotografía 5-55). Presenta contacto mecánico con la unidad de Esquistos Cuarzo sericíticos (Pzes). Este contacto será afectado por el Nuevo túnel a la altura del K 3+000, y en superficie, este contacto se localiza a la altura del PK 2+840⁵⁸ (Fotografía 5-55).

Fotografía 5-55 Diorita y pórfidos de la Diorita de Altavista (Kida)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

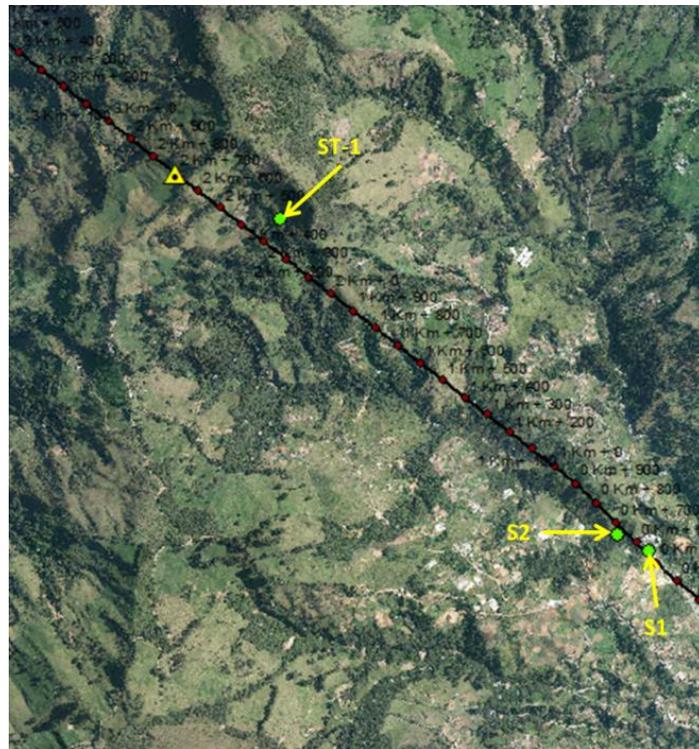
⁵⁷ Grupo TYPASA – Consultores Regionales Asociados CRA S.A.S. Duplicación del Túnel de Occidente. Diseño Fase II. Capítulo III. Diseño del Túnel. Obra Civil. Noviembre de 2013.

⁵⁸ CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

- Perfil de meteorización

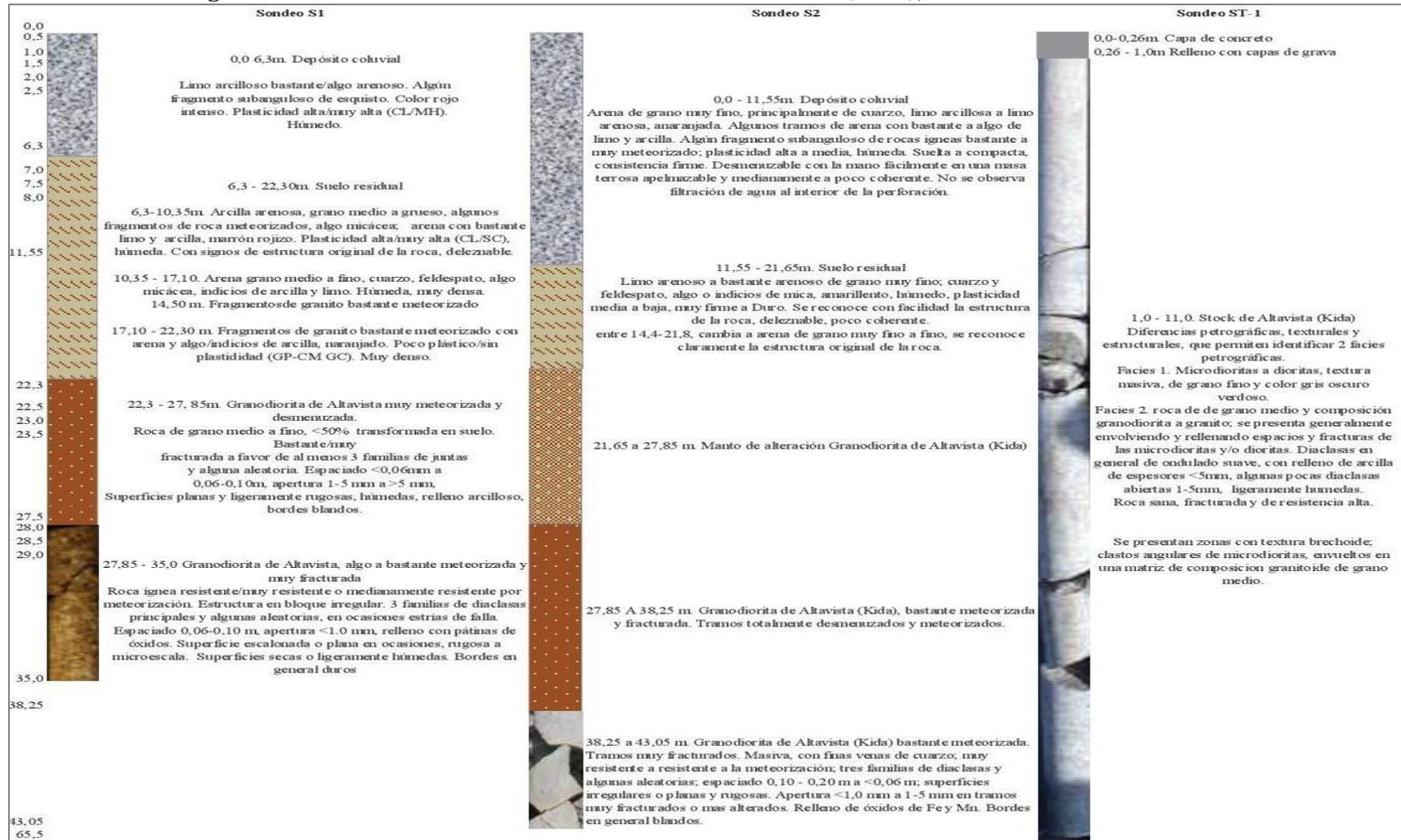
De acuerdo con los sondeos ejecutados para el documento “Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02”, correspondientes al tramo del túnel y mencionados, a continuación se presenta una descripción del perfil de meteorización obtenido para el Stock de Altavista (Figura 5-29), cuya ubicación de sondeos se puede observar en la Figura 5-28.

Figura 5-28 Ubicación de Sondeos sobre Stock de Altavista (Kida)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

Figura 5-29 Perfiles de meteorización en Stock de Altavista (Kida), realizados en el tramo túnel



Fuente: EUROCONSULT Ingenieros Consultores Control De Calidad. Cliente: SACYR-STRABAG-ONCAY, 2015

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

En cercanías al emboquille oriental (sondeos S1 y S2), la Diorita de Altavista presenta una cobertura de depósitos coluviales de espesor entre 6,3 – 11,55 m. Esta roca desarrolla suelos residuales de espesores entre 10-16m, de composición desde arcilla arenosa de grano medio a grueso a arenas de grano medio a fino, algunas veces con fragmentos de roca; la plasticidad es variable desde alta hasta baja, son suelos húmedos. La roca bastante meteorizada a algo meteorizada se encontró a profundidades entre 22,3 – 27,85m, se caracteriza por ser resistente a muy resistente, presenta tramos muy fracturados, y tres familias de diaclasas.

En el Sondeo ST-1, ubicado en cercanías al K2+300, la Diorita de Altavista se encontró a una profundidad de 1,0 m con presencia de microdioritas a dioritas, textura masiva, de grano fino y granodioritas a granitos de grano medio, que generalmente se presentan envolviendo y rellenando espacios y fracturas de las microdioritas y/o dioritas. Diaclasas en general de ondulado suave, con relleno de arcilla de espesores <5mm, algunas pocas diaclasas abiertas 1-5mm, ligeramente húmedas. La roca se encuentra sana, fracturada y de resistencia alta.

5.1.1.5.1.3 Suelos residuales

En el estudio de Diseño para el túnel, se obtuvo una caracterización detallada de los suelos residuales y mantos de alteración resultantes de la degradación de las rocas (ver Anexo Mapa Geológico, túnel).

Los suelos residuales originados a partir de rocas intrusivas como dioritas o granodioritas, corresponden a arcillas bastante arenosas o arenosas de grano medio a grueso, con algunos fragmentos angulosos de roca bastante meteorizada, pueden presentar algo de mica. Su color es rojizo o anaranjado. Pueden presentar una plasticidad alta a muy alta, aparecen en un estado húmedo; con frecuencia se reconocen algunos signos de la estructura original de la roca, es un material deleznable.

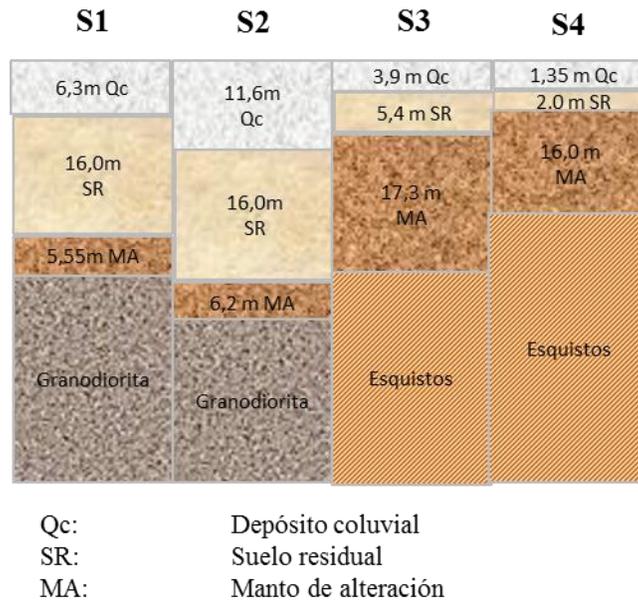
En profundidad evolucionan a una arena de grano medio a fino, localmente grueso, subangulosa, compuesta de cuarzo, con algo o bastante arcilla y limo, algo de gravilla angulosa de cuarzo. Puede ser versicolor (alternancia de niveles verdosos y anaranjados) y su plasticidad es media o baja. En general, se reconoce con claridad la estructura de la roca original. El espesor de estos suelos residuales en rocas granulares alcanza los 10 m (Figura 5-30).

En las rocas metamórficas foliadas (esquistos y pizarras), los suelos residuales están compuestos principalmente por arcilla bastante arenosa a arenosa, de grano medio a grueso, con algunos fragmentos angulosos de esquistos bastante meteorizados, puede presentar mica; color marrón rojizo, plasticidad alta a muy alta. Se reconocen algunos signos de la estructura original de la roca y enclaves aislados de roca bastante meteorizada. El espesor máximo detectado en estos materiales es de 10 m.

El manto de alteración corresponde a la transición entre el macizo rocoso y el horizonte de suelo residual. Esta capa intermedia es de espesor muy variable, ya que puede penetrar profundamente en el seno del macizo rocoso a favor de la red de fracturación y algunos contactos litológicos. Se caracteriza por presentar un material rocoso transformado en >50% en suelo. Constituido por un contenido variable en fragmentos angulosos de roca, arena y arcilla; en conjunto puede considerarse como un suelo formado por una mezcla heterogénea de arcilla arenosa con gravas a gravas con arena y arcilla.

En los sondeos realizados en el tramo del túnel se identificaron los siguientes niveles de suelos residuales y mantos de alteración.

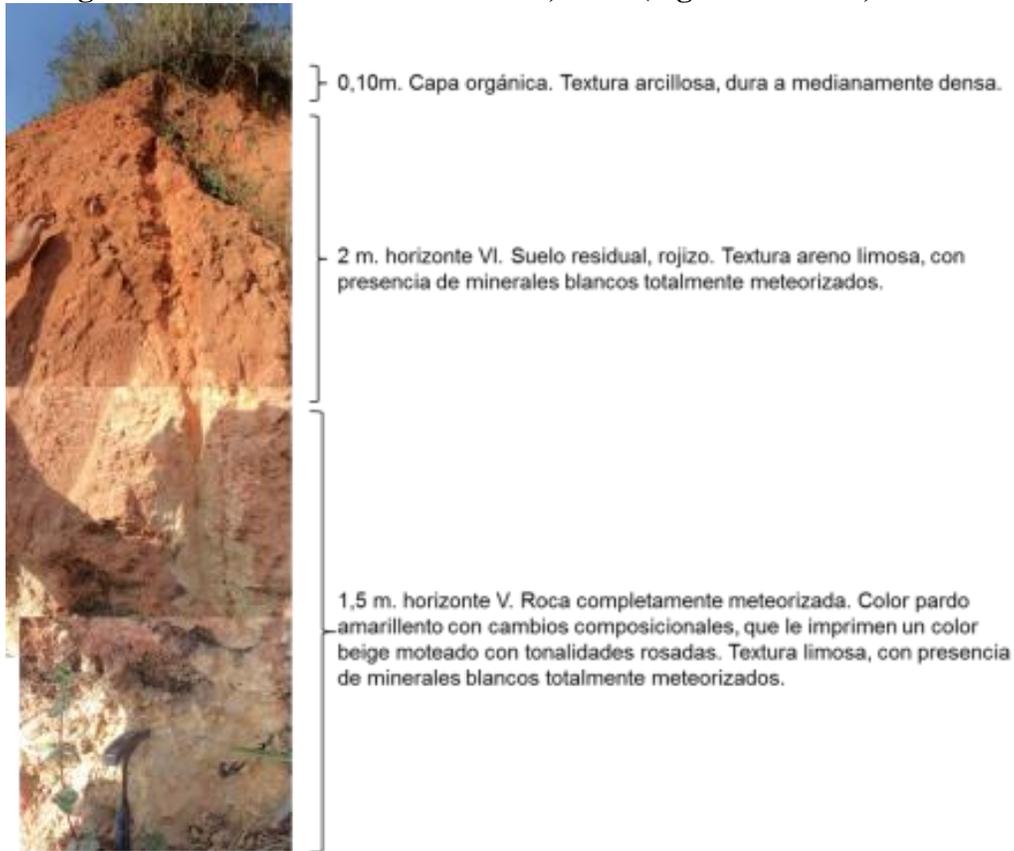
Figura 5-30 Suelos residuales y mantos de alteración en sondeos realizados en tramo túnel



Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

En cercanías a la boca del túnel, se realizó la descripción de un perfil de meteorización sobre las rocas intrusivas de la Diorita de Altavista (ver Fotografía 5-56), donde se identificaron los horizontes VI (suelo residual) y V (roca completamente meteorizada), de textura areno limosa a limosa, con espesores entre 1,5 – 2m cada uno.

Fotografía 5-56 Perfil de meteorización, Kida (según Dearman, 1974-1991)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.5.2 Aspectos estructurales

La información tectónica en el área del túnel se consultó a partir de los Estudios y Diseños Definitivos del nuevo túnel, Fase III⁵⁹, los cuales realizaron cartografía de detalle (escala 1:2.000) a lo largo del tramo del túnel y el estudio de TYPASA – Consultores Regionales Asociados, CRA S.A.S⁶⁰.

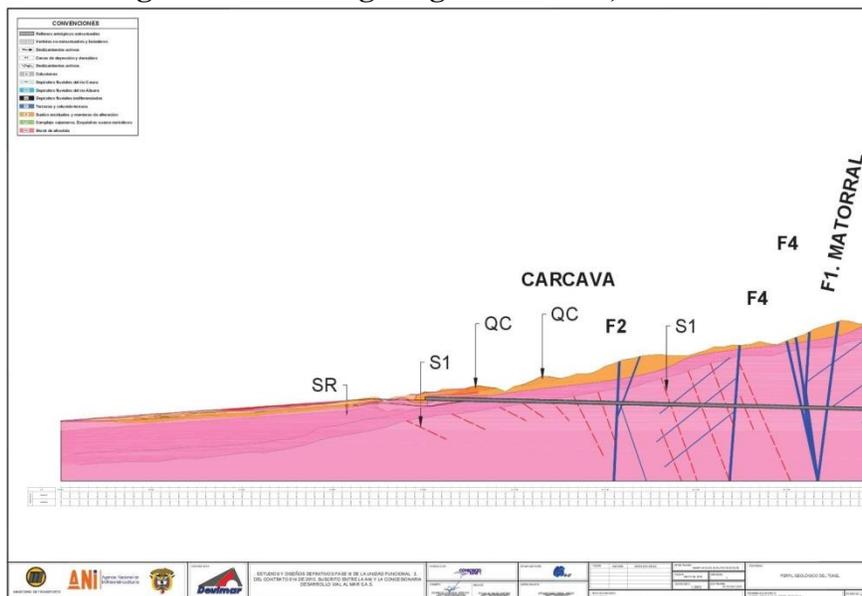
El cruce del túnel se realizará a través del Stock de Altavista y Esquistos Cuarzo sericíticos del Complejo Cajamarca; la superficie de contacto entre estos materiales es irregular y corresponde a una zona de emplazamiento del material plutónico. En el estudio de Diseño, Fase III se identificó una red de estructuras de tipo ortogonal, consistente en tres orientaciones dominantes y algunas aleatorias (ver Figura 5-31 a Figura 5-33):

⁵⁹ CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016.

⁶⁰ Grupo TYPASA - Consultores Regionales Asociados, CRA SAS. Duplicación del túnel de Occidente. Diseño Fase II. Capítulo III. Diseño del túnel. Obra civil. Bogotá, noviembre de 2013

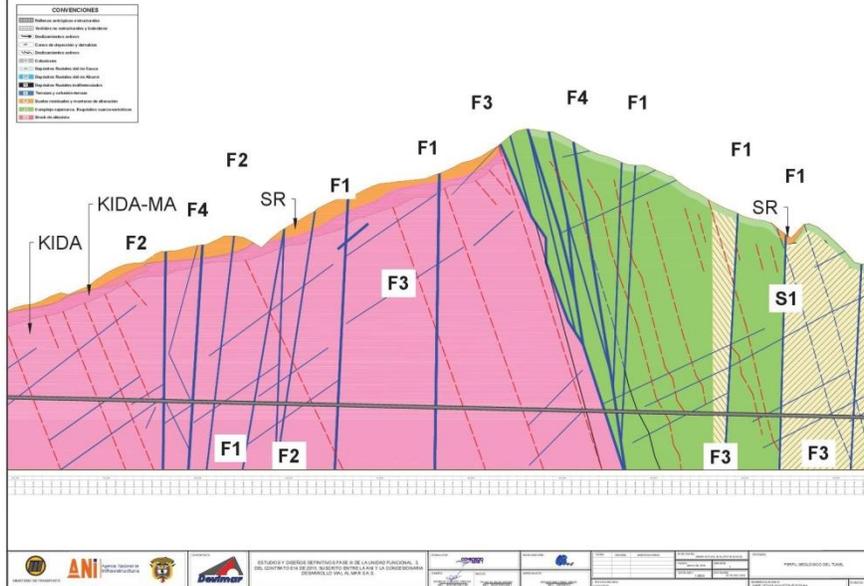
- S1, principal. Orientación ESE-WNW a NW-SE con buzamientos hacia el N, del orden de 25/45°, a 45/65° en las zonas más próximas a la superficie de emplazamiento, en general consecuentes con la esquistosidad del Complejo Cajamarca.
- F2, con orientación E-W a ESE-WNW, subvertical y buzamiento bimodal tanto al S como al N. Su buzamiento es muy pronunciado a subvertical (>65°) y complementario a S1. Incluye tanto esta red de fracturación F2, como un sistema principal de diaclasas perpendicular a la dirección de buzamiento S1.
- F1, con orientación N-S subvertical (>65°), corresponde generalmente a red de fracturación.
- F3, de orientación NE-SW, buzamiento subvertical; corresponde en su mayor parte a un sistema de diaclasas perpendicular a la dirección de buzamiento S1, y una red de fracturas menores.

Figura 5-31 Perfil geológico del túnel, costado SE



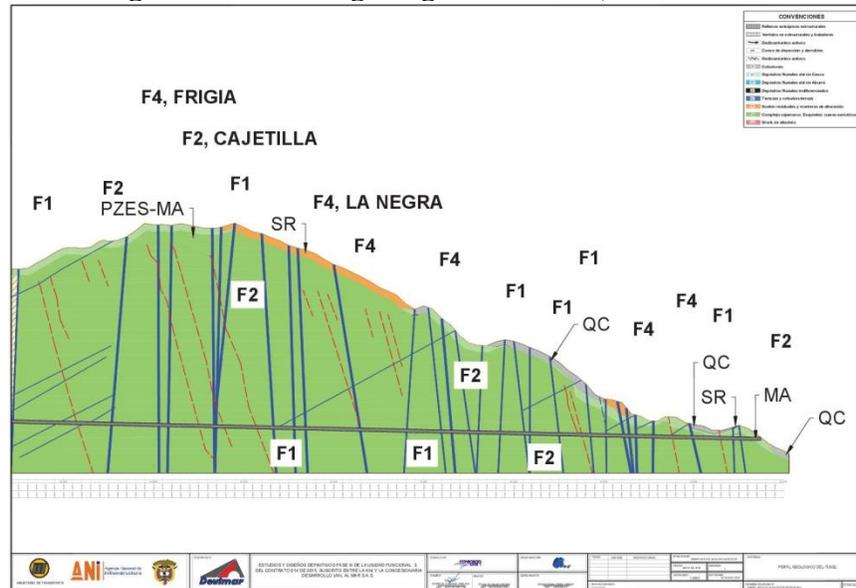
Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016

Figura 5-32 Perfil geológico del túnel, zona de contacto Kida y Pzes



Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016

Figura 5-33 Perfil geológico del túnel, costado NW



Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016

En la Tabla 5-7 se ubican las tendencias estructurales identificadas en el estudio de Diseños del nuevo túnel⁶¹, y se muestran en forma gráfica en la Figura 5-34.

⁶¹ CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito

Tabla 5-7 Accidentes tectónicos identificados en el tramo del túnel, sobre el Stock de Altavista

Abscisa nuevo túnel	Estructura geológica	Observaciones
1+100	F2	
1+380	F4	
1+480	F4	
1+500	F4	
1+600	F4	
1+600	F1	Falla Matorral
2+020	F2	
2+100	F4	
2+200	F2	
2+300	F2	
2+300	F1	
2+380	F1	
2+420	F1	
2+500	FA	E-W
2+640	S1	
2+770	FA	E-W
2+790	S1	Contacto Kida-Pzes

Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016

En la zona más próxima al contacto con la granodiorita de Altavista, se ha reconocido la presencia de bandas miloníticas formadas por clastos de esquistos rotados, indicando una cizalla dúctil. Estas bandas miloníticas son concordantes con la foliación principal. La Tabla 5-8 muestra las discontinuidades estructurales esperadas sobre los Esquistos Cuarzo sericíticos (Pzes) y se muestran en forma gráfica en la Figura 5-34.

Tabla 5-8 Listado de accidentes tectónicos en la unidad Pzes

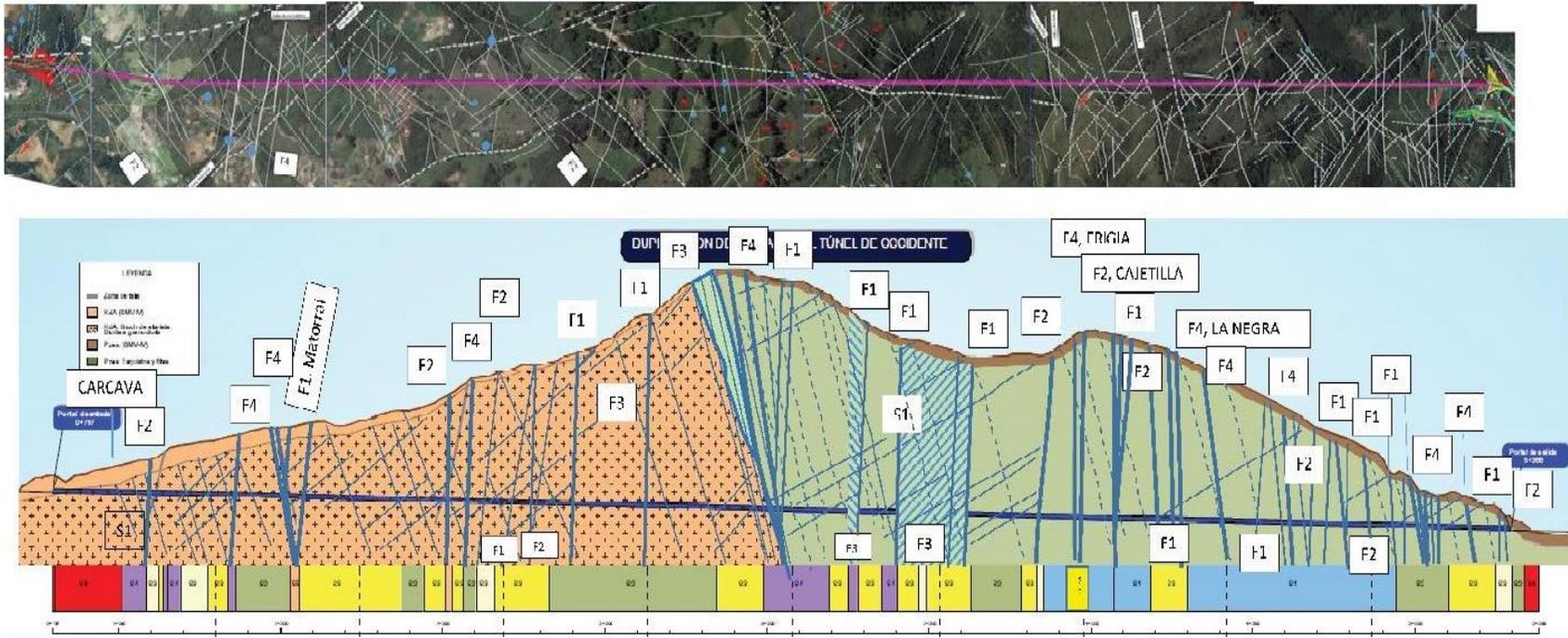
Abscisa	Estructura geológica	Observaciones	Abscisa	Estructura geológica	Observaciones
2+790	S1	Contacto Kida-Pzes	4+180	F1	
2+880	F4		4+240	F1	
2+930	F4		4+260	F4	Falla La Negra
2+960	F4		4+340	F4	
3+000	F4		4+490	F1	
3+040	F1		4+540	F4	
3+040	FA	NE-SW	4+540	F1	
3+100	F1		4+600	F2	
3+160	FA	E-W	4+610	F4	
3+200	S1	E-W	4+660-4+720	F1	
3+260-3+300	F3		4+750	F2	
3400 – 3+600	F3		4+800	F1	

entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016.

Abscisa	Estructura geológica	Observaciones	Abscisa	Estructura geológica	Observaciones
3+410	F1		4+850	F2	
3+600	F1		4+920	F2	
3+910	F2		4+970	F1	
3+960	F4	Falla La Frigia	4+990	F4	
4+000	F2	Falla Cajetilla	5+020	F4	
4+080	F1		5+040	F1	
4+100	F2		5+060	F4	
4+130	F2		5+160	F4	
			5+280	F1	

Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016

Figura 5-34 Perfil simplificado del Túnel de Occidente



Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.2		

Finalmente, se concluye que el área del túnel actual, así como el área esperada por la cual cruzará el nuevo túnel, es de alta actividad tectónica, tanto en el cuerpo intrusivo como en la unidad de esquistos cuarzo sericíticos, y especialmente en cercanías a la zona de contacto. El Anexo C3, muestra en forma detallada el comportamiento esperado de los macizos rocosos a cruzar, concordante con lo observado durante la construcción del túnel existente.

5.1.1.6 Sectorización geológica y geomorfológica

En este numeral se presenta una descripción de características geológicas y geomorfológicas del área de influencia, el cual se subdivide en la Unidad Funcional 3 y la Unidad Funcional 1.

5.1.1.6.1 Unidad funcional 3

5.1.1.6.1.1 K0+00 – K3+000 km

Corresponde al cruce del túnel a través del Stock de Altavista. En superficie la Diorita de Altavista se observó en afloramientos con desarrollo de suelos residuales (horizonte VI) a rocas completamente meteorizadas (horizonte V), con espesores entre 2 - 4m aproximadamente, sin embargo, los sondeos realizados por el Consorcio Mar 1, establecen que los suelos residuales de la Diorita de Altavista alcanzan espesores entre 10-16m.

Esta zona presenta un paisaje de montañas denudativas que desarrollan laderas en rocas intrusivas con alto desarrollo de suelos residuales. En la parte alta se identifican abundantes cicatrices de deslizamientos, que dependen en gran parte por las características del material, pendiente del terreno y usos del suelo (cultivos transitorios sembrados a lo largo de la pendiente, pastoreo intensivo), Fotografía 5-57 y Fotografía 5-58.

Fotografía 5-57 Ladera SW del túnel, montañas denudativas afectadas por deslizamientos activos de gran magnitud



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-58 Panorámica de Kida, costado SW del túnel



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

La ladera suroeste del paso estimado del túnel, se caracteriza por la presencia de cicatrices de deslizamientos y depósitos de deslizamientos asociados a suelos residuales de la diorita de Altavista y al desarrollo de suelos residuales profundos; en Fotografía 5-59 se identificaron cicatrices de deslizamientos de ancho aproximado 150m, altura 40-50m y pendiente 30° (al W del túnel). También se observaron movimientos recientes del terreno, como se aprecia en la Fotografía 5-59, Fotografía 5-60 y Fotografía 5-61.

Fotografía 5-59 Cicatrices de deslizamientos en ladera SW del túnel



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-60 Movimientos del terreno, ver deterioro de la vía, costado SW del túnel



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-61 Obras de protección del terreno y evidencia de movimientos lentos del terreno, costado SW del túnel



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.6.1.2 K3+000 – K5+366

Corresponde al tramo de la unidad metamórfica Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes). A nivel superficial se identificaron zonas de contacto en afloramientos sobre esquistos cuarzo sericíticos, débilmente meteorizados, con esquistosidad $192^{\circ}/50^{\circ}W$, Fotografía 5-62.

Fotografía 5-62 Afloramiento de esquistos cuarzo sericíticos ligeramente meteorizados



Fuente: Consultoría colombiana S.A., 2016

A la salida del túnel los esquistos cuarzo sericíticos (Pzes), costado NE, se caracterizan por un relieve de montañas altas, pendientes escarpadas a muy escarpadas (>35°) laderas largas (>500m), con filos largos, angostos y agudos, asociados a abundantes cicatrices de deslizamientos, ver Fotografía 5-63.

Fotografía 5-63 Panorámica al fondo de montañas estructurales en Esquistos cuarzo sericíticos



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

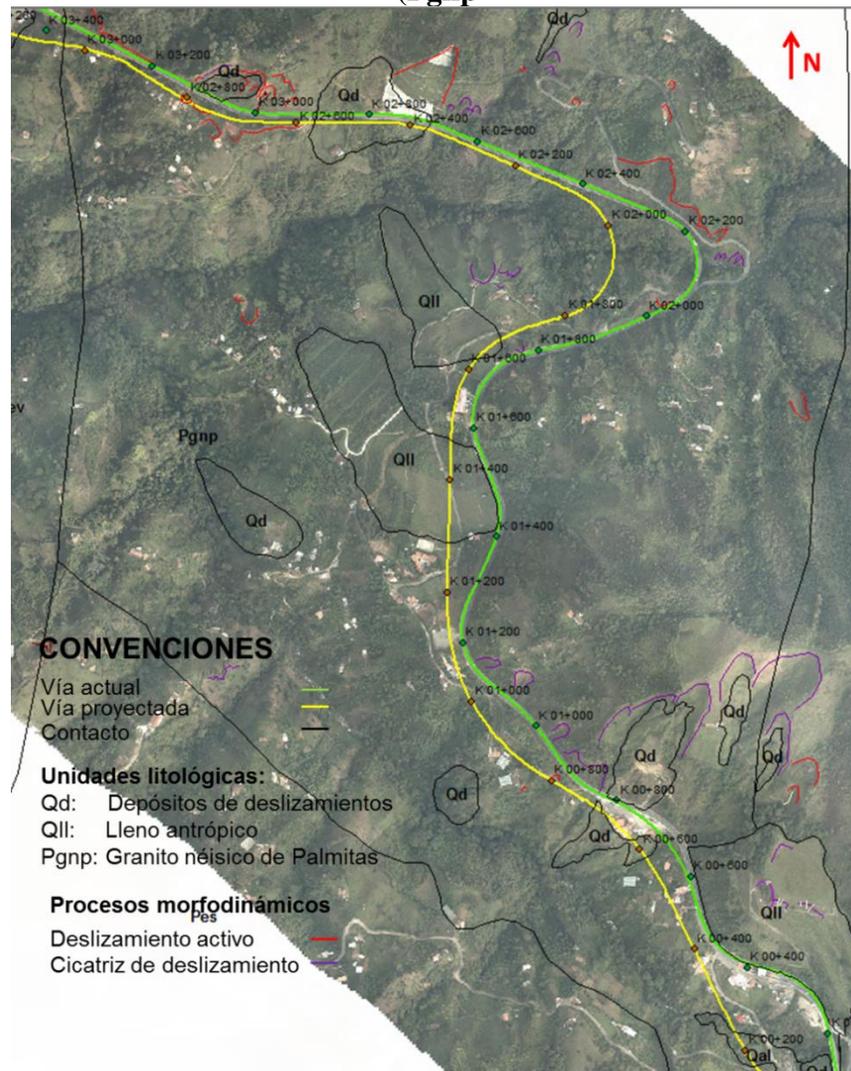
5.1.1.6.2 Unidad funcional 1

5.1.1.6.2.1 K00+000 – K03+039. Granito néisico de palmitas

En este tramo predominan rocas de metamorfismo regional, del Granito Néisico de Palmitas. Se caracteriza por un paisaje de montañas denudativas, con patrón de drenaje subdendrítrico a subparalelo, alta influencia estructural, que desarrolla laderas de filas y vigas, con forma escalonada.

Se presentan abundantes cicatrices de deslizamientos y deslizamientos activos, asociados principalmente a la construcción de la actual vía Medellín – Santa Fe de Antioquia, en gran parte de los cuales se les ha implementado tratamientos de estabilización geotécnica (Figura 5-35); algunos de ellos se encuentran en proceso de estabilización, como sucede en el lleno antrópico ubicado en el costado norte del tramo K0+000 – K0+400 de la vía actual.

Figura 5-35 Procesos morfodinámicos identificados en Granito néisico de Palmitas (Pgnp)



Fuente: consultoría Colombiana S.A., 2016; Ortofotompa, 2015

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p align="center">CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.2</p>	

En la Tabla 5-9 se presentan los fenómenos de remoción en masa identificados en este tramo y su evolución. Estos son sitios de alto grado de inestabilidad geotécnica y el paso de la nueva vía, aunque no cruza por estos deslizamientos, si es indicativo del alto riesgo por inestabilización de laderas, cuando se inicien labores de construcción de la nueva vía.

Tabla 5-9 Inventario de procesos morfodinámicos asociados a la vía actual, tramo K0+000 – K3+040

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
<p>K0+100 – k0+400, costado derecho de la vía existente, sentido S-N.</p> <p>Unidad Litológica: Qll</p> <p>En lleno antrópico producto de la disposición de materiales de excavación del túnel existente, se han presentado movimientos del terreno, para lo cual se han llevado a cabo obras de estabilización geotécnica.</p>	 <p>(concol, 2016)</p>

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN	
<p>K00+500 – k00+800, costado derecho de la vía existente, sentido S-N.</p> <p>Unidad Litológica: Pgnp</p> <p>Dimensiones: área afectada por antiguos deslizamientos, en una altura media de 150m, ancho 350m y pendiente media moderadamente escarpada (50-75%)</p> <p>Área de antiguos deslizamientos en la parte superior y deslizamientos activos hacia la parte media y baja. Presenta obras de protección geotécnica. En la secuencia de imágenes, se observa tendencia a estabilizarse.</p>	 <p>(Google Earth, 2012)</p>	 <p>Ortofotomapa (2015)</p>
	 <p>(Concol, 2016)</p>	

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
<p>K00+870 – K01+080, costado derecho de la vía existente, sentido S-N.</p> <p>Unidad Litológica: Pgnp</p> <p>Pendiente: moderadamente escarpada (50-75%) a ligeramente escarpada (25-50%)</p> <p>Cicatrices de deslizamientos al parecer por cortes en taludes en la construcción de la vía actual. En proceso de recuperación, susceptible de reactivación.</p>	 <p>(Ortofotomapa, 2015)</p>

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
	 <p style="text-align: center;">(Concol, 2016)</p>
<p>K01+900, costado izquierdo de la vía existente, sentido S-N.</p> <p>Unidad Litológica: Pgnp</p> <p>Pendiente: ligeramente escarpada (25-50%)</p> <p>Dimensiones: Ancho aproximado 30m, altura 15m.</p> <p>Deslizamiento activo, se desarrolla en pastos y cultivo de plátano.</p>	 <p>Concol, 2016</p>

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
<p>Alrededores de K01+800, margen izquierda quebrada La Volcana.</p> <p>Unidad Litológica: Pgnp</p> <p>Pendiente: ligeramente escarpada (25-50%)</p> <p>Terrenos de alta inestabilidad, con abundantes deslizamientos activos en suelos residuales y pendientes ligeramente escarpados; terrenos afectados por sobrepastoreo en alto grado.</p>	 <p>Concol, 2016</p>

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN	
<p>Alrededores de K02+400, margen derecha quebrada La Volcana.</p> <p>Unidad Litológica: Pgnp</p> <p>Pendiente: moderadamente escarpada (50-75%)</p> <p>Cicatriz de deslizamiento afectado por erosión regresiva, controlado con obras geotécnicas como concreto lanzado, filtros y terraceo en la parte superior. En proceso de estabilización.</p>	 <p>(Google Earth, 2012)</p>	 <p>(INTEINSA, 2013)</p>
	 <p>(Ortofotomapa, 2015)</p>	

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
	 <p>(Concol, 2016)</p>
<p>K02+800 – K3+080, costado derecho de vía actual, sentido S – N.</p> <p>Unidad Litológica: zona de contacto Pgnp/Pzes</p> <p>Dimensiones aprox.: Altura 35m, Ancho 200-300m</p> <p>Pendiente: ligeramente escarpadas (25 - 50%)</p> <p>Zona de deslizamientos activos, afectados por erosión en cárcavas.</p>	 <p>(Ortofotomapa, 2015)</p>

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
	 <p>(Concol, 2016)</p>
<p>Otros procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa, identificados en fotografías aéreas (2010), ortofotomapa (2015) y trabajo de campo Concol (2016):</p> <p>200m al sur de K0+000</p> <p>Dos deslizamientos activos, de ancho entre 15 -20m y longitud 20-25m, cada uno; afectados por erosión en cárcavas.</p>	 <p>Ortofoto (2015)</p>

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
<p>50m al sur del K0+000</p> <p>Dos deslizamientos activos, de ancho 10m y longitud 6-7m, cada uno.</p>	 <p>Ortofoto (2015)</p>
<p>K1+700</p> <p>Cicatriz de deslizamiento; no evidencia actividad reciente. Corona de deslizamiento aproximadamente a 30m del eje de la vía.</p>	 <p>Ortofoto (2015)</p>

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Este tramo se ha subdividido en subtramos que varían de acuerdo con la composición del material litológico y/o características geomorfológicas, a saber:

- 5.1.1.6.2.1.1 Granito néisico de Palmitas (Pgnp). K00+119 – K00+168, K00+349 – K00+584, K00+623 – K00+696, K00+711 – K01+290, K01+470 – K01+623, K01+679 – K02+371, K02+570 – K03+039.

Relieve de montañas altas, pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) que conforma la margen derecha de la quebrada La Frisola, la cual hace parte de un valle estrecho en V, Figura 5-36. Este sector se caracteriza por sus terrenos de alta inestabilidad, con abundantes deslizamientos activos en suelos residuales y pendientes escarpadas (30°), Fotografía 5-64; afectados por sobrepastoreo en grado severo, ver Figura 5-36.

Figura 5-36 Valle estrecho en V, quebrada La Frisola, en rocas del Granito néisico de Palmitas



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; Imagen Google earth.

Fotografía 5-64 Margen derecha quebrada La Volcana, en suelos residuales del Granito néisico de Palmitas (Pgnp)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-65 Alrededores de K1+800. Laderas en Granito néisico de Palmitas, afectadas por sobrepastoreo



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Es una práctica común en este tramo, que estas laderas se encuentren afectadas por usos inadecuados de los suelos como cultivos de plátano, cebolla y flores, entre otros, los cuales se realizan en el sentido de la pendiente, aumentando la susceptibilidad de procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa, Fotografía 5-66.

Fotografía 5-66 Uso inadecuado de suelos sobre la ladera occidental de la actual vía, hace que ésta sea de alta susceptibilidad a erosión y movimientos en masa



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Entre el K02+600 – K02+800, se cartografiaron cicatrices de deslizamientos y deslizamientos activos, asociados a cortes en la vía actual, que requieren especial atención, debido a que el trazado de la nueva vía cruza por estos sitios, Fotografía 5-67.

Fotografía 5-67 K02+700 aproximadamente. Paso de la vía por área de deslizamiento activo



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.6.2.1.2 Depósitos de laderas (Qd). K00+000 – K0+045, K00+055 – K00+064, K00+242 – K00+349, K00+584 – K00+623, K00+696 – K00+711, K01+290 – K01+470, K02+371 – K02+570

Se cruzará por depósitos de ladera provenientes de deslizamientos generados en las partes altas del relieve de montañas. Estos depósitos se han observado con un espesor medio de

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

5m aproximadamente, matriz en un 80%, areno gravosa, suelta, color gris medio; clastos (20%), diámetro promedio 1-7cm, angulares, composición de esquistos, moderada a altamente meteorizados. Ubicado cerca a la salida del túnel, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Depósitos aluviales (Qal). K00+045 – K00+055, K00+064 – K00+119 y K00+168 – K00+242

Cruce por depósitos aluviales de la quebrada La Frisola, compuesta por material suelto tamaño arena a gravas de diámetro medio entre 2-6 cm; este material es explotado como material de construcción, ver Fotografía 5-68.

Fotografía 5-68 Cruce por quebrada La Frisola



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.6.2.1.3 Lleno antrópico (QII). K01+290 – K01+470, K01+623 – K01+679

Se cruza por dos llenos antrópicos, resultantes de la construcción de la vía actual Medellín – Santa Fe de Antioquia. El primero tiene una longitud aproximada de 450m y ancho 180m, cuenta con ocho niveles de terrazas aproximadamente y obras de manejo de aguas de escorrentía; el segundo tiene una longitud estimada de 300m y ancho 100m, tienen una pendiente media ligeramente escarpada (25-50%), ver Figura 5-37 y Fotografía 5-69.

Figura 5-37 Llenos antrópicos en el tramo K01+290 – K01+470, K01+623 – K01+679



Fuente: consultoría Colombiana S.A., 2016; Ortofotompa, 2015

Fotografía 5-69 Lleno antrópico



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.6.2.2 K03+039 – K7+280. Franjas delgadas de dirección NS, conformadas por las unidades litológicas Esquistos Verdes (Pev) – Gabros de Romeral (Jgr) – Esquistos Cuarzo sericíticos (Pzes)

Este tramo corresponde al sector de mayor influencia estructural, afectada por el sistema de fallas San Jerónimo y La Sucia, de dirección NS, que pone en contacto rocas del paleozoico con rocas del jurásico y presenta muy alta susceptibilidad a movimientos en masa. Además cuenta con grandes depósitos de ladera, asociados a grandes deslizamientos antiguos. En la Tabla 5-10 se presenta el inventario de fenómenos de remoción en masa identificados en este tramo, los cuales corresponden a pasos críticos de la nueva vía, por ser potencialmente reactivados durante el proceso constructivo y operación de la nueva vía.

Este tramo se subdividió en subtramos, de acuerdo con su composición y/o características geomorfológicas:

Tabla 5-10 Inventario de procesos morfodinámicos asociados a la vía actual, tramo K3+040 – K7+280

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN	
<p>K3+370 (La Aldea), costado derecho de vía actual, sentido S – N.</p> <p>Unidad Litológica: Esquistos Verdes, Grupo Ayurá Montebello (Pev)</p> <p>Dimensiones aprox.: Altura 20m, Ancho 60m</p> <p>Pendiente: fuertemente inclinadas (12-25%) a ligeramente escarpadas (25 - 50%)</p> <p>Deslizamiento ocasionado por manejo inadecuado de aguas de pozos sépticos en la parte alta y de aguas lluvias en la vía hacia la vereda Palmitas; dichas aguas se infiltraban en la corona del talud.</p>	 <p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">Google Earth, 2012</p>	 <p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">Orto fotomapa, 2015</p>
	 <p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">Consultoría colombiana S.A., 2016</p>	

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN	
<p>K4+700, costado derecho de vía actual, sentido S – N.</p> <p>Unidad Litológica: Gabros de romeral (Jgr)</p> <p>Dimensiones aprox.: Longitud 180m, ancho 80m.</p> <p>Pendiente: moderadamente escarpadas (50-75%) a ligeramente escarpada (25-50%)</p> <p>Deslizamiento activo en gabros con apariencia de recristalización, textura afanítica, color gris verdoso; se observa trazo de falla con plano de dirección 310/85SE. Zona de alto grado de inestabilidad.</p> <p>INTEINSA (2013), evalúa esta zona como un proceso de erosión superficial remontante producto de escorrentía superficial y características erodables de los materiales que conforman el talud. Cárcavas de grn longitud y profundidad en la parte interna del deslizamiento.</p>	 <p style="text-align: center;">INTEINSA (2013)</p>	 <p style="text-align: center;">Ortofotomapa (2015)</p>
	 <p style="text-align: center;">Consultoría Colombiana S.A., 2016</p>	

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
<p>K6+900, deslizamiento en Q. Saltos y Pisquines</p> <p>Unidad Litológica: Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) en contacto con Gabros de Romeral (Jgr)</p> <p>Pendiente: ligeramente escarpadas (25 - 50%) a moderadamente escarpada (50-75%)</p> <p>Zona de alta complejidad geológica, por contacto fallado de unidades litológicas de Esquistos (Pzes) y Gabros (Jgr). También se presentan depósitos aluvio torrenciales recientes, depósitos de vertiente, flujos de lodos y escombros y Basaltos de la Formación Quebradagrande. En octubre de 2008 se generó un evento aluvio torrencial, el cual es infrayacido por un depósito de flujos de lodos y escombros. Estos dos estratos en tienen un espesor de 11 m.</p>	 <p style="text-align: center;">Consultoría Colombiana S.A., 2016</p>
<p>Otros procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa, identificados en fotografías aéreas (2010), ortofotomapa (2015) y trabajo de campo Concol (2016):</p>	

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
<p>K6+070</p> <p>Corona de deslizamiento activo a pocos metros del trazado de la vía. Área de pendientes moderadamente escarpadas (50-75%), de alta susceptibilidad a movimientos en masa y alta influencia estructural, por el sistema de fallas San Jerónimo – La Sucia</p>	 <p style="text-align: center;">Ortofoto (2015)</p>

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

5.1.1.6.2.2.1 Esquistos verdes (Pev). K03+039 – K03+120, K03+287 – K03+326, K03+368 – K03+437, K03+681 – K03+851

Corresponde a un pequeño sector que cruzará la vía, por rocas metamórficas. Se pudieron identificar afloramiento de esquistos verdes, cuyo grado de meteorización es de rocas altamente meteorizadas (horizonte IV); son rocas físilas, color verde claro con venillas pardas delgadas y abundantes Fotografía 5-70.

Predominan pendientes ligeramente escarpadas (25-50%), se evidencian cicatrices de deslizamientos de dimensiones variables

5.1.1.6.2.2.2 Lleno antrópico (QII). K03+120 – K3+287, K03+437 – K03+681, K03+955 – K04+185, K05+469 – K5+531

En este tramo la vía cruzará por cuatro llenos antrópicos resultantes de la construcción de la vía actual. El primero de ellos (K03+120 – K03+287) es de longitud aproximada 220m, ancho 200m, y pendiente fuertemente inclinada (12-25%) Fotografía 5-70. El segundo lleno antrópico, se ubica en el tramo K03+437 – K03+681, de longitud y ancho 200m, con pendiente ligeramente escarpada (25-50%) Fotografía 5-71; el tercer lleno se localiza en el tramo K03+955 – K04+185 de longitud aproximada 280m, ancho 200, pendiente fuertemente inclinada (12-25%) a ligeramente escarpada (25-50%), y K05+469 – K05+531, de longitud 240m, ancho 110m y pendiente ligeramente escarpada (25-50%) a moderadamente escarpada (50-75%).

Fotografía 5-70 Lleno antrópico entre K3+120 – K3+290



Consultoría Colombiana S.A., 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.2		

Fotografía 5-71 Lleno antrópico entre K03+437 – K03+681



Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.6.2.2.3 Gabros de Romeral (Jgr). K03+851 – K03+928, K04+185 – K05+469, K05+531 – K05+751, K05+946 – K05+997, K06+056 – K06+738

Durante este tramo la vía toma una dirección casi paralela a la orientación de esta unidad litológica, la cual aflora en sentido norte – sur, en contacto fallado con Esquistos verdes (Pev) al oriente y Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) al occidente.

Estas rocas pueden observarse sobre la vía actual aflorando con un grado de meteorización II (débilmente meteorizadas), con textura fanerítica de grano medio, predominio de minerales máficos como hornblenda y un bajo porcentaje de feldespatos Fotografía 5-72.

Fotografía 5-72 Afloramiento de gabros (Jgr)



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Aproximadamente en el K06+200 se requiere un cruce sobre la quebrada Miserenga, cuyas

márgenes son de pendientes muy escarpadas (entre 50-60°) Fotografía 5-73, en su mayor parte en roca, tipo gabro, afectada por alto grado de fracturamiento y fallas en sentido NS, del sistema de fallas de San Jerónimo y La Sucia.

Fotografía 5-73 Margen derecha de cruce sobre quebrada Miserenga



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Es igualmente sensible el cruce de la vía por la quebrada Saltos y Pisquines, sitio que ha sido motivo de intervenciones de tipo geotécnico de alto costo y magnitud, por efecto de avenidas torrenciales y movimientos del terreno, pues corresponde al cruce de la Falla San Jerónimo, que genera un contacto fallado entre Gabros de romeral y esquistos cuarzo sericíticos. Se estima que en la construcción de la nueva vía, este cruce será un punto crítico, por sus antecedentes y su alta influencia estructural, Figura 5-38.

Figura 5-38 Cruce de la vía a través de la quebrada Salto y Pisquines



Consultoría Colombiana S.A., 2016; ortofotomapa (2015)

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Hacia el SE de este sitio, sobre el costado norte de la vía actual, se presentan afloramientos del contacto fallado entre gabros de Romeral (Jgr) y esquistos cuarzo sericíticos (Pzes), con pendientes 50°, laderas largas y rectas, de alta susceptibilidad a caída de rocas (Fotografía 5-74). En la Fotografía 5-75 se observa el drenaje en V que se genera en la quebrada Saltos y Pisquines y Pisquines.

Fotografía 5-74 Aproximadamente K6+800. Zona de contacto Pzes/Jgr



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-75 Margen derecha Q. Saltos y Pisquines



Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.6.2.2.4 Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes). K06+738 – K06+758, K06+762 – K07+279

Este pequeño sector hace parte de la zona de contacto fallado con la unidad de Gabros de romeral, con la misma alta influencia de las Fallas San Jerónimo y La Sucia, y por lo tanto, con la misma alta sensibilidad geotécnica, tanto en la construcción como en la operación de nueva vía.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

Es un relieve de montañas, laderas largas, rectas, drenajes paralelos y disectados, pendientes muy escarpadas (40°), ver Fotografía 5-76 y Fotografía 5-77. Al fondo de Fotografía 5-76 se observa la quebrada La Sucia, encañonada y formando un valle estrecho aluvial en V.

Fotografía 5-76 Aproximadamente K07+130. Margen derecha quebrada La Roncha



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-77 Aproximadamente K07+130. Margen izquierda quebrada La Roncha



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Finalmente, en este tramo se identificaron algunos cruces de la vía por depósitos de ladera, ubicados en:

K03+326 – K03+368. Depósito de deslizamiento, proveniente de deslizamiento ubicado en

el costado norte de la vía actual, se desarrolla en suelo residual. Dimensiones aproximadas: Ancho 80m, Altura 20 m, Pendiente 30°. La nueva vía cruzará en la parte terminal de este depósito, Figura 5-39.

Figura 5-39 Cruce de la nueva vía por parte terminal de depósito de deslizamiento (Qd)



Consultoría Colombiana S.A., 2016; ortofotomapa (2015)

K03+928 – K03+955. Cruce de depósito de ladera, ver Figura 5-40.

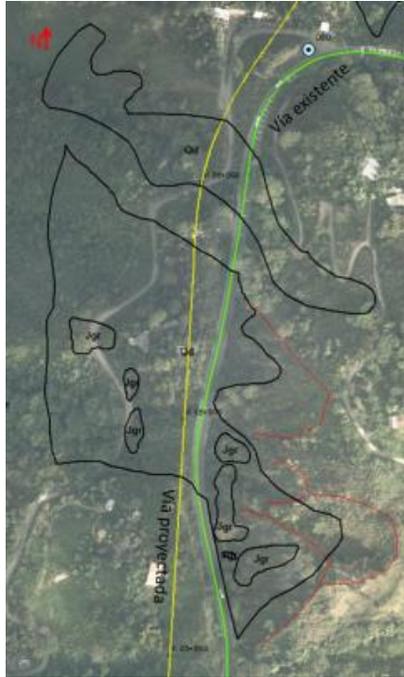
Figura 5-40 Cruce de la vía por depósito de deslizamiento, K03+928 – K03+955



Consultoría Colombiana S.A., 2016; ortofotomapa (2015)

K05+751 – K05+946 y K05+997 – K06+056. Dos depósitos de ladera, provenientes de deslizamientos ubicados en el costado oriental de la vía actual, Figura 5-41.

Figura 5-41 Depósitos de ladera en K5+750 – K5+950 y K6+000 – K6+050



Consultoría Colombiana S.A., 2016; ortofotomapa (2015)

5.1.1.6.2.3 K7+280 – K10+800. Complejo Quebradagrande, miembro volcánico (KvQG) y Esquistos Cuarzo sericíticos (Pzes)

Este tramo se caracteriza por un predominio de rocas volcánicas con afloramientos de basaltos y pórfidos, principalmente, y en menor proporción esquistos cuarzo sericíticos (Pzes). El relieve es de montañas estructurales, laderas rectas, pendientes escarpadas (35°), con desarrollo de suelos superficiales, sueltos y susceptibles a movimientos en masa, Fotografía 5-78. Es común la presencia de cañones profundos en V como es el caso de la quebrada La Rochela, con profundidades hasta de 50m , ver Fotografía 5-78.

Fotografía 5-78 Relieve de montañas en rocas volcánicas, Complejo Quebradagrande (KvQG)



Consultoría Colombiana S.A., 2016

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

Sobre esta unidad litológica se presentan abundantes cicatrices de deslizamientos, asociados a los cortes de la vía principalmente; de alta susceptibilidad a movimientos en masa, como se observa en alrededores del K08+500 – K09+400, Fotografía 5-81 a Fotografía 5-83.

Fotografía 5-79 Relieve de montañas estructurales, laderas largas, escarpadas en KvQG



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-80 K09+000. Paso aproximado de la vía, por laderas estructurales muy escarpadas, de alta susceptibilidad a movimientos en masa



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-81 Relieve de montañas estructurales, laderas largas, escarpadas en KvQG



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-82 K09+000. Paso aproximado de la vía, por laderas estructurales muy escarpadas, de alta susceptibilidad a movimientos en masa



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-83 K09+400. Laderas en rocas volcánicas, pendientes escarpadas, susceptibles de erosión y movimientos en masa



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Aproximadamente en el K10+400 afloran basaltos débilmente meteorizados (horizonte II); con evidencia de fallamiento. En el tramo K10+567 – K10+825, se cruza por esquistos cuarzo sericíticos. En Tabla 5-11 se describen los movimientos en masa que se identificaron en este tramo.

Tabla 5-11 inventario de procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa, tramo K7+280 – K10+800

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
<p>K8+600 – K9+130, costado derecho de vía actual, sentido S – N.</p> <p>Unidad Litológica: Formación Quebradagrande (KvQG)</p> <p>Pendiente: moderadamente escarpada (50-75%) a fuertemente escarpada (75-100%).</p> <p>Área de cortes en la vía sobre rocas de la F. Quebradagrande (KvQG), afectada por erosión en surcos y cárcavas de magnitud severa y susceptible a caída de rocas debido a alta influencia estructural de la Falla San Jerónimo.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Ortofotomapa, 2015</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Concol, 2016</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>Concol, 2016</p> </div>

UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN
<p>Otros procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa, identificados en fotografías aéreas (2010), ortofotomapa (2015) y trabajo de campo Concol (2016):</p>	
<p>K7+200 – 8+400</p> <p>En costado oriental de la vía actual se presentan deslizamientos activos e inactivos, que muestran la alta susceptibilidad a movimientos en masa de la zona.</p> <p>La zona presenta pendientes desde moderadamente escarpadas (50-75%) hasta totalmente escarpadas (>100%).</p> <p>Zona de alta influencia estructural por la falla de San Jerónimo</p>	 <p>Ortofoto (2015)</p>

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

5.1.1.6.2.4 K10+800 – K17+800. Depósitos cuaternarios, rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande (KvQG) y Formación Amagá (Ngpas)

Este tramo corresponde a un cambio drástico del paisaje de montañas altas a un paisaje de piedemonte, conformado principalmente por un relieve de lomas y colinas de la Formación Amagá (Tos) y terrenos de pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) a moderadamente inclinadas (7-12%), de apariencia estable y de pocas evidencias de procesos erosivos. Esta unidad litológica, presenta un fuerte contraste hacia el occidente, limitando con las rocas basálticas del Miembro Volcánico del Complejo Quebradagrande. Estas dos unidades presentan un contacto fallado en dirección NS a NNW-SSE a través de la falla Aurrá.

5.1.1.6.2.4.1 Depósitos de ladera (Qd). K10+825 – K11+102, K12+873 – K13+057

Cerca del K11+000, se cruza por depósito de ladera de forma irregular, laderas cóncavas, pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) a ligeramente escarpadas (25-50%), de apariencia estable, sin evidencias de procesos erosivos significativos. Fotografía 5-84.

Fotografía 5-84 K11+000. Margen derecha quebrada Sanjuana I, depósitos de ladera



Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.6.2.4.2 Depósitos coluvio aluviales de piedemonte conformados por abanicos aluviales y abanicos terraza. K11+338 – K12+817 y K 12+836 – K12+873 y K13+057 - K16+333

Amplia zona de piedemonte, con pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) a moderadamente inclinadas (7-12%). Son terrenos conformados por bloques de roca subredondeados de diámetros entre 0,5 – 2m, matriz medianamente suelta, susceptible a erosión en surcos y cárcavas, pero de pendientes suaves que le hace de apariencia estable, Fotografía 5-85. En Fotografía 5-86 y Fotografía 5-87, se presentan descripciones de perfiles de suelos de estos depósitos coluvio aluviales.

Fotografía 5-85 Depósitos coluvio aluviales que conforman abanicos aluviales y abanicos terraza



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-86 K14+000. Descripción perfil de Qcal



- 5-8 cm. Capa orgánica
Café oscura, textura areno gravilosa, suelta
- 1-1,1 m. Depósito coluvio aluvial
Matriz 30%, areno gravilosa, café claro, medianamente suelta.
Clastos 70%, diámetro promedio 1-3 cm , angulares.
- 1,2 m. Depósito coluvio aluvial
Matriz 20%, arenosa, pardo claro, medianamente dura.
Clastos 80%, altamente meteorizados, diámetro promedio 1-3 cm , angulares.

Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-87 K14+400. Descripción perfil de Qcal



- 10 cm, capa orgánica. Textura arenosa, medianamente suelta, café claro
- 30 cm, Depósito coluvio aluvial. Matriz 90%, textura arcillosa, café oscuro, medianamente densa. Clastos 10%, diámetro promedio 1-2 cm, angulares.
- 30 cm, Depósito coluvio aluvial. Matriz 10%, clastos 90%, diámetro promedio 5-12 cm, angulares, basaltos ligeramente meteorizados, color verde.
- 30 cm, Depósito coluvio aluvial. Matriz 90%, textura arcillosa, café oscuro, medianamente densa. Clastos 10%, diámetro promedio 1-2 cm, angulares.

Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.1.6.2.4.3 Depósitos aluviales de quebrada Sanjuana I. K12+817 – K12+8356

Estrecho tramo en depósitos aluviales de la quebrada Sanjuana I, con un ancho de 15m aproximadamente.

5.1.1.6.2.4.4 Rocas sedimentarias, Formación Amagá (Ngpas) K16+333 – K17+800

Paisaje de piedemonte; este tramo se ubica en zona de contacto entre las rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande (KvQG) con rocas sedimentarias de la Formación Amagá (Ngpas). Las rocas volcánicas presentan un relieve de montañas fuertemente inclinadas (12-25%) a ligeramente escarpadas (25-50%) y en los terrenos sedimentarios la pendiente es fuertemente inclinada (12-25%) a moderadamente inclinada (7-12%)

La Formación Amagá presenta un relieve de lomas y colinas de altura media 40-50m, cimas subangulares, medianamente angostas, pendientes escarpadas (30°), afectadas por sobrepastoreo; susceptible a erosión en surcos y cárcavas.

5.1.1.6.3 Caracterización geológica sector ZODME 1

El ZODME 1, se localiza en rocas ígneas del Stock de Altavista (Kida), con alto grado de meteorización; en talud sobre la vía de acceso se identifica un suelo residual (grado de meteorización VI), de textura limosa, son suelos blandos, color beige con manchas pardo claro, Fotografía 5-88 afectado por erosión en surcos de ancho 5cm, profundidad 10-15cm hasta 60cm, Fotografía 5-89.

Fotografía 5-88 Perfil de suelo en alrededores de Zodme 1



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-89 Erosión en surcos en suelo residual de Diorita de Altavista



Consultoría Colombiana S.A., 2016

EL Perfil de suelo identificado en ZODME 1 corresponde a un suelo residual (grado de meteorización VI) de la Diorita de Altavista, color beige, textura limo arcillo arenosa, suelos blandos, Fotografía 5-90.

Fotografía 5-90 Perfil de meteorización de suelos residuales en laderas donde se proyecta la conformación de Zodme 1



Consultoría Colombiana S.A., 2016

La vía que comunica la UF1 con la ZODME 1, se localiza en esta misma unidad litológica (Kida), con una cobertura de depósitos de ladera y depósitos aluvio torrenciales (Qd), de espesor variable.

La diorita de Altavista (Kida) pudo observarse en este sector desde roca altamente meteorizada (grado de meteorización IV) hasta suelos residuales (meteorización grado VI). Textura arenosa gruesa, café, medianamente suelta; los suelos residuales pueden ser observados de color beige, ver Fotografía 5-91

Fotografía 5-91 Afloramiento de Diorita de Altavista (Kida) en vía que comunica la ZODME 1 con el resto del AI



Consultoría Colombiana S.A., 2016

Los depósitos de ladera que cubren la Diorita en gran parte de este tramo de la vía, se caracterizan por ser principalmente de origen aluvio torrencial, matriz de textura arenosa suelta, café a gris (95%), con 5% de clastos de composición diorítica, son bloques angulares a subangulares, de diámetro 7-15cm, ver Fotografía 5-92

Fotografía 5-92 Depósitos de ladera que cubren parte de la Diorita de Altavista (Kida)



Consultoría Colombiana S.A., 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

5.1.2 Geomorfología

5.1.2.1 Aspectos conceptuales y metodológicos

De acuerdo con INGEOMINAS⁶², la expresión morfológica del terreno depende de los tipos de materiales, la disposición estructural, los procesos naturales que interactúan de acuerdo con el ambiente o condiciones externas e internas dominantes y el tiempo de duración de los mismos (Gregori, 1978 en Kéller y Rockwell, 1984; Roberston, 1990, Carvajal, 2002). Lo anterior permite determinar la siguiente concepción geomorfológica:

GEOFORMA/ PAISAJE =ΣFACTORES INTERNOS +ΣFACTORES EXTERNOS

La interpretación de la geomorfología tiene por finalidad la descripción de las formas del terreno, y la explicación de su génesis (origen), evolución a través del tiempo geológico, la definición de la naturaleza de los materiales, la clasificación de los paisajes según el proceso o agente natural dominante, composición, edad y explicación de la magnitud de los agentes y procesos geomorfológicos modeladores.

“Al comprender cada uno de los elementos y procesos naturales que le dan origen al paisaje, es posible deducir o pronosticar el comportamiento del terreno con relación a diversos procesos naturales y antrópicos. De igual manera se puede lograr reconocer y deducir la resistencia de los materiales litológicos relacionados a los procesos y a las condiciones degradacionales y denudacionales. El análisis de las condiciones geomorfológicas conduce a:

- a. *Entender la influencia y control de las estructuras geológicas regionales sobre las geoformas (Ej.: escarpes y drenajes asociados).*
- b. *La génesis de las geoformas, que reflejan la dinámica de los procesos naturales actuales: endógenos y exógenos (denudación, acumulación).*
- c. *Relacionar la geometría de los terrenos (las formas de las laderas) a tipos de movimientos antiguos o activos de remoción en masa. En algunos casos permite deducir situaciones críticas o potenciales.*
- d. *Establecer la magnitud de la dinámica de los procesos denudativos que están actuando sobre una geoforma en particular.*
- e. *Las relaciones espaciales de las geoformas, debido a que determinan zonas homogéneas con características litológicas y geomecánicas similares”.*

Este documento cumple con los requerimientos de los términos de referencia establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en resolución 751 de 2015, “Términos de Referencia para la elaboración del EIA, requerido para el trámite de licencia

⁶² INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Proyecto Compilación y Levantamiento de la Información Geomecánica. Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la cartografía Geomorfológica a para la Zonificación Geomecánica. Volumen I. Bogotá, 2004.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

ambiental de los proyectos de construcción de carreteras y/o túneles con sus accesos”, y para ello se ha llevado la metodología propuesta por INGEOMINAS (2004), que se explica a continuación.

La propuesta metodológica de cartografía geomorfológica de INGEOMINAS (2004), aplica los principios generales y métodos de análisis de los sistemas de clasificación y evaluación de terrenos P.U.C.E (provincia, patrón, unidad y componente de terreno), desarrollado con fines ingenieriles por Grant, (1967 y 1978 en Ferrero y García, 1987), Cortés (1989), y Carvajal (2002, propuesta para INGEOMINAS).

El análisis geomorfológico utilizado en este proyecto es concordante con la jerarquización geomorfológica propuesta por Carvajal (2002). Las categorías utilizadas de mayor a menor son: zona geoestructural, provincia geomorfológica, región geomorfológica, unidades y subunidades geomorfológicas y componente geomorfológico,

Para llevar a cabo la cartografía geomorfológica requerida, se cumplieron las siguientes etapas de trabajo.

5.1.2.1.1 Recopilación de información secundaria y cartografía temática

Consulta, evaluación y análisis de los estudios del medio físico por medio de los cuales se realizó la caracterización de las unidades geomorfológicas; corresponden a estudios de suelos de tipo general, en razón a la relación suelo-paisaje establecida en la prospección pedológica, la cual es desarrollada sobre unidades geomorfológicas identificadas, acordes con el sistema solicitado en los términos de referencia de Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de carreteras y/o túneles (resolución 751 de 2015).

5.1.2.1.2 Interpretación de imágenes de satélite y fotografías aéreas

A partir de ortofotomapa (2015) del área de estudio y fotografías aéreas relacionadas en la Tabla 5-2, se realizó fotointerpretación geomorfológica, que junto con el trabajo de campo, permitió mejorar el nivel de detalle de la cartografía a escala 1:10.000.

Fotografías aéreas obtenidas del Convenio Gobernación de Antioquia – EPM – ISAGEN – IGAC, 2010 - 2011, escala aproximada 1:10.000 – 1:15.000.

Tabla 5-12 Fotografías aéreas interpretadas

Vuelo	Faja	Fotos	Fecha	Nº fotos
14603008072011	21	768-774	08/07/2011	7
14603008072011	20	805-811	08/07/2011	7
14603008072011	19	888-894	08/07/2011	7
14603020032010	18	309-314	20/03/2010	6
14603020032010	17	217-223	20/03/2010	10

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Vuelo	Faja	Fotos	Fecha	Nº fotos
13003015032010	18	1845-1852	05/03/2010	8
13003015032010	19	1744-1748	05/03/2010	5
13003015032010	17	1858-1861	15/03/2010	4
Total fotos				54

5.1.2.1.3 Trabajo de campo

Consistió en el reconocimiento geomorfológico del área de influencia, donde se corroboraron y complementaron las características de las diferentes unidades geomorfológicas delimitadas en la fotointerpretación; también se complementó la información de la morfodinámica en el área de influencia.

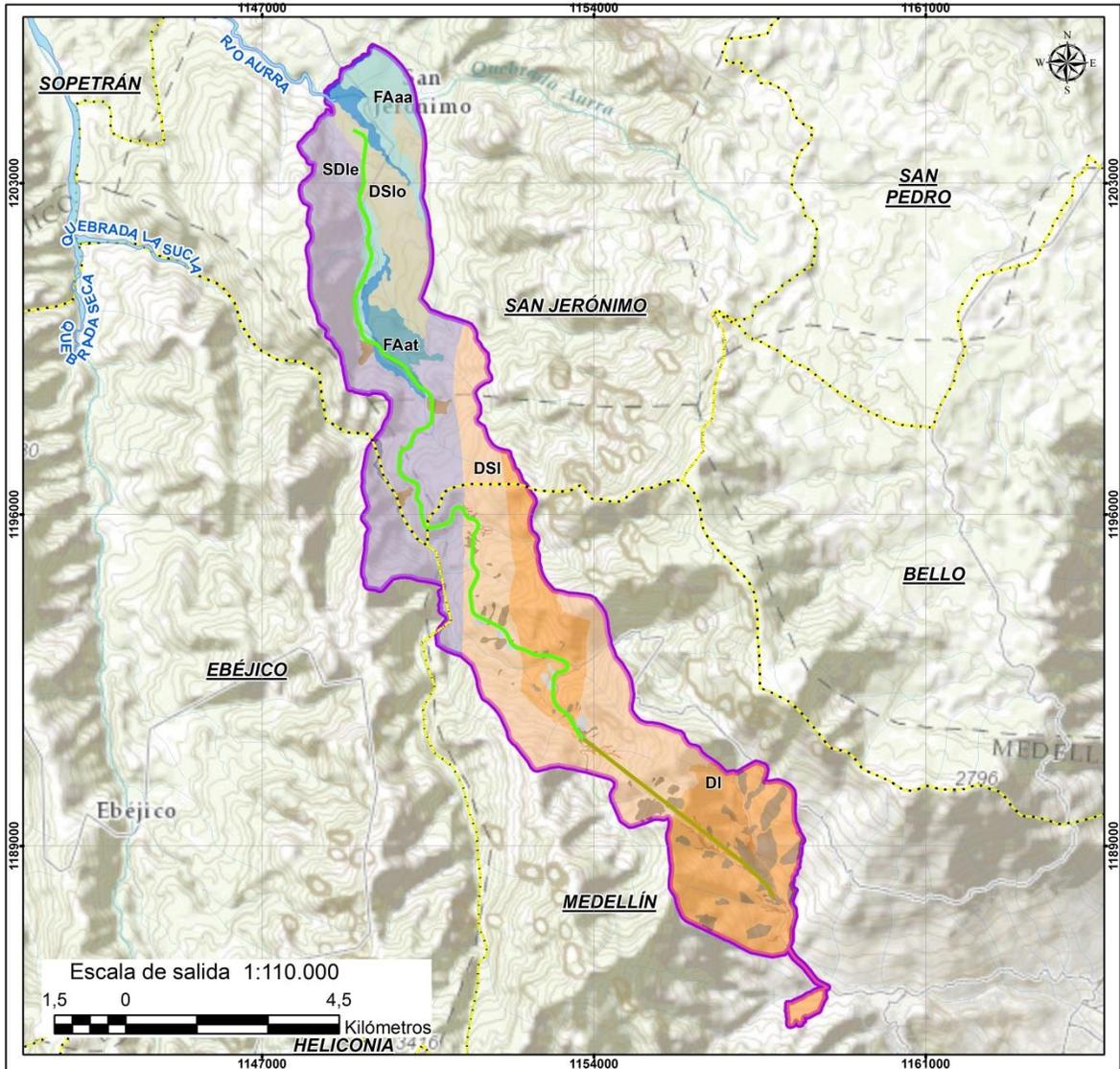
5.1.2.1.4 Informe

El informe de geomorfología comprende la descripción características morfológicas, morfométricas y morfodinámicas del área de influencia. Como parte del informe de caracterización se realizó el mapa de Geomorfología, escala 1:10.000.

5.1.2.2 Geoformas asociadas a unidades geomorfológicas

El área de influencia se localiza en la vertiente occidental de la Cordillera Central, desde la parte alta en un relieve de montañas con alturas desde 2200 msnm hacia la margen derecha del río Cauca con alturas hasta 500 msnm. El área de estudio está conformada por dos unidades geomorfológicas: Montañas y Piedemonte, que conforman la vertiente occidental de la Cordillera Central, entre el límite occidental del Valle de Aburrá y la población de San Jerónimo. La Figura 5-42 y Tabla 5-13 presentan las unidades geomorfológicas que comprende el área de estudio, su génesis y características morfográficas y morfodinámicas.

Figura 5-42 Mapa geomorfológico Unidad Funcional 1



**EIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA
TÚNEL - SAN JERÓNIMO UF 1 Y 3**

CONVENCIONES GENERALES

- Unidad Funcional 1
- Unidad Funcional 3
- Drenaje Sencillo
- Drenaje Doble
- Limite Municipal
- Área de Influencia

CONVENCIONES TEMÁTICAS

Unidad Geomorfológica	
■ Ccc	■ FAat
■ DScr	■ Fve
■ DSI	■ SDcr
■ DSII	■ DII
■ DSII	■ Dve
■ DSlo	■ SDve
	■ FAaa

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Tabla 5-13 Unidades Geomorfológicas

Z. Geocst.	Prov. Geom	Reg. Geom.	Unidad geomorfológica	Subunidad geom.	Litología dominante	Componente geomorfológico	Morfografía	Morfodinámica	Símb.	
Cordillera Central	Cordillera Central	Denudativa	Montañas	Denudativas (D)	Filas y Vigas	Rocas ígneas intrusivas y granitos néisicos, masivos, drenaje subdendrítico, medianamente denso; desarrollan suelos residuales profundos	Laderas (l)	Relieve de laderas largas a muy largas, irregulares a escalonadas, cimas redondeadas; drenajes profundos, con predominio de pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) a ligeramente escarpadas (25-50%).	Se caracteriza por abundantes depósitos de ladera, cicatrices de antiguos deslizamientos y deslizamientos activos.	DI
							Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales (ve)	Relieve de formas alargadas y angostas, con pendientes ligeramente escarpadas (25-50%).	-	Dve
							Coluvio de remoción (cr)	Depósitos de ladera de dimensiones variables, ubicados en las vertientes; formas irregulares y pendientes entre fuertemente inclinadas (12-25%) y fuertemente escarpadas (75-100%).	-	Der
						Materiales resultantes de sobrantes de excavaciones de la construcción de la vía actual Medellín – Santa Fe de Antioquia. Composición heterométrica y dimensiones variables,	Lleno antrópico (II)	Dispuestos a media ladera, en terrenos de fuertes pendientes (25-50% hasta >75%).	Algunos han evidenciado movimientos e inestabilidad geotécnica, y han requerido intervención e implementación de obras de control y estabilidad	DII
				Denudativas estructurales (DS)	Filas y Vigas	Rocas de bajo y medio grado de metamorfismo, caracterizada por esquistos cuarzo sericíticas, esquistos verdes y misceláneo rocoso que comprende además rocas intrusivas máficas tipo gabros y granitos néisicos	Laderas (l)	Laderas muy largas y rectas, patrón de drenaje subparalelo, cimas angostas, subangulares,	Morfodinámica alta. Alta susceptibilidad a caída de rocas, con presencia de abundantes cicatrices de deslizamientos y deslizamientos activos.	Dsl
							Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales (ve)	Relieve de formas alargadas y angostas, con pendientes ligeramente escarpadas (25-50%).		Dsve
							Coluvio de remoción (cr)	Depósitos de ladera de dimensiones variables, ubicados en las vertientes; formas irregulares y pendientes entre fuertemente inclinadas (12-25%) y fuertemente escarpadas (75-100%).	-	DScr
						Materiales resultantes de sobrantes de excavaciones de la construcción de la vía actual Medellín – Santa Fe de Antioquia. Composición heterométrica y dimensiones variables,	Lleno antrópico (II)	Dispuestos a media ladera, en terrenos de fuertes pendientes (25-50% hasta >75%).	Algunos han evidenciado movimientos e inestabilidad geotécnica, y han requerido intervención e implementación de obras de control y estabilidad	DSII

Z. Geost.	Prov. Geom	Reg. Geom.	Unidad geomorfológica		Subunidad geom.	Litología dominante	Componente geomorfológico	Morfografía	Morfodinámica	Símb.
			Estructurales denudativas (SD)	Espinazo	Esquistos cuarzo sericíticos, esquistos verdes, y rocas volcánico sedimentarias, estratificadas de liditas, lodolitas, grauvacas, tobas silicificadas y conglomerados.	Coluvio de remoción (cr)	Depósito de ladera de dimensiones variables, longitud aproximada 450m, ancho 290m, ubicados sobre vertiente de esquistos cuarzo sericíticos, con pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) a ligeramente escarpadas (25-50%).			SDcr
						Ladera estructural (le)	Relieve de laderas largas y rectas, con predominio de pendientes moderadamente escarpadas (50-75%) a fuertemente escarpadas (75-100%)	Morfodinámica alta, susceptible a deslizamientos planares. Con abundantes deslizamientos activos, afectados por cárcavamiento y erosión en surcos.	SDle	
						Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales (ve)	Relieve de formas alargadas y angostas, con pendientes fuertemente inclinadas (12-25%).	-	SDve	
Cordillera Cordillera Central	Deposicional	Piedemonte	Denudativa estructural (DS)	Lomas y colinas	Rocas sedimentarias clásticas Conformadas por areniscas bien cementadas, areniscas conglomeráticas, arcillas pizarrosas.	Lomerío (lo)	Relieve de lomas y colinas asociado a rocas sedimentarias de la formación Amagá; altura media 40-50m, cimas subangulares, medianamente angostas, pendientes fuertemente inclinadas (12-25%).	Áreas afectadas principalmente por sobrepastoreo grado moderado alto; susceptible a erosión en surcos y cárcavas		DSlo
			Aluvial diluvial (FA)	Abanicos aluviales	Sedimentos no consolidados provenientes del piedemonte de la cordillera Central	Cuerpo y base de abanico aluvial (aa)	Poco disectado, de pendientes planas a ligeramente planas (0-3%).	Morfodinámica baja.	FAaa	
			Coluvial (C)	Coluvio de remoción	Sedimentos no consolidados provenientes del piedemonte de la cordillera Central	Abanico terraza (at)	Poco disectado, de pendientes moderadas a fuertemente inclinadas (7-25%).	Morfodinámica baja.	FAat	
			Aluvial (F)	Valle aluvial	Depósitos aluviales no consolidados	Cono coluvial (cc)	Depósitos de ladera de dimensiones variables, pendientes fuertemente inclinadas (12-25%).	Morfodinámica baja.	Ccc	
						Valle estrecho aluvial (ve)	Relieve de formas alargadas y angostas, con pendientes planas a ligeramente planas (0-3%) y en menor proporción fuertemente inclinadas (12-25%).		Fve	

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.2.2.1 Unidad geomorfológica: Montañas

Esta unidad geomorfológica se subdivide, de acuerdo con su génesis en tres tipos: Montañas Denudativas (D), Denudativas estructurales (DS), Estructurales denudativas (SD).

5.1.2.2.1.1 Montañas denudativas (D)

Corresponde a un relieve sobre rocas ígneas intrusivas de la Diorita de Altavista y Granito néisico de Palmitas. Desarrolla montañas de laderas largas a muy largas (800-1100m), escalonadas con presencia de cicatrices de antiguos deslizamientos; cimas redondeadas y angostas. Los drenajes son profundos, con abundantes escarpes de deslizamientos antiguos, Fotografía 5-93 y Fotografía 5-92.

Fotografía 5-93 Panorámica al E del túnel, ver movimientos en masa de grandes dimensiones asociados a la Diorita de Altavista



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-94 Panorámica del relieve en montañas denudativas en rocas intrusivas



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Las rocas intrusivas desarrollan suelos residuales profundos, sobre los cuales es común que se generen deslizamientos de grandes dimensiones, antiguos y recientes, que evidencian la alta susceptibilidad a movimientos en masa; las pendientes varían entre fuertemente inclinadas (12-25%) a moderadamente escarpadas (50-75%) y en menor proporción fuertemente escarpadas (75-100%). Son laderas irregulares, de cimas subangulares y angostas. Los drenajes se encuentran medianamente disectados, afectados en sus márgenes por movimientos en masa.

Esta unidad geomorfológica está compuesta por filas y vigas también conocidas como crestas ramificadas: *“Se caracterizan por su gran uniformidad y amplitud con crestas que se extienden en diferentes direcciones, de las cuales se desprenden numerosas ramificaciones que van perdiendo altura hacia sus extremos”*⁶³; esta unidad geomorfológica está conformada por laderas (DI), ver Fotografía 5-95, valles estrechos aluviales (Dve) y coluvios de remoción (Dcr), Fotografía 5-96.

En la Unidad funcional 3, se identifica en K00+198 – K00+289, K00+640 – K02+917, K05+359 – K05+366. En las unidades funcionales 1 y 2.1, en K00+000 – K01+290, K01+470 – K01+623, K01+679 – K03+039.

Fotografía 5-95 Laderas en rocas montañas denudativas con abundantes deslizamientos activos y cicatrices de deslizamientos (DI)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

⁶³ Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras. Bogotá, 2005.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

Fotografía 5-96 Panorámica de coluvios de remoción en montañas denudativas (Dcr), K02+600, UF1



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

- Caracterización geomorfológica ZODME 1

El ZODME 1 se ubica en esta unidad geomorfológica de montañas denudativas, en un paisaje de filas y vigas. Se localiza en una ladera de forma cóncava, encajonada, con laderas de pendientes escarpadas (35°), vegetación de pastos y árboles de pinos dispersos. Fue utilizado en su parte baja como escombrera, actividad terminada y estabilizada mediante obras de manejo de aguas de escorrentía y empradización; este depósito presenta dos niveles de terrazas de altura aproximada 10m, pendiente 25° - 30° ; no se identificaron áreas inestables.

El ZODME proyectado pretende subir a una cota superior del actual depósito de escombros, Fotografía 5-97 a Fotografía 5-100.

Fotografía 5-97 Cunetas y disipadores de energía construidos para estabilizar escombrera



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-98 Escombrera en parte baja de área proyectada para ZODME 1

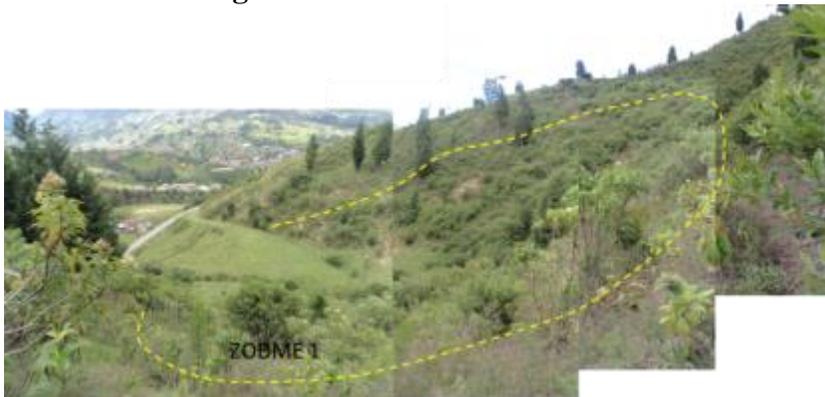


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-99 Ubicación Zodme 1



Fotografía 5-100 Ubicación Zodme 1



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

5.1.2.2.1.2 Montañas denudativas estructurales (DS)

Dentro de esta categoría se incluyeron rocas metamórficas con influencia estructural y denudacional, por efecto de la meteorización y degradación de las rocas. En este caso, las unidades de Esquistos cuarzo sericíticos y Esquistos verdes, a pesar de presentar alta influencia estructural, también se encuentran afectados por procesos de disección y remoción de materiales a través erosión, movimientos en masa y avenidas torrenciales.

En la Unidad Funcional 3 se identifica en K02+917 – K05+359 y en la unidad funcional 1, en los K03+287 – K03+437, K03+681 – K03+955, K04+185 – 05+469, K05+531 – K06+738, K06+758 – K06+762.

Est unidad geomorfológica se caracteriza por un paisaje de montañas de laderas largas a muy largas, rectas, pendientes desde ligeramente escarpadas (25-50%) hasta fuertemente escarpadas (75-100%) y localmente totalmente escarpadas (>100%). Patrón de drenaje subparalelo a subdendrítico, cimas angostas y subangulares, con presencia de abundantes cicatrices de deslizamientos, Fotografía 5-101.

Fotografía 5-101 Panorámica de Montañas denudativas estructurales (DS)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Esta unidad geomorfológica está compuesta por filas y vigas conformadas por laderas (DSI) Fotografía 5-102, valles estrechos aluviales y/o coluviales (DSve) y coluvios de remoción (DScr).

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

Fotografía 5-102 Laderas en paisaje de filas y vigas (DSI), alrededores del K6+200



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.2.2.1.3 Montañas estructurales denudativas (SD)

Corresponde a un paisaje de montañas que se desarrollan sobre rocas volcano sedimentarias de la Formación Quebradagrande (KvQG) y Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) del Grupo Ayurá Montebello, los cuales se encuentran en contacto fallado y presentan una morfología de montañas altas, laderas largas, rectas, patrón de drenaje paralelo y disectado, pendientes desde fuertemente inclinadas (12-25%) hasta totalmente escarpadas (>100%), ver Fotografía 5-103. Esta unidad geomorfológica no se presenta en la Unidad Funcional 3 y en la Unidad Funcional 1 es observada en K06+738 – K06+758, K06+762 – K11+338.

Fotografía 5-103 Alrededores de K09+400. Panorámica laderas estructurales en paisaje de montañas estructurales denudativas (SDle)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

La subunidad geomorfológica que caracteriza las montañas estructurales denudativas, son los Espinazos, compuestos por Laderas estructurales (SDle) y valles estrechos aluviales (SDve). Las laderas estructurales se caracterizan por la presencia de cañones profundos en V como es el caso de la quebrada La Rochela, con profundidades hasta de 50m, Fotografía 5-104.

Fotografía 5-104 Valle estrecho en V, quebrada Miserenga



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.2.2.2 Unidad geomorfológica: Piedemonte

“El paisaje de piedemonte corresponde a una planicie inclinada con topografía de glaciais,

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.2		

que se extiende al pie de sistemas montañosos, serranías y escarpes de altiplancies y que ha sido formada por la sedimentación de corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados hacia las zonas más bajas y abiertas”⁶⁴.

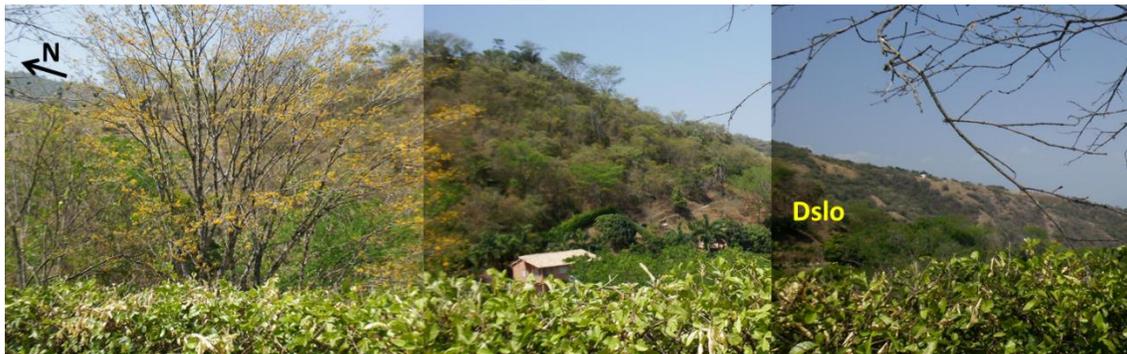
En el área de estudio el piedemonte corresponde a la transición del paisaje de montañas y el valle aluvial del río cauca. Esta unidad geomorfológica se subdivide, de acuerdo con su génesis en cuatro tipos: Piedemonte denudativo – estructural (DS), Piedemonte aluvio – diluvial (FA), Piedemonte coluvial (C) y Piedemonte aluvial (F). Tiene un cubrimiento de 974,16 ha (18,2%).

5.1.2.2.2.1 Piedemonte denudativo estructural

Compuesto de lomas y colinas de rocas sedimentarias clásticas de la Formación Amagá, y se ubica en las terminaciones la vertiente occidental de la Cordillera Central. Esta unidad geomorfológica tiene un cubrimiento en el trazado de la vía por K16+345 – K17+800.

Son colinas de altura media 40-50m, cimas subangulares, medianamente angostas, con predominio de pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) a moderadamente inclinadas (7-12%), en algunos sectores la pendiente alcanza a ser ligeramente escarpada (25-50%), ver Fotografía 5-105.

Fotografía 5-105 Panorámica de lomas y colinas de piedemonte (DSlo), alrededores de K16+500



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Se identificaron en esta unidad geomorfológica, las subunidades Lomerío (DSlo5), que corresponden a un relieve de colinas de 40-50m de altura, pendientes fuertemente inclinadas (12-25%) a ligeramente escarpadas (25-50%), cimas redondeadas, angostas a medianamente amplias, afectadas por sobre pastoreo, ver Fotografía 5-106.

⁶⁴ Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras. Bogotá, 2005.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Fotografía 5-106 Margen derecha río Aurrá, relieve de lomas y colinas (DSlo)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Estos terrenos se encuentran afectados por sobrepastoreo en grado moderado a severo y son susceptibles a erosión en surcos y cárcavas, Fotografía 5-107.

Fotografía 5-107 Panorámica hacia el NW de lomas y colinas de piedemonte



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.2.2.2.2 Piedemonte aluvio – diluvial (FA)

Conformado por abanicos aluviales y abanicos terraza, disectados por ríos y quebradas como las quebradas Santa Juana, Aguamala y río Aurrá. Esta unidad geomorfológica será cruzada en K11+353 - K12+818, K12+838 - K12+872, K13+058 - K16+340, ver Fotografía 5-108.

Esta unidad geomorfológica corresponde a depósitos no consolidados de origen coluvio aluvial, con pendientes moderadamente inclinadas (7-12%) a fuertemente inclinadas (12-25%) hacia el sur del área de estudio, que corresponde el límite entre el paisaje de montañas y el paisaje de piedemonte. Hacia el norte de esta zona, disminuye la pendiente, presentándose esta unidad geomorfológica con pendientes planas a ligeramente planas (0-3%), Fotografía 5-109.

Fotografía 5-108 Abanico aluvial disectado, tramo entre K11+350 – K12+800



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-109 Abanico aluvial, relieve plano a ligeramente plano, tramo K13+057 – K16+333



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.2.2.2.3 Piedemonte coluvial (C)

Es un pequeña unidad geomorfológica cartografiada únicamente en el tramo K12+872 – K13+059. Corresponde a depósitos de ladera provenientes de paisajes de montañas denudativas de la Diorita de Heliconia.

5.1.2.2.2.4 Piedemonte aluvial (F)

Unidad geomorfológica de origen aluvial, asociada al río Aurrá y quebrada Santa Juana. Está conformada por valles aluviales, asociados a la quebrada Santa Juana en un pequeño tramo en K12+817 – 12+836. El relieve de esta unidad geomorfológica es fuertemente inclinado (12-25%) a moderadamente inclinado (7-125%).

5.1.2.3 Análisis multitemporal de procesos morfodinámicos en el área de influencia

Para evaluar la evolución morfodinámica de la región, se tuvieron en cuenta dos periodos

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

de análisis del área de estudio. El primero de ellos corresponde a la interpretación de procesos morfodinámicos sobre fotografías aéreas de un periodo 2010 - 2011 y el segundo periodo corresponde a la interpretación de la imagen Ortofotomapa (2015) del área de estudio.

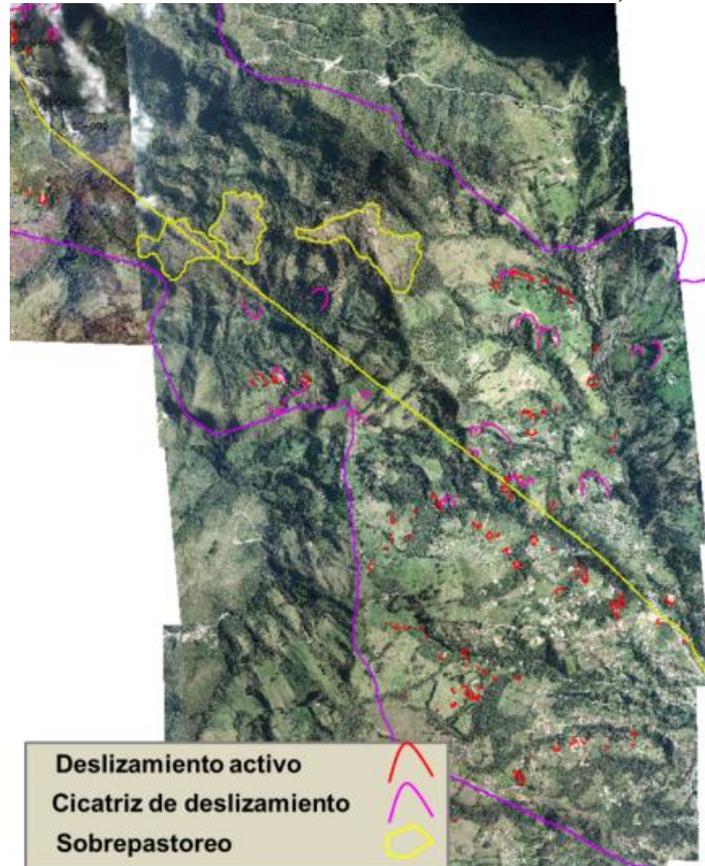
Para el análisis de esta morfodinámica se trabajó con base en la sectorización geológica – geomorfológica presentada previamente.

5.1.2.3.1 Morfodinámica Periodo 2.010 – 2.011

5.1.2.3.1.1 Unidad funcional 3

Este tramo, que comprende el paso por dos unidades litológicas, Diorita de Altavista (Kida) y Esquistos Cuarzo sericíticos (Pzes), muestra para esta época, la presencia de abundantes deslizamientos activos, principalmente sobre la Diorita de Altavista; son movimientos en masa de ancho y longitud entre 10 – 50m. En este tramo se identificaron 106 deslizamientos activos, concentrados principalmente en suelos residuales de la Diorita de Altavista. En menor proporción se identificaron 27 cicatrices de deslizamientos de dimensiones mayores a los deslizamientos activos, ancho entre 20 – 140m y altura entre 10-90m; se presentan tanto en la Diorita de Altavista como en los Esquistos cuarzo sericíticos. Hacia el portal de salida, en la unidad Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes), se observan áreas afectadas por sobrepastoreo en grado moderado.

Fotografía 5-110 Morfodinámica tramo Unidad Funcional 3, Periodo 2.010 – 2.011



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; Fotografías aéreas (2010-2011)

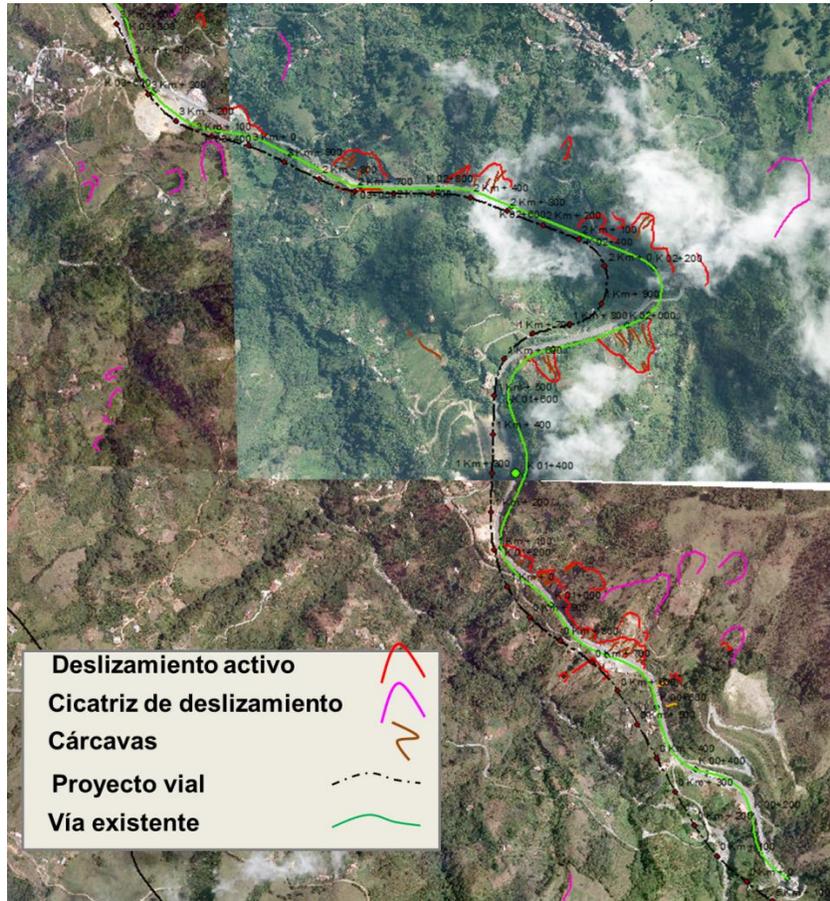
5.1.2.3.1.2 Unidad Funcional 1

5.1.2.3.1.2.1 Tramo salida túnel de occidente (K00+000 – K03+039)

Este tramo se caracteriza por la presencia de 28 deslizamientos activos asociados en su mayoría a taludes resultantes de la construcción de la actual vía Medellín – Santa Fe de Antioquia; sus dimensiones varían entre ancho 20 – 110m, altura 20 – 120m. Muchos de estos deslizamientos activos tienen asociados procesos erosivos como surcos y cárcavas, ver Figura 5-43.

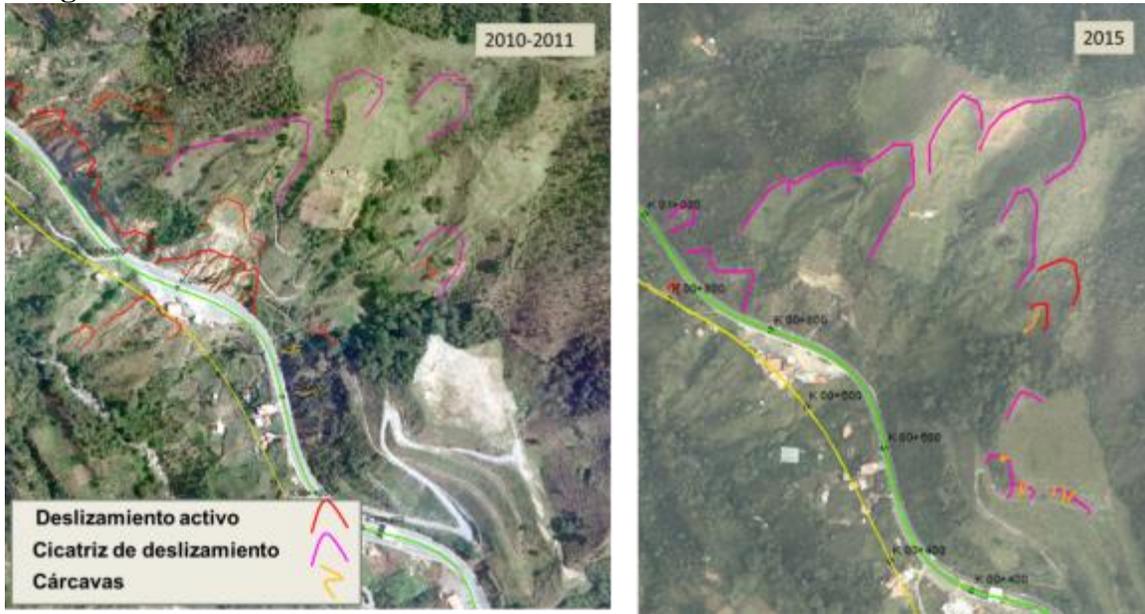
Se presentan también cicatrices de deslizamientos (se cartografiaron 17), asociadas algunas de ellas con una gran zona inestable, localizada entre K00+500 – K00+900 de la vía existente, Figura 5-44. Algunos de los deslizamientos y cicatrices de deslizamientos tienen asociados erosión en surcos y cárcavas de magnitud moderada a severa.

Figura 5-43 Morfodinámica tramo K00+000 – K03+039, Periodo 2.010 – 2.011



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; Fotografías aéreas (2010-2011)

Figura 5-44 Morfodinámica en subtramo K00+500 – K00+900 de la vía existente

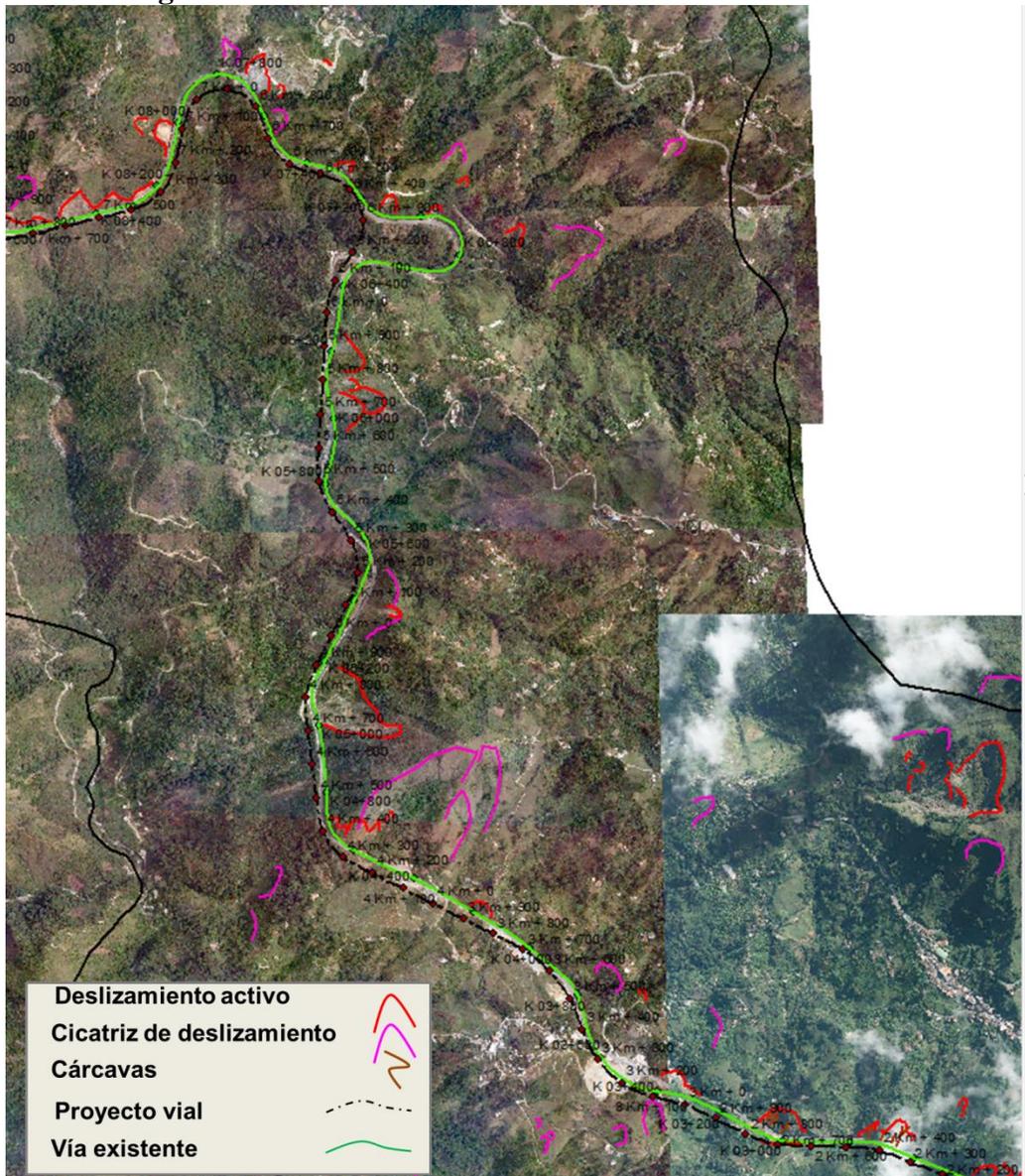


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.2.3.1.2.2 Tramo K03+039 – K07+280

Este tramo corresponde a la zona de mayor influencia del sistema de fallas San Jerónimo – La Sucia. Se cartografiaron 30 deslizamientos activos asociados a taludes de la vía existente, y 30 cicatrices de deslizamientos antiguos, de dimensiones entre ancho 50 – 180m y altura 40 – 150m, los de mayor magnitud se encuentran asociados a los cortes de la vía, y los demás se encuentran dispersos, principalmente en las zonas de contacto fallado entre Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) y Gabros de Romeral (Jgr).

Figura 5-45 Morfodinámica en tramo K03+039 – K07+280



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; Fotografías aéreas (2010-2011)

5.1.2.3.1.2.3 Tramo K07+280 – K10+800

Este tramo corresponde al paso de la vía por rocas con volcánicas de la Formación Quebradagrande, caracterizado por relieve de montañas estructurales, de pendientes moderadamente escarpadas (75-100%) a totalmente escarpadas (>100%).

Para el periodo 2010 – 2011, se identificaron 11 deslizamientos activos asociados a cortes de la vía, de dimensiones medias entre 70 – 180m de ancho y 30 – 110m de altura; cuatro cicatrices de deslizamientos de 70 – 130m de ancho y 90 – 110m de altura (Figura 5-46).

Figura 5-46 Morfodinámica en tramo K07+280 – K10+800



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; Fotografías aéreas (2010-2011)

5.1.2.3.1.2.4 Tramo K10+800 – K16+333

Este tramo corresponde al paso de la vía a través un depósito coluvio aluvial, que conforma un abanico aluvial proveniente del piedemonte de la Cordillera Central. La vía pasa cerca del contacto discordante de este abanico aluvial con rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande. Esta zona es de relieve fuertemente inclinado (12-25%) a moderadamente inclinado (7-12%). Gran disminución de los eventos morfodinámicos, solo se identificaron cuatro deslizamientos activos y tres cicatrices de deslizamientos. En esta región empieza a observarse área afectadas por sobrepastoreo, grado moderado, ver Figura 5-47.

Figura 5-47 Morfodinámica en tramo K10+800 – K16+333

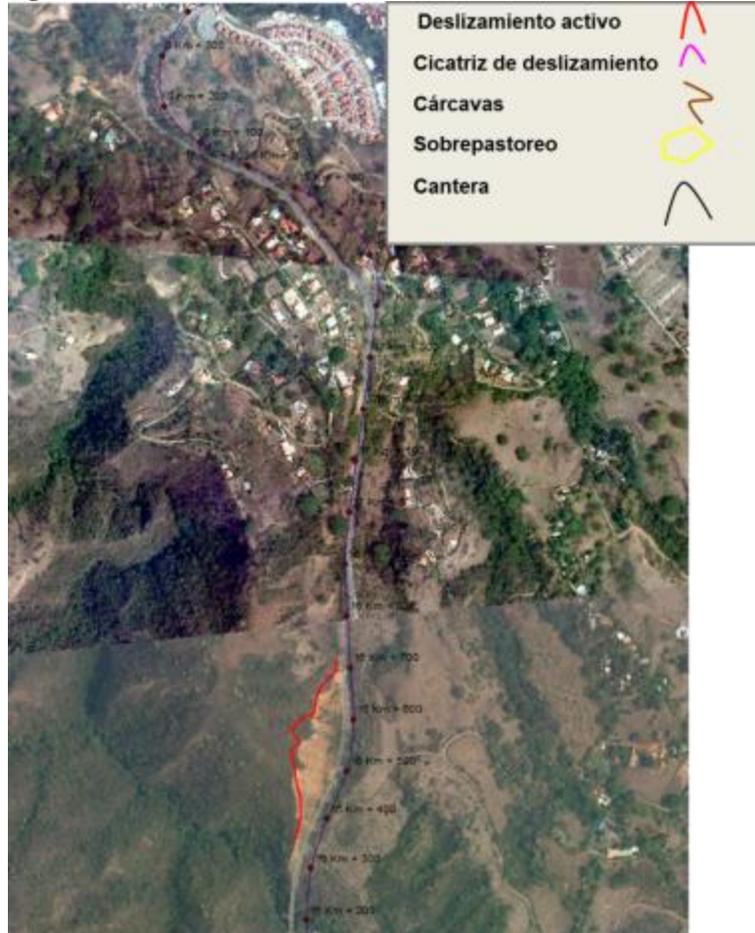


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; Fotografías aéreas (2010-2011)

5.1.2.3.1.2.5 Tramo K16+333 – K17+800

La vía cruza en este tramo paralela al contacto entre rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande (KvQG) y rocas sedimentarias de la Formación Amagá (Nngpas). Los procesos erosivos más significativos se identificaron en los taludes en rocas volcánicas, de grandes dimensiones y de alta susceptibilidad a caídas de roca; se identificaron dos deslizamientos activos que generan alta inestabilidad sobre la vía actual. Figura 5-48.

Figura 5-48 Morfodinámica en tramo K16+333 K17+800



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; Fotografías aéreas (2010-2011)

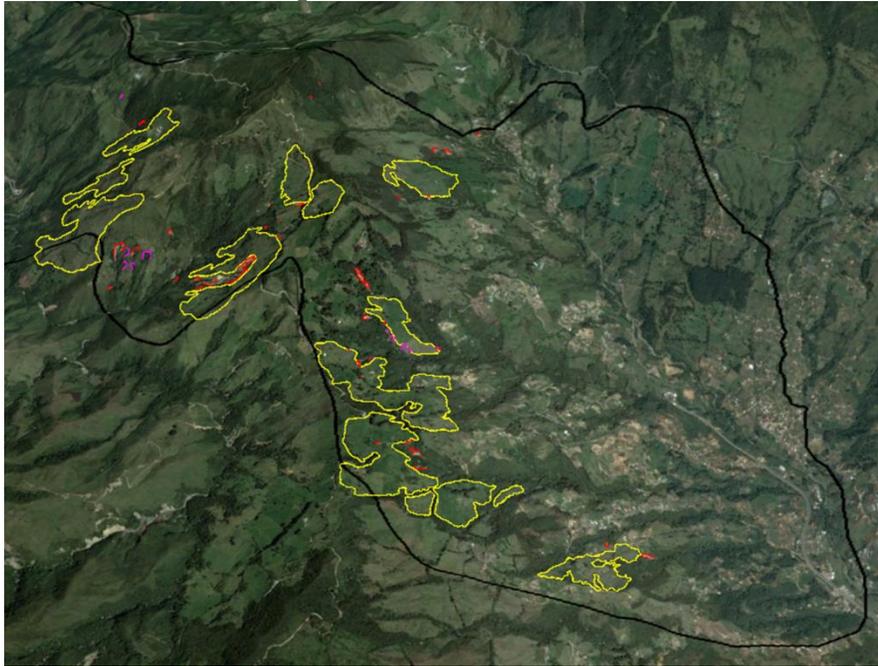
5.1.2.3.2 Morfodinámica 2015 (Ortofotomapa)

La imagen ortofotomapa de 2015 aporta información reciente del estado de evolución de los procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa identificados en el periodo 2010 – 2015.

5.1.2.3.2.1 Unidad funcional 3

Debido a la ausencia de cubrimiento de la imagen en este tramo, no fue posible realizar una evaluación completa de la morfodinámica a partir de la ortofotomapa (2015), por lo que se recurrió a un apoyo con la imagen de google earth (periodos 2012- 2015). Se identificaron 40 deslizamientos activos, 11 cicatrices de deslizamientos, cuatro cárcavas de grado moderado y 17 zonas afectadas por sobrepastoreo grado moderado a bajo.

Figura 5-49 Morfodinámica, parte NW de Unidad Funcional 3 (UF3), 2012-2015



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; Google earth (2012-2015)

Al comparar la evolución morfodinámica en este tramo, se observan abundantes deslizamientos activos y cicatrices de deslizamientos, sin embargo, son significativamente menores que en el periodo 2010 – 2011. En el 2010-2011 se cartografiaron 106 deslizamientos activos y en 2012-2015 solo 40; así mismo, en 2010-2011 se identificaron 27 cicatrices de deslizamientos en en 2012-2015 solo 11. Esto se puede explicar por diferencia en la resolución de las imágenes consultadas, es decir, la imagen google earth no suministró suficiente nitidez para asegurar que la disminución en los eventos morfodinámicos sea debida a una reducción de la actividad morfodinámica de la región.

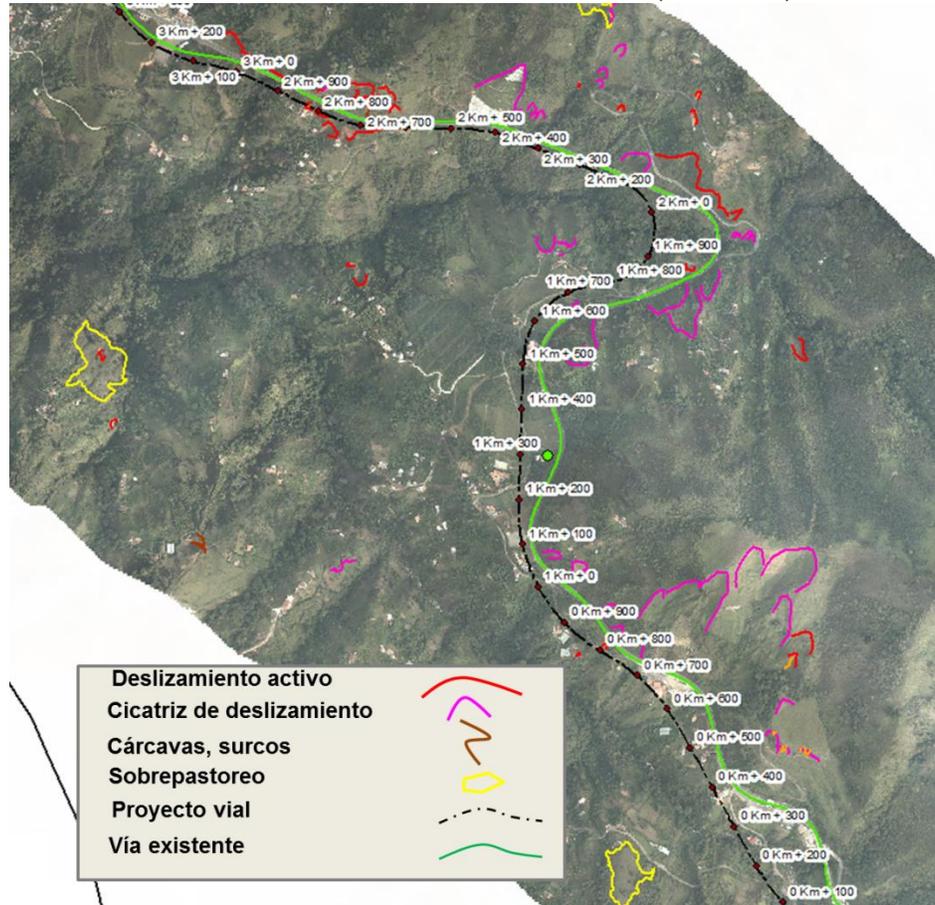
El evento morfodinámico que aumentó para este periodo fueron las áreas afectadas por sobrepastoreo, grado bajo a moderado, puesto que en 2010 –2011 solo se identificaron tres zonas y en 2012-2015 se cartografiaron 17.

5.1.2.3.2.2 Unidad Funcional 1

5.1.2.3.2.2.1 Tramo salida túnel de occidente (K00+000) – K03+039

Para esta época, se identificaron 34 deslizamientos activos de dimensiones medias ancho 10 - 30m, altura entre 10-20m; se cartografiaron 46 cicatrices de deslizamientos de dimensiones ancho 20 – 90m altura 30b – 80m; la mayoría de estos eventos están asociados a la vía. También se identificó erosión en surcos y cárcavas, grado moderado (18 procesos cartografiados) y sobrepastoreo en grado moderado; este último proceso morfodinámico no fue identificado para el periodo 2010 - 2011.

Figura 5-50 Morfodinámica salida túnel de occidente (K00+000) – K03+039, 2015



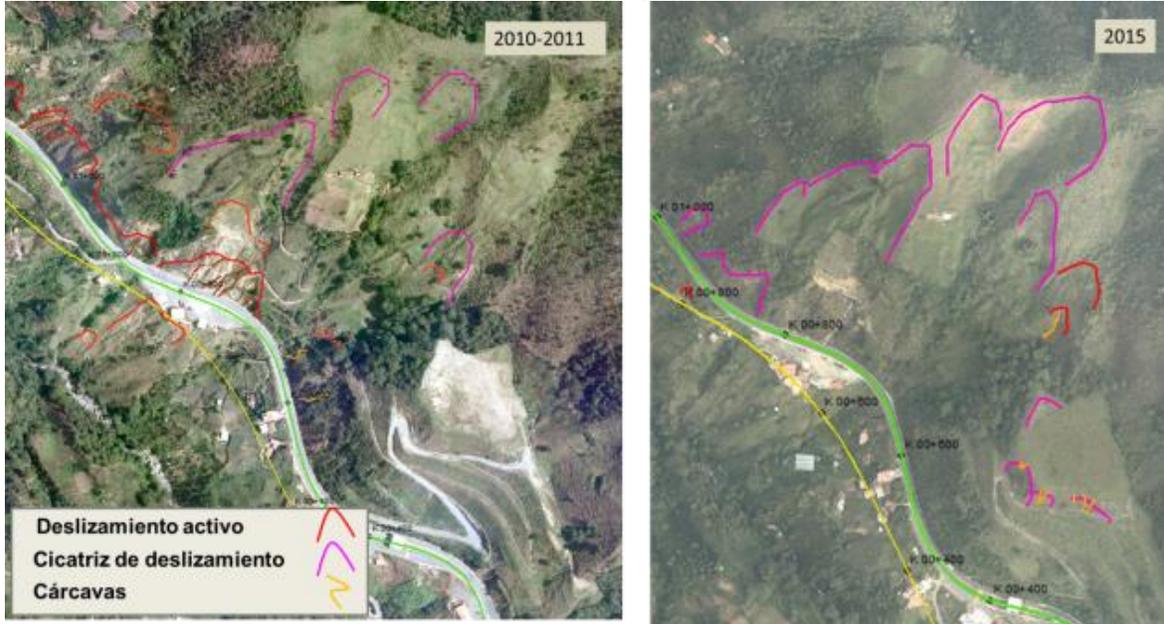
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; ortofotomapa (2015)

Dentro de los focos erosivos más significativos en este tramo se encuentra el tramo K00+400 – K00+800 (zona inestable sobre la vía existente) y el K02+300 – K03+039, cuya evolución se describe a continuación:

5.1.2.3.2.2.1.1 K00+400 – K00+800

Entre el 2010-2011 y el 2015, se observa una tendencia a estabilizarse, el terreno afectado por deslizamientos sobre la vía, principalmente porque esta zona cuenta con obras de estabilización. Sin embargo, este sector es altamente inestable y susceptible de reactivarse. Figura 5-51.

Figura 5-51 Evolución de la morfodinámica en el K00+500 – K00+900 (abscisado vía existente)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; fotografías aéreas (12010-2011); ortofotomapa (2015)

5.1.2.3.2.2.1.2 K02+300 – K03+039

En algunos deslizamientos activos para el periodo 2010 – 2011 se han implementado obras geotécnicas de estabilización y actualmente se encuentran en proceso de recuperación; al igual que en sector anterior, son áreas de alta susceptibilidad y cualquier intervención del terreno puede reactivar los deslizamientos actualmente en proceso de recuperación. Figura 5-52.

Figura 5-52 Evolución de la morfodinámica en el K02+300 – K03+039 (abscisado vía nueva)

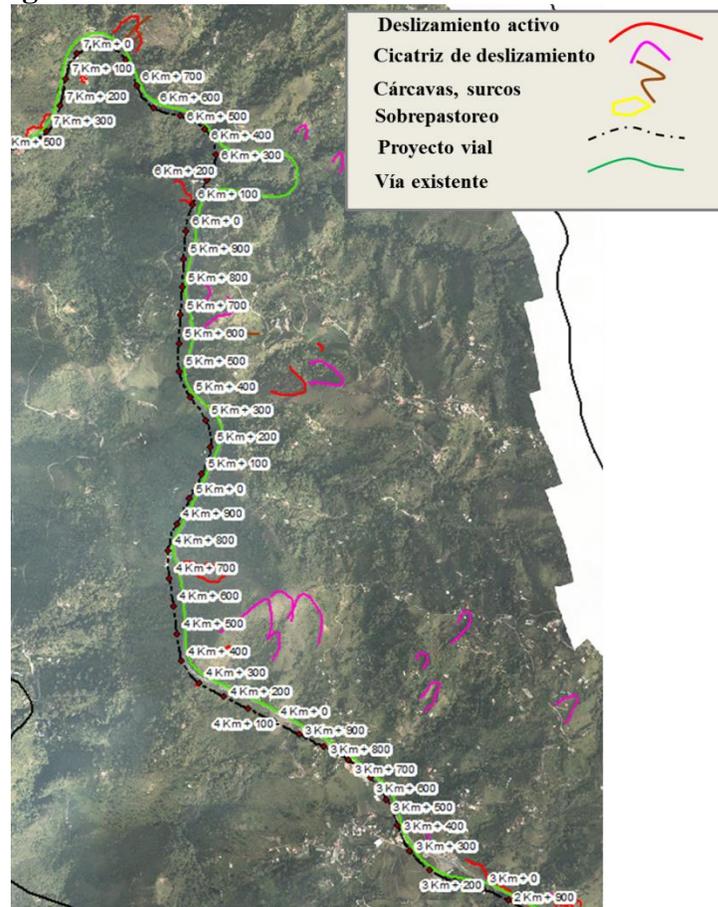


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; fotografías aéreas (12010-2011); ortofotomapa (2015)

5.1.2.3.2.2.2 Tramo K03+039 – K07+280

Para el 2015 se cartografiaron 12 deslizamientos activos asociados a taludes de la vía existente, de dimensiones entre 20 – 100m de ancho y altura entre 30 -150m. También se identificaron 14 cicatrices de deslizamientos antiguos, de dimensiones entre 50 – 180m de ancho y altura 40 – 150m, los de mayor magnitud se encuentran asociados a los cortes de la vía, y los demás se encuentran dispersos, principalmente en las zonas de contacto fallado entre Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) y Gabros de Romeral (Jgr). Figura 5-53.

Figura 5-53 Morfodinámica tramo K03+039 – K07+280



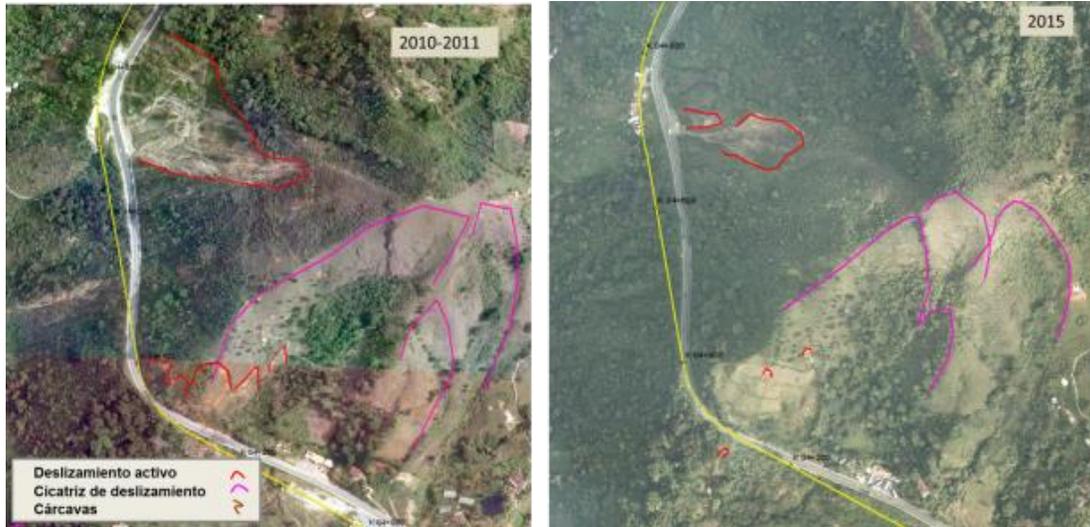
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; ortofotomapa (2015)

5.1.2.3.2.2.2.1 K04+000 – K04+800

En este tramo se identificó un sitio crítico entre K04+00 – K04+800, ver Figura 5-54; el cual se localiza en zona de contacto fallado entre Gabros de Romeral (Jgr), Granito néisico de Palmitas (Pgnp) y Esquistos Verdes (Pev). Figura 5-55. Este sector evidencia alto grado de inestabilidad a través del tiempo, con presencia de cicatrices de deslizamientos de gran magnitud (ancho 120-130m, altura 200 – 200m) y abundantes depósitos de deslizamientos

(Qd) que evidencian los diferentes eventos generados a través del tiempo. Adicionalmente, en el K04+800 se muestra un deslizamiento activo en los periodos de evaluación (Figura 5-54), aunque para el 2015 se muestra una tendencia a estabilizarse.

Figura 5-54 Evolución de la morfodinámica en el K04+000 – K04+800 (abscisado vía nueva)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; fotografías aéreas (12010-2011); ortofotomapa (2015)

Figura 5-55 Geología en tramo K04+000 – K04+800



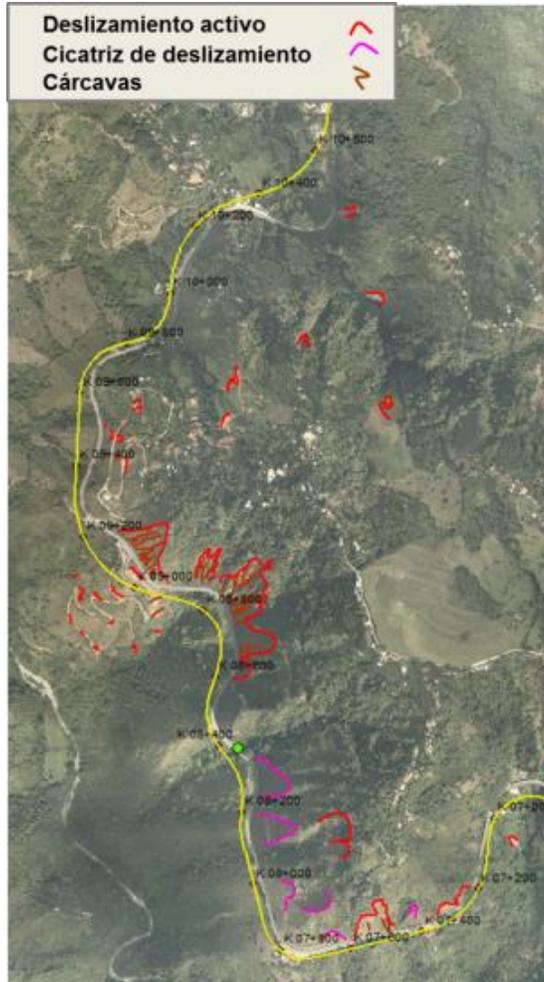
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; ortofotomapa (2015)

5.1.2.3.2.2.3 Tramo K07+280 – K10+800

En este tramo para el 2015, se identificaron 38 deslizamientos activos ubicados la mayoría a lo largo de la vía actual, y asociados a taludes de esta carretera; aumentó en gran medida la erosión en cárcavas de grado severo (43 procesos identificados) y en grado moderado (12 procesos identificados), asociada principalmente a las áreas de deslizamientos tanto activos como cicatrices de deslizamientos Figura 5-56; se identificaron 12 cicatrices de deslizamientos.

Este tramo corresponde al paso de la vía por rocas con volcánicas del complejo Quebradagrande, caracterizado por relieve de montañas estructurales, de pendientes moderadamente escarpadas (75-100%) a totalmente escarpadas (>100%). La presencia de abundantes deslizamientos activos indica la alta inestabilidad geológica de este tramo y alta susceptibilidad a movimientos en masa.

Figura 5-56 Morfodinámica tramo K07+280 – K10+800



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; ortofotomapa (2015)

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

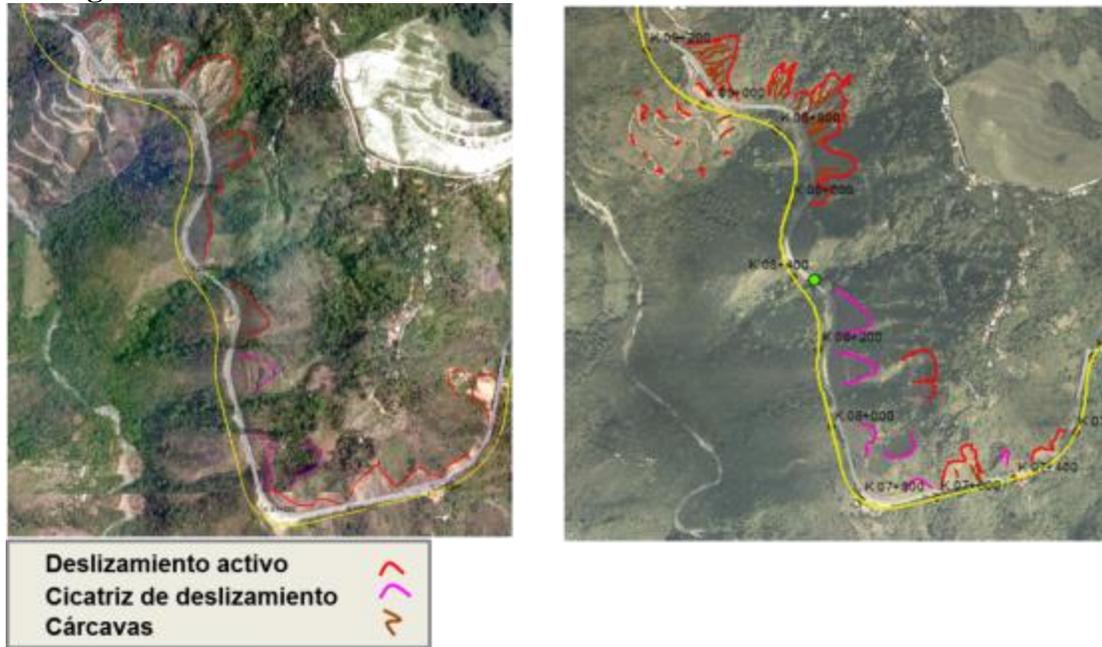
Específicamente en el subtramo K07+280 – K09+130, a lo largo de la vía actual se presentan deslizamientos activos, identificados desde el periodo 2010 – 2011, hasta la fecha, en la Fotografía 5-111 se muestra el tipo de taludes que caracteriza este subtramo, susceptible a caídas de roca. En la Figura 5-57 se muestra un comportamiento constante en los taludes de este tramo, considerados activos y susceptibles de caída de rocas.

Fotografía 5-111 Talud inestable en K08+800 (abscisado nueva vía)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Figura 5-57 Evolución morfodinámica de subtramo K04+7280 – K09+130

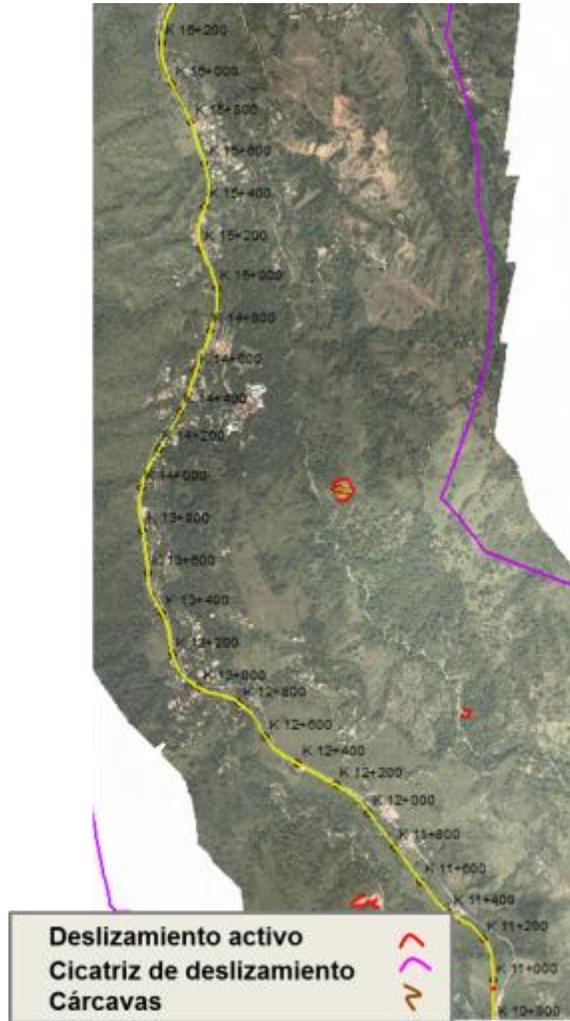


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; fotografías aéreas (12010-2011); ortofotomapa (2015)

5.1.2.3.2.2.4 Tramo K10+800 – K16+333

Este tramo en que la vía cruza principalmente por depósitos cuaternarios de abanicos aluviales, de relieve fuertemente inclinado (12-25%) a moderadamente inclinado (7-12%), el terreno es de apariencia estable y no se observan procesos erosivos y/o fenómenos de remoción en masa significativos. Para el periodo 2015 se identificaron tres deslizamientos activos, lejos de la vía actual y del trazado de la nueva vía (Figura 5-58).

Figura 5-58 Morfodinámica tramo K10+800 – K16+333

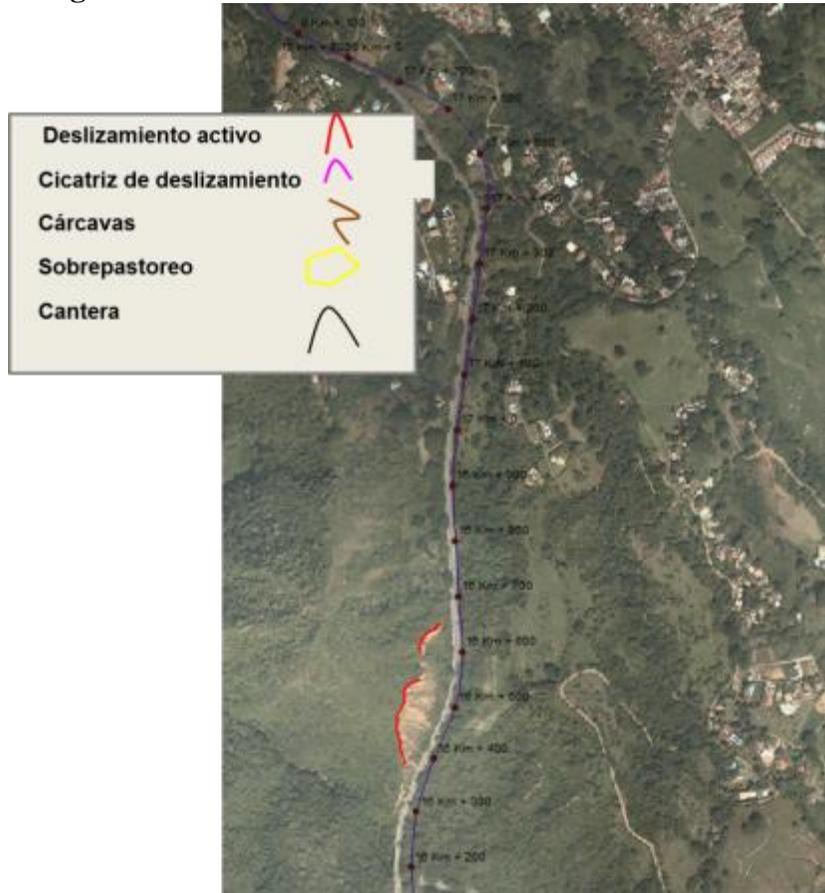


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; ortofotomapa (2015)

5.1.2.3.2.2.5 Tramo K16+333 – K17+800

Para este periodo, el comportamiento del terreno es muy similar al identificado en 2010 – 2011; se identificaron dos deslizamientos activos y cicatrices de deslizamientos, asociados a taludes de la vía, en las rocas volcánicas, de alta susceptibilidad a caídas de roca (Figura 5-59).

Figura 5-59 Morfodinámica tramo K16+333 – K17+800



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016; ortofotomapa (2015)

5.1.2.3.2.2.6 ZODME 1

La ZODME 1 y la vía que la comunica con la Unidad Funcional 1, se caracterizan por un relieve de montañas denudativas, de laderas largas a muy largas, y pendientes escarpadas (promedio 35°). La ZODME 1 se localiza en una zona cóncava utilizada en su parte baja como depósito de escombros, cuya actividad está terminada y estabilizada mediante obras de manejo de aguas de escorrentía y empradización; este depósito presenta dos niveles de terrazas de altura aproximada 10m, pendiente 25°-30°; no se identificaron áreas inestables en el sitio, ver Fotografía 5-112 y Fotografía 5-113.

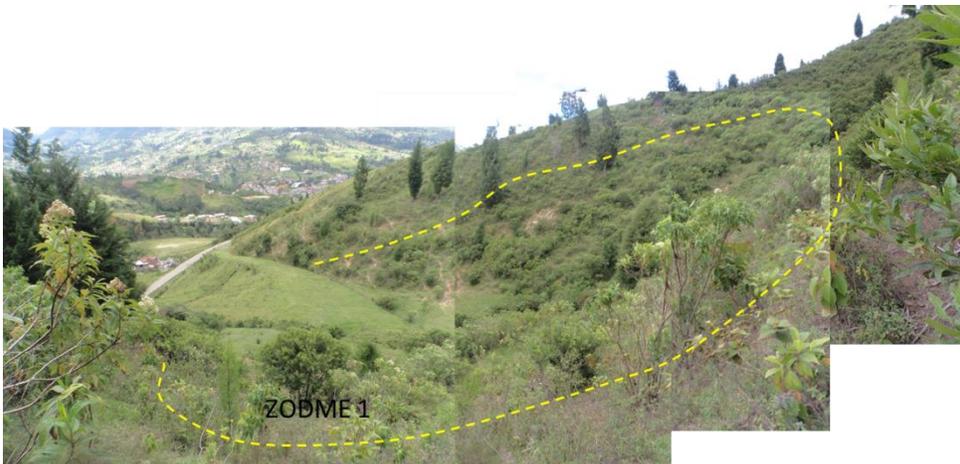
	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

Fotografía 5-112 Panorámica de ZODME 1



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-113 Panorámica de ZODME 1



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

La vía de acceso que comunica la UF1 con la ZODME 1, se localiza sobre la misma unidad geomorfológica (DI), de montañas denudativas de laderas largas, pendientes entre 30-35°, cimas redondeadas, Fotografía 5-114. En este mismo sector, se cruza por una zona de depósitos aluvio torrenciales, que desarrollan un relieve más suave (Fotografía 5-115), asociado a depósitos aluviales de la quebrada Agua Fría.

Fotografía 5-114 Panorámica de laderas en montañas denudativas (DI), costado SW de vía que comunica UF1 con ZODME 1



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Fotografía 5-115 Panorámica de laderas en montañas denudativas (DI), costado SW de vía que comunica UF1 con ZODME 1



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Asociados a la carretera, se identifican movimientos en masa, que en su mayoría cuentan con obras de estabilización como muros de gaviones, cunetas perimetrales y empradización de taludes. Sin embargo, se puede observar desplazamientos de algunas de las obras geotécnicas existentes, que evidencian movimiento actual del terreno. Por tal motivo, es necesario, un programa de mantenimiento preventivo de dichas obras geotécnicas.

Fotografía 5-116 Desplazamiento de gaviones sobre vía que comunica UF1 y ZODME

1



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

Fotografía 5-117 Desprendimientos del terreno en vía que comunica UF1 y ZODME
1



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.2.3.3 Conclusiones

- Unidad funcional 3 (UF3). Esta zona se caracteriza por abundantes deslizamientos activos y cicatrices de deslizamientos, principalmente en suelos residuales de la Diorita de Altavista. Se evidencia un aumento en el desarrollo de áreas afectadas por sobrepastoero, en grado moderado y bajo.
- K00+500 – K00+900 y K02+300 – K03+039. Entre el 2010-2011 y el 2015, se observa tendencia a estabilizarse el terreno afectado por deslizamientos sobre la vía, principalmente porque esta zona presenta obras de estabilización. Sin embargo, este sector es altamente inestable y susceptible de reactivarse.
- K04+000 – K04+800. zona de contacto fallado entre Gabros de Romeral (Jgr), Granito néisico de Palmitas (Pgnp) y Esquistos Verdes (Pev); alto grado de inestabilidad, con presencia de cicatrices de deslizamientos de gran magnitud (ancho 120-130m, altura 200 – 200m) y abundantes depósitos de deslizamientos (Qd) que evidencian los diferentes eventos generados a través del tiempo. En el K04+800 se muestra deslizamiento activo en los periodos de evaluación pero con tendencia a estabilizarse.
- K07+200 – 10+800. Se caracteriza por la presencia de abundantes deslizamientos activos en rocas volcánicas de pendientes >50%, que indica alta inestabilidad

	<p style="text-align: center;">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p style="text-align: center;">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p style="text-align: center;">VERSIÓN 0.2</p>	

- geotécnica. Entre el K07+280 – K09+130, el comportamiento de los deslizamientos es constante, es decir, continúan considerándose activos y susceptibles de caídas de roca.
- Tramo K10+800 – K16+333. Terreno de apariencia estable.
 - Entre el tramo K16+333 – K17+800, se cruzará por deslizamientos en roca, de alta susceptibilidad a caída de rocas, cuando la vía cruce por rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande.
 - El área destinada para la ZODME 1 y acceso que la comunica con la UF1, se localiza en un relieve de montañas denudativas, en rocas intrusivas con desarrollo de suelos residuales. Asociados a la vía, se identifican movimientos del terreno y deslizamientos, que han requerido tratamientos de estabilización y requieren su mantenimiento preventivo.

5.1.3 Paisaje

La caracterización del paisaje tiene como objetivo determinar las unidades de paisaje regional en el área de influencia y su interacción con el proyecto. Se analizan las características generales del territorio con el objetivo de proporcionar un nivel de entendimiento del lugar y de la forma como los habitantes lo han transformado, que permita y facilite la toma de decisiones a escala territorial, en las que sean consideradas también las calidades del paisaje.

La gestión del paisaje, a escala territorial, es importante en el sentido que busca asegurar una alta calidad escénica, generalmente con predominio del paisaje natural, lo que enriquece y mejora la calidad de vida de las personas y beneficia a la sociedad (USDA, 1995). En consecuencia el paisaje se considera dentro de la escala de la ecología, y su análisis se realiza teniendo en cuenta elementos tanto biofísicos como antrópicos.

La Ecología del Paisaje es una disciplina que estudia la estructura, funcionamiento y cambios en el mosaico paisajístico, desde un área silvestre hasta un área urbana, visto desde una perspectiva ecológica, focalizada en el componente territorial (Forman & Godron, 1986). El territorio sufre continuamente modificaciones resultado de dinámicas como la presión urbana sobre áreas rurales, la simplificación de la matriz productiva, el avance de las áreas agrícolas sobre las áreas naturales, la adopción de lo urbano cada vez con mayor frecuencia como modalidad de vida, el aumento de la huella ecológica de las ciudades, la degradación de valores patrimoniales, etc. (Soba, 2012). Es por ello que se hace necesario caracterizar las dinámicas que influyen la transformación del paisaje de una forma integral, haciendo posible la evaluación de los componentes tanto naturales como culturales del territorio.

El paisaje se define como la apariencia general de un lugar incluyendo los atributos y particularidades de sus diferentes escenarios y perspectivas visuales (Galliano & Loeffler, 2000). Desde la Ecología del Paisaje, este se entiende como el escenario físico de un lugar producto de procesos naturales y/o antrópicos, que interactúan a diferentes escalas y

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

proporciones (Eckbo, 1969). Por ende el paisaje se compone de elementos biofísicos (relieve, agua y vegetación) y elementos culturales (también llamados antrópicos) que, dependiendo de la escala de análisis, pueden ser desde edificaciones hasta centros poblados, o desde pequeñas plantaciones hasta grandes áreas agroindustriales (Magill, 1992).

La caracterización del paisaje busca dar una impresión general del escenario resultante de la interacción entre los procesos naturales y las influencias humanas, por lo que se analizan principalmente dos elementos: las geoformas y las coberturas (Galliano & Loeffler, 2000). El primer elemento del paisaje es definido como las formas de la superficie terrestre y el segundo se entiende como la oferta ambiental y el uso que el hombre da a las mismas. De esta manera es posible analizar la apariencia biofísica del área geográfica en estudio y su relación con un contexto cultural.

La unidad fundamental para dicho análisis se denomina “unidad de paisaje local” y surge del cruce entre la información referente a geomorfología y coberturas. Por ende la unidad de paisaje local se define como una porción de la superficie terrestre con patrones de homogeneidad, conformada por un conjunto complejo de sistemas, producto de la actividad biofísica (de las rocas, agua, aire, biota) y de un contexto cultural (actividad del hombre), que por su fisonomía es reconocible y diferenciable de otras vecinas (Zonneveld, 1989).

5.1.3.1 Unidades de Paisaje Local

Para determinar las unidades de paisaje regional, se parte del análisis del levantamiento fisiográfico y el de cobertura. La fisiografía se determina de acuerdo con el sistema de clasificación fisiográfica CIAF, 1997 (Villota H. , 1997), y las coberturas por medio de la metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia. La escala de análisis es 1:25.000.

La caracterización fisiográfica presenta la clasificación de las geoformas en el contexto ambiental y su unidad fundamental lo constituye el paisaje fisiográfico y la caracterización de coberturas de la tierra relaciona las coberturas tanto antrópicas como naturales.

5.1.3.2 Descripción del Proyecto Frente al Componente Paisajístico

El paisaje del área de influencia se clasifica dentro de la segunda categoría definida por la UNESCO como “paisajes evolucionados orgánicamente”. Es decir que su forma y apariencia actual es resultado de la interacción de procesos sociales, económicos y político/administrativos junto con el ambiente natural (UNESCO, 2008). Dichos paisajes reflejan claramente su evolución al analizar la interacción entre sus sistemas naturales y antrópicos (también llamados culturales). En este sentido la caracterización del paisaje busca comprender la estructura, funcionamiento y evolución del paisaje, teniendo en cuenta dichos sistemas.

5.1.3.2.1 Unidades de Paisaje Fisiográfico

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

El modelo fisiográfico integra múltiples elementos de análisis de la dimensión espacial y temporal relacionados con las geoformas, hidrología, litología, relieve, clima, flora, fauna y la acción antrópica.

En la Clasificación Fisiográfica del Terreno, la unidad de paisaje constituye el elemento fundamental de análisis que permite ordenar la investigación física y biótica, gracias a que varios factores responsables de la morfogénesis, son los mismos que originaron la diferenciación de los perfiles edáficos y la distribución de la vegetación (Villota H. , 1997).

Por lo tanto, cuando se comprende la relación que existe entre la ocurrencia de un tipo determinado de comunidad biótica y el paisaje donde sucede, es posible hacer generalizaciones y extrapolaciones válidas de los resultados con relativa seguridad (Villota, 1992), (Botero, 1990)).

La información fisiográfica suministrada permite tener una comprensión integral de los aspectos físicos y bióticos en las áreas de influencia ya que sirve de base para realizar los muestreos del componente biótico y facilita las labores del diseño de estratificación para el inventario forestal y es la base objetiva para la calificación del paisaje en cuanto a calidad y fragilidad visual.

Se efectúa el Análisis Fisiográfico de la zona de estudio conforme al Sistema CIAF-1997 de Clasificación Fisiográfica del Terreno el cual permite jerarquizar una zona, de lo general a lo particular, en cinco categorías como son:

- * Provincia fisiográfica
- * Unidad climática
- * Gran Paisaje
- * Paisaje
- * Subpaisaje

Se realizó la interpretación digital en pantalla con Arcgis 10.1, haciendo uso de imágenes de radar en banda L denominado Palsar_Alos1, superior a la resolución de los modelos SRTM y Aster-GDEM 2, las cuales tienen cubrimiento sobre todo el territorio. También se realizó interpretación con imágenes Rapideye y ortofotos.

5.1.3.2.1.1 Provincias Fisiográficas

Es la primera categoría del sistema equivalente a una región morfológica que permite al usuario ubicarse espacialmente dentro de la región. En esta categoría pueden prevalecer una o más unidades climáticas, estando constituida por conjuntos de unidades genéticas de relieve con relaciones de parentesco de tipo geológico, topográfico y espacial (Villota, 1992).

Las relaciones de parentesco geológico se refieren a la litología y estructuras predominantes

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

en los relieves iniciales, ligadas a procesos endógenos (tectodinámicos) que los originaron. Las relaciones topográficas se consideran a nivel de macrorrelieve, o sea, a nivel regional, y las relaciones espaciales tienen que ver con la disposición de la unidad en el contexto medioambiental.

Para el área de influencia comprende una única provincia fisiográfica y esta corresponde a la Cordillera Central Vertiente Occidental.

5.1.3.2.1.2 Unidad Climática

La unidad climática es una división de la provincia fisiográfica caracterizada por una temperatura promedio anual y una condición de humedad lo suficientemente homogéneas como para reflejarse en la evolución del relieve y de sus suelos, así como una cobertura vegetal y/o uso de la tierra específicos ((Villota, 1992), (Villota H. , 1997) y (Villota H. , 2005)).

Para el área de influencia se identificaron 4 unidades climáticas representativas; la unidad frío húmedo a muy húmedo, se presenta en alturas entre los 2000 y 3000 msnm, precipitaciones anuales de 1000 a 4000 mm y temperaturas entre 12 y 18 °C; la unidad templado húmedo a muy húmedo, se presenta en alturas entre los 1000 y los 2000 msnm, con temperaturas entre 18 y 24 °C y precipitaciones anuales de 1000 a 4000 mm; la unidad templado seco se ubica entre los 1000 y los 2000 msnm, con precipitaciones entre de 500 a 1000 mm y temperaturas que oscilan entre 18 y 24 °C; la unidad cálido seco, se presenta en alturas entre los 500 y los 1100 msnm, con temperaturas mayores a los 24 °C y precipitaciones anuales entre 1000 y 2000 mm.

5.1.3.2.1.3 Gran Paisaje

La unidad de Gran Paisaje corresponde al tercer nivel de la clasificación fisiográfica la cual debe estar asociada a una unidad climática. Comprende complejos de paisaje con relaciones de afinidad de tipo climático, geo genético, litológico y topográfico (Villota H. , 1997).

Para el área de influencia se identificaron dos unidades de Gran Paisaje; Relieve Montañoso Fluvio-Gravitacional, asociado a material proveniente de erupciones volcánicas y otros, como rocas ígneas y metamórficas, que dada la actividad volcánica presentan complejos asociados a cenizas, también se evidencian depósitos aluviales y coluviales mixtos; Valle Aluvial Intramontano del Río Cauca, cuyo material parental está asociado principalmente al depósito de sedimentos aluviales y rocas sedimentarias, como resultado de la dinámica de las aguas y el arrastre de diferentes materiales por parte del río Cauca (IGAC, 2007).

5.1.3.2.1.4 Paisajes y Subpaisajes

El paisaje constituye la unidad fisiográfica más homogénea en cuanto a su origen,

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p align="center">CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.2</p>	

composición, edad y características climáticas, morfológicas y edáficas. El subpaisaje es una subdivisión del paisaje establecida con criterios prácticos, relacionados con el uso y manejo potencial de los suelos (Villota H. , 1997).

El paisaje fisiográfico comprende porciones tridimensionales de la superficie terrestre resultante de una geogénesis específica, que puede describirse en términos de unas mismas características mesoclimáticas, morfológicas, de material litológico y/o edad, dentro del cual se espera una alta homogeneidad (Villota H. , 1997).

El subpaisaje, última categoría del sistema constituye una división del paisaje, establecida según la posición dentro del mismo (ladera, plano superior, talud, etc.), y caracterizada por uno o más atributos morfométricos: v gr. forma y grado de la pendiente, tipo y grado de remoción en masa, grado de disección, clase de condición de drenaje, entre otros aspectos (Villota H. , 1997).

Para el área de influencia de las unidades funcionales 1 y 3 se identificaron diferentes tipos de unidades fisiográficas, las cuales se describen en la Tabla 5-14 junto con su porcentaje de participación. Así mismo en la Figura 5-60 se presenta la distribución espacial de las unidades.

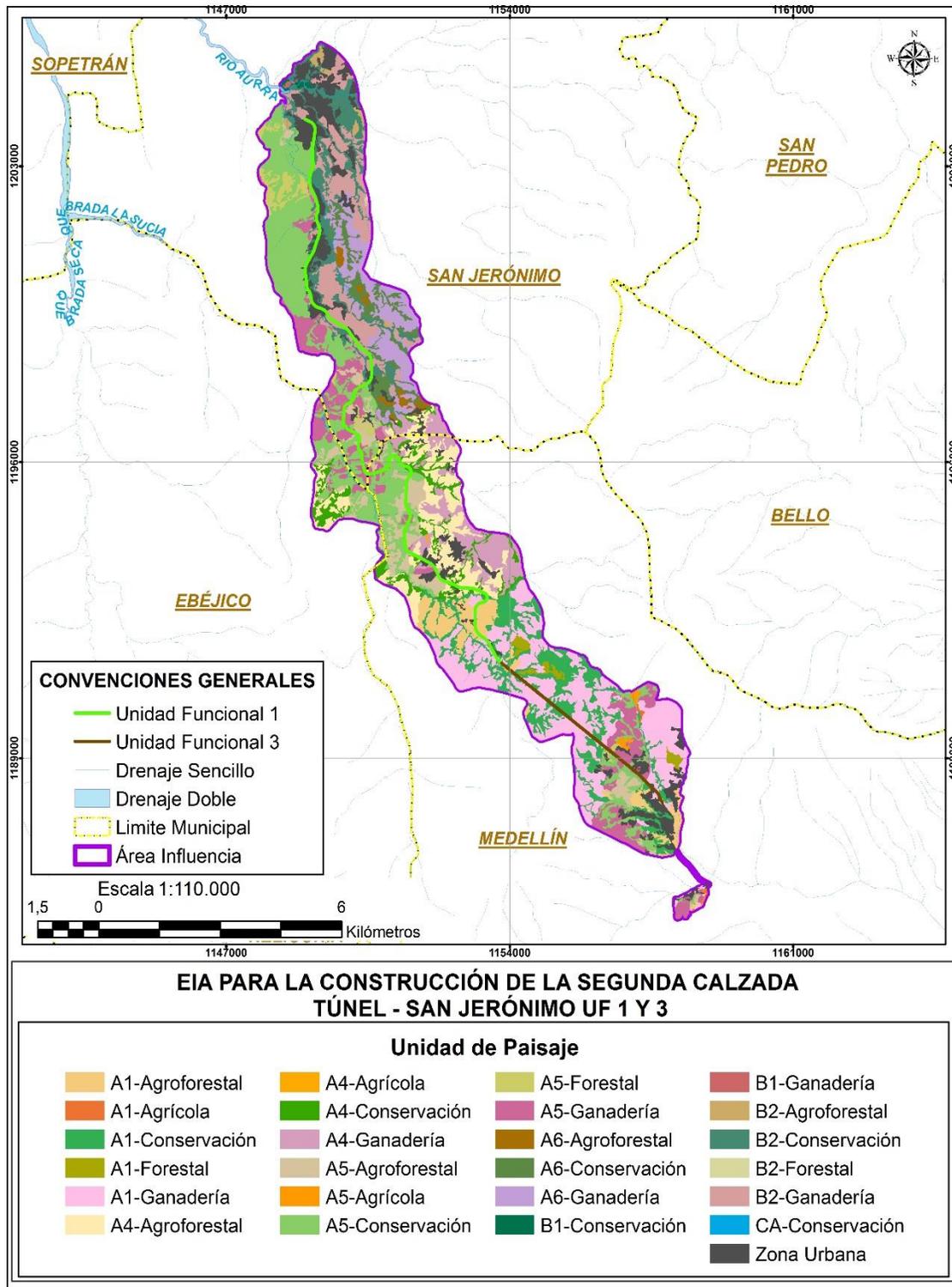
Tabla 5-14 Leyenda fisiográfica de paisaje

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje y Litología	Subpaisaje y Pendientes	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)
Cordillera Central Vertiente Occidental	Frío húmedo a muy húmedo	Relieve Montañoso Fluvio-gravitacional	Crestas ramificadas en esquistos y neis con capas de ceniza volcánica	Laderas fuertemente inclinadas con erosión ligera	A1.1	150,85	2,82%
				Laderas moderadamente empinadas con erosión moderada	A1.2	196,93	3,68%
				Laderas empinadas con erosión moderada	A1.3	755,9	14,11%
			Crestas ramificadas en cuarzodioritas y granodioritas	Laderas moderadamente empinadas ligeramente erosionadas	A2.1	344,83	6,44%
			Crestas ramificadas en granitos y cuarzodioritas	Laderas empinadas con erosión ligera	A3.1	364,79	6,81%
	Templado húmedo a muy húmedo		Crestas ramificadas en esquistos	Laderas moderadamente empinadas con erosión moderada	A4.1	819,49	15,30%
				Laderas empinadas con erosión moderada	A4.2	452,11	8,44%
	Templado Seco		Crestas ramificadas en esquistos con capas discontinuas de ceniza volcánica	Laderas moderadamente empinadas ligeramente erosionadas	A5.1	4,18	0,08%
				Laderas empinadas con erosión moderada	A5.2	843,67	15,75%
			Glacis y coluvios de remoción	Superficie moderadamente inclinada ligeramente erosionada	A6.1	336,24	6,28%

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje y Litología	Subpaisaje y Pendientes	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)
				Superficie fuertemente inclinada ligeramente erosionada	A6.2	453,39	8,46%
	Cálido seco	Valle Aluvial Intramontano del Río Aurrá	Colinas	Colinas moderadamente empinadas severamente erosionadas	B1.1	10,87	0,20%
			Abanicos de terraza en sedimentos aluviales	Superficie ligeramente inclinada con pedregosidad superficial	B2.4	266,83	4,98%
				Superficie moderadamente inclinada ligeramente erosionada	B2.6	122,72	2,29%
			Valle aluvial del río Aurrá	Plano de inundación del río Aurrá	B3.1	0,23	0,004%
Cuerpos de agua					CA	18,02	0,34%
Zonas Urbanas					ZU	215,11	4,02%
Total						5356,19	100%

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Figura 5-60 Distribución espacial de las unidades de paisaje



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

5.1.3.2.2 Coberturas

Las coberturas identificadas por el componente biótico, con base en la metodología de Corine Land Cover, adaptado para Colombia, se agruparon de acuerdo a su funcionalidad y características morfológicas, obteniendo como resultado cuatro categorías diferenciadas por sus dinámicas, que nos permitirán delimitar zonas homogéneas.

En la Tabla 5-15 se presenta la clasificación de las coberturas dentro de estas categorías de zonas homogéneas.

Tabla 5-15 Zonas Homogéneas para las Unidades Funcionales 1 y 3

Zonas Homogéneas	Uso Actual	Uso	Cobertura
Agrícola	CSS	Cultivos semipermanentes y permanentes semiintensivos	Mosaico de cultivos
	CTS	Cultivos transitorios semiintensivos	Hortalizas
Agroforestal	SAP	Agrosilvopastoril	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbustivos
			Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
			Mosaico de pastos y cultivos
	SPA	Silvopastoril	Mosaico de pastos, cultivos y otros espacios naturales
Conservación	CFP	Forestal protectora	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos
			Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos
			Bosque de galería
	CRE	Recuperación	Herbazal denso de tierra firme con arbustos
	CRH	Recursos hídricos	Vegetación secundaria alta
			Remoción en masa
Forestal	FPP	Protección producción	Cuerpos de agua artificiales
			Ríos
			Arbustal denso alto
	FPR	Producción	Bosque fragmentado con vegetación secundaria
Ganadería	PEX	Pastoreo extensivo	Vegetación secundaria baja
			Plantación forestal
			Pastos arbolados
			Pastos enmalezados

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Zonas Homogéneas	Uso Actual	Uso	Cobertura
	PSI	Pastoreo intensivo y semiintensivo	Pastos limpios
Zonas Urbanas	ZU	Zonas Urbanas	Otras explotaciones mineras
			Tejido urbano continuo
			Tejido urbano discontinuo
			Vía pavimentada
			Vivienda rural dispersa
			Vivienda rural nucleada

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Las zonas correspondientes a la categoría forestal-protectora, son áreas que no han sufrido gran intervención humana y las zonas referentes a Zonas Urbanas, Pastoreo Extensivo, Cultivos Transitorios Semintensivos y Protección-Producción son referentes a zonas donde las transformaciones humanas han estado en función de las dinámicas socio-ambientales; por otro lado, las zonas categorizadas como Recuperación y Recursos Hídricos corresponden a zonas que son sensibles ante la intervención humana, ya sea porque han sido altamente degradadas (por minería por ejemplo) o que representan un gran valor ecosistémico (fuentes de agua naturales).

5.1.3.2.3 Determinación de Unidades de Paisaje

Como resultado de la confrontación de las unidades fisiográficas de paisaje y de las coberturas clasificadas en usos, se obtuvieron 34 unidades de paisaje para el área de influencia. En la Tabla 5-16 Unidades de Paisaje Natural se presentan las unidades de paisaje natural identificadas en el área de influencia del tramo Túnel – San Jerónimo, en función de la Fisiografía y el Uso Actual.

Tabla 5-16 Unidades de Paisaje Natural

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje y Litología	Unidad de Paisaje	Área (Ha)	Área (%)
Cordillera Central Vertiente Occidental	Frío húmedo a muy húmedo	Relieve Montañoso Fluvio-gravitacional	Crestas ramificadas en esquistos y neis con capas de ceniza volcánica	A1-Agrícola	4,42	0,08%
				A1-Agroforestal	192,59	3,60%
				A1-Conservación	416,95	7,78%
				A1-Forestal	38,89	0,73%
				A1-Ganadería	733,80	13,70%
	Templado húmedo a muy húmedo		Crestas ramificadas en esquistos	A4-Agrícola	1,07	0,02%
				A4-Agroforestal	353,21	6,59%
				A4-Conservación	168,46	3,15%
				A4-Ganadería	249,07	4,65%

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje y Litología	Unidad de Paisaje	Área (Ha)	Área (%)
	Templado Seco		Crestas ramificadas en esquistos con capas discontinuas de ceniza volcánica	A5-Agrícola	13,31	0,25%
				A5-Agroforestal	247,95	4,63%
				A5-Conservación	850,76	15,88%
				A5-Forestal	77,75	1,45%
				A5-Ganadería	417,31	7,79%
			Glacis y coluvios de remoción	A6-Agroforestal	35,24	0,66%
				A6-Conservación	150,79	2,82%
	Cálido seco	Valle Aluvial Intramontano del Río Cauca	Colinas	B1-Conservación	7,95	0,15%
				B1-Ganadería	2,92	0,05%
			Abanicos de terraza en sedimentos aluviales	B2-Agroforestal	24,77	0,46%
				B2-Conservación	269,83	5,04%
				B2-Forestal	1,53	0,03%
				B2-Ganadería	327,22	6,11%
	Cuerpos de agua			CA-Conservación	18,02	0,34%
Zonas urbanas			ZU	497,52	9,29%	
Total					5.356,19	100%

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Las unidades de paisaje más representativas en el área de influencia corresponden a A5-Conservación con un porcentaje de cobertura del 15,88. En segundo lugar se encuentra la unidad A1-Ganadería con un valor de 13,70%, a estos le sigue la unidad de paisaje A1-Conservación con un porcentaje del 7,78%.

El restante de las unidades de paisaje del área de influencia de las unidades funcionales 1 y 3 presenta valores iguales o menores al 7% de cobertura con respecto al área total del proyecto.

El 9,29 % del área está representado por las zonas urbanas el cual se describe en el aparte 5.1.3.4.

5.1.3.2.4 Descripción de las unidades de paisaje

Con el fin de realizar la caracterización de las unidades de paisaje se tuvo en cuenta dos grandes clasificaciones o tipo de paisaje: el paisaje Natural y/o Rural y el paisaje Urbano. A continuación se realiza la descripción del paisaje Natural y/o Rural y posteriormente se realiza la descripción del paisaje Urbano.

Teniendo en cuenta la información de la Tabla 5-16, a continuación se realiza la

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.2		

descripción de las unidades mas representativas en el área de influencia.

5.1.3.2.4.1 Unidad A4-Agroforestal: Crestas ramificadas en esquistos-Usos Agroforestales

Esta unidad está inmersa dentro del relieve montañoso fluvio- gravitacional en las crestas ramificadas en esquistos, participa con un 6,59% del área de influencia y está asociada a las coberturas de mosaicos de cultivos con espacios naturales arbustivos, mosaicos de pastos, cultivos y espacios naturales arbóreos, mosaico de pastos, cultivos y otros espacios naturales. En la Figura 5-61 se observa la vista aérea y panorámica de la unidad descrita.

Figura 5-61 Unidad A4-Agroforestal



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

5.1.3.2.4.2 Unidad A1-Ganadería: Crestas ramificadas en esquistos y neis con capas de ceniza volcánica- Usos Ganaderos

Se encuentra ubicada en el gran paisaje de relieve montañoso fluvio-gravitacional en las

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

crestas ramificadas en esquistos y neis con capas de ceniza volcánica. Con una participación del 13,70%, está asociada a las coberturas de pastos arbolados, enmalezados y pastos limpios. En la Figura 5-62 se observa la vista aérea y panorámica de la unidad descrita.

Figura 5-62 Unidad A1-Ganadería



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

5.1.3.2.4.3 Unidad A1-Conservación: Crestas ramificadas en esquistos y neis con capas de ceniza volcánica- Usos de conservación

Se encuentra ubicada en el gran paisaje de relieve montañoso fluvio-gravitacional en las crestas ramificadas en esquistos y neis con capas de ceniza volcánica. Con una participación del 7,78%. Están asociadas las coberturas de pastos arbolados, enmalezados y limpios. En la Figura 5-63 se observa la vista aérea y panorámica de la unidad descrita.

Figura 5-63 Unidad A6-Ganadería



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

5.1.3.2.4.4 Unidad A5-Conservación: Crestas ramificadas en esquistos con capas discontinuas de ceniza volcánica- Usos de Conservación

Esta unidad tiene una participación del 15,88% dentro del área de influencia. Se ubica en las crestas ramificadas en esquistos con capas discontinuas de ceniza volcánica. Está relacionado a coberturas boscosas donde predominan árboles y arbustos, aunque también hay presencia de bosques fragmentados con vegetación secundaria.

5.1.3.3 Calidad Visual del Paisaje

La evaluación del paisaje tiene como marco de referencia las unidades de paisaje fisiográfico, las cuales son valoradas considerando atributos claramente visibles en imágenes de sensores remotos y en terreno como son las geformas y la cobertura.

Se hace uso de las ventajas que ofrece la identificación de unidades de paisaje ya que tienen una alta homogeneidad hacia su interior en cuanto a sus características climáticas,

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

morfológicas, de material litológico, edad, dentro de las cuales puede esperarse una alta homogeneidad pedológica, así como una cobertura vegetal o un uso de la tierra similares. El paisaje evaluado aquí, se refiere a un escenario natural constituido tanto por la geoforma como por la cobertura asociada ya sea natural o antrópica.

De esta forma se precisa una unidad espacial claramente visible en terreno y en imágenes de sensores remotos y se evita las dificultades que han existido en los estudios ambientales con una definición vaga del concepto de paisaje.

Para la evaluación de la calidad visual del paisaje se utilizó el método indirecto del Bureau of Land Management (Bureau of Land Management, 1980). Este método se basa en la evaluación de las características visuales básicas de los componentes del paisaje. Se asigna un puntaje a cada componente según los criterios de valoración, y la suma total de los puntajes parciales determina la clase de calidad visual, por comparación con una escala de referencia. En la Tabla 5-17 se presentan los criterios y puntuaciones que fueron identificados para cada componente del paisaje.

Tabla 5-17. Criterios de valoración y puntuación para evaluar la calidad visual del paisaje BLM (1980)

Componente	Criterios de valoración y puntuación		
Morfología	Relieve montañoso, marcado y prominente o bien releve de gran variedad superficial o muy erosionado, o bien presencia de algún rasgo muy singular y dominante	Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes pero no dominantes o excepcionales	Colinas suevas, fondos de valle planos, pocos o ningún detalle singular
	6	3	1
Vegetación	Gran variedad de tipos de vegetación con formas, texturas y distribución interesante	Alguna variedad en la vegetación pero solo uno o dos tipos.	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación.
	5	3	1
Agua	Factor dominante en el paisaje, limpio y clara, aguas blancas (rápidos y cascadas) o láminas de agua en reposo	Agua en movimiento o reposo pero no dominante en el paisaje	Ausente o inapreciable
	5	3	0
Color	Combinaciones de color intensas y variadas o contrastes agradables	Alguna variedad e intensidad en los colores y contrastes pero no actúa como elemento dominante	Muy poca variación de color o contraste, colores apagados
	5	3	1
Fondo escénico	El paisaje circundante potencia mucho la calidad visual	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual en el conjunto	El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad del conjunto

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Componente	Criterios de valoración y puntuación		
	5	3	0
Rareza	Único o poco corriente o muy raro en la región, posibilidad de contemplar fauna y vegetación excepcional.	Característico, o aunque similar a otros en la región	Bastante común en la región.
	6	2	1
Actuación humana	Libre de actuaciones estéticamente no deseadas o con modificaciones que inciden favorablemente en la calidad visual	La calidad escénica está afectada por modificaciones poco armoniosas, aunque no en su totalidad, o las actuaciones no añaden calidad visual.	Modificaciones intensas y extensas que reducen o anulan la calidad escénica
	2	0	

Fuente: (Bureau of Land Management, 1980)

En la Tabla 5-18 se presentan las clases utilizadas para evaluar la calidad visual.

Tabla 5-18. Clases utilizadas para evaluar la calidad visual y puntaje

Clase	Descripción	Puntaje
Clase A	Áreas de calidad alta, áreas con rasgos singulares y sobresalientes.	19-33
Clase B	Áreas de calidad media, áreas cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color y línea, pero que resultan comunes en la región estudiada y no son excepcionales.	12-18
Clase C	Áreas de calidad baja, áreas con muy poco variedad en la forma, color, línea y textura.	0-11

Fuente: Land Management (BLM, 1980)

La evaluación se realizó en campo para cada una de las unidades de paisaje identificadas en el área de influencia. Los resultados indican que la calidad visual en el área es calidad media (B) y alta (A) para las unidades de paisajes, cuyos rasgos poseen cierta variedad, pero resultan comunes en la región estudiada, pero no son excepcionales y otros que poseen rasgos singulares y sobresalientes.

En la Tabla 5-19 se presenta la evaluación para cada una de las unidades de paisaje identificadas en el área de influencia.

Tabla 5-19 Evaluación de la calidad visual para cada unidad de paisaje

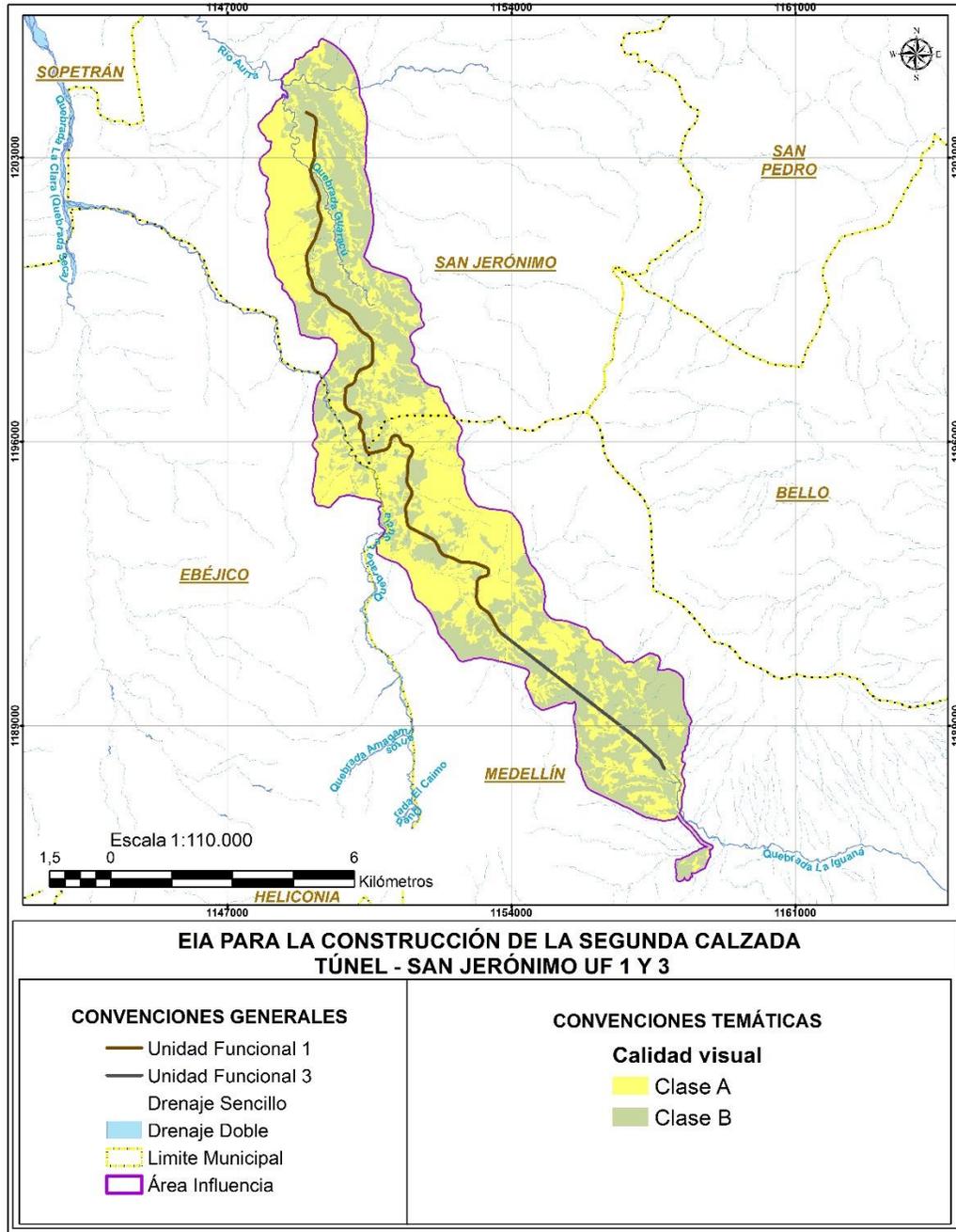
Unidad paisaje	Geomorfología	Fauna	Vegetación	Agua	Color	Fondo Escénico	Rareza	Actuación Humana	Total	Calidad Visual
A1-Agrícola	5	1	3	3	3	5	2	0	22	Clase A
A1-Agroforestal	5	1	3	3	3	5	2	0	22	Clase A
A1-Conservación	5	1	5	3	5	3	2	0	24	Clase A
A1-Forestal	5	2	5	3	5	3	2	0	25	Clase A
A1-Ganadería	3	1	1	3	3	5	1	0	17	Clase B
A4-Agrícola	5	1	3	3	3	3	2	0	20	Clase A
A4-Agroforestal	5	1	3	3	3	3	2	0	20	Clase A
A4-Conservación	3	1	5	3	5	3	2	0	22	Clase A
A4-Forestal	5	2	3	3	5	5	2	0	25	Clase A
A4-Ganadería	5	1	3	3	3	5	1	0	21	Clase A
A5-Agrícola	3	1	3	3	3	3	2	0	18	Clase B
A5-Agroforestal	3	1	3	3	3	3	2	0	18	Clase B
A5-Conservación	5	1	5	3	5	3	2	0	24	Clase A
A5-Forestal	5	2	3	3	3	3	2	0	21	Clase A
A5-Ganadería	3	1	1	3	3	5	1	0	17	Clase B
A6-Agroforestal	3	1	3	3	3	3	2	0	18	Clase B
A6-Conservación	3	1	5	3	3	3	2	0	20	Clase A
A6-Ganadería	3	1	1	3	3	5	1	0	17	Clase B
B1-Conservación	3	1	3	3	3	5	1	0	19	Clase A
B1-Ganadería	5	1	1	3	5	5	2	0	22	Clase A
B2-Agroforestal	3	1	3	3	3	5	2	0	20	Clase A
B2-Conservación	3	1	3	3	5	3	2	0	20	Clase A
B2-Forestal	3	2	3	3	3	5	2	0	21	Clase A
B2-Ganadería	5	1	1	3	3	3	2	0	18	Clase B
CA-Conservación	5	1	5	5	5	5	2	0	28	Clase A

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

La calidad visual del área de influencia tienen como categoría predominante las áreas con calidad alta con una participación del 60%. El 31 % de participación dentro del paisaje natural se encuentran los paisajes con calidad visual media. El 9 % restante corresponde a unidades de paisaje urbano que se describen en la sección 5.1.3.4.

La distribución espacial de la calidad paisajística y de paisaje natural y urbano se muestra en la Figura 5-64 y la Tabla 5-20.

Figura 5-64 Calidad visual del paisaje



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Tabla 5-20 Distribución Espacial de la Calidad Paisajística

Tipo de paisaje	Calidad visual	Unidad de Paisaje	Área (Ha)	Área (%)
Natural y rural	Clase A	A1-Agrícola	4,42	0,08
		A1-Agroforestal	192,59	3,60
		A1-Conservación	416,95	7,78
		A1-Forestal	38,88	0,73
		A4-Agrícola	1,07	0,02
		A4-Conservación	168,46	3,15
		A4-Agroforestal	353,21	6,59
		A4-Ganadería	249,07	4,65
		A5-Conservación	850,76	15,88
		A5-Agroforestal	247,95	4,63
		A5-Forestal	77,75	1,45
		A6-Conservación	150,79	2,82
		A6-Agroforestal	35,24	0,66
		B1-Conservación	7,95	0,15
		B1-Ganadería	2,92	0,05
		B2-Agroforestal	24,77	0,46
		B2-Conservación	269,83	5,04
		B2-Forestal	1,53	0,03
		CA-Conservación	18,02	0,34
		Urbano	Clase B	A1-Ganadería
A5-Agrícola	13,31			0,25
A5-Ganadería	417,31			7,79
A6-Ganadería	254,87			4,76
B2-Ganadería	327,22			6,11
	Clase B	A1-Zonas urbanas	106,91	2,00
		A4-Zonas urbanas	70,31	1,31
		A5-Zonas urbanas	39,83	0,74
		A6-Zonas urbanas	96,9	1,81
		B2-Zonas urbanas	183,57	3,43
Total			5.356,19	100

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

5.1.3.4 Calidad Visual del Paisaje Urbano

La calidad visual se determina a partir de la calificación de los parámetros que conforman el paisaje urbano, en este caso se hizo una homologación del método indirecto del Bureau of Land Management (Bureau of Land Management, 1980). El objetivo es analizar la

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

presencia de valores estéticos en el medio, tales como, geoformas (o morfología urbana en el caso de la unidad de paisaje urbano), presencia de vegetación, cuerpos de agua, contraste de color, fondo escénico, rareza, actuación humana (infraestructuras, edificaciones patrimoniales etc.). La Tabla 5-21 describe los parámetros para la evaluación de la calidad visual del paisaje urbano.

Tabla 5-21. Homologación para paisaje urbano del método indirecto (BLM, 1980)

CALIDAD VISUAL			
Componente	Criterios de valoración y puntuación		
Edificaciones (E)	Construcciones homogéneas, con materialidad, textura y escala similares y en buen estado. Construcciones o intervenciones puntuales que se adaptan al entorno	Construcciones homogéneas en sitios puntuales, buen estado de construcciones con conservación parcial de estructura, forma y materialidad. Deterioro moderado de algunas de ellas	Construcciones heterogéneas, con diferencia de escala, materialidad y composición entre ellas, deterioro notable en algunas de ellas
	5	3	1
Elementos históricos y culturales (HC)	Presencia de intervenciones o construcciones de carácter patrimonial o de conservación, destacados por su arquitectura y legado cultural en la zona. Reconocimiento por parte de la sociedad	Elementos culturales puntuales, pero no especialmente reconocido por sus habitantes. Mantenimiento moderado a bajo de dichos monumentos	Ausencia total de monumentos, o monumentos en estado de deterioro considerable
	5	3	1
Espacio público (EP)	Intervenciones arquitectónicas de espacio público notables, con formas y escalas que se adaptan a las zonas circundantes con reconocimiento por parte de los habitantes	Algunas intervenciones funcionales que no exaltan visualmente	Ausencia de intervenciones necesarias, espacio público deteriorado y con funcionalidad ajena a su objetivo
	5	3	1
Vías e infraestructura (V)	Vías en buen estado, con iluminación y señalización adecuada. Redes de servicio público funcionales	Vías con algún deterioro parcial moderado. Iluminación adecuada pero parcializada.	Vías deterioradas, infraestructura con falta de mantenimiento y sin funcionalidad
	5	3	1
Arborización y zonas verdes (ZV)	Alta presencia de arborización urbana en andenes, alamedas y espacio público en general, armonizado con su contexto. Mantenimiento constante.	Presencia moderada de zonas verdes y parques, generalmente con un mantenimiento moderado a bajo y arborización escasa en espacio público	Ausencia de espacios públicos de recreación, arborización ausente o escasa en estado de deterioro notable
	5	3	1

CALIDAD VISUAL			
Componente	Criterios de valoración y puntuación		
Agua (A)	Factor importante en el paisaje, limpia y clara, presente en el espacio público ya sea en movimiento o reposo.	Factor sin mucha importancia en el paisaje, con alguna presencia en el espacio público.	Ausente o inapreciable
	5	3	0
Color (C)	Combinaciones de color intensas y variadas o contrastes agradables.	Alguna variedad e intensidad en los colores y contrastes pero no actúa como elemento dominante	Muy poca variación de color o contraste, colores apagados
	5	3	1
Fondo escénico (F)	El paisaje circundante potencia mucho la calidad visual	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual en el conjunto	El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad del conjunto
	5	3	0
Residuos (R)	Ausencia de residuos, existencia de sitios especializados para su disposición y manejo	Presencia parcial de residuos en zonas visibles de la ciudad, zonas de disposición habilitadas	Presencia notoria de residuos, sin espacios o mobiliario para su disposición. Grandes acopios de basura visibles y cerca de zonas residenciales
	5	1	0
Singularidad o Rareza (SR)	Único, poco corriente o muy raro en la región	Característico, aunque similar a otros en la región	Bastante común en la región
	6	2	1

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2015

La Tabla 5-22 muestra los rangos de puntuación y las clases de calidad visual que pueden obtenerse.

Tabla 5-22. Escala de notación para clasificación de la calidad visual urbana

Clase	Descripción	Puntaje
A	Áreas de calidad alta, áreas con rasgos singulares y sobresalientes	De 39 a 51
B	Áreas de calidad media, áreas cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color y línea, pero que resultan comunes en la región estudiada y no son excepcionales.	De 17 a 39
C	Áreas de calidad baja, áreas con muy poca variedad en la forma, color, línea y textura.	De 0 a 17

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2015

La Tabla 5-23 muestra los resultados de la evaluación de la calidad visual para las 9 unidades de paisaje urbano definidas en el área de influencia. Todas las unidades presentan una calidad visual clase B, a excepción de la unidad B3-Zonas urbanas, la cual presentó una

calidad clase C.

Tabla 5-23 Evaluación de la Calidad Visual de las Unidades de Paisaje Urbano

Unidad paisaje	Edificaciones	Elementos históricos y culturales	Espacio público	Vías e infraestructura	Arborización y zonas verdes	Agua	Color	Fondo Escénico	Residuos	Rareza	Total	Calidad Visual
A1-Zonas urbanas	1	1	3	1	3	3	3	3	3	2	23	Clase B
A2-Zonas urbanas	1	1	3	1	3	3	1	3	1	2	19	Clase B
A3-Zonas urbanas	1	1	3	3	3	3	3	3	1	2	23	Clase B
A4-Zonas urbanas	1	1	3	1	3	3	1	3	1	1	18	Clase B
A5-Zonas urbanas	1	1	1	3	3	3	3	3	3	1	22	Clase B
A6-Zonas urbanas	1	1	1	3	3	3	1	3	1	1	18	Clase B
B2-Zonas urbanas	1	1	3	1	3	3	1	3	1	1	18	Clase B
B3-Zonas urbanas	1	1	1	1	3	3	1	3	1	1	16	Clase C

Fuente: (Consultoría Colombiana S. A, 2016)

5.1.3.5 Análisis de la Visibilidad

El análisis visual del paisaje tiene como objetivo determinar las áreas visibles desde cada punto o conjunto de puntos, simultáneamente o en secuencia (Otero, 2009), que para el caso se define como el eje de la vía.

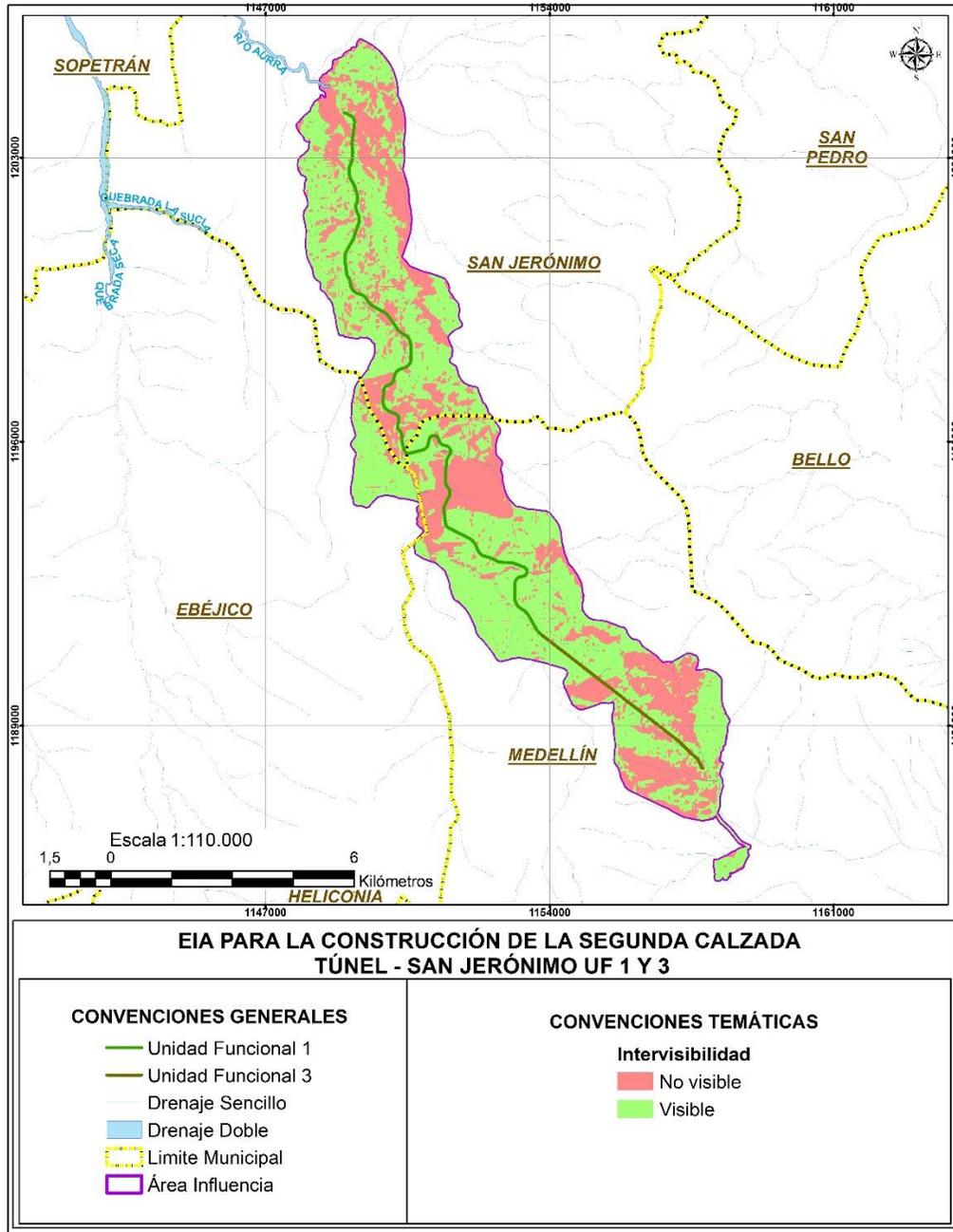
El análisis de visibilidad se realizó mediante el software Arc-gis 10.3.1, a través de la extensión Spatial Analyst y la orden Viewshed 2. Para tal fin, se usó el modelo digital del terreno (DTM), obtenido del satélite japonés Alos a través del sensor Palsar, además del conjunto de puntos desde los cuales se requiere realizar el cálculo de la visibilidad, que para el caso del proyecto fueron las intercepciones del trazado de la vía nueva con las vías secundarias y centros poblados.

El procedimiento que realiza la herramienta Viewshed, es referenciar cada píxel que forma la vía en el trazo dentro del shape y empezar a simular la observación desde los puntos de los observadores en todas las direcciones teniendo en cuenta la morfología del terreno, esto para determinar la visibilidad desde cada píxel. Este proceso se repite para todas las celdas que forman el eje vial, dando lugar al mapa representado en la Figura 5-65.

La visibilidad de la vía se categorizó en dos clases de acuerdo a la frecuencia de observación determinada por el software. Estas clases son visibilidad observando la Figura 5-65 se puede evidenciar que las áreas con visibilidad alta son las que corresponden a centros urbanos o a vivienda rural nucleada, dispuesta sobre la vía como en el caso del

municipio de Medellín, en donde hay presencia de paraderos y viviendas a borde de carretera, perteneciente en su mayoría a los corregimientos de Palmitas y San Cristóbal. En el municipio de San Jerónimo se puede ver que la visibilidad alta está concentrada en las viviendas y centros recreativos que se encuentran al borde de la vía existente. La visibilidad va disminuyendo en relación a la distancia a estos centros poblados.

Figura 5-65 Visibilidad del área de influencia



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

5.1.3.6 Sitios de Interés Paisajístico

Los sitios de interés paisajístico se determinaron teniendo en cuenta la calidad visual y las encuestas realizadas a los habitantes de la región. Dentro de estos hay se encuentra el puente de occidente sobre el río Cauca entre los municipios de Sopetrán y Santafé de Antioquia y en conjunto la aglomeración de centros recreacionales en el municipio de San Jerónimo.

El puente de occidente (Fotografía 5-118) tiene relevancia a nivel paisajístico, ya que además de ser un elemento armónico con el paisaje natural, desde allí se puede apreciar gran parte del cauce del río Cauca y la desembocadura de los ríos Tonusco y Aurrá a éste; adicional a esto se tiene que el fondo escénico potencializa la calidad visual, debido a la presencia de montañas con diferentes gamas de verde en su vegetación (Fotografía 5-119).

Fotografía 5-118 Puente de Occidente sobre el río Cauca



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.2</p>	

Fotografía 5-119 Río Cauca



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

5.1.3.7 Percepción de la Comunidad Como referente de su Entorno Físico

Para la evaluación de la percepción de la comunidad respecto al paisaje se realizaron encuestas a personas residentes en el área.

Se entrevistó al señor Alejandro Vélez, quien habitaba en el corregimiento de Palmitas desde hace ya más de 10 años, quien hacía énfasis en la importancia de la conservación de las fuentes de agua, ya que él consideraba que esa era la base para el establecimiento del bosque y que esto era el elemento principal enriquecedor del paisaje.

Se entrevistó también al señor Carlos Giraldo quien comentaba que de por sí el paisaje antioqueño está muy arraigado a los sistemas montañosos y quebrados, pero que sin embargo, debido a la deforestación y la minería se ha perdido mucho de la calidad visual de las montañas.

Comentan también que el paisaje urbano del área de influencia esta beneficiado por la presencia de vegetación y de agua, sin embargo hay preocupación por el efecto del aumento demográfico en la zona rural, debido a que consideran que ha aumentado la deforestación y la presencia de basuras en la región.

5.1.4 Suelos y usos de la Tierra

Se realiza la caracterización del componente suelos teniendo como base el Análisis Fisiográfico, que consiste en la interpretación de imágenes de la superficie terrestre que se basa en la relación paisaje-suelo. Se asume, tal como lo hace el Manual de levantamientos

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

de suelos (USDA, 1951), que los suelos son perfiles tanto como paisajes.

El sistema de clasificación fisiográfica del terreno permite jerarquizar una zona de lo general a lo particular, en diferentes categorías. Al ser un método multicategorico de clasificación del terreno, involucra la mayoría de los elementos medioambientales comprometidos en la génesis de las geoformas y sirve de base para la realización de los diferentes niveles de levantamientos de suelos, así como la zonificación física de tierras y caracterización ecológica, ya que permite visualizar en forma clara la relación clima - paisaje - suelo – vegetación- uso de la tierra.

En la Clasificación Fisiográfica del Terreno, la unidad de paisaje constituye el elemento fundamental de análisis que permite ordenar la investigación física y biótica, gracias a que varios factores responsables de la morfogénesis, son los mismos que originaron la diferenciación de los perfiles edáficos y la distribución de la vegetación

Según Villota (1997), el suelo es un componente del paisaje fisiográfico pero sus características morfológicas, físicas, químicas, mineralogías resultan de la interacción de los restantes componentes de ese paisaje como son: relieve, material litológico y cobertura vegetal; todos actuando bajo un mismo clima, en un lapso de tiempo determinado.

El sistema tiene una estructura piramidal cuyo vértice lo constituyen las Estructuras geológicas a nivel continental, a saber:

- Cordilleras de plegamiento
- Escudos o cratones
- Geosinclinales o grandes cuencas de sedimentación.

A partir de las anteriores unidades, surgen cinco categorías o niveles de generalización fisiográfica; que de lo general a lo particular son:

- Provincia fisiográfica.
- Unidad climática.
- Gran paisaje o Unidad Genética del relieve
- Paisaje
- Subpaisaje

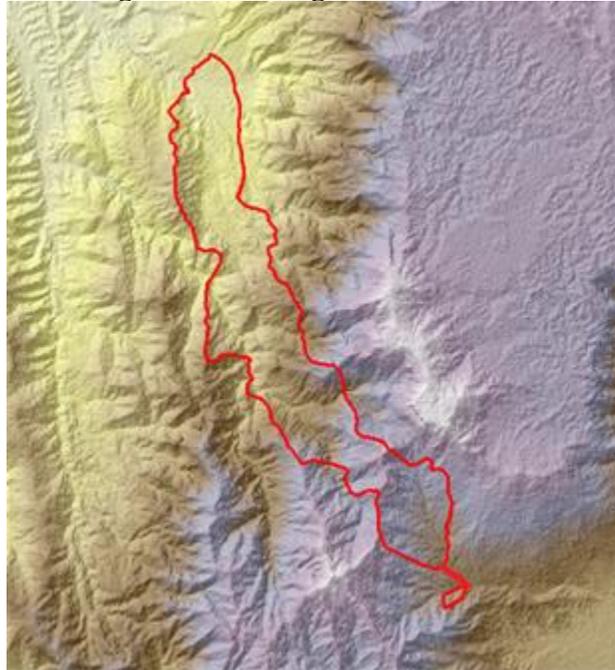
La determinación de las unidades de paisaje se realiza mediante la interpretación fisiográfica del terreno del área de influencia a nivel de subpaisaje, con base en el sistema de Clasificación CIAF, 1997 (Villota H. , 1997)

Se realizó la interpretación digital en pantalla con Arcgis 10.1, haciendo uso de imágenes de radar en banda L denominado Palsar_Alos1, superior a la resolución de los modelos SRTM y Aster-GDEM 2, las cuales tienen cubrimiento sobre todo el territorio nacional (Figura 5-66). También se realizó interpretación con imágenes Rapideye y ortofotos.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Para el área de influencia, la caracterización taxonómica de las unidades de paisaje, tienen como fuente principal el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Antioquia, publicado en el año 2007 y verificaciones de campo que permitieron la definición de unidades fisiográficas interpretadas y la comprensión de los patrones de distribución de los suelos.

Figura 5-66 Imagen Palsar Alos 1



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

5.1.4.1 Análisis Fisiográfico

Como resultado de la interpretación fisiográfica del área de influencia, se obtiene la Leyenda en la cual se identifican categorías que van de lo regional a lo local y se definen a continuación.

- **Provincia Fisiográfica**

Es la primera categoría del sistema equivalente a una región morfológica que permite al usuario ubicarse espacialmente dentro de la región. En esta categoría pueden prevalecer una o más unidades climáticas, estando constituida por conjuntos de unidades genéticas de relieve con relaciones de parentesco de tipo geológico, topográfico y espacial (VILLOTA, 1992)

Las relaciones de parentesco geológico se refieren a la litología y estructuras predominantes en los relieves iniciales, ligados a procesos endógenos (tectó-dinámicos) que los originaron. Las relaciones topográficas se consideran a nivel de macro-relieve, o sea, a nivel regional, y

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

las relaciones espaciales tienen que ver con la disposición de la unidad en el contexto medioambiental

Por su ubicación espacial y procesos geomorfoestructurales que le han dado origen, el área de influencia comprende una provincia fisiográfica denominada Cordillera Central Vertiente Occidental, sobre la cual domina un relieve montañoso fluvio-gravitacional, aunque también están presentes los valles aluviales intramontanos de los ríos Cauca y Aurrá.

- **Unidad Climática**

La unidad climática es una división de la provincia fisiográfica caracterizada por una temperatura promedio anual y una condición de humedad lo suficientemente homogéneas como para reflejarse en la evolución del relieve y de sus suelos, así como una cobertura vegetal y/o uso de la tierra específicos (Villota, 1992, 1995, 2005).

Para el área de influencia se identificaron cuatro unidades climáticas dentro de las cuales predomina el clima frío húmedo a muy húmedo con un 33% de extensión, está en altitudes entre 2000 y 2800 m, con temperaturas entre los 12 y 18 °C y precipitaciones entre 1000 y 4000 mm. En extensión le sigue el clima templado seco con una extensión de 30%, se ubica en altitudes entre 1000 y 2000 m, con temperaturas de 18 a 24°C y precipitaciones anuales de 500 a 1000 mm. Continúa el clima templado húmedo a muy húmedo que presenta una extensión del 24%, presente en altitudes entre 1000 y 2000 m, con precipitaciones entre 1000 y 4000 mm y temperaturas entre los 18 y 24°C. Por último, con una presencia de 7 % se encuentra el clima Cálido Seco, que corresponde a altitudes entre los 650 y 1000 m, con precipitaciones entre 1000 y 2000 mm y temperaturas mayores a los 24°C.

- **Gran Paisaje**

La unidad de Gran Paisaje corresponde al tercer nivel de la clasificación fisiográfica la cual debe estar asociada a una o varias unidades climáticas. Comprende complejos de paisaje con relaciones de afinidad de tipo climático, geogenético, litológico y topográfico (Villota H. , Una nueva aproximación a la Clasificación Fisiografía del Terreno., 1997).

Para el área de estudio se identificaron dos grandes unidades genéticas de relieve o grandes paisajes de naturaleza contrastante. El primero es el Relieve Montañoso Fluvio-gravitacional, en el que están presentes elevaciones que hacen parte de la cordillera central, cuya altura y morfología actuales no están en función del plegamiento de las rocas de la corteza, ni de actividad volcánica, sino exclusivamente de procesos exógenos degradacionales activados por la dinámica de las aguas y el viento con fuerte incidencia de la gravedad. Dentro de los materiales parentales de esta unidad genética se encuentran las rocas ígneas intrusivas, rocas metamórficas intrusivas, algunas rocas extrusivas muy antiguas y rocas sedimentarias consolidadas.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.2		

También están presentes los Valles Aluviales de los ríos Cauca y Aurrá, los cuales obedecen a áreas influenciadas por aportes longitudinales de sedimentos acarreados por los ríos mencionados, pueden encontrarse dispuestos en un solo plano o en varios niveles de terraza, cuyos escarpes y taludes están dispuestos en paralelo al valle.

- **Paisaje**

El paisaje fisiográfico comprende porciones tridimensionales de la superficie terrestre resultante de una geogénesis específica, que puede describirse en términos de unas mismas características mesoclimáticas, morfológicas, de material litológico y/o edad, dentro del cual se espera una alta homogeneidad (VILLOTA, 1992). Para el área de influencia se identificaron 9 paisajes asociados a las 2 unidades de gran paisaje anteriormente descritas.

Para el caso del relieve montañoso fluvio-gravitacional se encontraron diferentes tipos de crestas ramificadas en diversos materiales, dentro de los que predominan los granitos y los cuarzos, con presencia de cenizas volcánicas en algunas unidades de suelos, en esta también se encuentran glaciares y coluvios de remoción.

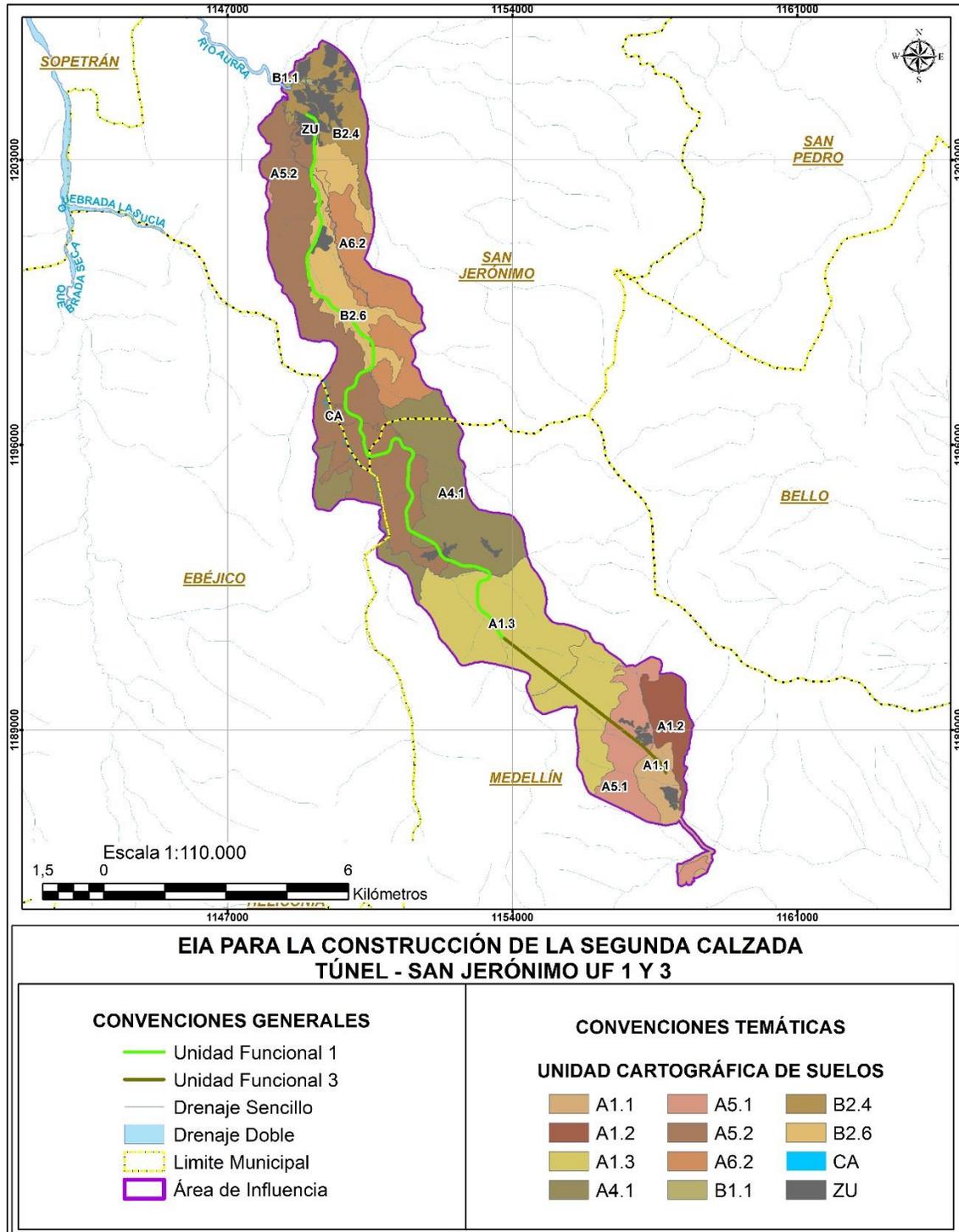
Dentro de los valles aluviales se encuentran colinas, abanicos de terrazas en sedimentos aluviales y valles con depósitos mixtos aluviales con aportes de sedimentos coluviales.

- **Sub-paisaje**

Constituye la última categoría de clasificación del sistema, configurada con propósitos prácticos relacionado con el uso y manejo de los suelos (VILLOTA, 1992).

En la Tabla 5-24 se presenta la leyenda de las unidades fisiográficas identificadas en el área de influencia. Así mismo, en la Figura 5-67 se presenta la distribución espacial de las unidades.

Figura 5-67 Distribución espacial de las unidades cartográficas de suelos



Fuente: Consultoría Colombiana 2016

Tabla 5-24 Leyenda Fisiográfica de Suelos

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje y Litología	Subpaisaje y Pendientes	Unidad Cartográfica	Componente Taxonómico	%	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)
Cordillera Central Vertiente Occidental	Frío húmedo a muy húmedo	Relieve Montañoso Fluvio-gravitacional	Crestas ramificadas en esquistos y neis con capas de ceniza volcánica	Laderas fuertemente inclinadas con erosión ligera	Asociación	Typic Hapludands	35	A1.1	150,85	2,82%
						Typic Fulvudands	25			
						Hydric Fulvudands	20			
						Andic Dystrudepts	5			
						Typic Placudands	5			
						Typic Dystrudepts	5			
				Thaptic Hapludands	5					
				Laderas moderadamente empinadas con erosión moderada	Asociación	Typic Hapludands	35	A1.2	196,93	3,68%
						Typic Fulvudands	25			
						Hydric Fulvudands	20			
						Andic Dystrudepts	5			
						Typic Placudands	5			
			Typic Dystrudepts			5				
			Thaptic Hapludands	5						
			Laderas empinadas con erosión moderada	Asociación	A1.3	1120,71	20,92%			
								Typic Hapludands	35	
								Typic Fulvudands	25	
								Hydric Fulvudands	20	
	Andic Dystrudepts	5								
	Typic Placudands	5								
Typic Dystrudepts	5									
Crestas ramificadas	Asociación	A4.1	819,49	15,30%						
					Typic Eutrudepts	35				
						Typic Dystrudepts	30			
	do húmedo o a muy húmedo									

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje y Litología	Subpaisaje y Pendientes	Unidad Cartográfica	Componente Taxonómico	%	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)				
			en esquistos	empinadas con erosión moderada		Oxic Dystrudepts	20							
						Acrudoxic Kandiuults	5							
						Humic Eutrudepts	5							
						Humic Dystrudepts	5							
	Templado Seco			Crestas ramificadas en esquistos con capas discontinuas de ceniza volcánica	Laderas moderadamente empinadas ligeramente erosionadas	Asociación	Typic Hapludands	50	A5.1	349,01	6,52%			
							Humic Dystrudepts	20						
							Typic Dystrudepts	20						
							Hydric Hapludands	10						
							Laderas empinadas con erosión moderada		Asociación	Typic Hapludands	50	A5.2	1295,78	24,19%
										Humic Dystrudepts	20			
										Typic Dystrudepts	20			
										Hydric Hapludands	10			
				Glacis y coluvios de remoción		Asociación	Typic Haplustepts	50	A6.2	453,39	8,46%			
							Typic Haplustolls	40						
							Typic Dystrustepts	10						
Cálido seco	Valle Aluvial Intramontano del río Aurrá.		Colinas	Colinas moderadamente empinadas severamente erosionadas	Asociación	Typic Haplustepts	40	B1.1	10,87	0,20%				
						Lithic Ustorthents	20							
						Typic Ustorthents	20							
						Oxic Haplustepts	10							
						Superficie ligeramente inclinada con pedregosidad		Asociación	Typic Haplustepts	40	B2.4	267,06	4,99%	
									Lithic Ustorthents	20				
									Typic Ustorthents	20				

Provincia Fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje y Litología	Subpaisaje y Pendientes	Unidad Cartográfica	Componente Taxonómico	%	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)
				superficial		Oxic Haplustepts	10			
						Lithic Haplustepts	10			
				Superficie moderadamente inclinada ligeramente erosionada	Asociación	Typic Haplustepts	40	B2.6	458,97	8,57%
						Lithic Ustorthents	20			
						Typic Ustorthents	20			
						Oxic Haplustepts	10			
						Lithic Haplustepts	10			
Cuerpo de agua								CA	18,02	0,34%
Zona urbana								ZU	215,11	4,02%
Total									5.356,19	100

Fuente: Consultoría Colombiana 2016

5.1.4.2 Suelos del Relieve Montañoso Fluvio-gravitacional

A continuación se presentan las diferentes unidades de suelos con su respectiva descripción identificadas en el área de influencia ubicadas dentro del relieve montañoso fluvio-gravitacional.

5.1.4.2.1 Asociación A1 (Tequendamita)

Se localiza en los municipios de Medellín y San Jerónimo. Son suelos desarrollados a partir de depósitos de cenizas volcánicas sobre rocas metamórficas ubicados en las crestas ramificadas en esquistos y neis. El relieve es empinado a fuertemente inclinado con pendientes entre 7 y 75%. Presentan erosión ligera a moderada. Son suelos con texturas medias, profundos y moderadamente profundos, pueden ser limitados por gravillas, piedras y óxidos de hierro (Figura 5-68).

Figura 5-68 Suelos típicos de la Asociación A1



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Está conformada por los suelos Typic Hapludands 35%, Typic Fulvudands 25%, Hydric Fulvudands 20%. También presenta inclusiones de Andic Dystrudepts, Typic Placudands, Typic Dystrudepts y Thaptic Hapludands en igual proporción del 5% (IGAC, 2007).

Las unidades cartográficas de suelos presentes dentro del área de influencia están asociadas a unidades de subpaisaje como lo son Laderas fuertemente inclinadas con erosión ligera, Laderas moderadamente empinadas con erosión moderada y Laderas empinadas con erosión moderada. Estas geoformas presentan contenidos pedológicos descritos a continuación:

5.1.4.2.1.1 Typic Hapludands

Estos suelos se encuentran ubicados en las vertientes, en relieve fuertemente ondulado a ligeramente escarpado, en pendientes entre 12 y 25%. Han sido desarrollados a partir de

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

cenizas volcánicas, son bien drenados, de profundos a moderadamente profundos, limitados por fitotoxicidad por aluminio. Ocasionalmente presentan capa orgánica en la superficie (IGAC, 2007).

5.1.4.2.1.2 Typic Fulvudands

Se encuentran en las partes altas e intermedias de las vertientes, principalmente entre pendientes del 25 a 50%. Son suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas, profundos, bien drenados (IGAC, 2007).

5.1.4.2.1.3 Hydric Fulvudands

Se ubican en toda la extensión de las vertientes, en relieves fuertemente ondulados a ligeramente escarpados, con pendientes entre 12 y 50%. Desarrollados a partir de cenizas volcánicas, son bien drenados, profundos a moderadamente profundos, limitados por fitotoxicidad por aluminio (IGAC, 2007).

5.1.4.2.1.4 Typic Placudands

Se ubican en las áreas de menor pendiente dentro de las vertientes y crestas en pendientes entre 12 y 25%. Son desarrollados a partir de depósitos de cenizas volcánicas sobre rocas metamórficas, son profundos a moderadamente profundos, limitados por una capa endurecida de acumulación de hierro y gravillas (IGAC, 2007).

5.1.4.2.2 Asociación A4 (Ituango)

Son suelos que se encuentran bordeando el batolito antioqueño. Dentro del área de influencia están presentes en el municipio de Sopetrán. Geomorfológicamente se ubica en las crestas ramificadas en esquistos, asociados a pequeños coluvios y afloramientos rocosos. Son suelos desarrollados a partir de rocas metamórficas con texturas finas a medias, bien drenados y profundos (IGAC, 2007).

Esta asociación la forman suelos Typic Eutrudepts (35%), Typic Dystrudepts (30%), Oxic Dystrudepts (20%), e inclusiones de Acrudoxic Kandudults (5%), Humic Eutrudepts (5%) y Humic Dystrudepts (5%) (IGAC, 2007).

Dentro del área de influencia están presentes en las laderas moderadamente empinadas con erosión moderada y laderas empinadas con erosión moderada con la siguiente composición pedológica:

5.1.4.2.2.1 Typic Distrudepts

Son suelos ubicados en las partes altas e intermedias de las laderas en donde predominan los relieves moderadamente escarpados con pendientes entre el 50 y 75%. Son

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

desarrollados a partir de cuarzdioritas, profundos y con saturaciones altas de aluminio, generalmente presentan buen drenaje (IGAC, 2007).

5.1.4.2.2.2 Typic Eutrudepts

Se encuentran ubicados en las pendientes entre 50 y 75%. Son derivados de esquistos con intercalaciones de neiss o anfibolitas y materiales calcáreos, son bien drenados y profundos. Presentan texturas francas (IGAC, 2007).

5.1.4.2.2.3 Humic Eutrudepts

Están presentes en las áreas más secas de la asociación, en relieves moderadamente escarpados con pendientes entre 50 y 75%. Son derivados de diferentes clases de esquistos con intercalaciones de neiss o anfibolitas y materiales calcáreos, bien drenados, profundos, limitados por la presencia de gravillas y piedras en el perfil (IGAC, 2007).

5.1.4.2.3 Asociación A5 (Peñitas)

Son suelos localizados en los municipios Ebéjico y Sopetrán. Corresponden a zonas de vida de bosque húmedo premontano. Está presente en las crestas ramificadas en esquistos con capas discontinuas de cenizas volcánicas. Se ubican en los relieves fuertemente ondulados a moderadamente escarpados, entre pendientes del 12 y 75%. Presenta erosión laminar ligera a moderada y movimientos en masa tipo terracetos. Son desarrollados a partir de rocas metamórficas con recubrimientos discontinuos de cenizas volcánicas, con buen drenaje, profundos y de fertilidad baja a moderada.

La asociación está compuesta por suelos Typic Hapludands (50%); Humic Dystrudepts (20%), Typic Dystrudepts (20%), e inclusiones de Hydric Hapludands (10%).

Dentro del área de influencia están presentes en las laderas moderadamente empinadas ligeramente erosionadas y laderas empinadas con erosión moderada con la siguiente composición pedológica:

5.1.4.2.3.1 Humic Dystrudepts

Estos suelos se encuentran ubicados en las partes altas e intermedias de las laderas, donde predominan los relieves moderadamente escarpados de pendientes entre 50 y 75%. Son suelos profundos desarrollados a partir de cuarzdioritas (IGAC, 2007).

5.1.4.2.3.2 Typic Distrudepts

Son suelos ubicados en las partes altas e intermedias de las laderas en donde predominan los relieves moderadamente escarpados con pendientes entre el 50 y 75%. Son desarrollados a partir de cuarzdioritas, profundos y con saturaciones altas de aluminio,

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

generalmente presentan buen drenaje (IGAC, 2007).

5.1.4.2.3.3 Typic Hapludands

Se ubican en las laderas más elevadas donde el relieve es menos pendiente. Son derivados a partir de depósitos de cenizas volcánicas sobre rocas metamórficas, principalmente esquistos, profundos, bien drenados y de texturas medias (IGAC, 2007).

5.1.4.2.4 Asociación A6 (Tuntuna)

Esta asociación está ubicada dentro del área de influencia, en el municipio de San Jerónimo. Corresponde a la zona de vida de bosque seco tropical. Está presente en los glacis y coluvios de remoción, en relieve ligero a fuertemente inclinado y ligeramente escarpado con pendientes entre 3 y 50%. Presenta erosión laminar ligera y moderada. Algunos sectores están afectados por pedregosidad superficial en un 20%. Se han desarrollado a partir de depósitos aluviales y coluviales mixtos, son bien drenados, con texturas medias y finas, con profundidad moderada a profunda.

La asociación Tuntuná se compone de suelos Typic Haplustepts 50%, Typic Haplustolls 40% y como inclusión Typic Dystrudepts 10%.

Dentro del área de influencia están presentes en las superficies moderadamente inclinadas ligeramente erosionadas y superficies fuertemente inclinadas ligeramente erosionadas con la siguiente composición pedológica:

5.1.4.2.4.1 Typic Distrudepts

Son suelos ubicados en las partes altas e intermedias de las laderas en donde predominan los relieves moderadamente escarpados con pendientes entre el 50 y 75%. Son desarrollados a partir de cuarzodioritas, profundos y con saturaciones altas de aluminio, con fertilidad baja y reacción fuerte ácida, generalmente presentan buen drenaje (IGAC, 2007).

5.1.4.2.4.2 Typic Haplustepts

Están ubicados en el piedemonte con relieve fuertemente inclinado con pendientes entre 12 y 25%. Son derivados de materiales finos, profundos a moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, texturas moderadamente finas a muy finas (IGAC, 2007).

5.1.4.2.4.3 Typic Haplustolls

Se ubican en el piedemonte, se han derivado de coluviones mixtos en el relieve ligero a fuertemente inclinado, con pendientes entre 3 y 60%, son profundos, bien drenados, con texturas moderadamente finas y finas (IGAC, 2007).

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

5.1.4.3 Valle Aluvial Intramontano de los Ríos Cauca y Aurrá

5.1.4.3.1 Asociación B1 (Santafé)

Está ubicada en los municipios de Sopetrán, San Jerónimo y Santafé de Antioquia. Corresponden a la forma de vida de bosque seco tropical. Están ubicados en las colinas fuertemente disectadas en relieve fuertemente ondulado a moderadamente escarpado. Presenta erosión laminar en surcos moderada a severa. Algunos sectores presentan afección por pedregosidad superficial. Se han desarrollado a partir de rocas sedimentarias y metamórficas, son bien drenados con texturas medias a finas y limitados por fragmentos de roca (Figura 5-69) (IGAC, 2007).

Figura 5-69 Suelos típicos de la Asociación B1



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

La asociación Santafé está formada por los suelos Typic Haplustepts (40%), Lithic Ustorthents (20%), Typic Ustorthents (20%), e inclusiones de Oxic Haplustepts (10%) y Lithic Haplustepts (10%) (IGAC, 2007).

Dentro del área de influencia están presentes en las colinas moderadamente empinadas severamente erosionadas, colinas moderadamente empinadas muy severamente erosionadas y colinas empinadas severamente erosionadas con la siguiente composición pedológica:

5.1.4.3.1.1 Typic Haplustepts

Están ubicados en el piedemonte con relieve fuertemente inclinado con pendientes entre 12 y 25%. Son derivados de materiales finos, profundos a moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, texturas moderadamente finas a muy fina (IGAC, 2007).

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

5.1.4.3.1.2 Lithic Ustorthents

Están ubicados en las colinas con pendientes entre 7 y 12%. Son derivados de rocas metamórficas. Son suelos superficiales limitados por rocas, bien drenados y de texturas medias, algunos sectores presentan pedregosidad en superficie y otros están afectados por erosión laminar severa (IGAC, 2007).

5.1.4.3.2 Asociación B2 (Sopetrán)

Está ubicada en los municipios de Sopetrán, Santafé de Antioquia y San Jerónimo. Corresponde a la forma de vida de bosque seco tropical. Corresponde a las geoformas asociadas al paisaje de abanicos de terraza en sedimentos aluviales, en relieves plano a fuertemente quebrado, con pendientes entre 1 y 25%. Presentan erosión laminar ligera y severa en algunos sectores (IGAC, 2007).

La asociación Sopetrán está compuesta por los suelos Typic Haplustepts en un 50%, Typic Ustifluvents 20%, Typic Haplustalfs 20% e inclusiones de Typic Haplusterts, 10% (IGAC, 2007)

Dentro del área de influencia están presentes en la Superficie ligeramente inclinada Superficie ligeramente inclinada, ligeramente erosionada, Superficie ligeramente inclinada moderadamente erosionada, Superficie ligeramente inclinada con pedregosidad superficial Superficie moderadamente inclinada, Superficie moderadamente inclinada ligeramente erosionada con la siguiente composición pedológica:

5.1.4.3.2.1 Typic Haplustepts

Están ubicados en el piedemonte con relieve fuertemente inclinado con pendientes entre 12 y 25%. Son derivados de materiales finos, profundos a moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, texturas moderadamente finas a muy fina (IGAC, 2007).

5.1.4.3.2.2 Typic Haplustalfs

Se localiza en terrazas antiguas fuertemente disectadas, en relieve ligeramente empinado. Son suelos derivados de depósitos aluviales, moderadamente profundos, bien drenados y con texturas moderadamente finas (IGAC, 2007)..

5.1.4.3.2.3 Typic Haplusterts

Se localiza en el relieve moderadamente inclinado con pendientes del 12%. Son derivados de sedimentos finos, profundos, bien drenados y texturas finas (IGAC, 2007).

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

5.1.4.3.3 Asociación B3 (Olaya)

Esta unidad se localiza en los municipios de Sopetrán y Santafé de Antioquia. Corresponde a la zona de vida de bosque seco tropical. Se ubica en el relieve plano a ligeramente inclinado, con pendientes entre 1 y 7%. Son afectados por pedregosidad superficial muy localizada (IGAC, 2007).

La asociación Olaya se compone de los suelos Typic Ustorthents (45%), Typic Haplustepts (45%) y misceláneo de playas en un 10% (IGAC, 2007).

Figura 5-70 Suelos típicos de la asociación B3



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Dentro del área de influencia están presentes en el Plano de inundación de los ríos Cauca y Aurrá con la siguiente composición pedológica:

5.1.4.3.3.1 Typic Haplustepts

Están ubicados en el piedemonte con relieve fuertemente inclinado con pendientes entre 12 y 25%. Son derivados de materiales finos, profundos a moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, texturas moderadamente finas a muy fina (IGAC, 2007).

5.1.4.4 Capacidad de Uso del Suelo

La clasificación del suelo por capacidad de uso se definió para el área de influencia a partir del Estudio General de suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Antioquia, publicado en el año 2007 (IGAC, 2007).

La Clasificación de Capacidad de Uso del suelo permite agrupar suelos que presentan el mismo nivel o grado relativo de limitación y/o riesgo de degradación. Para Colombia se ha realizado la clasificación de la capacidad de uso de la Tierra a través del Método de

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

Clasificación de Capacidad de Uso del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, conocido comúnmente como Clasificación Agrologica, el cual se ha estructurado para clases de usos y sistemas de manejo propios del país (IGAC y CORPOICA, 2002). La estructura del Sistema de Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso se compone de ocho categorías, que principalmente agrupan las tierras según sus características en:

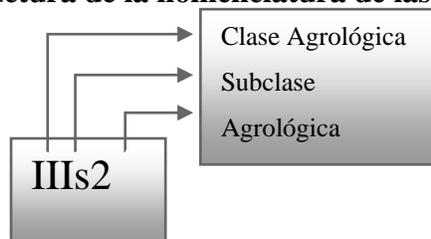
- Grupo de tierras arables con capacidad para cualquier tipo de cultivo, con pocas prácticas de conservación de suelo (**Clase Agrologica 1 y 2**).
- Grupo de tierras arables con restricciones en la selección de cultivos, con prácticas intensivas de conservación de suelos (**Clases Agrologicas 3 y 4**).
- Grupo de tierras para ganadería con praderas mejoradas, cultivos permanentes y/o reforestación (**Clase Agrologica 6**).
- Grupo de tierras forestales con posibilidad de uso sostenible del bosque (**Clase Agrologica 7**)
- Grupo de tierras destinadas a la conservación y la protección de la naturaleza. Generalmente constituyen ecosistemas estratégicos para el abastecimiento de agua y de alto grado de vulnerabilidad (**Clase Agrologica 8**).

Dentro de las categorías de clasificación de Clases Agrológicas, los suelos se clasifican de acuerdo a factores limitantes generales o específicos, generando Subclases Agrologicas que poseen los mismos factores y grado de limitación. A continuación se presentan las definiciones de dichas limitantes y el orden en que deben aparecer en el símbolo cartográfico en el caso de presentarse más de un limitante.

- **Subclase de limitación por pendiente (p):** se refiere al grado de inclinación de la pendiente expresada en porcentaje.
- **Subclase por limitación de erosión (e):** esta subclase la conforman los suelos que se encuentran afectados por pérdida acelerada del suelo, causada por prácticas de manejo inadecuadas o por fenómenos de remoción o movimientos en masa.
- **Subclase por limitación de humedad (h):** está formada por los suelos sobresaturados con agua, bien sea por exceso de precipitaciones, inundaciones generadas por el desbordamiento de las corrientes de agua, encharcamiento debido al escurrimiento de aguas superficiales.
- **Subclase por limitación de suelo (s):** se clasifica de acuerdo a las limitaciones físicas y químicas, que dificultan e impiden el libre desarrollo de las raíces de las plantas y las prácticas de labranza del suelo.

En la Figura 5-71 se presenta la estructura de la nomenclatura de las Clases Agrológicas identificadas en el área de influencia.

Figura 5-71 Estructura de la nomenclatura de las Clases Agrológicas



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

En la Tabla 5-25 se presentan las clases y subclases agrológicas identificadas dentro del área de estudio, así como su distribución en cuanto a cubrimiento de área y porcentaje de la misma. En esta se aprecia que predomina la clase 7 con un porcentaje de cobertura de 45 %, seguido de las clases 6 y 4, las cuales presentan valores de 26 y 25 %, respectivamente.

Tabla 5-25 clases y sub-clases agrológicas en el área de influencia

Clase	Subclase	Área(Ha)	Área (%)
Clase agrológica 4	4c-1	389,56	7,27
	4P-10	150,85	2,82
	4pc-1	0,23	0,00
	4sc-1	789,63	14,74
Clase agrológica 6	6p-7	201,11	3,75
	6s-10	344,82	6,44
	6pe-7	819,49	15,30
Clase agrológica 7	7e -1	10,87	0,20
	7p-10	364,79	6,81
	7p-7	2.051,71	38,31
CA		18,02	18,02
ZU		215,11	215,11
Total		5.356,19	100

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

En síntesis, el área de influencia presenta una alta aptitud para la conservación, bajo sistemas forestales de protección o de protección-producción, aunque se precisa de la implementación de prácticas que permitan aprovechar de manera sostenible ambientalmente el suelo. En general los suelos del área de influencia presentan fertilidad baja, con altas saturaciones de aluminio, y dentro de sus características físicas cabe resaltar la pedregosidad y las altas pendientes.

5.1.4.4.1 Vocación de uso del suelo

Las categorías de vocación de uso o uso potencial, corresponden a la principal capacidad de

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

uso establecida para cada una de las clases agrologicas, teniendo en cuenta sus limitantes y características de sostenibilidad. Cada una de las vocaciones de uso se homologaron a las categorías establecidas por la Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia (IGAC y CORPOICA, 2002).

Los Grupos de Manejo, son agrupados en un sistema jerárquico de dos niveles que relaciona la vocación actual de uso de las tierras y el uso principal recomendado.

La vocación actual de uso de las tierras, constituye la clase mayor de uso que una unidad de tierra está en capacidad natural de soportar con características de sostenibilidad, evaluadas sobre una base biofísica, sin tener en cuenta circunstancias económicas actuales, propias de cada clase de manejo.

En el área de influencia se identificaron seis vocaciones de uso del suelo, presentadas en la Tabla 5-26.

Tabla 5-26 Vocación de Uso del Suelo en el Área de influencia

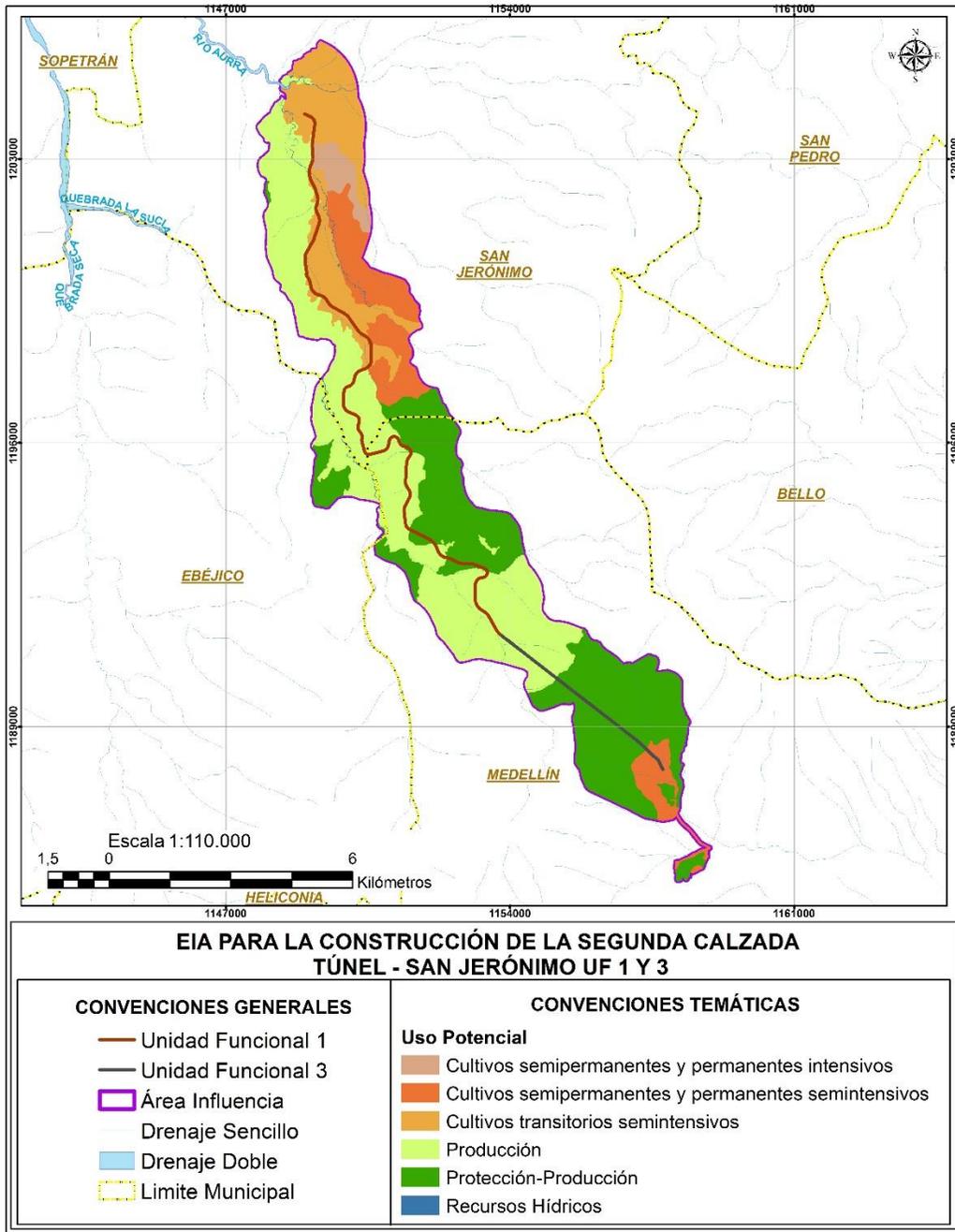
Vocación de uso	Tipo de Uso	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)
Conservación	Recursos Hídricos	CRH	18,02	0,34
Agrícola	Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos	CSI	122,72	2,29
	Cultivos semipermanentes y permanentes semintensivos	CSS	604,24	11,28
	Cultivos transitorios semintensivos	CTS	768,23	14,34
Forestal	Protección-producción	FPP	1.760,08	32,86
	Producción	FPR	2.082,89	38,89
Total			5.356,19	100

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Como se puede observar, en el área de influencia predomina la vocación para la producción forestal, ocupando el 39% del área. Esta se ubica en la mayoría de unidades cartográficas de suelos presentes en el área de influencia. A esta le sigue el uso forestal de producción-protección con un valor del 33 %.

En cuanto a los usos agrícolas, representan en conjunto el 28 %, mientras que el porcentaje restante corresponde a la conservación de los recursos hídricos. En la Figura 5-72 se puede apreciar la distribución espacial de estos.

Figura 5-72 Vocación de uso del suelo



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

5.1.4.5 Uso Actual del Suelo

El Uso actual del Suelos se define como aquel uso que se le atribuye a la cobertura del suelo ya sea en actividades productivas con un beneficio económico o aquellas que no lo

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.2	

generan, éstas últimas asociadas a las tierras con usos de conservación y/o protección. Adicionalmente, es el resultado de la interacción de aspectos como el tiempo y el espacio resumidos en lo que conocemos como evolución humana, la cual define si el uso se mantiene o cambia en función de las necesidades económicas, sociales y/o culturales de la población.

El Uso Actual del Suelo se determina a partir del mapa de las Coberturas de la Tierra realizado por el consultor a escala 1:25:000, mediante la agrupación de coberturas con similares funcionalidades, permitiendo la identificación de áreas que presentan los mismos patrones de explotación y uso de los recursos naturales asociados al suelo; en términos de las categorías del Uso del Suelo, establecidas por el IGAC y CORPOICA, 2002.

Adicionalmente, para la determinación de uso actual se tuvo en cuenta el uso reglamentado del suelo a través de la consulta de los instrumentos de ordenamiento territorial (EOT's, PBOT's y POT's) identificados en el área de influencia, específicamente las categorías de agropecuario, protección, reserva, suburbano, entre otros, áreas a las cuales se les respetó el uso especificado por los instrumentos de ordenamiento, descripción que se desarrolla en el aparte de Uso Reglamentado.

Como resultado se obtuvo el uso actual del suelo en cinco categorías, teniendo en cuenta las áreas protegidas a las cuales se les conservó el uso definido por norma. En la Tabla 5-27 se presenta el uso actual, el tipo de uso, símbolo, áreas y porcentaje de cubrimiento

Tabla 5-27 Uso Actual del Suelo en el Área de influencia

Uso Actual	Tipo de Uso	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)
Agrícola	Cultivos semipermanentes y permanentes semiintensivos	CSS	16,33	0,30%
	Cultivos transitorios semiintensivos	CTS	2,47	0,05%
Agroforestal	Agrosilvopastoril	SAP	813,17	15,18%
	Silvopastoril	SPA	40,59	0,76%
Conservación	Forestal protectora	CFP	1869,04	34,89%
	Recuperación	CRE	1,05	0,02%
	Recursos hídricos	CRH	18,02	0,34%
Forestal	Producción	FPR	25,27	0,47%
	Protección producción	FPP	92,90	1,73%
Ganadería	Pastoreo extensivo	PEX	625,63	11,68%
	Pastoreo intensivo y semiintensivo	PSI	1359,57	25,38%
Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	ZU	492,15	9,19%
Total general			5356,19	100,00%

Fuente: (Consultoría Colombiana S. A, 2016)

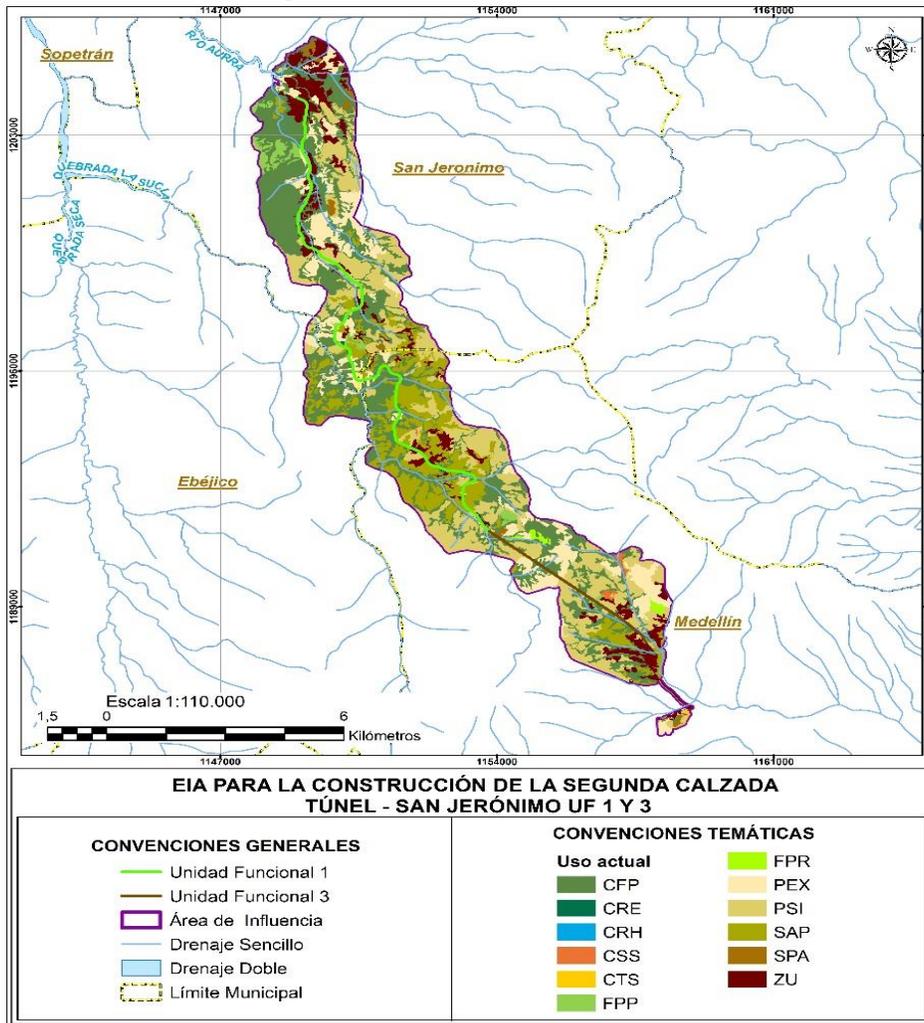
En el área de influencia predominan los usos ganaderos con un 37,06 %, que corresponde a coberturas de pastos arbolados, enmalezados y limpios. En extensión con un 34,89% del

área le siguen los que estas asociados a bosques de galería y herbazales, también se presentan coberturas de cuerpos de agua y zonas con remoción en masa.

En importancia le siguen los usos agroforestales con un 16% de participación asociado a coberturas que comprenden mosaicos de cultivos y pastos con espacios naturales. En extensión les siguen los usos forestales que comprenden las coberturas de vegetación secundaria alta y baja, arbustales, bosques fragmentados y plantaciones forestales. Por último están los suelos con usos agrícolas con un 0,35% de participación comprendido por cultivos permanentes y transitorios.

Las zonas urbanas comprenden un 9,19% en donde se agrupan coberturas como construcciones, tejido urbano, entre otros. En la Figura 5-73 se presenta la distribución espacial de los usos.

Figura 5-73 Uso actual del suelo



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.2</p>	

5.1.4.6 Uso Reglamentado del Suelo

Para las unidades funcionales 1 y 3 se tuvieron en cuenta los elementos de ordenamiento territorial de los municipios de Medellín y San Jerónimo, identificando los diferentes usos del suelo establecidos por dichos instrumentos de ordenamiento dentro del área de influencia. En la Tabla 5-28 se muestra la información relacionada con los usos del suelo presentados en los instrumentos de ordenamiento territorial de los municipios anteriormente mencionados.

Para el municipio de Medellín (Tabla 5-28). Se identificaron usos que corresponden a forestal-protector y productor, agroforestal, agropecuario, agrícola, áreas mineras en transición y mixto-rural. Entro de los usos prohibidos descritos en el plan de ordenamiento territorial (acuerdo No. 48) no se hace referencia a que alguna de las actividades del proyecto Vía al Mar 1 sea incompatible con lo estipulado en el citado POT.

Para el municipio de San Jerónimo se tomó como referencia el esquema de ordenamiento territorial, con el cual se identificaron los usos que corresponden a reserva, rural a urbano, agropecuario, suburbano, de protección, agrícola y mixto (agropecuario). En la caracterización de usos prohibidos no se hace referencia específica a que alguna de las actividades del proyecto Vía al Mar 1 pueda ir en contra de lo estipulado en el citado esquema de ordenamiento territorial. Sin embargo, en las áreas de reserva natural y protección se pueden presentar incompatibilidades de uso debido a que dentro de los usos prohibidos se contempla que:

“Cualquier actividad diferente a la conservación, protección y perpetuación de los recursos naturales o que vaya en contra del uso principal.”

Por ello se deben tomar las medidas de precaución y tener en cuenta para no afectar de manera significativa dichas áreas, ya que si bien ya se encuentran intervenidas por la vía existente con manejo adecuado se puede mitigar su impacto sobre estas áreas de conservación y protección natural.

Fotografía 5-120 Diferentes usos en el municipio de Medellín



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Tabla 5-28 Uso reglamentado del suelo en el área de influencia del tramo Túnel-Santa Fe

Municipio	Usos en área de influencia	Usos principales	Usos compatibles	Usos Restringidos	Usos prohibidos	Documento			Acuerdo		Decretos	Vigencia
						POT	PBOT	EOT	Número	Fecha		
Medellín	Forestal Protector	1. Mantenimiento y establecimiento de bosques protectores. 2. Estudios e investigaciones forestales, biológicas y/o ecológicas.	1. Aprovechamiento de productos secundarios del bosque. 2. Turismo de naturaleza y/o ecológico. 3. Propagación de plantas. 4. Extracción selectiva de madera de especies foráneas. 5. Se permite la movilidad aérea.	1. Instalación de redes de líneas vitales. 2. Vivienda. 3. Instalación de infraestructura de equipos de telecomunicaciones o para la seguridad y defensa. 4. Las ciclorrutas y equinorrutas. 5. Cultivos permanentes. 6. Reforestación con árboles nativos. 7. Minería.	1. Actividades recreativas de mediano y alto impacto. 2. Establecimiento de plantaciones de coníferas. 3. Agricultura. 4. Cría de especies menores. 5. Jardines cementerio. 6. Floricultura.	X			Acuerdo No 48	17 de diciembre de 2014	Decretos 879 de 1998 y 4002 de 2004	

Municipio	Usos en área de influencia	Usos principales	Usos compatibles	Usos Restringidos	Usos prohibidos	Documento			Acuerdo		Decretos	Vigencia
						POT	PBOT	EOT	Número	Fecha		
	Forestal Productor	<ol style="list-style-type: none"> Plantaciones forestales. Mantenimiento adecuado de vías forestales. Investigación y educación ambiental. Cultivos dendroenergéticos Extracción de productos forestales maderables y no maderables. 	<ol style="list-style-type: none"> Vivienda asociada al manejo de cultivos agroforestales o permanentes. Actividades asociadas al turismo ecológico y ecoparques. Cultivos permanentes como frutales, café, y caña. Propagación de plantas. Se permitirá la movilidad aérea. 	<ol style="list-style-type: none"> Construcción de infraestructura para aprovechamiento de productos maderables y no maderables. Actividades agroindustriales relacionadas con la producción forestal. Turismo de naturaleza y/o ecológico. Minería. 	<ol style="list-style-type: none"> Actividades agropecuarias intensiva. Otras actividades agropecuarias. Las actividades recreativas de mediano y alto impacto. Jardines cementerio. Floricultura 							

Municipio	Usos en área de influencia	Usos principales	Usos compatibles	Usos Restringidos	Usos prohibidos	Documento			Acuerdo		Decretos	Vigencia
						POT	PBOT	EOT	Número	Fecha		
	Agroforestal	1. Actividades agroforestales, silvopastoriles, agrosilvopastoriles. 2. Investigación y educación ambiental. 3. Ganadería estabulada y semiestabulada de baja intensidad. 4. Cultivos forestales y dendroenergéticos	1. Vivienda o edificaciones asociadas al manejo del área. 2. Uso forestal protector. 3. Actividades asociadas al turismo de naturaleza y ecoparques.	1. Construcción de infraestructura para el aprovechamiento y transporte de productos maderables y no maderables. 2. Actividades agroindustriales. 3. Procesamiento y conservación de productos pecuarios. 4. Procesamiento y conservación de productos pecuarios. 5. Cría de aves y ganado bovino o porcino. 6. Actividades piscícolas. 7. Minería 8. Procesamiento de productos agrícolas.	1. Actividades agropecuarias intensivas. 2. Las actividades recreativas de mediano y alto impacto. 3. Jardines cementerios.							

Municipio	Usos en área de influencia	Usos principales	Usos compatibles	Usos Restringidos	Usos prohibidos	Documento			Acuerdo		Decretos	Vigencia
						POT	PBOT	EOT	Número	Fecha		
	Agropecuario	1. Actividades agrícolas y pecuarias. 2. Estudios e Investigaciones para la producción y la conservación delos ecosistemas. 3. Cultivos agrícolas transitorios. 4. Cría de especies menores. 5. Actividades piscícolas.	1. Vivienda y construcciones asociadas al manejo de laproducción. 2. Actividades asociadas al turismo agroecológico. 3. Construcción de sistemas de riego. 4. Prácticas agroforestales, silvopastoriles o agrosilvopastoriles. 5. Cultivos dendroenergéticos y forestales. 6. Extracción de productos forestales.	1. La construcción de infraestructura para el aprovechamiento de productos agropecuarios.2. Ecoparques o agroparques. 3. Infraestructura de transporte y movilidad área.4. Procesamiento de productos agropecuarios.5. Turismo de naturaleza y/o ecológico.6. Actividades de adrenalina. 7. Minería	1. Parcelaciones de viviendacampestre.2. Las actividades recreativas de mediano y alto impacto. 3. Jardines cementerio.							

Municipio	Usos en área de influencia	Usos principales	Usos compatibles	Usos Restringidos	Usos prohibidos	Documento			Acuerdo		Decretos	Vigencia
						POT	PBOT	EOT	Número	Fecha		
	Agrícola	1. Cultivos transitorios y/o permanentes.2. Investigación y educación agrícola y ambiental.	1. Vivienda asociada al manejo de la producción, actividades agroforestales, silvopastoriles.2. Actividades asociadas al agroturismo y ecoparques.3. Construcción de sistemas de riego.4. Tránsito por caminos de servidumbre existentes.	1. La construcción de nueva infraestructura y vías terciarias.2. Actividades agroindustriales.3. Ganado bovino, porcino y equino de pequeña intensidad.4. Cría de especies menores.5. Procesamiento de productos agrícolas.6. Procesamiento de productos pecuarios.7. Minería.	1. Parcelaciones de vivienda campestre.2. Actividades pecuarias intensivas y extensivas.3. La ubicación de industrias o comercio de gran superficie.5. Publicidad visual.6. Actividades recreativas de mediano y alto impacto.7. Jardines cementerio							
	Áreas mineras en transición	1. Extracción de materiales para la construcción.2. Servicios de apoyo a la actividad minera. Industria relacionada con la elaboración de productos para la construcción.	1. Forestal protector, forestal productor y agroforestal.2. Usos agroindustriales e industriales.3. Parques minero-industriales.4. Para áreas con coberturas boscosas.5. Ecoparques.	1. Comercio y servicio minorista.2. Infraestructura de transporte por cable aéreo.3. Vivienda una vez se garantice la estabilidad del suelo y se cumplan las densidades establecidas.	1. Vivienda en cualquiera de sus modalidades.2. Comercio de gran formato.3. Parcelación de vivienda campestre.4. Jardines cementerio.							
	Mixto Urbano-rural	Vivienda, agricultura	1. Comercio minorista cotidiano. Servicios comunitarios y	1. Los depósitos de vehículos de transporte público, industria artesanal, pequeña y	1. Ganadería.2. Plantaciones forestales productoras.3. Industrial mediana y							

Municipio	Usos en área de influencia	Usos principales	Usos compatibles	Usos Restringidos	Usos prohibidos	Documento			Acuerdo		Decretos	Vigencia
						POT	PBOT	EOT	Número	Fecha		
			mercantiles de baja intensidad. 2. Prácticas agropecuarias de especies menores y escalonadas. 3. Agricultura. 4. Prácticas agropecuarias de especies menores y escalonadas.	mediana siempre y cuando la norma urbanística así lo permita y de acuerdo con un protocolo ambiental y urbanístico. 2. Minería.	pesada. 4. Estaciones de servicios. 5. Desarrollos comerciales de "grandes superficies". 6. Servicios financieros. 7. Jardines cementerio. 8. Actividades recreativas de mediano y alto impacto.							
		Vivienda	1. Equipamientos locales relacionados con las actividades y zonas comunes de la parcelación. 2. Prácticas agropecuarias de especies menores y escalonadas. 3. Agricultura. 4. Prácticas agropecuarias de especies menores y escalonadas.	1. Industria artesanal, pequeña y mediana siempre y cuando la norma urbanística así lo permita y de acuerdo con el protocolo ambiental y urbanístico. 2. Minería.	1. industria mediana y mayor, 2. Las actividades recreativas de mediano y alto impacto. 3. Jardines cementerio. 4. Floricultura.							

Municipio	Usos en área de influencia	Usos principales	Usos compatibles	Usos Restringidos	Usos prohibidos	Documento			Acuerdo		Decretos	Vigencia
						POT	PBOT	EOT	Número	Fecha		
San Jerónimo	Reserva	Forestal protector	Actividades de educación, investigación científica y de conservación ambiental	Obras de infraestructura.	Cualquier actividad diferente a la conservación, protección y perpetuación de los recursos naturales o que vaya en contra del uso principal.							
	Rural a urbano	Parcelaciones de vivienda campestre y fincas de recreo, infraestructura física para la recreación y el ocio.	Cultivos permanentes, agricultura de "Pan coger", comercio, silvicultura con fines protectores, ecoturismo, vivienda campesina.	Cultivos limpios, central de abastos, infraestructura de alto impacto.	Pecuarios, vivienda de alta densidad, actividades de silvicultura y extracción de madera; otros usos que atenten contra los valores ambientales.			X	Acuerdo municipal No. 003	4 de mayo de 2012		2024
	Suburbano	Infraestructura de comercio y servicios; infraestructura física para la recreación y el ocio, parcelaciones de vivienda campestre y fincas de recreo, parcelaciones para vivienda y fincas de recreo	Silvicultura con especies nativas para fines protectores, infraestructura física para la recreación y el ocio (hostales, parques recreativos, zonas de camping, entre otros)	Agrícola y pecuario	Vivienda de alta densidad, silvicultura y extracción de la madera, otros usos que atenten contra los valores ambientales.							

Municipio	Usos en área de influencia	Usos principales	Usos compatibles	Usos Restringidos	Usos prohibidos	Documento			Acuerdo		Decretos	Vigencia
						POT	PBOT	EOT	Número	Fecha		
	Agropecuario	Pecuario	Vivienda rural campesina de baja densidad, actividades agrícolas de pequeña producción.	Pecuarios en cercanías a viviendas, ganadería extensiva, actividades de servicios relacionadas con la silvicultura y la extracción de la madera, obras de infraestructura.	Parcelaciones y viviendas de recreo, ganadería sobre retiros a fuentes hídricas, vivienda de alta densidad y cultivos erosivos.							
	Protección	Forestal-protector	Actividades de educación, investigación científica y de conservación ambiental.	Vivienda rural (cumpliendo con la densidad establecida por CORANTIOQUIA), actividades ecoturísticas.	Cualquier actividad diferente a la conservación y protección que implique la ocupación de los retiros a fuentes hídricas.							
	Agrícola	Agricultura	Vivienda rural campesina de baja densidad, comercial asociado a centros de distribución de alimentos, trapiches.	Pecuarios, obras de infraestructura.	Parcelaciones, ganadería con fines comerciales a gran escala, vivienda de alta densidad, actividades silvicultura y la extracción de madera.							
	Mixto (Agrícola y pecuaria)	Vivienda rural campesina de baja densidad, silvicultura con fines protectores, infraestructura de alto impacto.	Vivienda rural campesina de baja densidad, silvicultura con fines protectores, infraestructura de alto impacto.	Agricultura	Parcelaciones y fincas de recreo, ganadería con fines comerciales a gran escala, vivienda de alta densidad, actividades de silvicultura y extracción de madera.							

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.4.7 Conflictos de uso del Suelo

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 (IGAC, CORPOICA, 2001). El conflicto de Uso se presenta cuando las tierras son utilizadas inadecuadamente ya sea por sobreutilización o subutilización (IGAC, 1988)

El proceso de análisis para la definición de áreas de Conflictos de Uso tiene como elementos básicos la Vocación de Uso de las tierras y la información de Cobertura y Uso actual que representa la demanda actual. De la confrontación crítica de estos dos elementos surgen las clases de Conflictos y sus grados de intensidad, las necesidades de conservación y recuperación de tierras.

Para evaluar la concordancia, compatibilidad o discrepancia en el uso, se elaboró una matriz de decisión que permite confrontar las unidades de Vocación Actual de Uso vs el Uso Actual.

Cada una de las unidades de Cobertura y Uso actual se valoró en relación con la Vocación Actual de Uso, para lo cual a cada clase de Cobertura Actual se asignó el uso actual en términos de la Vocación de Uso Principal, para comparar niveles similares dentro de la matriz.

Las coberturas localizadas en áreas protegidas tienen la asignación principal de uso como conservación.

A continuación se presenta la descripción de los niveles de Conflicto de Uso del Suelos que se evaluará para el área de influencia y en la Tabla 5-29 se presenta la codificación utilizada para cada nivel de conflicto.

- **Tierras sin Conflicto de Uso o uso adecuado (A):** son aquellas tierras donde hay correspondencia entre la vocación de uso y el uso actual, o en su defecto, se encuentra en usos que no ocasionen deterioro del suelo y el medio ambiente.
- **Conflicto por Subutilización:** se denomina en conflicto por subutilización a los suelos donde el uso dominante presenta un nivel inferior de intensidad de uso en comparación con la capacidad productiva del mismo de acuerdo a las características agrologicas, lo cual afecta los niveles productivos del mismo, sin que eso ocasionen pérdida del recurso.
 - **Subutilización ligera (S1):** suelo cuyo uso principal está muy cercano al uso compatible, pero que se ha evaluado de menor intensidad.
 - **Subutilización moderada (S2):** suelos cuyo uso actual está por debajo, dos niveles de la capacidad productiva definida.
 - **Subutilización severa (S3):** suelos cuyo uso principal está por debajo tres o más niveles

de su capacidad de uso.

- **Conflicto por sobreutilización:** ésta categoría se le asigna a aquellos suelos donde el uso actual dominante en comparación con la vocación de uso, de acuerdo con las clases agrologicas, es más intenso.

- **Sobreutilización ligera (O1):** suelos cuyo uso actual se encuentra muy cercano a la vocación de uso.

- **Sobreutilización moderada (O2):** suelos cuyo uso actual se encuentra por encima dos niveles, con respecto a la vocación de uso recomendada. Es común encontrar en esta categoría tierras con signos de deterioro de los recursos naturales y el suelo, en especial procesos erosivos activos.

- **Sobreutilización severa (O3):** suelos cuyo uso actual se encuentra por encima tres niveles, con respecto a la vocación de uso recomendada. Son suelos con signos de degradación avanzada de los recursos como procesos erosivos severos y baja productividad de las tierras.

Tabla 5-29 Codificación de los Grados de Conflictos de Usos del Suelo

Nomenclatura	Tipo de Conflicto
A	Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado
S1	Conflicto por subutilización ligera
S2	Conflicto por subutilización moderada
S3	Conflicto por subutilización severa
O1	Conflicto por sobreutilización ligera
O2	Conflicto por sobreutilización moderada
O3	Conflicto por sobreutilización severa
NA	No aplica

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

En la Tabla 5-30 se establece la matriz para la determinación del conflicto de uso de acuerdo con los usos definidos, especificando las posibles combinaciones que se pueden presentar. La matriz hace confrontación de 12 tipos de usos actuales y 5 usos potenciales, lo cual implica 60 combinaciones posibles de conflicto de usos del suelo.

Tabla 5-30 Matriz de determinación de Conflicto de Uso del Suelo

Uso Actual \ Uso Potencial		USO	Agrícola		Agroforestal		Ganadero		Forestal		Conservación			Zonas de extracción minera	Urbano	
			TIPO DE USO	Cultivos semipermanentes y permanentes semi-intensivos	Cultivos transitorios semintensivos	Agrosilvopastoril	Silvopastoril	Pastoreo extensivo	Pastoreo intensivo y semintensivo	Producción	Protección-producción	Protección	Recuperación		Recursos Hídricos	Explotación de recursos naturales
USO	TIPO DE USO		CSS	CTS	SAP	SPA	PEX	PSI	FPR	FPP	CFP	CRE	CRH	EM	UC	UR
Agrícola	Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos	CSI	S1	A	S3	S3	S3	S1	S3	S3	S3	S3	S3	O3	NA	NA
	Cultivos semipermanentes y permanentes semi-intensivo	CSS	A	O1	S2	S2	S2	O1	S1	S3	S3	S3	S3	O3	NA	NA
	Cultivos transitorios Semiintensivos	CTS	S1	A	S3	S3	S3	S1	S3	S3	S3	S3	S3	O3	NA	NA
Agroforestal	Silvopastoril	SPA	O2	O3	A	A	A	O2	A	S2	S3	S3	S3	O3	NA	NA
Forestal	Protección-Producción	FPP	O3	O3	O2	O2	O1	O3	A	A	A	A	A	O3	NA	NA
	Producción	FPR	O3	O3	O1	O1	S2	O3	A	S2	S3	S3	S3	O3	NA	NA
Ganadero	Pastoreo extensivo	PEX	O2	O3	S1	S1	A	O1	A	S2	S3	S3	S3	O3	NA	NA
Conservación	Recursos hídricos	CRH	O3	O3	O3	O3	O3	O3	A	A	A	A	A	O3	NA	NA
	Protección	CFP	O2	O3	O3	O3	O3	O3	A	O1	A	A	A	O3	NA	NA

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Como resultado de la confrontación simultanea del uso potencial y el uso actual del suelo, se obtuvieron los conflictos de uso del suelo presentes en el área de influencia, los cuales se relacionan en la Tabla 5-31

Tabla 5-31 Conflictos de Uso del Suelo

Tipo de Uso	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)
Tierras sin conflicto o con uso adecuado	A	461,26	8,61%
Sobreutilización ligera	O1	732,32	13,67%
Sobreutilización moderada	O2	401,25	7,49%
Sobreutilización severa	O3	996,41	18,60%
Subutilización ligera	S1	196,78	3,67%
Subutilización moderada	S2	390,70	7,29%
Subutilización severa	S3	1685,31	31,46%
No aplica	N/A	492,15	9,19%
Total general		5356,19	100,00%

Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

El conflicto más representativo en el área de influencia corresponde al de subutilización severa (S3) con una ocupación del 31,46% del área. Este conflicto se genera debido a que las áreas que presentan vocación para actividades agrícolas están siendo usadas para usos de ganadería extensiva, usos forestales para producción y conservación, y áreas en recuperación con suelos degradados. Este conflicto también se genera debido a que las áreas con vocación para la producción forestal están siendo usadas para la conservación de zonas boscosas y de suelos degradados.

En extensión le siguen las áreas que presentan conflicto por sobreutilización severa (O3), y se da por que las tierras que presentan vocación para producción forestal se encuentran utilizadas en pastoreo intensivo y agricultura, este conflicto corresponden al 18,60% del área total.

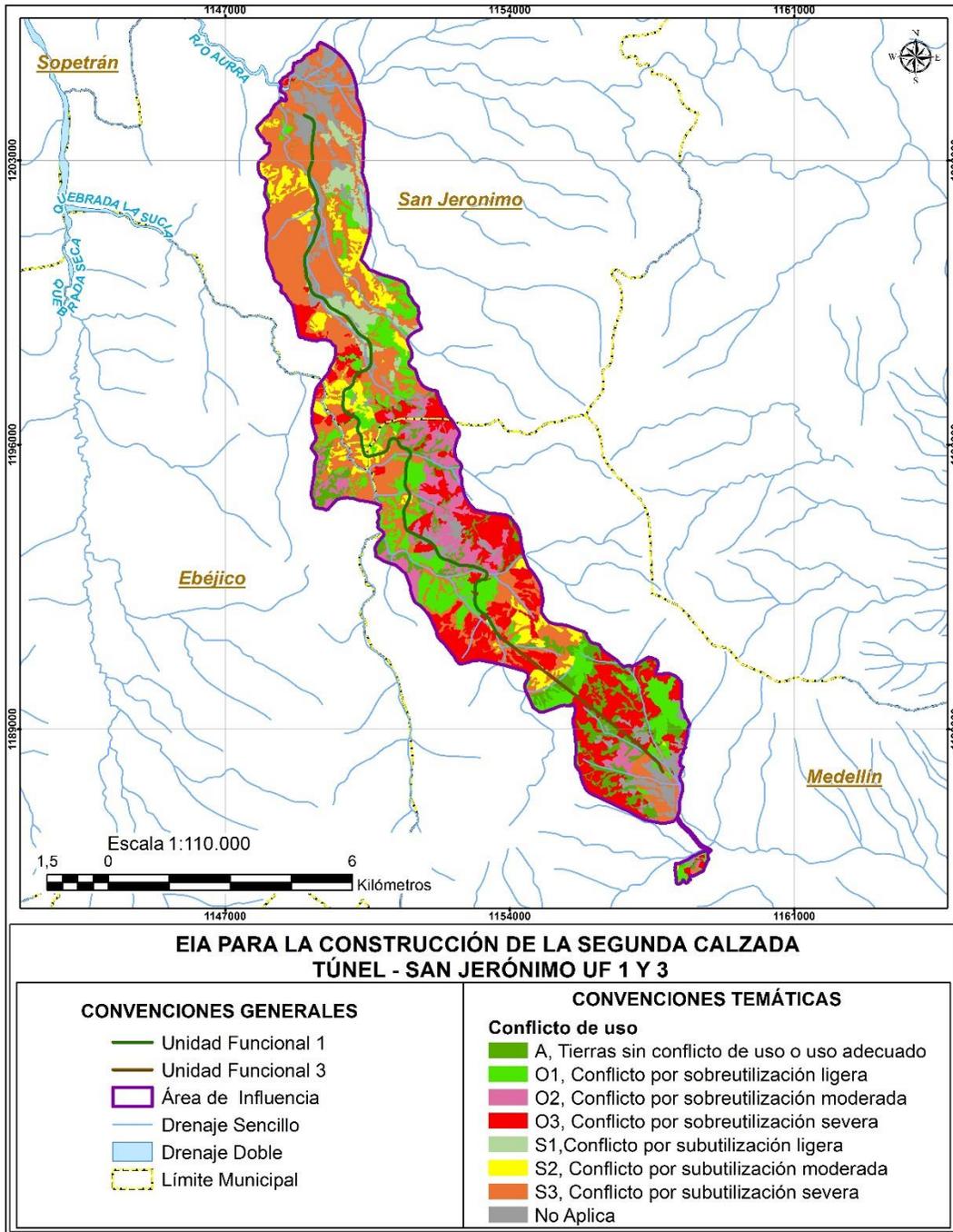
En importancia continúan los conflictos por sobreutilización ligera (O1), con 13,67% de cobertura, este conflicto se da debido a que los suelos con vocación para la producción agrícola y forestal se encuentran con usos de mayor intensidad con respecto a su potencial ya sean agrícolas o ganaderos.

Seguidos están; las tierras sin conflicto (A) con un 8,61%, con sobreutilización moderada (O2) con un 7,49%, con subutilización moderada (S2) con un 7,29% y subutilización ligera (S1) con un 3,67%. También es importante recalcar que el 9,19 % del área de estudio, corresponden a zonas que no aplican caracterización de conflictos por corresponder a zonas urbanas y de comunicación.

En síntesis el conflicto de uso del suelo está orientado principalmente a la subutilización del suelo (42,42%), en grado severo y moderado, lo que hace notar que el suelo se encuentra en

usos de menor intensidad con respecto a los usos que tienen por vocación, es decir, no se está aprovechando en la medida en que la oferta ambiental del suelo lo permite. En la Figura 5-74 se presenta la distribución espacial de los diferentes tipos de conflicto dentro del área de influencia.

Figura 5-74 Conflicto de uso del suelo



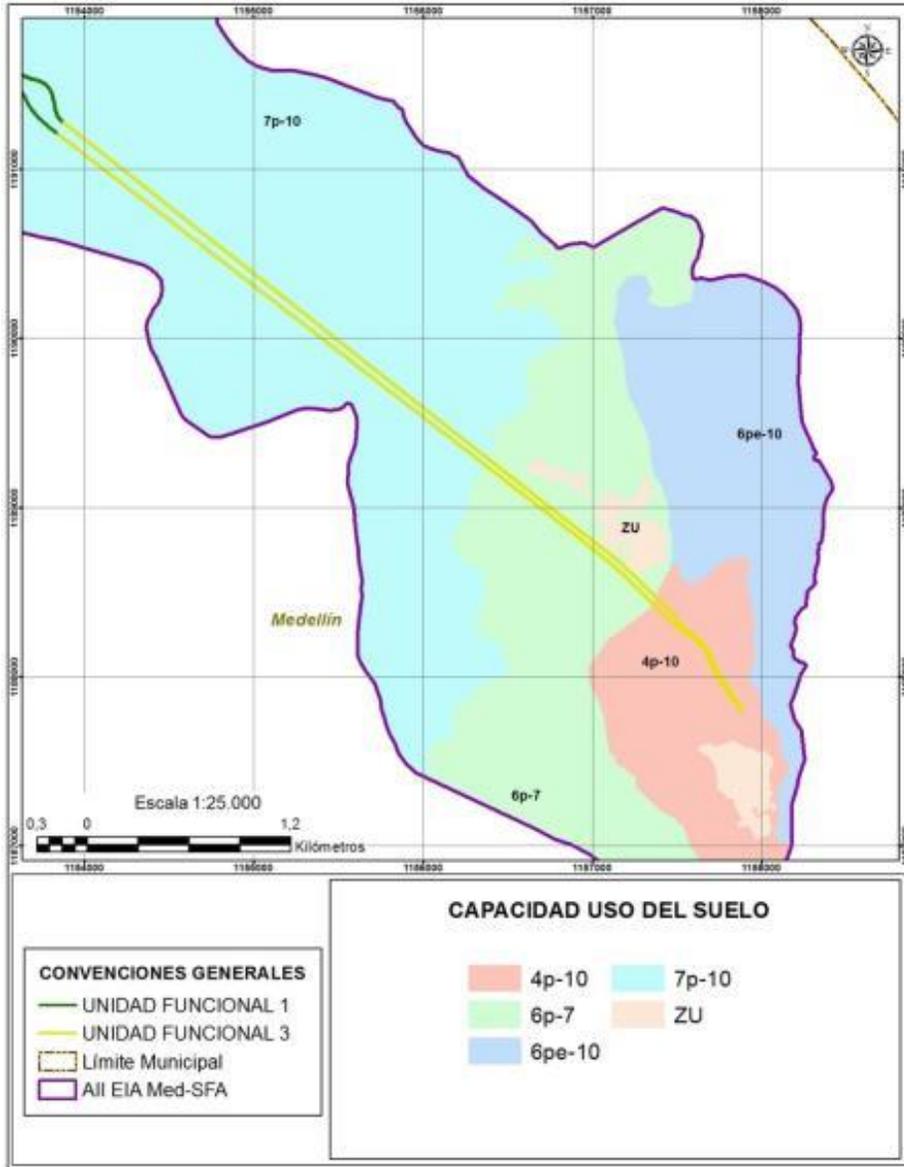
Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p align="center">CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

5.1.4.8 **Análisis de vulnerabilidad del recurso suelo en los Túneles**

Para el análisis de la vulnerabilidad del recurso suelo en la unidad funcional 3, que es a la cual, según el proyecto, pertenece la construcción del túnel que va en paralelo al actual túnel de occidente, se tuvieron en cuenta las clases agrológicas propias de las unidades cartográficas de suelo presentes en el área. Dichas clases agrológicas agrupan los suelos que presentan un grado similar de limitaciones en general y de riesgos, siendo esto la pauta para determinar su vulnerabilidad. De las unidades cartográficas de suelo por las que atraviesa el diseño del túnel se identificaron 3 clases agrológicas (Figura 5-75) que se describen a continuación:

Figura 5-75 Clases agrológicas en la UF 3



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Clase 7p-10: Esta clase presenta las características de mayor vulnerabilidad para la unidad funcional 3. Son suelos que presentan pedregosidad superficial media a alta (50-90%), profundidades menores a 25 cm, saturación de aluminio mayor al 90%. Estos factores hacen que sean suelos inhabilitados para la actividad agrícola, pero si aptos para la actividad forestal de protección. Tienen grandes riesgos de remoción debido a que presenta altas pendientes y poco drenaje (Fotografía 5-121) (IGAC y CORPOICA, 2002) (IGAC, 2007).

Fotografía 5-121 Suelos de la Clase 7p-10



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Clase 6p-7: Esta clase presenta limitaciones por pendientes ligeramente escarpadas, lo cual la hace susceptible a fuertes procesos de erosión y movimientos en masa, son suelos que se pueden usar en agricultura con un manejo especial, debido a que presentan una fuerte acidez, alta saturación de aluminio y fertilidad baja (IGAC, 2007). Son suelos que presentan mayor estabilidad que la clase 7p-10, pero que sin embargo presentan alta degradación debido a las pendientes que presenta (Fotografía 5-122).

Fotografía 5-122 Suelos de la Clase 6p-7



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Clase 4p-10: Es la clase menos vulnerable de las presentes en la ubicación espacial del diseño del túnel, debido a que presenta pendientes moderadamente inclinadas y sufre procesos de erosión ligeros, ya que debido a su baja fertilidad presenta dificultad para el establecimiento de vegetación natural. También presenta ocasionalmente movimientos en masa (Fotografía 5-123) (IGAC, 2007).

Fotografía 5-123 Suelos de la Clase 4p-10



Fuente: (Consultoria Colombiana S. A, 2016)

Es importante mencionar que las actividades del túnel no implican alteraciones directas sobre el suelo, dado que la intervención se realizará en el subsuelo, en donde de acuerdo al material parental de la zona y las dinámicas geológicas se encuentran rocas metamórficas, principalmente esquistos, granitos, cuarzodioritas y granodiaritas.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.5 Hidrología

La variada orografía de los corredores de los trazados viales, constituye el escenario de una gran red hídrica, cuya abundancia se sustenta en la existencia de gran vegetación, conformada por recursos lóticos especialmente; donde se presenta una topografía, montañosa con colinas (cordillera central) y zonas de valles y planicies (valle del río Cauca). La red de drenajes de dicha área pertenece al área hidrográfica Magdalena - Cauca, Zonas hidrográficas Cauca y Nechí, subzonas Directos Río Cauca (MD) y río Porce, las cuales se describen de manera general en el presente documento.

5.1.5.1 Introducción

De manera general cabe anotar que la hidrología se encarga de estudiar la dinámica del agua, su circulación y distribución en un área específica, así como su interacción con el medio ambiente. Dicha área está compuesta por cuencas, las cuales se pueden definir como unidades territoriales delimitadas por los filos de las montañas, por donde escurren naturalmente las aguas lluvias (escorrentía) y manantiales que afloran de las aguas subterráneas, para drenar a los arroyos, quebradas, ríos, entregar caudales a cauces más grandes, lagos o al mar, conformando un sistema interconectado⁶⁵.

Estas unidades territoriales o cuencas hidrográficas se han constituido como unidades de planificación en el país, teniendo como finalidad mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de los recursos y la conservación de su estructura físico biótica, particularmente del recurso hídrico⁶⁶; estas unidades territoriales generan bienes y servicios ambientales que son demandados principalmente para poblaciones localizadas en el área de estudio. En lo anterior radica la importancia de definir las cuencas que se superponen con el área de influencia, así como los procesos biofísicos y antrópicos que tienen lugar, de tal manera que el desarrollo de éste, se realice bajo los principios de sostenibilidad ambiental, con el objetivo de no interferir en procesos de captación, regulación y descarga de agua y garantizar la cantidad, calidad y disponibilidad de agua, para los habitantes de las cuencas.

Relacionado con lo anterior, en los numerales siguientes se presenta información de las cuencas presentes en el área de influencia, así como las características de los sistemas lénticos y lóticos, los caudales característicos de los principales cuerpos de agua, red de drenaje y demás aspectos que permiten caracterizar las condiciones hidrológicas del área de influencia, dando cumplimiento a lo establecido en los Términos de Referencia para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental – EIA – en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles, establecidos por el MADS mediante Resolución 751 de marzo de 2015. Cabe resaltar que, de acuerdo a estos términos de referencia, se divide el contenido

⁶⁵ IDEAM, 2010

⁶⁶ Presidencia de la República de Colombia. (06/08/2002). Decreto 1729 de 2002. DO: 44.893

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.5.2 Alcance de los estudios

El alcance técnico del análisis hidrológico, teniendo en cuenta la información y disponible y el cronograma de tiempo programado para la realización de los mismos incluye:

- Revisión de la documentación disponible.
- Complementación de la información hidrológica y cartográfica.
- Realización de visitas técnicas de inspección de reconocimiento y detallada en campo a cada uno de los sitios de posible intervención (cauces), con el fin de definir y establecer aspectos técnicos tales como: condiciones de los sitios, estimación de los parámetros de cobertura vegetal, evaluación de la incidencia de las estructuras de control hidráulico cercanas al sitio de emplazamiento, establecer los coeficientes de rugosidad del lecho y orillas de los cauces.
- Análisis hidrológico para determinar los caudales medios, máximos y mínimos esperados para determinados períodos de retorno, en las subcuencas hidrográficas aferentes a los sitios previstos para las estructuras de control proyectadas.

Caracterización del área de influencia

5.1.5.3 Fuentes de información

Los objetivos que cumplen los estudios hidrológicos en proyectos que impactan los recursos hidráulicos de una cuenca son los mismos en un desarrollo pequeño que en uno de tamaño considerable. En ambos casos se debe utilizar al máximo la información disponible y aplicar las técnicas más apropiadas para obtener los mejores resultados posibles.

Por regla general muchos proyectos relacionados con recursos hídricos están localizados en zonas donde el cubrimiento de la red hidrometeorológica es deficiente, o donde la cartografía no existe a la escala adecuada. Por esta razón, los proyectos que se desarrollan en esas zonas están casi siempre asociados con el problema de la información escasa.

En cuanto a la información importante que se requiere para iniciar el estudio hidrológico se consultó en las entidades oficiales y particulares que tienen relación con la zona de influencia del proyecto. Así se obtiene información referente a cartografía y aerofotogrametría, hidrometeorología, uso de la tierra, monografías y estudios regionales.

Dentro de los insumos para determinar los patrones de drenaje a nivel regional, se empleó la siguiente información:

- ✓ Cartografía

La información cartográfica para los análisis de hidrología empleó información en escala

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

1:25.000 y 1:10.000 (Túnel) y específicamente la que se lista a continuación:

- Carta Topográfica Nacional - Escala 1: 25.000 Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC
 - Información hidrológica con base en los planes de ordenamiento territorial de los municipios del Corredor.
- ✓ Información de fuentes oficiales

Como fuente de información se identificaron y consultaron las siguientes entidades:

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC),
- Corporación Autónoma Regional de Antioquia (CORANTIOQUIA)
- Gobernación de Antioquia,
- Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Medellín,
- Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de San Jerónimo,
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM),
- Empresas Públicas de Medellín (EPM).

- ✓ Información Hidrológica

A fin de realizar la descripción hidrológica del área de influencia, se utilizó información hidrométrica actualizada suministrada por el IDEAM y EPM y que, en su mayoría, cuentan con información para el periodo comprendido entre los años de 1971 a 2014. Los registros se encuentran relacionados en el Anexo E - Datos Caudales y Niveles, los registros de estaciones de corrientes principales de la zona de estudio se presentan en la Tabla 5-32 y su localización en la Figura 5-76.

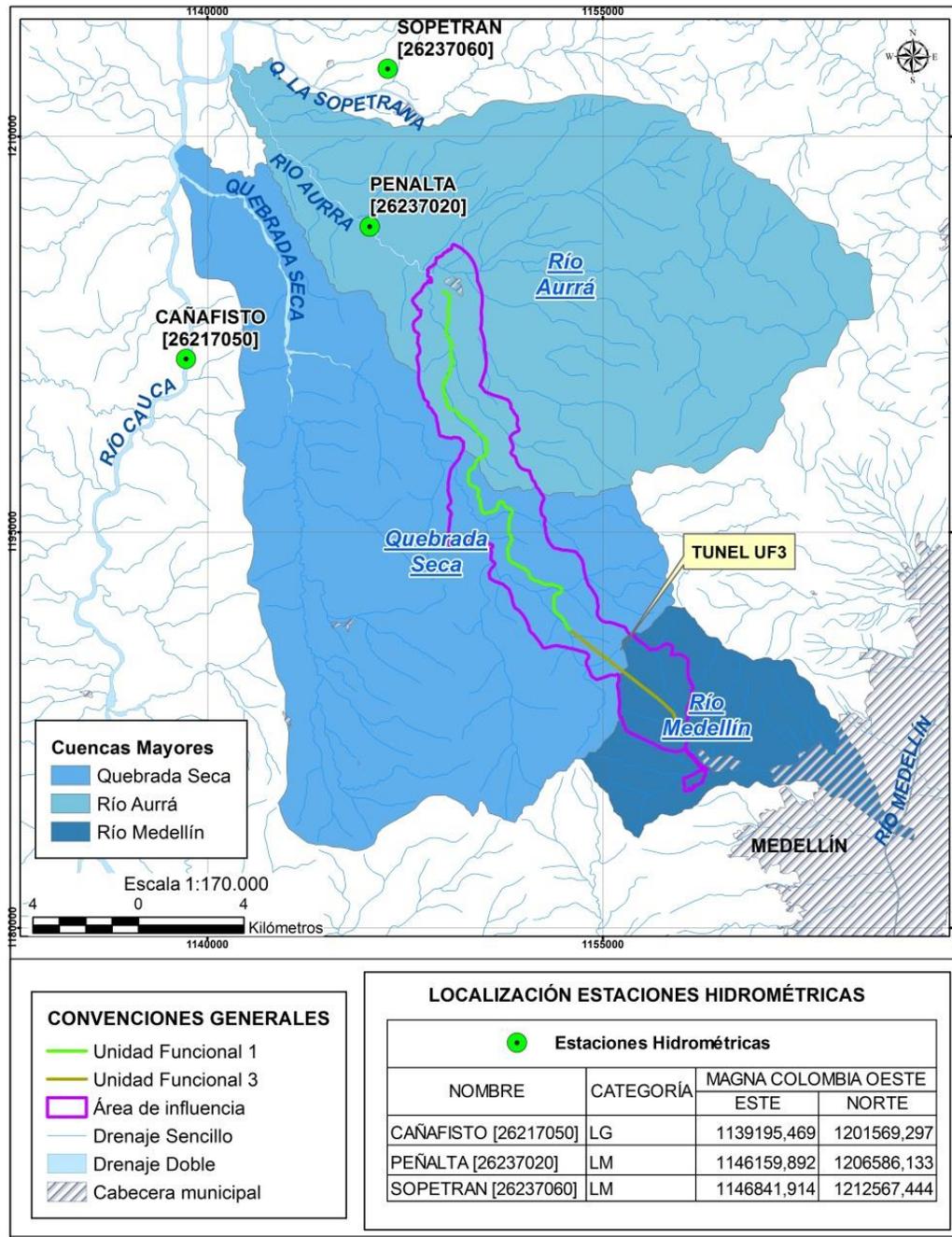
Tabla 5-32. Estaciones utilizadas en el análisis hidrológico

NOMBRE Y CÓDIGO	TIPO	ESTADO	ENTIDAD	DEPTO	MUNICIPIO	CORRIENTE	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		ALTIT.	FECHA		PERÍODO ANALIZADO
							N	W		INSTALAC.	SUSPENS.	
PENALTA [26237020]	LM	ACT	IDEAM	ANTIOQUIA	SAN JERÓNIMO	AURRA	6°27'45,4"	75°45'22,7"	480	1971-04-15	-	1971 – 2014
SOPETRAN [26237060]	LM	SUS	IDEAM	ANTIOQUIA	SOPETRÁN	QDA LA SOPETRANA	6°31'0"	75°45'0"	680	1980-03-15	1996-04-15	1980 – 1996
CAÑAFISTO [26217050]	LG	ACT	IDEAM	ANTIOQUIA	SANTA FE DE ANTIOQUIA	CAUCA	6°25'4,7"	75°49'9,3"	2100	1978-11-15	-	1979 – 2010

LM = Limnométrica. LM=Limnográfica

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-76. Localización estaciones hidrométricas - zona de estudio.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Debido a la poca información hidrométrica disponible de las corrientes del corredor vial, se debe recurrir a métodos indirectos de lluvia escorrentía, por lo que es necesario contar con información de estaciones climatológicas de la zona, las cuales se muestran en la Tabla 5-33 y Figura 5-77.

Tabla 5-33 Relación de las estaciones utilizadas en el análisis climatológico para estimación de caudales

Código	Nombre	Corriente	Municipio	Cat.	Est.	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Este	Norte
26215020	Cañafisto	Cauca	Santafé de Antioquia	CO	S	500	1139493,82	1201487,07
26205080	La Aldea	La Frisola	Medellín	ME	A	1638	1152330,70	1193149,84
27011120	La Iguana	Quebrada La Iguana	Medellín	PG	A	2300	1157134,10	1190427,97
26230180	Llanos de San Juan	Quebrada La Muñoz	San Jerónimo	PM	A	1600	1150436,43	1202658,11

Categoría (Cat):

PM= Pluviométrica
 CO= Climatológica Ordinaria
 ME= Meteorológica

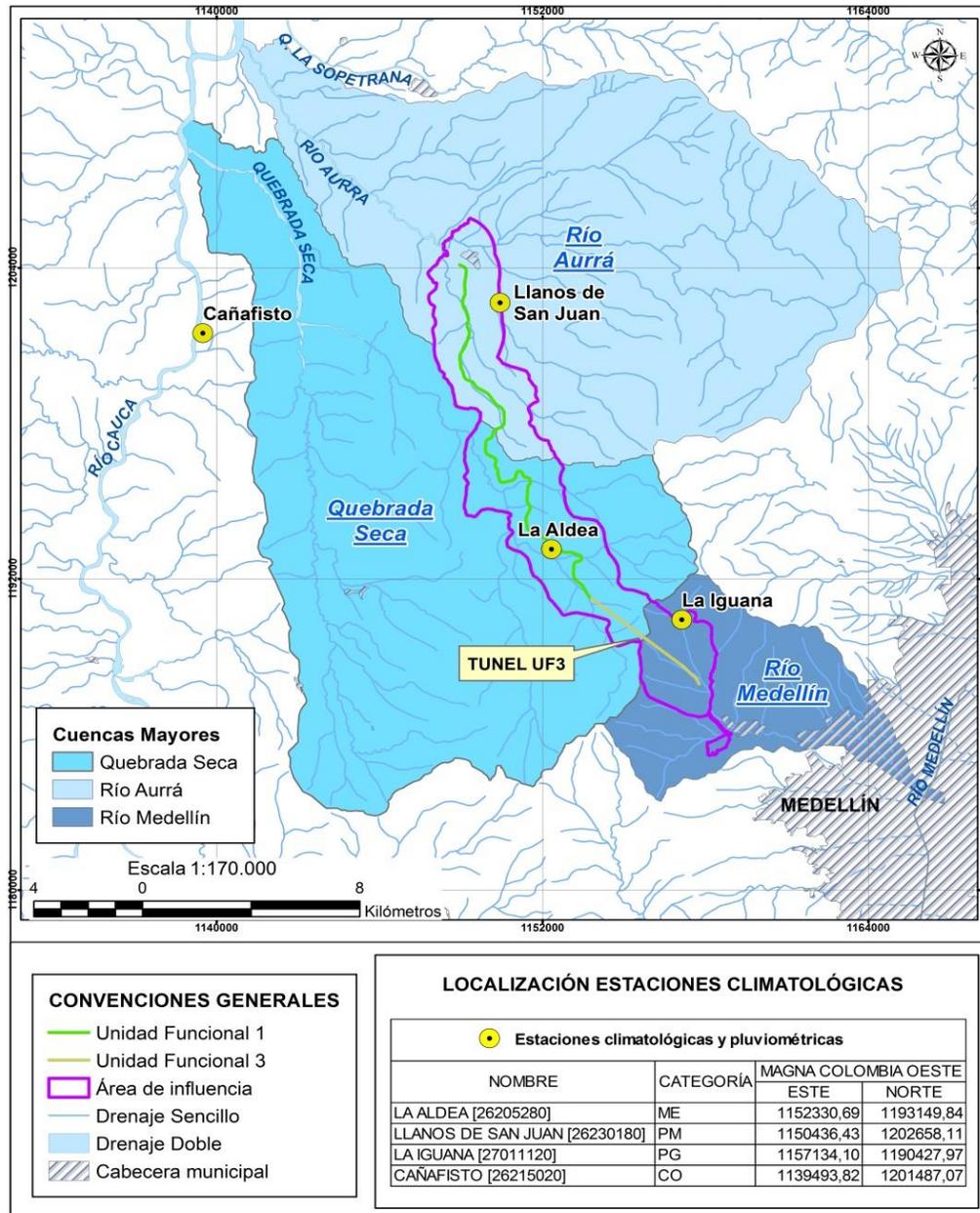
PG= Pluviográfica
 SP= Sinóptica Principal
 CP= Climatológica Principal

Estado (Est):

A= Activa
 S=Suspendida con registros iguales o superiores a 15 años.

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-77. Localización estaciones climatológicas - zona de estudio.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.5.4 Área de Influencia

A continuación se presenta la descripción de los cuerpos de agua que se encuentran en la el área del proyecto construcción de la segunda calzada entre el Tunnel de Occidente y San Jeronimo UF 3-1, autopista al Mar1.

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

5.1.5.4.1 Sistemas lénticos y lóticos identificados

A continuación se presentan los cuerpos de agua correspondientes a sistemas lóticos y lenticos del proyecto Autopista al Mar, construcción de la segunda calzada entre el túnel de occidente y San Jerónimo, UF 3-1.

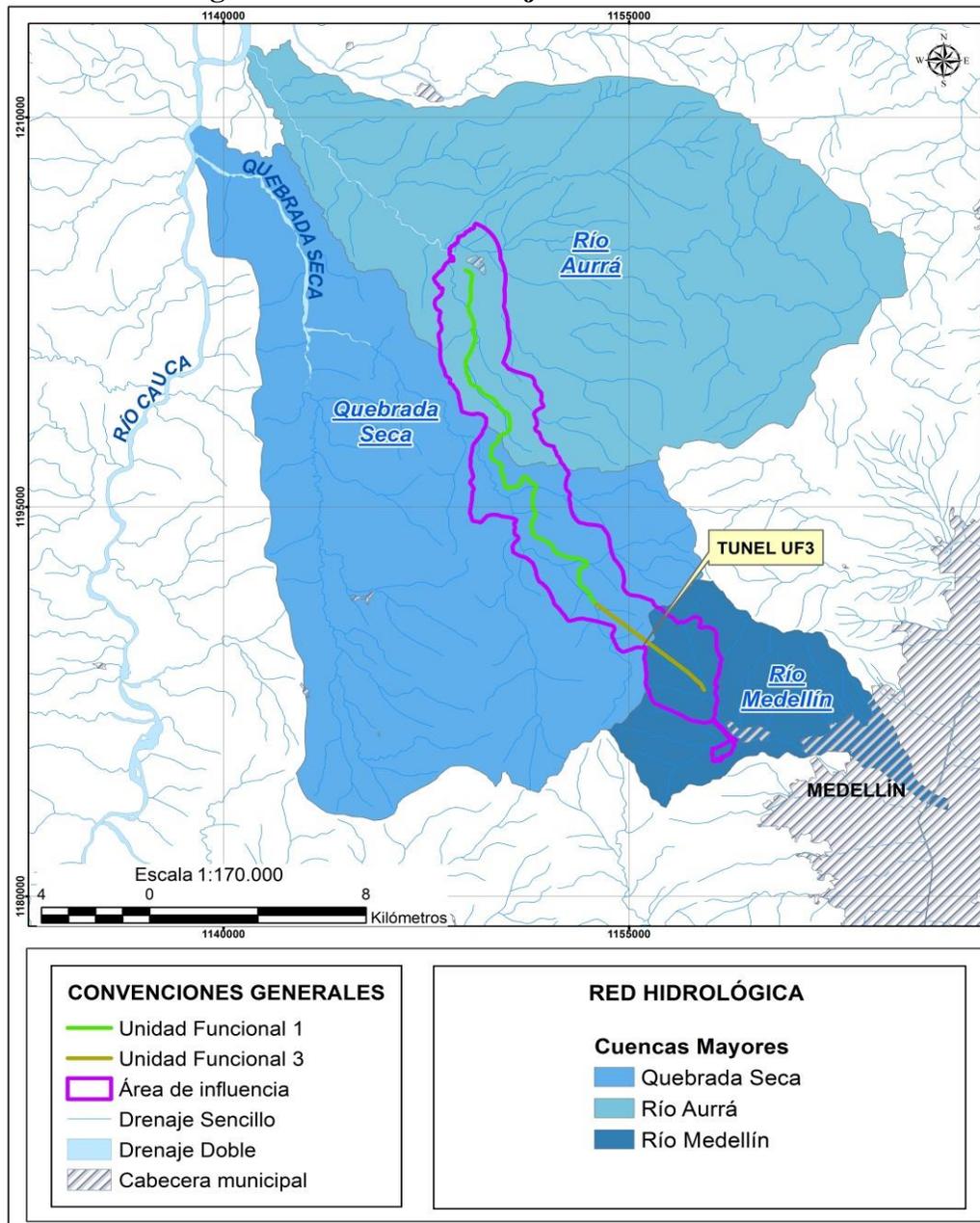
5.1.5.4.1.1 Sistemas Lóticos

La identificación de la red hidrográfica del área del proyecto, se realizó a partir de la cartografía IGAC escala 1:25000 y 1:100.000, encontrándose que está constituida esencialmente por una red de drenajes de tipo lótico, que de acuerdo con la clasificación de Horton corresponde a corrientes de orden 1 a 4.

El área de estudio se encuentra, según la clasificación de cuencas de IDEAM, dentro del área hidrográfica hidrográfica Magdalena - Cauca, específicamente en las zonas hidrográficas de Afluentes directos al río Cauca (margen derecha) y Río Nechí - Río Porce (esta información se amplía en el numeral 5.1.5.4.2)

El área hidrográfica Magdalena – Cauca abarca una superficie aproximada de 257,440 km², 23% de la superficie total del país, contiene 722 municipios, se asienta más del 80% de la población y de las actividades productivas del país. Vierte sus aguas en el mar Caribe después de recorrer 1540 Km, con un caudal medido de 7,100 m³/s a la altura de Calamar, antes de la bifurcación con el Canal del Dique.

Figura 5-78. Red de drenaje en el área de estudio



Fuente: IGAC, Consultoría Colombiana S.A., 2016.

➤ **Identificación de corrientes que interceptan el proyecto**

En la Tabla 5-34 se hace un resumen de los cuerpos de agua loticos identificados en la zona de influencia del proyecto vial. Dentro de éstos se han incluido tanto los de tipo estacional como perenne y en general se trata de cuencas con pendientes medias, de forma ovalada alargada, lo cual indica que son menos susceptibles a presentar crecientes.

Tabla 5-34 Cuerpos Loticos identificados en el proyecto vial UF 3 y 1

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profundidad (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
147	Medellín	La Volcana-Guayabal	Q. La Volcana	6	2	1192753,47	1153569,72	Flujo tranquilo, con presencia media de vegetación arbustiva, lecho con presencia de material grueso	Ondulada a Media	
146	Medellín	Cabecera Corregimental Palmitas	Q. La Cola	1	1	1192944,11	1153307,81	Cauce mojado, con baja presencia de vegetación tipo arbustiva, lecho con presencia de material grueso	Ondulada a Media	
145	Medellín	La Aldea	Q. La Nuez	2	1	1192991,92	1153176,03	Seca, con presencia de cultivo de plátano en la ronda y pastizales	Ondulada a Media	
144	Medellín	La Aldea	Q. La Causala	3	1	1193148,46	1152575,43	Flujo turbulento, con presencia media de vegetación arbustiva, lecho con presencia de material grueso	Escarpada o fuerte	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profundidad (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
143	Medellín	La Sucia	Q. La Potrera	7	1	1194802,53	1151573,56	Flujo turbulento, con presencia media de vegetación arbórea, lecho con presencia de material grueso	Ondulada a Media	
164	Medellín	La Sucia	Drenaje NN 164	1	0,5	1195107,55	1151428,37	Seco, con presencia media de vegetación tipo arbustiva	Ondulada a Media	
142	Medellín	Urquita	Q. La Miserenga	10	1,5	1195669,15	1151837,46	Flujo turbulento, con presencia media de vegetación arbórea, lecho con presencia de material grueso	Ondulada a Media	
141	Medellín	Urquita	Drenaje NN 02 – La Mica	2	0,5	1196113,37	1151256,94	Flujo turbulento, con baja presencia de vegetación herbácea, lecho con presencia de material grueso	Escarpada o fuerte	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profu nda (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
138	Medellín	Urquita	Q. Saltos y Pisquines	1	1	1196208,68	1151182,01	Flujo turbulento, con presencia media de vegetación arbustiva, lecho con presencia de material grueso	Escarpada o fuerte	
137	Medellín	Urquita	Q. San Gregorio	3	1	1196003,54	1151001,068	Seca, con presencia media de vegetación de tipo arbustiva, lecho con presencia de material fino	Ondulada a Media	
136	Medellín	Urquita	Q. La Iris – Q. San Gregorio)	2	0,5	1195926,78	1150984,28	Seca, con alta presencia de vegetación de tipo arbustiva, lecho con presencia de material fino	Ondulada a Media	
135	San Jerónimo	Mestizal	Q. La Roncha	-	-	1195844,18	1150416,62	Alta presencia de vegetación arbórea. No fue posible el acceso al cauce por densidad de vegetación y condiciones de pendiente	Ondulada a Media	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profu nda (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
134	San Jerónimo	Mestizal	Q. La Mula	3	2	1195999,20	1150373,70	Seca, con presencia media de vegetación de tipo arbórea, lecho con presencia de material mediano	Ondulada a Media	
133	San Jerónimo	Mestizal	Q. La Rochela	4	2	1196290,48	1150339,31	Seca, con baja presencia de vegetación de tipo arbustiva, lecho con presencia de material mediano	Ondulada a Media	
132	San Jerónimo	Mestizal	Quebrada La Seca	3	1	1196730,45	1150210,29	Seca, con baja presencia de vegetación arbustiva, lecho con presencia de material grueso	Ondulada a Media	
165	San Jerónimo	Mestizal	Drenaje NN 165	1	0,5	1196570,72	1150285,218	Seca, con presencia de vegetación de tipo arbustiva, lecho con presencia de material mediano	Ondulada a Media	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profu nda (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
166	San Jerónimo	Mestizal	Drenaje NN 166	-	-	1196118,999	1150351,398	Seca, con presencia de vegetación de tipo arbustiva. No fue posible acceso al cauce	Ondulada a Media	
66	San Jerónimo	Pesquinal	Q. La Yola	-	-	1196912,88	1149940,92	Alta presencia de vegetación arbórea. No fue posible el acceso al cauce por densidad de vegetación y condiciones de pendiente	Escarpado o Fuerte	
65	San Jerónimo	Pesquinal	Q. Mestizal	-	-	1197083,95	1149931,73	Alta presencia de vegetación arbórea. No fue posible el acceso al cauce por densidad de vegetación y condiciones de pendiente	Escarpado o Fuerte	
64	San Jerónimo	Pesquinal	Q. La Madera	6	1	1197193,48	1149947,31	Seca con presencia media de vegetación herbácea y pastizales, lecho con presencia de material grueso	Ondulada a Media	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profunda (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
V3	Medellín	La Frisola	Quebrada La Valencia	6	0.5	1191006,601	1154070,356	Flujo tranquilo de color transparente cuenta con sustrato rocoso cubierto de abundante hojarasca	Ondulada a media	
32	Medellín	La Frisola	Drenaje NN 32	0.3	0.05	1190726,796	1154461,868	Flujo tranquilo de color transparente, con sustrato rocoso arenoso.	Ondulada a media	
28	Medellín	La Frisola	Drenaje NN28	1	0.02	1190374,17	1155424,821	Flujo tranquilo con presencia de vegetación arbórea y arbustiva	Ondulada a media	
27	Medellín	La Frisola	Drenaje 27	0.8	0.3	1190044,34	1155038,937	Flujo tranquilo con presencia de vegetación de tipo arbórea menor a 5 metros, lecho arenoso.	Escarpado o fuerte	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profu nda (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
26	Medellín	La Frisola	Drenaje 26	0.50	0.05	1189852,244	1155592,253	Flujo transparente, con sustrato rocoso arcilloso	Escarpado o fuerte	
29	Medellín	La Frisola	Drenaje 29	-	-	1190207,45	1155133,19	Punto en el cual las condiciones de pendiente impidieron el acceso	-	
30	Medellín	La Frisola	Drenaje 30	-	-	1190244,19	1155083,90	Punto en el cual la topografía y la pendiente impidieron el acceso	Escarpada o fuerte	
31	Medellín	La Frisola	Drenaje 31	-	-	1190336,07	1154969,90	Punto en el cual la topografía y la pendiente impidieron el acceso	Escarpada o fuerte	
33	Medellín	La Frisola	Drenaje 33	-	-	1190973,01	1154147,31	Punto en el cual la topografía y la pendiente impidieron el acceso	Escarpada o fuerte	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profundada (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
63	San Jerónimo	Mestizal	Quebrada NN 02 – La Cola	1	0,5	1197426,39	1150115,51	Flujo tranquilo con presencia media de vegetación arbustiva, lecho con presencia de material grueso	Escarpada o fuerte	
134	San Jerónimo	Mestizal	Drenaje NN 112	-	-	1.197.431,92	1.150.045,53	Cuerpo de agua en zona de alta pendiente con dificultades de acceso hasta el cauce, se evidencia vegetación de tipo arbustiva densa.	Ondulada a media	
62	San Jerónimo	Piedra Negra	Q. La San Juan	3	0,5	1197810,25	1150447,89	Flujo tranquilo, con abundante presencia de vegetación arbustiva	Escarpada o Fuerte	
61	San Jerónimo	Piedra Negra	Drenaje NN 03	1,5	1,5	1198106,67	1150603,93	Seca con abundante presencia de vegetación arbustiva	Ondulada a Media	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profu nda (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
60	San Jerónimo	Piedra Negra	Q. La Murrapala	3	1	1198449,40	1150564,67	Flujo tranquilo con alta presencia de vegetación arbustiva, lecho con presencia de material mediano	Plana o suave	
59	San Jerónimo	Llano San Juan	Drenaje NN 04	2	2	1199009,14	1150084,36	Cauce mojado sin flujo de agua, con presencia baja de herbáceas y pastizales, cauce cubierto en concreto.	Ondulada a Media	
58	San Jerónimo	Llano San Juan	Drenaje NN 05	1	0,5	1199586,09	1149491,79	Flujo tranquilo con presencia media de vegetación herbácea, lecho con presencia de material mediano, actualmente se adelanta construcción sobre el cauce (local)	Plana o Suave	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profundidad (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
217	San Jerónimo	Llano San Juan	Drenaje NN 115	0.5	0.4	1.198.758,27	1.150.165,01	Flujo tranquilo con presencia de vegetación de tipo arbustiva con baja densidad, cauce con presencia de peces	Plana o suave	
214	San Jerónimo	Llano San Juan	Drenaje NN 116	0.3	0.5	1.198.729,47	1.150.342,82	Cauce mojado con mínimo flujo de agua, presencia de vegetación arbustiva y pastizales	Ondulada a media	
57	San Jerónimo	Llano San Juan	Q. La San Juan	5	1	1199612,80	1149377,54	Flujo tranquilo con presencia media de vegetación arbórea, lecho con presencia de material mediano	Plana o Suave	
56	San Jerónimo	Berial	Drenaje NN 06	2	1	1199730,17	1149192,44	Seca con baja presencia de vegetación de tipo arbustiva, lecho con presencia de material fino.	Plana o Suave	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profundidad (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
54	San Jerónimo	Berial	Cañada Honda	2	2	1200398,48	1148957,51	Seca, con baja presencia de vegetación arbórea, cauce recubierto en concreto con infraestructura construida sobre el cauce (parte de vivienda)	Ondulada a Media	
53	San Jerónimo	Berial	Drenaje NN 07	3	2	1200657,88	1148965,19	Seca, con presencia media de herbáceas y pastizales, cauce cubierto en concreto	Ondulada a Media	
52	San Jerónimo	Berial	Caño El Garabato	5	3	1201643,68	1149277,66	Cauce mojado sin flujo de agua, con presencia media de herbáceas y pastizales, cauce cubierto en concreto.	Escarpada o fuerte	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profundidad (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
51	San Jerónimo	Berial	Q. Guaracu 1	10	2	1202660,78	1149017,28	Flujo tranquilo, con presencia de vegetación arbustiva con densidad media, lecho con presencia de material grueso	Plana o Suave	
212	San Jerónimo	Pantanillo	Drenaje NN 118	1.5	0.05	1.202.580,82	1.149.620,21	Cauce recubierto en concreto, con poco flujo de agua y poca vegetación	Plana o suave	
126	San Jerónimo	Piedra Negra	Drenaje NN 119	1.5	0.5	1.198.431,61	1.150.548,13	Flujo tranquilo con presencia de vegetación de tipo arbórea con individuos mayores a 5 metros, con densidad media.	Ondulada a media	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Fuente hídrica	Ancho (m)	Profu nda (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Registro Fotográfico
						Norte (Y)	Este (X)			
222	San Jerónimo	Piedra Negra	Drenaje NN 120	0.1	0.1	1.198.293,01	1.150.456,64	Flujo tranquilo con presencia de vegetación arbustiva con densidad media	Plana o suave	

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.5.4.1.2 Sistemas Lenticos

Corresponden a todas las aguas interiores que no presentan corrientes continuas, sin flujos, tales como *humedales*, que corresponden a ecosistemas intermedios con ambientes permanentemente inundados y de ambiente normalmente secos; *lagunas*, las cuales representan geformas de especial importancia desde el punto de vista ecológico de la región.

Dentro del área de influencia, Unidad Funcional 3 y 1; no se identificaron cuerpos de agua lenticos.

5.1.5.4.2 Cuencas Hidrográficas, de acuerdo a la clasificación IDEAM

Según la clasificación de cuencas establecida por el IDEAM y ratificada por el Decreto 1640 de agosto de 2012 por el cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, el área de estudio se encuentra dentro de la denominada área hidrográfica 2. Magdalena - Cauca, en las Zonas Hidrográficas 26. Cauca y 27. Nechí. La clasificación de cuencas mayores se detalla en la Tabla 5-35 y se muestra en la Figura 5-78 (numeral anterior).

El área hidrográfica Magdalena – Cauca abarca una superficie aproximada de 257,440 km², 23% de la superficie total del país. La cuenca del río Cauca tiene un área aproximada de 63,300 Km² y el cauce principal 1350 km de longitud.

Tabla 5-35 Cuencas hidrográficas en la zona de estudio

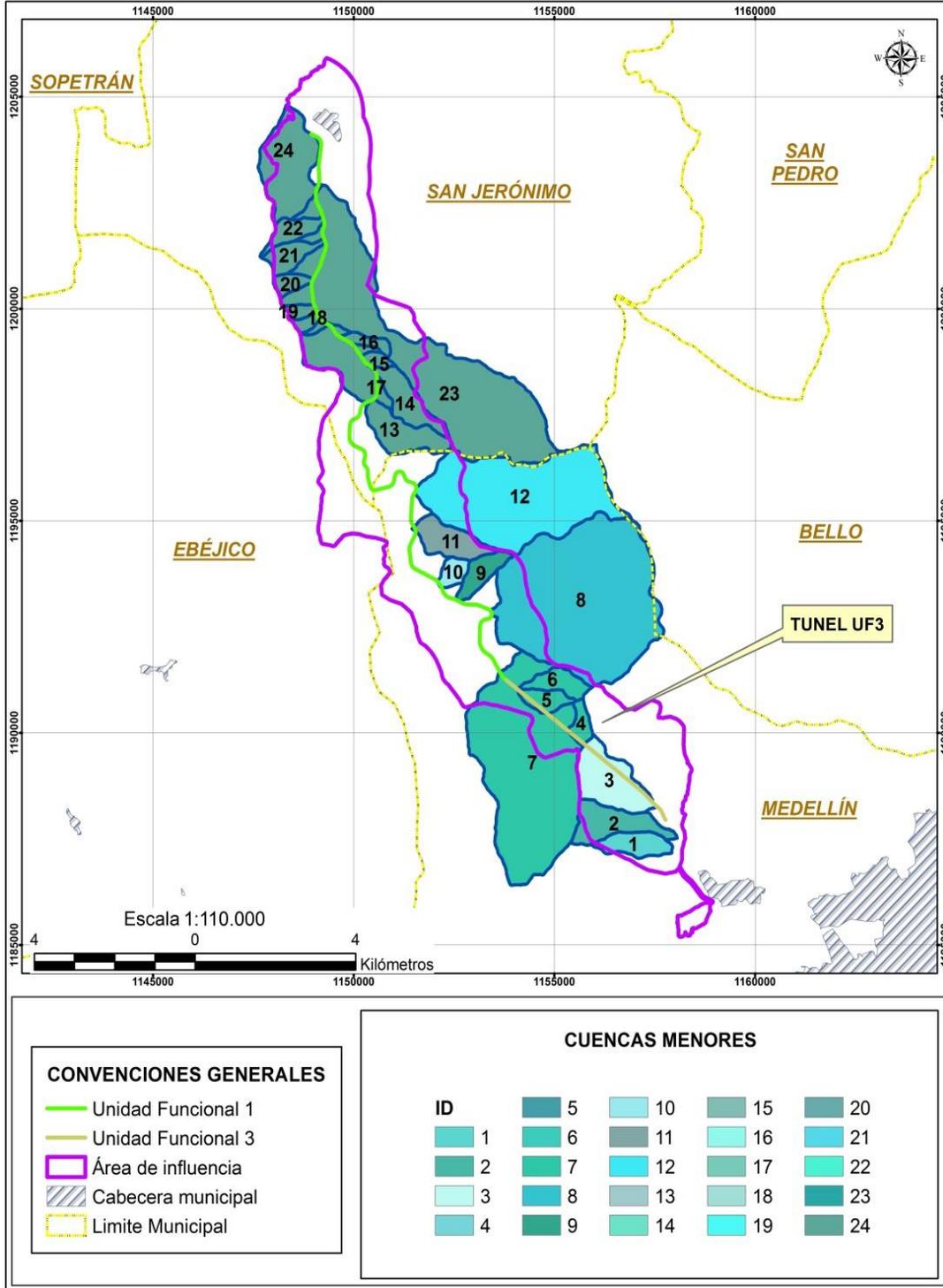
AH		ZH		SZH		CUENCA	SUBCUENCA
CÓDIGO IDEAM/ANLA	AREA HIDROGRÁFICA	CÓDIGO IDEAM/ANLA	ZONA HIDROGRÁFICA	CÓDIGO IDEAM/ANLA	SUBZONA HIDROGRÁFICA		
2	MAGDALENA CAUCA	27	NECHÍ	2701	Río Porce	Río Medellín	Quebrada La Iguaná
		26	CAUCA	2620	Directos Río Cauca (MD)	Quebrada Seca	Río Aurrá

Fuente: IGAC, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

➤ Clasificación de corrientes que interceptan el proyecto

En la Tabla 5-36 se muestra la clasificación de cuencas según el IDEAM de las principales corrientes que cruzan el proyecto, llegando a nivel de jerarquía 7 (Ver Figura 5-79)

Figura 5-79. Localización cuencas menores en sitios de cruce de la zona de estudio



Fuente: IGAC, planchas topográficas. Escala 1:25.000; Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Tabla 5-36 Cuencas menores zona de estudio

AH		ZH		SZH		CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA	ORDEN 7	ID				
CODIGO IDEAM/	AREA HIDROGRAFICA	CODIGO IDEAM	ZONA HIDROGRAFICA	CODIGO IDEAM	SUBZONA HIDROGRAFICA									
2	MAGDALENA CAUCA	27	NECHÍ	2701	Río Porce	Río Medellín	Quebrada La Iguaná	Quebrada El Uvito		1				
								Quebrada La Tenche		2				
								Quebrada La Culebra		3				
		26	CAUCA	2620	Directos Río Cauca (MD)	Quebrada Seca	Quebrada La Sucia	Quebrada La Frisola	Quebrada La Frisola		4			
									Quebrada La Frisola2		5			
									Quebrada La Valencia		6			
									Quebrada La Frisola3		7			
									Quebrada La Volcana		8			
									Quebrada La Cáusala		9			
									Quebrada La Fonda		10			
									Quebrada La Potrera		11			
									Quebrada Miserenga		12			
									Río Aurrá	Quebrada Guaracú	Quebrada San Juana	Quebrada San Juana		13
												Sin nombre 1(MD)		14
		Sin nombre 2 (MD)		15										
		Sin nombre 3 (MD)		16										
		Quebrada San Juana 2		17										
		Sin nombre 4 (MI)		18										
		Sin nombre 5 (MI)		19										
		Sin nombre 6 (MI)		20										
		Cañada El Aguacate		21										
		Sin nombre (MI)		22										
		Quebrada Guaracú		23										
		Quebrada Guaracú 2		24										

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.5.4.3 Descripción y Localización de red hidrológica

A continuación se presenta la descripción general de las cuencas identificadas en el área de influencia, de acuerdo con la información registrada en los planes de ordenamiento y manejo de cuencas respectivos y en los planes y esquemas de ordenamiento territorial de los municipios del área de interés.

5.1.5.4.3.1 Área hidrográfica Magdalena-Cauca (2)

Es este el sistema fluvial de mayor importancia en Colombia, no sólo por su gran extensión, sino también y, especialmente, por la riqueza económica de las tierras que comprende. Su longitud total, desarrollada de sur a norte, entre las cordilleras Central y Oriental, es de 1,558 km, de los cuales son navegables 1,290 Km, interrumpidos en el salto de Honda.

El Magdalena es el río interandino de mayor extensión en Suramérica, arrojando al mar 8,000 m³/seg. Su cuenca tiene una extensión de 256,622 km², y recibe las aguas de cerca de 500 afluentes por ambas orillas, así como, más de 5000 arroyos y quebradas. Sirve de lazo de unión entre los diversos pueblos de los territorios que recorre, desde su nacimiento en la laguna de la Magdalena, en el páramo de las Papas (Macizo Colombiano) a 3685 m de altura, hasta su desembocadura, en las Bocas de Ceniza en el mar Caribe.

Por su parte, el río Cauca es el más importante entre los muchos afluentes del Magdalena, el Cauca nace también en el Macizo Colombiano, corre entre las cordilleras Central y Occidental y tributa sus aguas en el Magdalena, a la altura del departamento de Bolívar, después de regar una hoya hidrográfica cercana a los 63,300 km² de superficie, en la cual se destaca su parte media como una de las zonas más fértiles del país.

5.1.5.4.3.1.1 Zona hidrográfica Río Cauca (26)

El río Cauca, nace en el Macizo Colombiano, al sur del país, cerca al Páramo de Sotará, en la laguna del Buey, ubicada en el departamento del Cauca. Posee una dirección general sur – norte y tiene una longitud de 1350 km, de los cuales son navegables un poco más de 620 km y desemboca al Magdalena, en el departamento de Bolívar, constituyéndose en su principal afluente. Su caudal medio es de 2400 m³/s.

La cuenca del río Cauca, suele dividirse en tres sectores con características geomorfológicas diferentes: Cauca Superior, Cauca Medio y Bajo Cauca; la zona de interés del proyecto se localiza en el denominado Cauca Medio, el cual abarca desde la desembocadura del río Cañaveral hasta arriba de la confluencia con el río Nechí con un área aproximada de 21,300 km².

El río Cauca atraviesa el departamento de Antioquia de sur a norte por su parte central, conformando un estrecho valle al cual convergen afluentes de la vertiente oriental de la

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

cordillera occidental y de la vertiente occidental de la cordillera central. Sus tributarios principales con los ríos San Juan, Caramanta, Arma, Ituango, Tarazá, Man y Nechí. La cuenca del Cauca cubre un 46% del departamento, ocupando un área aproximada de 15810 km²; su recorrido en la mayor parte del territorio, se manifiesta como un cañón profundo con ligeros ensanchamientos en las regiones de La Pintada y Santa Fe de Antioquia, éstos se constituyen en los límites sur y norte de la Gran Región Metropolitana. El grado diferente de dureza de los materiales por donde atraviesa el río, ha dado lugar a que se presenten sectores más estrechos que otros; adicionalmente la velocidad de excavación de su valle ha sido mayor que la de sus tributarios, como se deduce de las grandes diferencias de nivel que deben salvar en sus cortos recorridos desde su nacimiento hasta su desembocadura.

Fotografía 5-124. Margen izquierda del río Cauca a la altura del municipio de Santa Fe de Antioquia



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Fotografía 5-125. Panorámica del río Cauca a la altura del municipio de Santa Fe de Antioquia



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

5.1.5.4.3.1.1.1 Subcuenca río Aurrá

La cuenca del río Aurrá se encuentra al noroccidente del departamento, en jurisdicción de los municipios de Bello, San Pedro de los Milagros, San Jerónimo, Sopetrán y Medellín.

El río Aurrá nace en lo alto de la cordillera de Ovejas, al suroeste del municipio de San Pedro de los Milagros, en límites con Bello, a una altura aproximada de 3.000 msnm; corre en la parte alta de suroeste a nordeste, casi paralelo a la vía San Pedro–Medellín, y luego continúa al occidente formando el límite de las veredas Llano de Ovejas, parte de La Cuchilla, La Empalizada y La Clarita con Pantanillo; después de recorrer buena parte del municipio de San Jerónimo, desemboca en el río Cauca, en jurisdicción de Sopetrán, a una altura de 450 msnm. El río Aurrá tiene una longitud total de aproximadamente 39.25 km, entre sus afluentes se encuentran corrientes como La Chuchita, La Grande, La Arracachala, La Clara, La Espada, La Muñoz, La Sucia, Los Cedros, San Juana y Tafetanes.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

En el municipio de San Jerónimo, cuya área pertenece en gran parte a la cuenca del río Aurrá, este río no es utilizado para abastecer los acueductos de la zona, ya que el río se encañona y está alejado de los centros poblados.

Fotografía 5-126. Panorámica del río Aurrá a la altura del municipio de Sopetrán



Fuente: Google earth, 2016

5.1.5.4.3.1.2 Zona hidrográfica Río Nechí (27)

La cuenca del río Nechí tiene un área aproximada de 14,450 Km² y representa el 5.3% de la superficie total de la cuenca del Río Grande de la Magdalena, la cuenca del río Nechí se ubica en su totalidad dentro del departamento de Antioquia. Esta cuenca conforma una red extensa de tributarios que descienden de la parte más septentrional de la cordillera central, fluyendo hacia el norte para verter sus aguas al río Cauca. Los tributarios más importantes son los ríos Anorí, Porce, Bagre y Pocune.

El río Nechí nace en jurisdicción del municipio de Yarumal, y sirve de límite entre diversos municipios de Antioquia, como Campamento, Angostura, Anorí, Yarumal, Valdivia, Tarazá, Cáceres, Zaragoza, El Bagre, Caucasia y Nechí.

En el río Nechí desembocan ríos como el Dolores-Pajarito, Tenche-Concepción, San José, Anorí, Tiguí, Amacerí y Cacerí; además del río Porce, que es su principal tributario, el cual nace de la confluencia del río Medellín con el río Grande que viene del norte antioqueño.

La cuenca del río Nechí hace parte de la red hidrográfica del proyecto dado que el proyecto intercepta la cuenca del río Porce, el cual es uno de los tributarios del río Nechí.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.5.4.3.1.2.1 Subzona hidrográfica Río Porce

La cuenca del río Nechí tiene un área aproximada de 14,450 Km² y representa el 5.3% de la superficie total de la cuenca del Río Grande de la Magdalena, la cuenca del río Nechí se ubica en su totalidad dentro del departamento de Antioquia. Esta cuenca conforma una red extensa de tributarios que descienden de la parte más septentrional de la cordillera central, fluyendo hacia el norte para verter sus aguas al río Cauca. Los tributarios más importantes son los ríos Anorí, Porce, Bagre y Pocune.

El río Nechí nace en jurisdicción del municipio de Yarumal, y sirve de límite entre diversos municipios de Antioquia, como Campamento, Angostura, Anorí, Yarumal, Valdivia, Tarazá, Cáceres, Zaragoza, El Bagre, Caucasia y Nechí.

En el río Nechí desembocan ríos como el Dolores-Pajarito, Tenche-Concepción, San José, Anorí, Tiguí, Amacerí y Cacerí; además del río Porce, que es su principal tributario, el cual nace de la confluencia del río Medellín con el río Grande que viene del norte antioqueño.

La cuenca del río Nechí hace parte de la red hidrográfica del proyecto dado que el proyecto intercepta la cuenca del río Porce, el cual es uno de los tributarios del río Nechí.

Fotografía 5-127. Río Aburrá/Medellín a la altura de la ciudad de Medellín



Fuente: Google earth, 2016

5.1.5.4.4 Patrones de Drenaje - Régimen Hidrológico - Caudales Característicos

La red hidrográfica en la zona de estudio presenta un patrón de drenaje dendrítico, con dominio de los sistemas lóticos como se puede observar en la Figura 5-79. Se destaca en la red hidrográfica, los sistemas quebrada Guaracú - río Aurrá, quebrada La Sucia – quebrada Seca, pertenecientes a la subzona hidrográfica Cauca y el sistema quebrada Iguaná – río Medellín, que hace parte de la subzona Nechí. En la zona de interés, los grandes aportes al sistema hídrico provienen de la precipitación y la escorrentía superficial, indicando que el caudal varía en función de los períodos lluviosos.

5.1.5.4.4.1 Caudales Maximos

Los caudales de un río son completamente aleatorios, dependen de ciertos factores tales como precipitación, geología, vegetación, topografía, temperatura, entre otros. Sin embargo los factores que tienen una mayor influencia son las precipitaciones y las condiciones geológicas.

Los valores de caudales máximos de una estación, así como los de precipitación siguen una distribución de probabilidades. En una serie de datos estadísticos de una estación hidrológica, es indispensable resumir esta multitud de cifras en elementos sintéticos que caractericen la estación desde el punto de vista considerado. Una serie de datos de precipitación o de caudales máximos puede ser ajustada a una distribución probabilística.

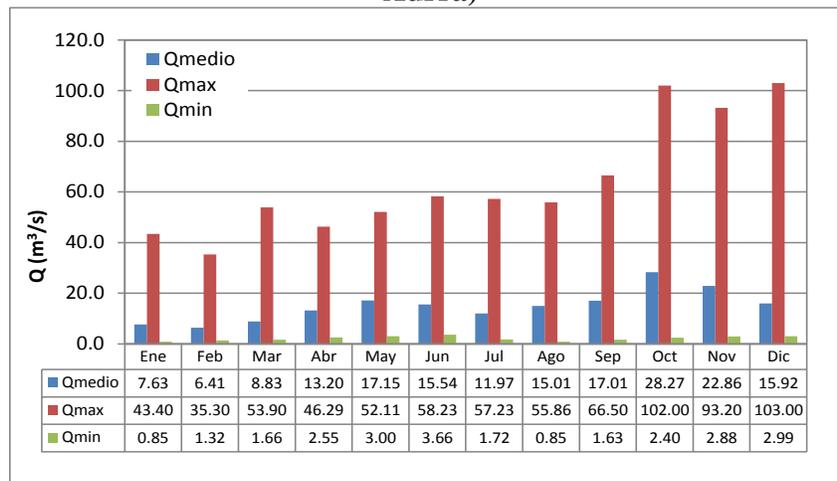
La información de caudales máximos anuales de cada estación fue procesada y ajustada mediante software a funciones probabilísticas.

A continuación se presenta, la información de cada estación hidrométrica, correspondiente a los valores máximos mensuales de caudales, reportados por el IDEAM o EPM.

5.1.5.4.4.1.1 Estación Penalta (Río Aurrá)

La Estación Penalta registra un caudal máximo medio anual de $14.98 \text{ m}^3/\text{s}$, en un registro de 32 años. La serie de máximos muestra un caudal mínimo de $0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ y máximo de $103 \text{ m}^3/\text{s}$. (Ver Figura 5-80).

Figura 5-80. Caudales máximos mensuales multianuales - Estación Penalta (Río Aurrá)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016.

5.1.5.4.4.1.1.1 Análisis de Frecuencia

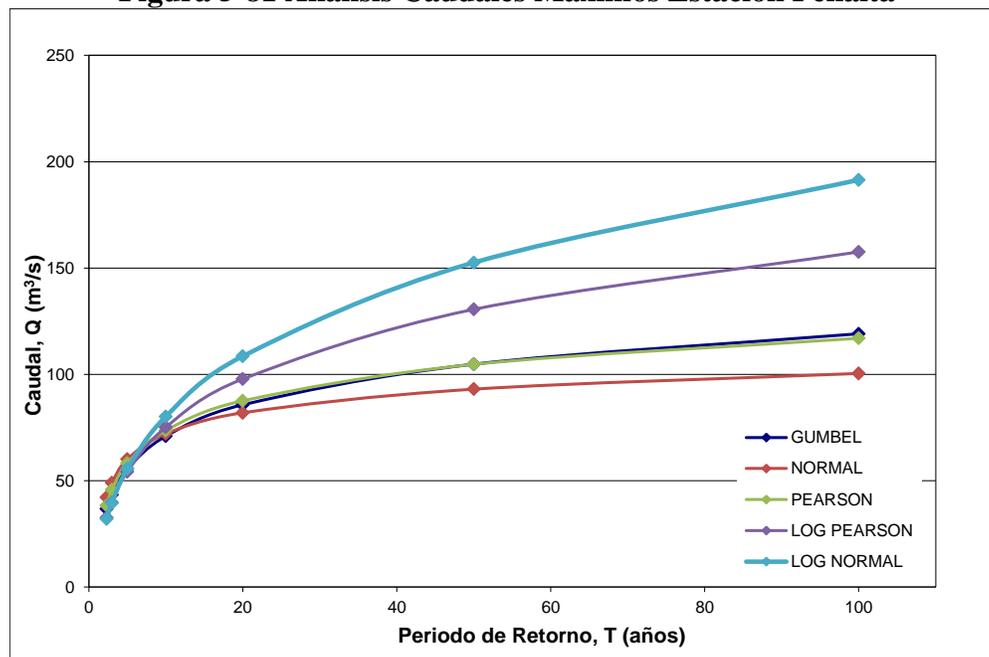
El análisis de frecuencia de los registros máximos anuales de caudal reportados de la estación Penalta en el río Aurrá indica $36.71 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 2.33 años, y $119.08 \text{ m}^3/\text{s}$ para 100 años. Los resultados de acuerdo con cada distribución de probabilidad se muestran en la Tabla 5-37 y en la Figura 5-81.

Tabla 5-37. Frecuencia de Caudales Máximos Estación Penalta

PERIODO RETORNO (años)	VALOR ESPERADO PARA CADA DISTRIBUCIÓN PARA CADA T_r					CAUDAL SELECCIONADO m^3/s
	GUMBEL m^3/s	NORMAL m^3/s	PEARSON m^3/s	LOG PEARSON m^3/s	LOG NORMAL m^3/s	
2.3	36.71	42.12	38.33	32.59	31.98	36.71
3	43.35	48.97	45.74	39.75	39.46	43.35
5	55.59	60.13	58.26	54.19	55.57	55.59
10	70.95	72.08	73.61	75.16	80.18	70.95
20	85.70	81.94	87.57	97.80	108.53	85.70
50	104.78	93.04	104.71	130.56	152.56	104.78
100	119.08	100.44	116.99	157.58	191.44	119.08
PRUEBA CHI CUADRADO	16.55	37.41	31.68	23.09	20.64	16.55
	0.011	0.000	0.000	0.000	0.002	0.01

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-81 Análisis Caudales Máximos Estación Penalta



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.5.4.4.1.2 Caudales máximos cuencas menores hasta sitio de cruce

A fin de calcular caudales máximos para diferentes periodos de retorno, se utiliza la metodología del hidrograma unitario recomendada por “The Soil Conservation Service. SCS” para cuencas mayores a 2.50 km² y el método racional para cuencas con superficies menores a este valor.

Estos modelos lluvia – escorrentía son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en las cuencas hidrográficas, y son modelos en los cuales se calcula la escorrentía superficial.

➤ Parámetros Morfométricos

Para las cuencas en estudio se han evaluado los parámetros de: pendiente media y tiempo de concentración, según la siguiente metodología:

➤ Parámetros Morfométricos

Para las cuencas en estudio se han evaluado los parámetros de: pendiente media y tiempo de concentración, según la siguiente metodología:

- **Pendiente media del cauce (S)**

Es la variación de inclinación del cauce. Determina la velocidad de escurrimiento del agua. A mayor pendiente, mayor velocidad.

La pendiente media del cauce se realizó por el método de Taylor - Schwarz, que ajusta una rasante al perfil de la corriente.

$$S = \left[\frac{L_t}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^2$$

Donde:

- Lt: Longitud total del cauce principal en (Km)
- Li: Longitud en que se divide el cauce principal (Km)
- Si: Pendiente de cada uno de los tramos

- **Tiempo de concentración (Tc)**

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.1		

Tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca.

Las expresiones más utilizadas son las de:

- Kirpich

$$T_c = 0.06628 \cdot \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Desarrollada a partir de información del SCS, recomendada para cuencas rurales en zonas montañosas.

- Temez

$$T_c = 0.30 \cdot \frac{L^{0.75}}{S^{0.19}}$$

- U.S. Corps of Engineers

$$T_c = 0.0882 \cdot \frac{L^{0.76}}{S^{0.19}}$$

- Chow

$$T_c = 0.0197 \cdot \frac{L^{0.64}}{S^{0.32}}$$

Donde:

L: Longitud total del cauce principal en (Km)

S: Pendiente Promedio en (m/m)

Tc: Tiempo de Concentración en (min)

- Cálculo de caudales para cuencas menores mediante el método racional

Este método estima el caudal en función de la intensidad de la precipitación, el área de drenaje y el coeficiente de escorrentía, mediante la fórmula:

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Donde:

Q: Caudal de diseño (m³/s)

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

- C: Coeficiente de escorrentía
 I: Intensidad de lluvia de duración igual al Tc de la cuenca (mm/hr)
 A: Superficie de la subcuenca en proyección horizontal (Km²)

➤ Método del Hidrograma unitario del SCS

Este método de cálculo de la escorrentía máxima, utiliza como información básica, el área de drenaje, la longitud del cauce principal, la pendiente del cauce, la precipitación bruta caída en la cuenca en estudio, su duración y el valor característico del suelo CN, de acuerdo con la clasificación definida por el U.S. S.C.S. Para cuencas sin medición de caudales y con áreas mayores a 2.5 km², se empleó el método del hidrograma unitario de SCS.

En esencia se pretende determinar un caudal pico específico o por unidad de lluvia neta qp en (m³/s-cm de lluvia neta). Para este fin, se utilizó la metodología del Hidrograma Unitario, el cual, a través de un proceso lineal como lo es la convolución, se hace la transformación de lluvia efectiva a escorrentía directa por el cauce. Uno de los métodos más utilizados para cuencas con tamaños similares a la de los ríos de la zona del proyecto, es el Método Triangular, desarrollado por el SCS de los Estados Unidos.

Se utilizó el hidrograma triangular desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service que a partir de su forma se obtiene las siguientes relaciones:

$$T_c = L^{0.77} S^{-0.385}$$

- L: Longitud del cauce principal desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés, en Km
 S: Pendiente promedio del cauce, en m/m
 Tp: Tiempo al pico, se mide desde el comienzo del hidrograma unitario en horas y está dado por la siguiente expresión:

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6T_c$$

Donde D es el exceso de precipitación unitaria en horas y Tc es el tiempo de concentración en horas

Ahora:

- Qp: Caudal unitario máximo en m³/s y está dado por la expresión:

$$Q_p = 0.2083A \frac{E}{T_p}$$

Donde:

A: Área de la cuenca en Km²

E: Esguerrimiento medio en mm

T_p: Tiempo al pico en horas

De la misma manera:

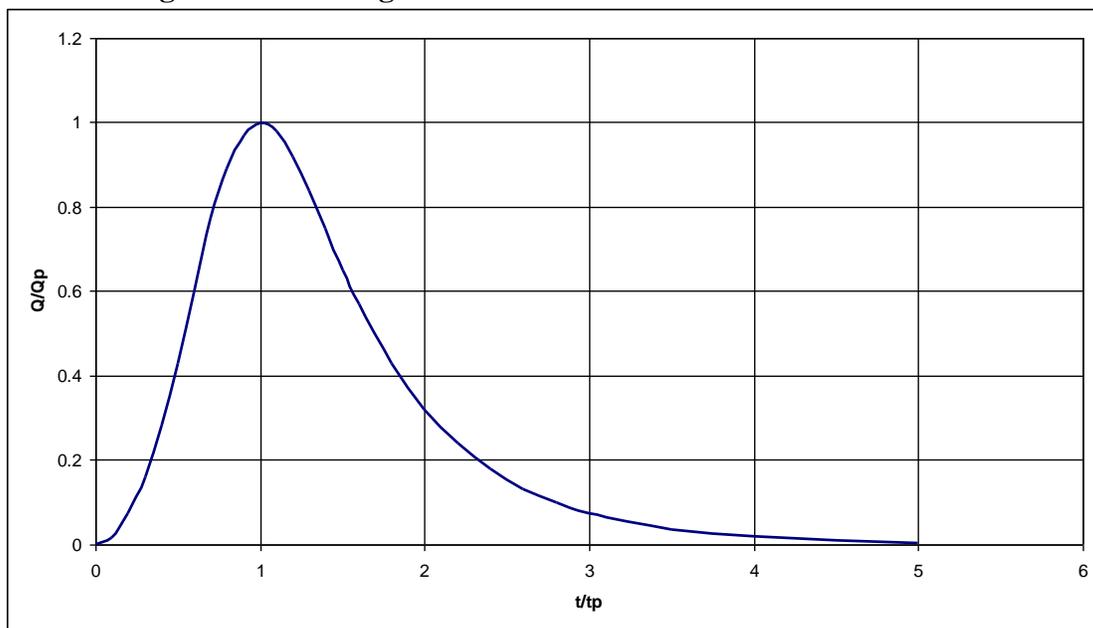
$$T_b = \frac{8}{3} T_p$$

Para convertir el hidrograma unitario triangular en curvilíneo se utilizó el hidrograma unitario adimensional desarrollado por el U. S. Soil Conservation Service (Ver Figura 5-82).

Ahora, para la determinación del hietograma sintético de la lluvia de diseño o sea la distribución de la profundidad de la lluvia en el tiempo. Se obtuvieron las profundidades totales para diferentes períodos de retorno en las estaciones más representativas de los sitios de interés.

En el presente estudio se obtuvo el valor de la profundidad de la lluvia para períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años, a partir de los análisis de precipitación realizados para las estaciones de registro de lluvias de la zona.

Figura 5-82 Hidrograma Unitario Adimensional del U.S.S.C.S.



Fuente: Ven te Chow, 1994

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.1		

La precipitación efectiva (P_e), fue estimada utilizando el método del Soil Conservation Service de los EEUU, el cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_e = \frac{\left(P - \frac{5080}{CN} + 50.8 \right)^2}{P + \frac{20320}{CN} - 203.2}$$

Donde:

- P_e : precipitación efectiva en mm.
 P : precipitación de tormenta de diseño en mm.
 CN : número de curva.

La determinación del número de curva de las cuencas se realiza mediante un promedio ponderado por el área del número de curva asignado a cada zona o unidad de suelo y cobertura vegetal homogénea identificada dentro de las cuencas.

➤ **Resultados Caudales máximos**

Con base en datos de precipitación efectiva, tiempo de concentración y área aferente de las cuencas, se calcularon los caudales máximos en condiciones de lluvia asociadas a diferentes periodos de retorno (Ver Tabla 5-38 y Tabla 5-39).

Tabla 5-38 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método Racional

Id	Nombre	Área	Longitud de Cauce	Cota Superior	Cota Inferior	Dif. de altura	So	Tc		Caudales a diferentes periodos de retorno (m3/s)					
								Ec. U.S.	Corps Engineers	2.33	5	10	25	50	100
		(Km2)	(m)	msnm	msnm	(m)	(%)	horas	min						
1	Quebrada El Uvito	0.8521	1984	2522	1938	584	29.42	0.59	35.68	8.66	10.01	11.41	13.59	15.50	17.68
2	Quebrada La Tenche	1.4398	2606	2781	1959	822	31.53	0.72	43.32	12.89	14.90	17.00	20.23	23.08	26.33
3	Quebrada La Culebra	2.0197	2470	2657	2025	632	25.59	0.72	43.27	18.10	20.92	23.86	28.40	32.40	36.96
4	Quebrada La Frisola	0.3893	725	2696	2401	295	40.69	0.26	15.61	6.77	7.83	8.93	10.62	12.12	13.82
5	Quebrada La Frisola2	0.5287	1127	2665	2025	640	56.78	0.34	20.49	7.70	8.90	10.16	12.09	13.79	15.73
6	Quebrada La Valencia	0.6976	1963	2809	2007	802	40.85	0.55	33.25	7.42	8.58	9.78	11.64	13.28	15.15
10	Quebrada La Fonda	0.3955	685	2004	1637	367	53.57	0.25	15.00	7.06	8.16	9.31	11.08	12.63	14.41
9	Quebrada La Causala	0.7012	1736	2430	1700	730	42.08	0.50	30.11	7.95	9.19	10.49	12.48	14.24	16.24
11	Quebrada La Potrera	1.1668	1536	2307	1462	845	55.03	0.43	26.08	14.53	16.80	19.16	22.80	26.01	29.68
13	Quebrada San Juana	1.3799	2033	1958	1209	749	36.83	0.58	34.83	14.24	16.46	18.78	22.35	25.49	29.08
14	Sin nombre 1(MD)	1.1441	2696	1911	1155	756	28.04	0.76	45.46	9.93	11.48	13.09	15.58	17.78	20.28
15	Sin nombre 2 (MD)	0.2176	613	1327	1127	200	32.64	0.25	15.00	3.88	4.49	5.12	6.09	6.95	7.93
16	Sin nombre 3 (MD)	0.2995	1247	1296	1079	218	17.45	0.46	27.69	3.59	4.15	4.73	5.63	6.42	7.33
18	Sin nombre 4 (MI)	0.1784	683	1423	1026	397	58.13	0.25	15.00	3.18	3.68	4.20	5.00	5.70	6.50
19	Sin nombre 5 (MI)	0.2192	503	1511	1017	494	98.17	0.25	15.00	3.91	4.52	5.16	6.14	7.00	7.99
20	Sin nombre 6 (MI)	0.3388	892	1492	976	516	57.85	0.28	17.09	5.55	6.42	7.32	8.72	9.94	11.34
21	Cañada El Aguacate	0.6624	1497	1482	895	587	39.20	0.45	27.28	8.01	9.26	10.56	12.57	14.34	16.36
22	Sin nombre (MI)	0.6017	1573	1414	853	561	35.67	0.48	28.83	7.02	8.12	9.26	11.02	12.57	14.34

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Tabla 5-39 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método SCS

ID	Cuenca	Características de la Cuenca						Tc		T retardo	Tpico	P neta (mm)				
		Área	Longitud de Cauce	Cota Mayor	Cota Menor	Dif. de altura	Pendiente media	(horas)	(min)			2.33	5	20	50	100
		(Km2)	(Km)	(m)	(m)	(m)	(%)			(horas)						
7	Quebrada La Frisola3	11.48	6.62	3,108	1,860	1,248	18.87	0.54	32.38	0.32	0.82	31.82	36.79	49.94	56.97	64.99
8	Quebrada La Volcana	12.21	3.97	3,117	1,758	1,359	34.27	0.29	17.35	0.17	0.67	44.10	50.99	69.23	78.97	90.08
12	Quebrada Miserenga	8.32	5.50	3,075	1,456	1,619	29.44	0.39	23.66	0.24	0.74	36.83	42.58	57.81	65.95	75.23
17	Quebrada San Juana 2	5.12	2.70	1,496	1,048	449	16.64	0.84	50.19	0.50	1.00	48.82	56.44	76.62	87.41	99.71
23	Quebrada Guaracú	18.94	9.73	2,834	806	2,028	20.85	0.70	41.92	0.42	0.92	26.63	30.79	41.80	47.69	54.40
24	Quebrada Guaracú 2	21.66	13.37	2,834	662	2,171	16.24	0.98	58.95	0.59	1.09	22.07	25.52	34.64	39.52	45.08

ID	Cuenca	Área	S (mm)	P efectiva (mm)					Qpico (m3/s/m m)	Caudales (m3/s)				
				2.33	5	20	50	100		2.33	5	20	50	100
		(Km2)												
7	Quebrada La Frisola3	11.48	108.8571	0.85	1.82	5.79	8.60	12.28	2.90	2.46	5.28	16.79	24.93	35.60
8	Quebrada La Volcana	12.21	108.8571	3.80	6.18	14.41	19.70	26.34	3.77	14.34	23.32	54.33	74.31	99.34
12	Quebrada Miserenga	8.32	108.8571	1.83	3.34	8.96	12.75	17.61	2.35	4.30	7.85	21.06	29.96	41.36
17	Quebrada San Juana 2	5.12	108.8571	5.38	8.37	18.38	24.69	32.52	1.06	5.72	8.90	19.53	26.24	34.56
23	Quebrada Guaracú	18.94	169.3333	0.32	0.06	0.36	1.04	2.22	4.28	1.38	0.24	1.52	4.47	9.51
24	Quebrada Guaracú 2	21.66	169.3333	0.88	0.43	0.00	0.18	0.70	4.14	3.65	1.79	0.01	0.75	2.88

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

5.1.5.4.4.2 Caudales Medios

En este numeral se presenta la información de cada estación hidrométrica correspondiente a los valores medios mensuales de caudales reportados por el IDEAM, además de las curvas de duración de caudales respectivas.

5.1.5.4.4.2.1 Curva de Duración de Caudales (CDC)

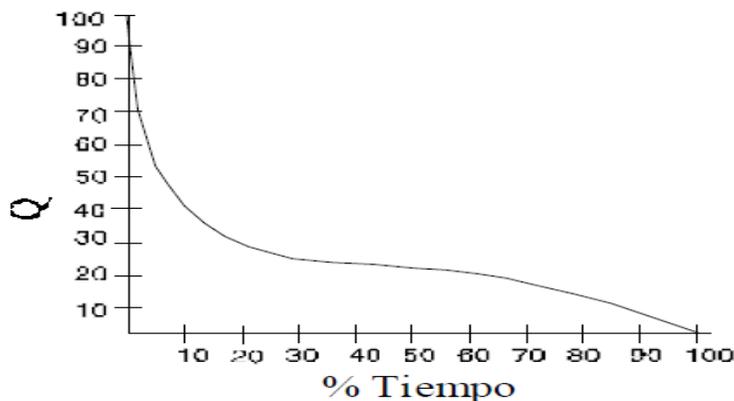
La curva de duración (CDC) es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. Es una gráfica que tiene el caudal, Q , como ordenada y el número de días del año (generalmente expresados en % de tiempo) en que ese caudal, Q , es excedido o igualado, como abscisa. La ordenada Q para cualquier porcentaje de probabilidad, representa la magnitud del flujo en un año promedio, que espera que sea excedido o igualado un porcentaje, P , del tiempo.

Los datos de caudal medio anual, mensual o diario se pueden usar para construir la curva. Los caudales se disponen en orden descendente, usando intervalos de clase si el número de valores es muy grande. Si N es el número de datos, la probabilidad de excedencia, P , de cualquier descarga (o valor de clase), Q es:

$$P = N/m$$

Siendo m el número de veces que se presenta en ese tiempo el caudal. Si se dibuja el caudal contra el porcentaje de tiempo en que éste es excedido o igualado se tiene una gráfica como la mostrada en la Figura 5-83.

Figura 5-83 Curva de duración de Caudales de corrientes

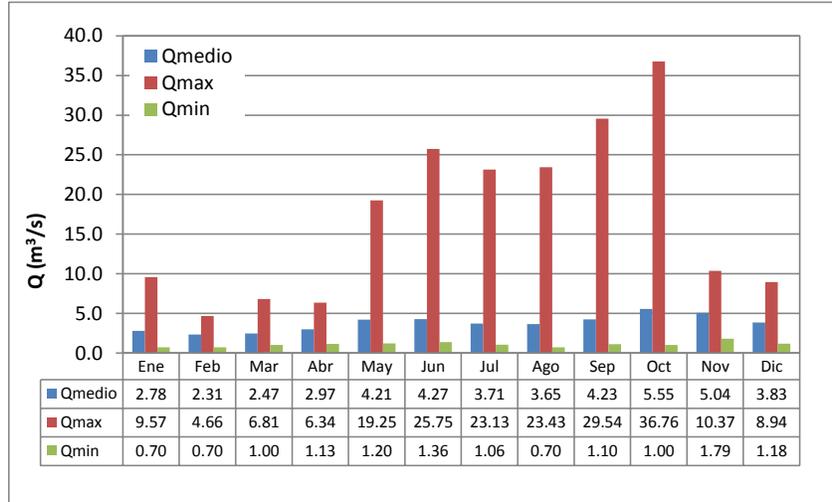


Fuente: Consultoría Colombiana S.A. (2016)

5.1.5.4.4.2.2 Estación Penalta (Río Aurrá)

La Estación Penalta registra un caudal medio anual de 3.75 m³/s, en un registro de 32 años. La serie de medios muestra un caudal mínimo de 0.70 m³/s y máximo de 36.76 m³/s. (Ver Figura 5-84).

Figura 5-84. Caudales medios mensuales multianuales - Estación Penalta (Río Aurrá)

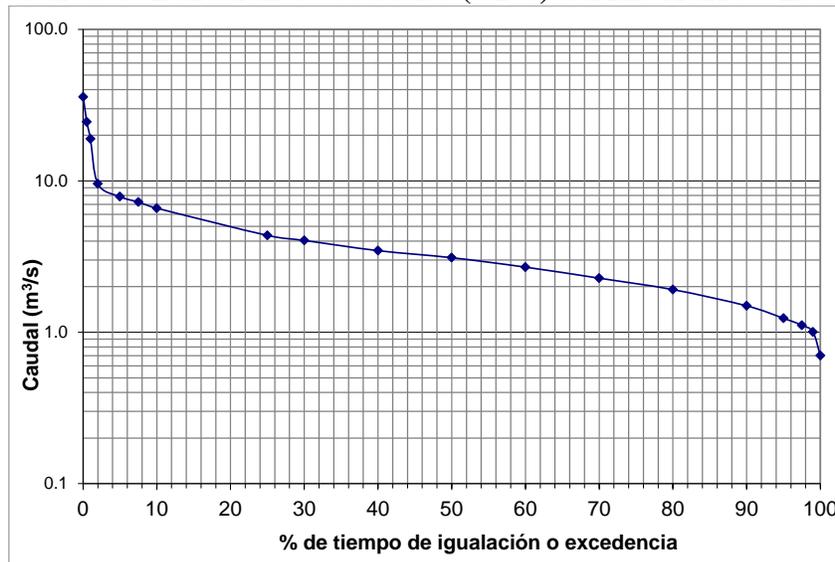


Fuente: Consultoría Colombiana, 2016.

➤ **Curva de duración de caudales**

En la Figura 5-85 se presenta la CDC para el río Aurrá en la estación de registro respectiva.

Figura 5-85 Curva de Duración de Caudales (CDC) del Río Aurrá – Estación Penalta



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Así se obtienen caudales característicos del río Aurrá a la altura de la estación, los cuales se presentan en la Tabla 5-40.

Tabla 5-40 Caudales característicos (m³/s) en la cuenca del río Aurrá– Estación Penalta

Porcentaje del tiempo que el caudal es excedido (%)	Caudal m ³ /s Estación Penalta (Río Aurrá)
1	9.75
5	8.02
10	6.85
25	4.35
50	3.00
75	1.95
90	1.47
95	1.21
97.5	1.10
100	1.00

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

5.1.5.4.4.2.3 Caudales medios cuencas menores hasta sitio de cruce

Siguiendo la metodología del balance hídrico de Thorntwaite, a nivel de discretización mensual (Largo Plazo), y teniendo en cuenta los valores de precipitación y los valores de evapotranspiración potencial, se calculó tanto la reserva de humedad del suelo como el déficit y el excedente de la misma humedad, teniendo en cuenta una capacidad de almacenamiento de humedad del suelo de 100 mm.

Thornthwaite propuso que el 50 % del excedente de agua de un mes específico se escurre hacia los ríos durante el mes de cuestión y el resto se infiltra hacia las capas profunda. De esta manera la escorrentía superficial en (mm) mes a mes se estima a partir de la siguiente expresión:

$$Escorr_{(i)} = 0.5 \times [Escorr_{(i-1)} + Exc_{(i)}]$$

Dónde:

$Escorr_{(i)}$: escorrentía del mes (i), mm

$Escorr_{(-i)}$: escorrentía del mes (i-1), mm

$Exc_{(i)}$: Es el agua que excede de la reserva máxima, mm.

De acuerdo con el análisis climatológico, la estación con mayor influencia en la zona de

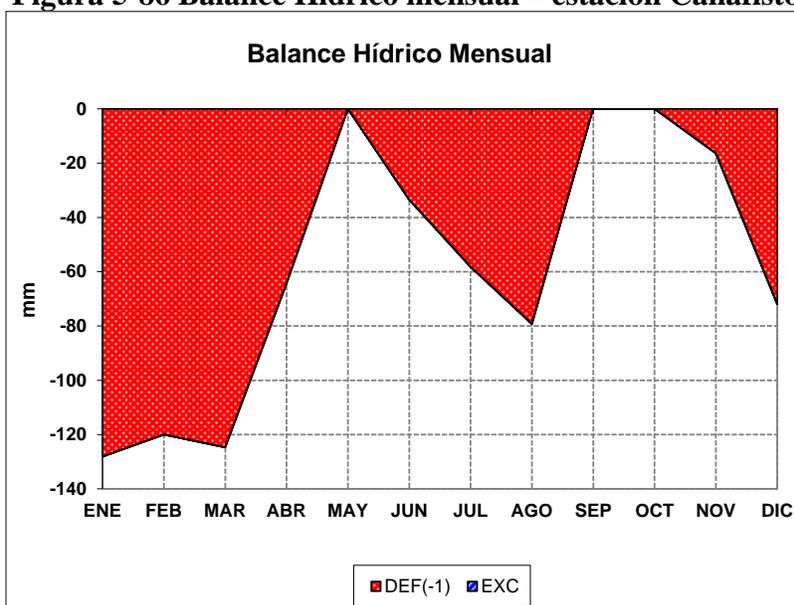
estudio es la estación Cañafisto. Los resultados del balance hídrico se muestran en la Tabla 5-41 y en la Figura 5-86.

Tabla 5-41. Balance Hídrico a nivel mensual de largo plazo – estación Cañafisto

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P (mm)	30.70	48.40	66.20	105.90	149.20	111.80	101.50	89.20	154.20	167.10	98.70	46.10	1169.00
T (°c)	28.20	28.90	28.90	28.20	26.90	27.00	27.40	27.80	26.90	26.40	26.40	26.90	27.49
ETP (mm)	169.81	170.96	191.64	170.36	147.11	145.94	160.40	168.97	141.01	132.93	126.78	140.13	1866.05
P - ETP (mm)	-139.11	-122.56	-125.44	-64.46	2.09	-34.14	-58.90	-79.77	13.19	34.17	-28.08	-94.03	-697.05
RHS (mm)	3.63	1.07	0.30	0.16	2.25	1.60	0.89	0.40	13.59	47.76	36.07	14.08	121.79
VR	-10.96	-2.56	-0.76	-0.14	2.09	-0.65	-0.71	-0.49	13.19	34.17	-11.69	-21.98	
ETR	41.66	50.96	66.96	106.04	147.11	112.45	102.21	89.69	141.01	132.93	110.39	68.08	1169.51
Déficit (mm)	128.14	120.00	124.68	64.32	0.00	33.49	58.19	79.28	0.00	0.00	16.39	72.05	696.54
Exc. (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Escorr. (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-86 Balance Hídrico mensual – estación Cañafisto



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Como se puede observar en los resultados de balance hídrico y según las características propias de las cuencas – verificadas en campo-, en general el área de estudio se trata de una zona seca con poca disponibilidad de agua. Las corrientes más representativas son las que tienen agua permanentemente, y por tanto, en las que se puede cuantificar un caudal medio. Así, a partir del área de la cuenca hasta el sitio de cruce, y con el dato de rendimientos hídricos calculados en la estación Penalta sobre el río Aurrá, se obtiene el caudal medio en cada sitio. En la Tabla 5-42 se puede observar los caudales medios estimados.

Tabla 5-42. Caudales medios estimados en cuencas de sitio de cruce (m³/s)

ID	Nombre	Area (Km ²)	Caudal Medio (m ³ /s)												
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Medio
3	Quebrada La Culebra	2.0197	0.029	0.024	0.026	0.031	0.044	0.045	0.039	0.038	0.044	0.058	0.053	0.040	0.039
7	Quebrada La Frisola3	11.4783	0.166	0.138	0.148	0.178	0.251	0.255	0.222	0.218	0.253	0.332	0.301	0.229	0.224
8	Quebrada La Volcana	12.2125	0.177	0.147	0.157	0.189	0.267	0.271	0.236	0.232	0.269	0.353	0.321	0.243	0.239
12	Quebrada Miserenga	8.3198	0.120	0.100	0.107	0.129	0.182	0.185	0.161	0.158	0.183	0.241	0.218	0.166	0.163
13	Quebrada San Juana	1.3799	0.020	0.017	0.018	0.021	0.030	0.031	0.027	0.026	0.030	0.040	0.036	0.028	0.027
17	Quebrada San Juana 2	5.1198	0.074	0.062	0.066	0.079	0.112	0.114	0.099	0.097	0.113	0.148	0.134	0.102	0.100
23	Quebrada Guaracú	18.9355	0.274	0.228	0.243	0.293	0.415	0.421	0.366	0.360	0.417	0.547	0.497	0.377	0.370
24	Quebrada Guaracú 2	21.6604	0.313	0.261	0.278	0.335	0.474	0.481	0.419	0.411	0.477	0.626	0.569	0.432	0.423

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

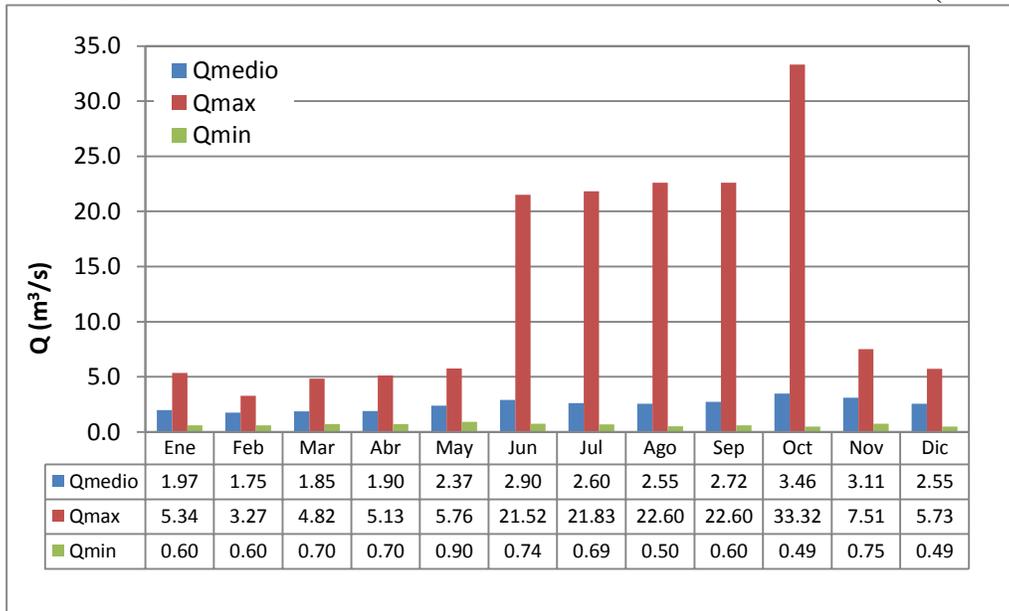
5.1.5.4.4.3 Caudales Mínimos

Se presenta, la información de cada estación hidrométrica, correspondiente a los valores mínimos mensuales de caudales, reportados por el IDEAM o EPM.

5.1.5.4.4.3.1 Estación Penalta (Río Aurrá)

La Estación Penalta registra un caudal mínimo medio anual de 2.48 m³/s, en un registro de 32 años. La serie de medios muestra un caudal mínimo de 0.49 m³/s y máximo de 33.32 m³/s. (Ver Figura 5-87).

Figura 5-87. Caudales medios mensuales multianuales - Estación Penalta (Río Aurrá)



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016.

5.1.5.4.4.3.2 Caudales mínimos mensuales de las cuencas menores hasta sitio de cruce

Se calcula el caudal mínimo de las cuencas representativas a partir de rendimientos hídricos de la estación La Penalta sobre el río Aurrá, los resultados se muestran en la Tabla 5-43

Tabla 5-43 Caudales mínimos estimados en cuencas de sitio de cruce (m³/s)

ID	Nombre	Area (Km ²)	Caudal Mínimo (m ³ /s)												
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Mínimo
3	Quebrada La Culebra	2.0197	0.007	0.006	0.006	0.008	0.011	0.011	0.010	0.010	0.011	0.015	0.013	0.010	0.010
7	Quebrada La Frisola3	11.4783	0.042	0.035	0.037	0.044	0.063	0.064	0.055	0.055	0.063	0.083	0.075	0.057	0.056
8	Quebrada La Volcana	12.2125	0.044	0.037	0.039	0.047	0.067	0.068	0.059	0.058	0.067	0.088	0.080	0.061	0.060
12	Quebrada Miserenga	8.3198	0.030	0.025	0.027	0.032	0.046	0.046	0.040	0.040	0.046	0.060	0.055	0.041	0.041
13	Quebrada San Juana	1.3799	0.005	0.004	0.004	0.005	0.008	0.008	0.007	0.007	0.008	0.010	0.009	0.007	0.007
17	Quebrada San Juana 2	5.1198	0.019	0.015	0.016	0.020	0.028	0.028	0.025	0.024	0.028	0.037	0.034	0.026	0.025
23	Quebrada Guaracú	18.9355	0.068	0.057	0.061	0.073	0.104	0.105	0.091	0.090	0.104	0.137	0.124	0.094	0.092
24	Quebrada Guaracú 2	21.6604	0.078	0.065	0.070	0.084	0.119	0.120	0.105	0.103	0.119	0.157	0.142	0.108	0.106

Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.5.4.5 Identificación Dinámica Fluvial

Las principales corrientes de la zona son quebrada Guaracú - río Aurrá, quebrada La Sucia – quebrada Seca, pertenecientes a la subzona hidrográfica Cauca y el sistema quebrada Iguaná – río Medellín, que hace parte de la subzona Nechí.

La dinámica fluvial en la mayor parte de la zona de influencia, principalmente en la zona de túnel, corresponde a ríos de montaña y de transición caracterizados por su torrencialidad.

5.1.5.4.5.1 Relación espacial y temporal de las inundaciones

La definición más elemental de inundación es “el evento en el cual el agua ocupa lugares en donde normalmente no está”. Según lo establecido por el IDEAM dentro del Comité Nacional de Conocimiento para la Gestión del Riesgo de Desastres, inundación es la acumulación temporal de agua fuera de los cauces y áreas de reserva hídrica de las redes de drenaje (naturales y construidas). Se presentan debido a que los cauces de escorrentía superan la capacidad de retención e infiltración del suelo y/o capacidad de transporte de los canales. Las inundaciones son eventos propios y periódicos de la dinámica natural de las cuencas hidrográficas. La lluvia es el factor amenazante más importante en la generación de inundaciones. El agua de los ríos proviene en principio de la escorrentía proveniente de la parte alta de la cuenca, la cual depende del relieve, de la vegetación, del uso del suelo y en general de las condiciones en las que se encuentre la cuenca. Además, estos cuerpos de agua se mantienen con sus flujos subsuperficiales que a su vez dependen de las condiciones hidrogeológicas y de los niveles freáticos de la zona (Adaptado González, 2014).

Teniendo en cuenta las características de las cuencas y la rapidez con la cual se producen los desbordamientos, las inundaciones se pueden clasificar en:

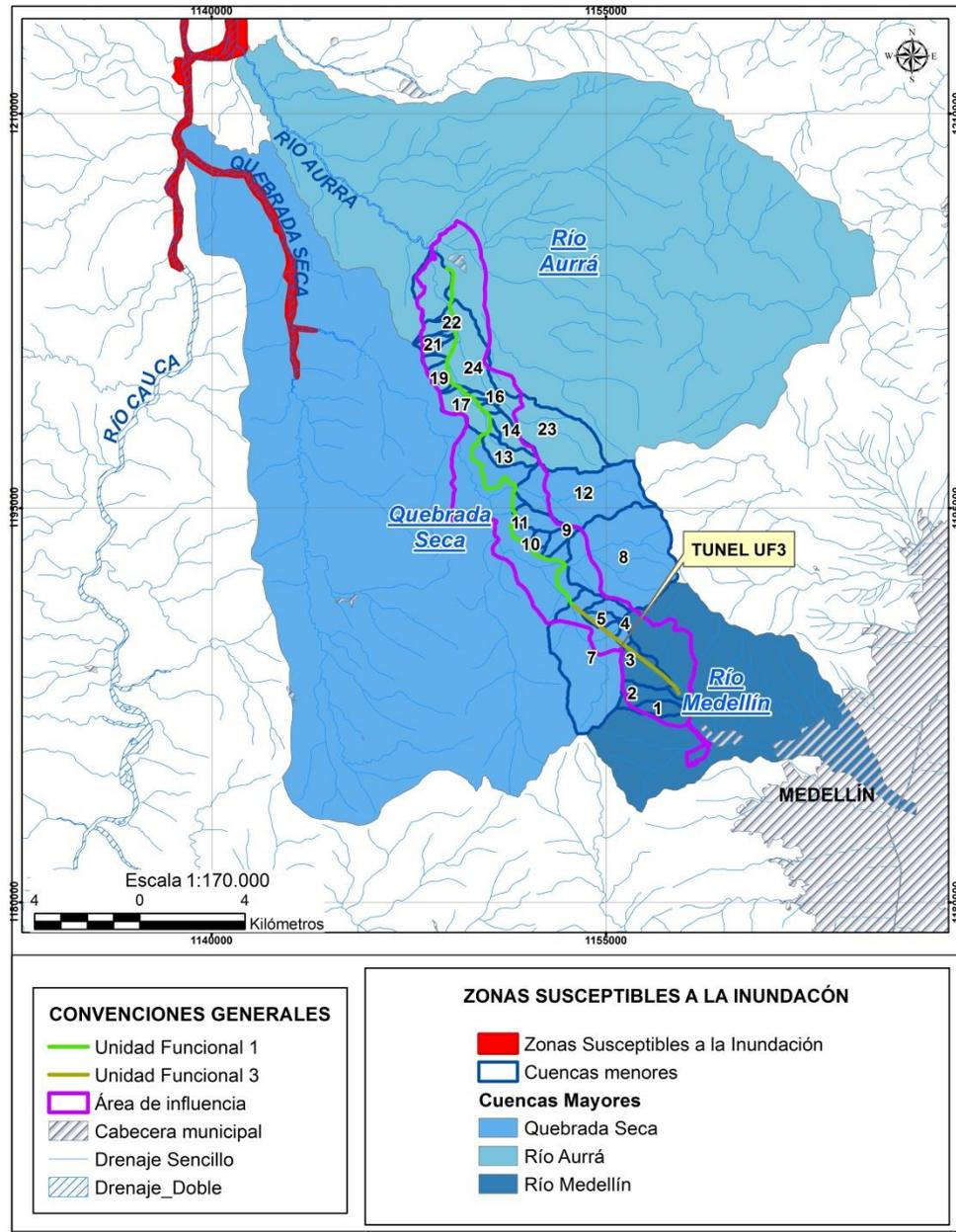
- Inundación rápida (Denominada Avenida Torrencial): Se refiere a crecientes que ocurren de manera repentina debido a la alta pendiente del río o de la quebrada y su cuenca. En ocasiones se produce el arrastre de una gran cantidad de material como detritos (lodos, piedras y árboles). Es característica de ríos de montaña y en transición. El tiempo de reacción ante un evento de esta naturaleza es corto.
- Inundación lenta (Denominada Inundación): Se produce cuando hay un aumento gradual del nivel del río hasta superar su capacidad máxima. El río se sale de su cauce, inundando las áreas planas cercanas al mismo.

5.1.5.4.5.1.1 Inundaciones

La susceptibilidad de inundaciones está íntimamente asociada a relieves bajos con paisajes de planicie aluvial, debido a un predominio de topografía plana, e influenciada por las precipitaciones en el área y en las zonas altas de la región.

Para establecer la relación espacio temporal asociada a áreas inundables por la dinámica fluvial de las corrientes, se tuvo en cuenta la cartografía del Sistema de Información Ambiental de Colombia-SIAC-, donde se especifican las áreas susceptibles de inundación y las inundadas por el evento meteorológico extraordinario de la Niña 2010-2011. Ver Figura 5-88.

Figura 5-88. Mapa de zonas susceptibles a la inundación (IDEAM, 2012)



Fuente: IDEAM, 2012. Modificado por Consultoría Colombiana, 2016.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Los fenómenos de inundación se presentan en zonas bajas, que de acuerdo con la Figura 5-88, corresponden a las cercanas al río Cauca, que se encuentran alejadas del área de influencia. Así, teniendo en cuenta las características morfométricas de las cuencas del área de estudio, éstas presentan pendientes altas a moderadas, por lo que no son susceptibles a eventos de inundación.

5.1.5.4.5.1.2 Avenidas Torrenciales

Las avenidas torrenciales son fenómenos naturales que poseen un gran potencial destructivo, dado que transportan volúmenes importantes de sedimentos y escombros. Aunque tienen una ocurrencia relativamente baja son de gran interés para evaluar los riesgos naturales a los que está sometida una determinada zona. Son diversos los factores que influyen en la ocurrencia de las avenidas torrenciales, tales como: topografía, las características y uso del suelo, precipitación, estabilidad del terreno y los sismos.

Una avenida torrencial puede ser considerada además como un fenómeno de erosión en masa que incluye el desprendimiento, transporte y depositación de grandes masas de suelo, por acción del agua. Las masas en movimiento se comportan como un fluido pero su comportamiento es diferente al de los flujos de sedimentos, especialmente debido a la alta concentración de sólidos (Suárez, 2001)

Las avenidas torrenciales son fenómenos muy dañinos debido a su naturaleza impredecible y la rapidez con la que ocurre que da poco espacio para generar alertas a las comunidades.

Teniendo en cuenta las características morfométricas de las cuencas del área de estudio que corresponden a cuencas con áreas pequeñas, de corta longitud y tiempos de concentración pequeños, además del régimen bimodal de precipitaciones, con mayores lluvias en los periodos de Abril-Junio y Septiembre-Noviembre, se evidencia que las cuencas del área de influencia son susceptibles a eventos torrenciales.

5.1.5.4.6 Características Morfométricas de puntos de interés

Las características de las principales microcuencas del área de estudio denotan cuencas con pendiente media a moderada, de forma oval alargada y que tienden a ser menos susceptibles a crecientes esporádicas en comparación con cuencas achatadas.

En la Tabla 5-44 y Tabla 5-45 se presentan las principales características morfométricas de las cuencas menores que hacen parte del área de estudio del proyecto.

Tabla 5-44. Características morfométricas de las principales cuencas menores

ID	Nombre	Área	Perímetro	Lb	Lmáx	Bmáx	Lc	Li	Cota superior	Cota salida	Pendiente media
		(Km ²)	(Km)	(Km)	(Km)	(Km)	(Km)	(Km)	(m)	(m)	%
1	Quebrada El Uvito	0.852	4.606	1.825	2.282	0.619	1.984	3.567	2521.85	1938.13	37.67
2	Quebrada La Tenche	1.440	6.690	2.397	2.997	1.064	2.606	6.071	2780.85	1959.13	42.69
3	Quebrada La Culebra	2.020	6.312	2.272	2.841	1.187	2.470	8.186	2657.18	2025.13	41.10
4	Quebrada La Frisola	0.389	2.852	0.667	0.834	1.089	0.725	1.535	2696.18	2401.18	42.30
5	Quebrada La Frisola2	0.529	3.359	1.037	1.296	0.544	1.127	2.620	2665.18	2025.18	47.35
6	Quebrada La Valencia	0.698	4.388	1.806	2.258	0.538	1.963	3.213	2809.18	2007.18	49.68
7	Quebrada La Frisola3	11.478	14.735	6.087	7.609	3.105	6.617	53.100	3107.85	1859.58	52.77
10	Quebrada La Fonda	0.396	2.545	0.630	0.788	0.677	0.685	2.137	2003.92	1636.92	41.49
9	Quebrada La Cáusala	0.701	4.025	1.597	1.996	0.626	1.736	2.383	2430.31	1699.92	49.09
11	Quebrada La Potrera	1.167	5.303	1.413	1.767	0.800	1.536	4.665	2307.31	1461.92	45.60
8	Quebrada La Volcana	12.213	14.170	3.649	4.562	3.705	3.967	56.536	3116.94	1757.58	58.52
12	Quebrada Miserenga	8.320	14.054	5.060	6.325	2.134	5.500	38.704	3075.31	1455.92	57.60
13	Quebrada San Juana	1.380	5.822	1.871	2.338	0.815	2.033	8.595	1958.25	1209.25	36.86
14	Sin nombre 1(MD)	1.144	5.822	2.480	3.101	0.800	2.696	6.583	1911.25	1155.25	39.32
15	Sin nombre 2 (MD)	0.218	2.055	0.564	0.705	0.370	0.613	1.374	1327.25	1127.25	35.26
16	Sin nombre 3 (MD)	0.300	3.105	1.147	1.434	0.216	1.247	2.133	1296.25	1078.56	23.63
17	Quebrada San Juana 2	5.120	11.577	2.480	3.101	2.097	2.696	33.760	1496.25	1047.56	40.67
18	Sin nombre 4 (MI)	0.178	1.865	0.628	0.785	0.312	0.683	1.759	1422.56	1025.56	64.24
19	Sin nombre 5 (MI)	0.219	2.126	0.463	0.579	0.336	0.503	1.211	1510.56	1016.56	67.23
20	Sin nombre 6 (MI)	0.339	2.568	0.821	1.026	0.433	0.892	1.673	1491.83	975.84	60.05
21	Cañada El Aguacate	0.662	4.018	1.378	1.722	0.613	1.497	3.442	1481.83	894.84	49.22
22	Sin nombre (MI)	0.602	4.166	1.447	1.809	0.587	1.573	5.088	1413.83	852.84	45.02
23	Quebrada Guaracú	18.935	23.896	8.948	11.185	2.308	9.726	116.409	2833.59	805.84	45.69
24	Quebrada Guaracú 2	21.660	27.644	12.299	15.374	2.308	13.368	133.216	2833.59	662.16	45.65

Donde: Lb: Longitud desde el punto más alejado a la salida
Lc: Longitud del cauce principal

Lmáx: Longitud máxima en sentido del cauce principal
Li: Longitud de drenaje

Tabla 5-45. Principales parámetros morfométricos de las cuencas menores

ID	Nombre	Área (Km ²)	h med (msnm)	Ancho Promedio (m)	Factor de Forma Kf	Coefficiente de compacidad Kc	Índice de alargamiento Ia	Pendiente %	Relación de elongación Re	Coefficiente de masividad Km	Densidad de Drenaje Dd (Km/Km2)
1	Quebrada El Uvito	0.852	2229.99	466.81	0.26	1.41	3.68	29.42	0.57	2.62	4.19
2	Quebrada La Tenche	1.440	2369.99	600.54	0.25	1.57	2.82	31.53	0.56	1.65	4.22
3	Quebrada La Culebra	2.020	2341.16	888.76	0.39	1.25	2.39	25.59	0.71	1.16	4.05
4	Quebrada La Frisola	0.389	2548.68	583.68	0.88	1.29	0.77	40.69	1.06	6.55	3.94
5	Quebrada La Frisola2	0.529	2345.18	509.87	0.49	1.30	2.38	56.78	0.79	4.44	4.95
6	Quebrada La Valencia	0.698	2408.18	386.21	0.21	1.48	4.19	40.85	0.52	3.45	4.61
7	Quebrada La Frisola3	11.478	2483.72	1885.62	0.31	1.23	2.45	18.87	0.63	0.22	4.63
10	Quebrada La Fonda	0.396	1820.42	627.60	1.00	1.14	1.16	53.57	1.13	4.60	5.40
9	Quebrada La Cáusala	0.701	2065.12	439.09	0.27	1.36	3.19	42.08	0.59	2.95	3.40
11	Quebrada La Potrera	1.167	1884.62	825.53	0.58	1.38	2.21	55.03	0.86	1.62	4.00
8	Quebrada La Volcana	12.213	2437.26	3346.48	0.92	1.14	1.23	34.27	1.08	0.20	4.63
12	Quebrada Miserenga	8.320	2265.62	1644.22	0.32	1.37	2.96	29.44	0.64	0.27	4.65
13	Quebrada San Juana	1.380	1583.75	737.65	0.39	1.40	2.87	36.83	0.71	1.15	6.23
14	Sin nombre 1(MD)	1.144	1533.25	461.26	0.19	1.53	3.87	28.04	0.49	1.34	5.75
15	Sin nombre 2 (MD)	0.218	1227.25	386.03	0.68	1.24	1.91	32.64	0.93	5.64	6.31
16	Sin nombre 3 (MD)	0.300	1187.40	261.03	0.23	1.60	6.63	17.45	0.54	3.96	7.12
17	Quebrada San Juana 2	5.120	1271.90	2064.03	0.83	1.44	1.48	16.64	1.03	0.25	6.59
18	Sin nombre 4 (MI)	0.178	1224.06	283.98	0.45	1.24	2.51	58.13	0.76	6.86	9.86
19	Sin nombre 5 (MI)	0.219	1263.56	473.43	1.02	1.28	1.72	98.17	1.14	5.77	5.52
20	Sin nombre 6 (MI)	0.339	1233.83	412.91	0.50	1.24	2.37	57.85	0.80	3.64	4.94
21	Cañada El Aguacate	0.662	1188.33	480.85	0.35	1.39	2.81	39.20	0.67	1.79	5.20
22	Sin nombre (MI)	0.602	1133.33	415.85	0.29	1.51	3.08	35.67	0.60	1.88	8.46
23	Quebrada Guaracú	18.935	1819.71	2116.22	0.24	1.55	4.85	20.85	0.55	0.10	6.15
24	Quebrada Guaracú 2	21.660	1747.88	1761.17	0.14	1.68	6.66	16.24	0.43	0.08	6.15

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

5.1.5.5 Tramos en Túnel

A continuación se presenta la red de drenaje correspondiente al sector del segundo túnel de Occidente, del proyecto Autopista al Mar 1.

5.1.5.5.1 Inventario detallado de las fuentes hídricas en el área de influencia

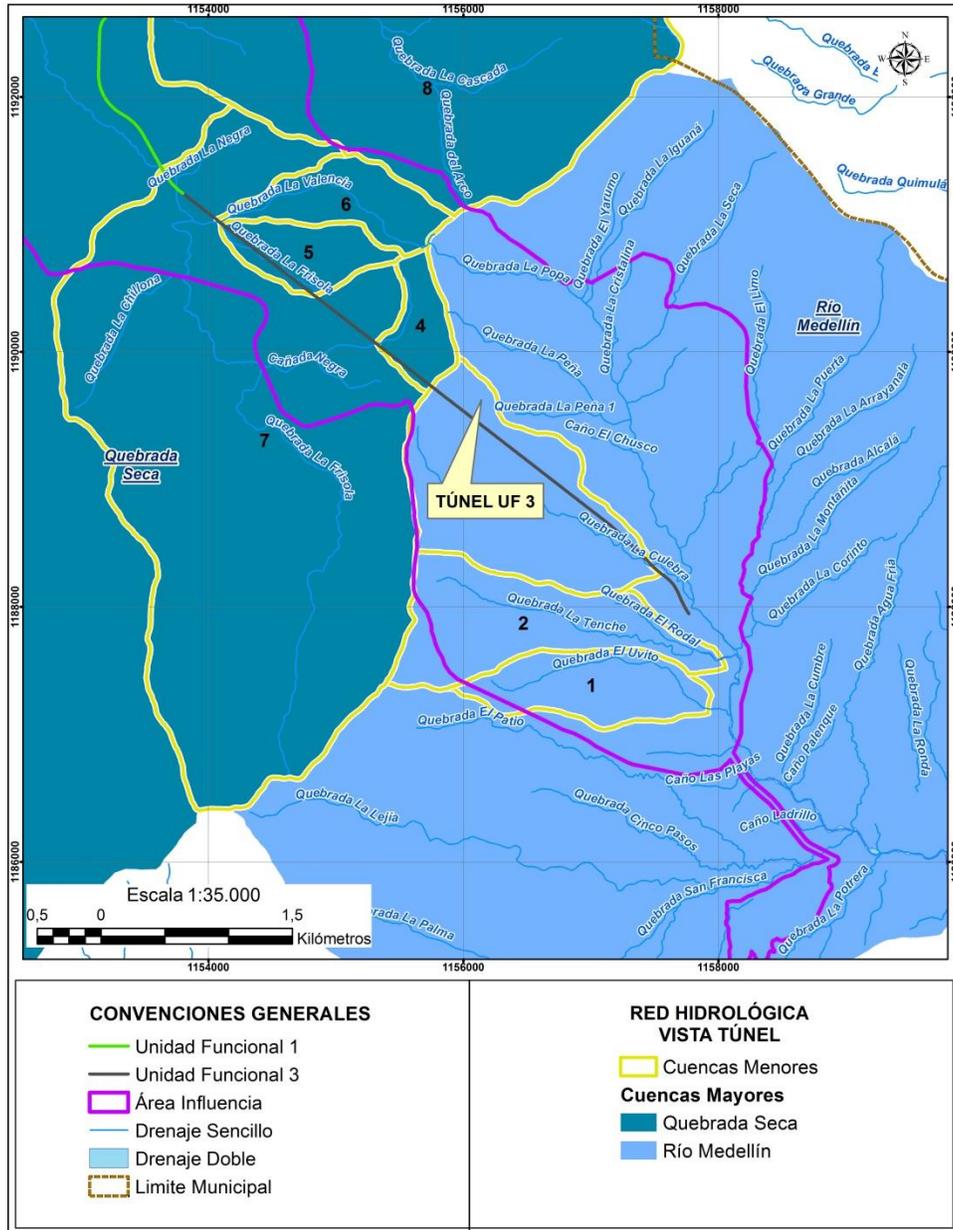
La red de drenaje sobre la que se encuentra el trazado de la construcción del segundo túnel de Occidente pertenece a la denominada área hidrográfica 2. Magdalena-Cauca, en las Zonas Hidrográficas 26. Cauca y 27. Nechí. El detalle de la clasificación de cuencas para este tramo (UF3) se presenta en la Tabla 5-46 y en la Figura 5-89.

Tabla 5-46. Red hidrográfica sector segundo Túnel de Occidente

Cód. IDEA M	Área Hidrográfica Orden I	Cód. IDEAM	Zona Hidrográfica Orden 2	Cód. IDEAM	Subzona Hidrográfica Orden 3	Subcuenca Orden 4
2	Magdalena - Cauca	26	Río Cauca	2620	Directos Río Cauca (md)	Quebrada Seca
		27	Río Nechí	2701	Río Porce	Afluentes Directos

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. –IGAC-, Decreto 1640 de 2012 y Estudio Nacional del Agua. 2014.

Figura 5-89. Localización red hidrográfica sector segundo Túnel de Occidente



Fuente: IGAC, planchas topográficas. Escala 1:100.000; Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En cuanto al área de cada una de las cuencas y con relación a la zona de influencia del presente proyecto se presentó anteriormente la información correspondiente, igualmente, la descripción de las cuencas se incluyó en el numeral 5.1.5.4.3 Descripción y Localización de red hidrológica.

A continuación se presenta la identificación de los cuerpos de agua (lenticos y loticos) en el sector donde se proyecta la construcción del segundo túnel de occidente que forma parte del

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

proyecto vial; la identificación se efectuó a partir de la cartografía IGAC escala 1:25000 y 1:10.000 (Ver plano DVM-TSJ-AMB-CONCOL-047), y recorridos de campo, encontrándose que está constituida esencialmente por una red de drenajes de tipo lotico, que de acuerdo a la clasificación de Horton - Strahler son de orden entre 1 a 4

5.1.5.5.1.1 Sistemas lóticos

En la Tabla 5-47 se presenta la información de los cuerpos de agua loticos identificados en la zona de influencia del proyecto, se resalta que estos cuerpos de agua no serán objeto de cruce por el trazado dado que corresponde al sector del segundo túnel de occidente.

Tabla 5-47. Cuerpos de agua loticos identificados en el sector de túnel

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Nombre fuente hídrica	Ancho cauce (m)	Prof. (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Foto
						Norte (Y)	Este (X)			
70	Medellín	C. San Cristóbal / V. Naranjal	Drenaje NN 23	1	0,5	1188969,52	1156824,81	Seco, con abundante presencia de vegetación arbustiva	Ondulada a Media	
69	Medellín	C. San Cristóbal / V. Naranjal	Drenaje NN 24	1,5	0,7	1189170,02	1156523,10	Flujo tranquilo, con presencia media de vegetación arbustiva.	Ondulada a Media	
67	Medellín	C. San Cristóbal / V. Naranjal	Drenaje NN 25	3	0,7	1189340,91	1156219,63	Flujo tranquilo, con alta presencia de vegetación tipo arbórea, lecho con presencia de material mediano	Ondulada a Media	
001	Medellín	C. San Cristóbal / V. Naranjal	Q. La Culebra	2	0.5	1188322,90	1157468,22	Flujo tranquilo, con abundante presencia de vegetación arbustiva	Ondulada a Media	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Nombre fuente hídrica	Ancho cauce (m)	Prof. (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Foto
						Norte (Y)	Este (X)			
151	Medellín	La Volcana-Guayabal	Q. La Frisola	6	1	1191417,26	1153691,19	Flujo turbulento, con presencia media de vegetación arbustiva, lecho con presencia de material mediano	Ondulada a Media	
163	Medellín	La Volcana-Guayabal	Drenaje NN 100	0.3	0.05	1191744,03	1153549,26	Afluente con flujo tranquilo, con usuarios de viviendas aledañas	Escarpada o fuerte	
162	Medellín	La Volcana-Guayabal	Quebrada La Negra	0.8	0.1	1191395,42	1153865,05	Flujo turbulento con presencia de material mediano, con vegetación herbácea y pastizales	Escarpada o fuerte	
150	Medellín	La Volcana-Guayabal	Drenaje NN 01	2	2	1192003,48	1153214,80	Cauce mojado, con baja presencia de vegetación tipo arbustiva, lecho cubierto en concreto	Ondulada a Media	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Nombre fuente hídrica	Ancho cauce (m)	Prof. (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Foto
						Norte (Y)	Este (X)			
190	Medellín	Boquerón	Quebrada La Igwana	1.5	0.2	1188936,98	1157457,13	Flujo turbulento, con vegetación abundante arbustiva con presencia de material grueso en el fondo del cauce.	Ondulada a media	
142	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 101	0.2	0.2	1189266,37	1156485,60	Se evidencia un arroyo proveniente del costado nor oriental de la vía, con poco caudal, rodeado por árboles de menos de 5m de altura.	Plana o suave	
146	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 102	0.6	0.1	1189060,67	1.156.671,01	Arroyo con presencia de árboles menores a 15 metros cuya densidad es media. Se evidencia captaciones para uso en riegos aguas abajo.	Ondulada a media	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Nombre fuente hídrica	Ancho cauce (m)	Prof. (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Foto
						Norte (Y)	Este (X)			
148	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 103	0.4	0.2	1188915,62	1156818,49	Quebrada de color amarillo del costado occidental de la vía, con presencia de pastizales y presencia de vegetación de fondo.	Ondulada a media	
150	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 104	0.25	0.2	1188802,63	1156982,17	Canal con flujo tranquilo, es un afluente de la quebrada la Culebra, vegetación abundante arbustiva	Plana o suave	
189	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 107	0.2	0.1	1.188.735,56	1.157.422,69	Cuerpo de agua con flujo tranquilo, con presencia vegetación arbustiva y pastizales	Ondulada a media	
191	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 108	-	-	1.189.197,24	1.156.331,97	Cuerpo de agua con presencia de vegetación arbórea abundante y de alta pendiente que impide la	Escarpada o fuerte	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Nombre fuente hídrica	Ancho cauce (m)	Prof. (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Foto
						Norte (Y)	Este (X)			
								llegada hasta el cauce.		
237	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 109	0.4	0.03	1.188.923,78	1.156.974,68	Cauce mojado con poco flujo de agua, tiene una vegetación alrededor con pastizales, cauce cubierto en concreto.	Escarpada o fuerte	
165	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 110	1.2	0.15	1.189.346,52	1.156.228,02	Flujo turbulento con presencia de vegetación arbórea de densidad media. Afluente de la Q. La Culebra.	Escarpada o fuerte	
151	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 105	0.2	0.1	1188702,74	1156994,31	Flujo tranquilo de carácter permanente con presencia de vegetación de tipo arbustiva. Afluente de la quebrada La Culebra,	Plana o suave	

ID	Municipio	Vereda o Corregimiento	Nombre fuente hídrica	Ancho cauce (m)	Prof. (m)	Coordenadas		Características en el sector de cruce	Pendiente	Foto
						Norte (Y)	Este (X)			
144	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 106	0.5	0.2	1.189.171,13	1.156.522,66	Box Culvert por donde pasa cuerpo de agua natural, con flujo tranquilo.	Escarpada o Fuerte	
166	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 111	1.3	0.2	1.189.272,95	1.156.130,52	Flujo turbulento, lecho con presencia de material mediano y vegetación arbórea	Escarpada o fuerte	

Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Debido a restricción de acceso entre las coordenadas X: 1155622,53 Y: 1189813,06 y X: 1153745,94 Y: 1191286,8 se hace difícil la verificación total en campo de los sistemas loticos existentes (Ver Fotografía 5-128), por lo cual, en la Tabla 5-48 se relacionan las coordenadas de los posibles cuerpos de agua en este sector de acuerdo a la información cartográfica disponible en el IGAC, es de mencionar que todas corresponden a corrientes de cuarto orden, afluentes de la quebrada La Frisola la cual pertenece a la subcuenca de la Quebrada La Clara o Seca. La coordenada que se indica corresponde a la proyección del trazado del túnel a la superficie.

Fotografía 5-128. Evidencia de restricciones de acceso en el sector de túnel



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

Tabla 5-48. Posibles sistemas loticos sector de túnel entre las coordenadas X: 1156219,63/ Y: 1189340,91 y X: 1153745,94 y Y: 1191286,8

Municipio	Corregimiento / Vreda	Nombre fuente hídrica	Coordenadas	
			Norte (Y)	Este (X)
Medellín	Palmitas / La Frisola	Drenaje NN 26	1189853,4	1155589,7
Medellín	Palmitas / La Frisola	Drenaje NN 27	1190063,7	1155317,2
Medellín	Palmitas / La Frisola	Drenaje NN 28	1190172,2	1155179,5
Medellín	Palmitas / La Frisola	Drenaje NN 29	1190207,9	1155132,9
Medellín	Palmitas / La Frisola	Drenaje NN 30	1190245,3	1155084,2
Medellín	Palmitas / La Frisola	Drenaje NN 31	1190334,8	1154968,6
Medellín	Palmitas / La Frisola	Drenaje NN 32	1190727,1	1154461,5
Medellín	Palmitas / La Frisola	Drenaje NN 33	1190972,4	1154146,7
Medellín	Palmitas / La Frisola	Quebrada La Valencia	1191019,8	1154086,9

Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.5.5.1.2 Sistemas lénticos

Corresponden a todas las aguas interiores que no presentan corrientes continuas, sin flujos, tales como humedales, que corresponden a ecosistemas intermedios con ambientes permanentemente inundados; lagunas, las cuales representan geo formas de especial importancia desde el punto de vista ecológico de la región.

Dentro del área de influencia en el sector donde se prevé la construcción del segundo túnel de occidente no se identificaron cuerpos de agua lenticos.

5.1.5.5.2 Dinámica Hídrica y sus variaciones en sitios de túnel

La dinámica hídrica en la zona de túnel, corresponde a ríos de montaña y de transición caracterizados por su torrencialidad.

Los ríos de montaña se caracterizan por presentar una pendiente longitudinal y transporte de sedimentos representativos, además de tener secciones de cauce definidas, en general encañonados, Estas condiciones hacen que las crecientes sean súbitas y las variaciones de caudal y nivel significativas.

De la red de drenaje identificada en la zona de estudio, se estableció que las alteraciones del régimen natural son de tipo torrencial y son estacionales, es decir, se presentan de acuerdo al régimen de precipitaciones bimodal, presentándose dichos fenómenos entre los meses de marzo-Junio y Septiembre-Noviembre.

5.1.5.5.3 Estimación de los niveles y caudales característicos de las corrientes inventariadas

En la zona de influencia, se identificaron cuatro corrientes representativas a saber, quebrada La Culebra - afluente de la quebrada La Iguaná, y quebradas La Valencia y dos corrientes afluentes de la quebrada La Frisola, como se observa en la Figura 5-90.

5.1.5.5.3.1 Caudales medios

Teniendo en cuenta datos de balance hídrico y según las características propias de las cuencas – verificadas en campo-, en general el área de estudio se trata de una zona seca con poca disponibilidad de agua. Las corrientes más representativas son las que tienen agua permanentemente, y por tanto, en las que se puede cuantificar un caudal medio.

Así, a partir del área de la cuenca hasta el sitio de cruce, y con el dato de rendimientos hídricos calculados en la estación Penalta sobre el río Aurrá (Ver Tabla 5-49), se obtiene el caudal medio en cada sitio.

La representación gráfica del comportamiento de los caudales de las quebradas en sitio de túnel se indican en la Figura 5-90 y Tabla 5-50.

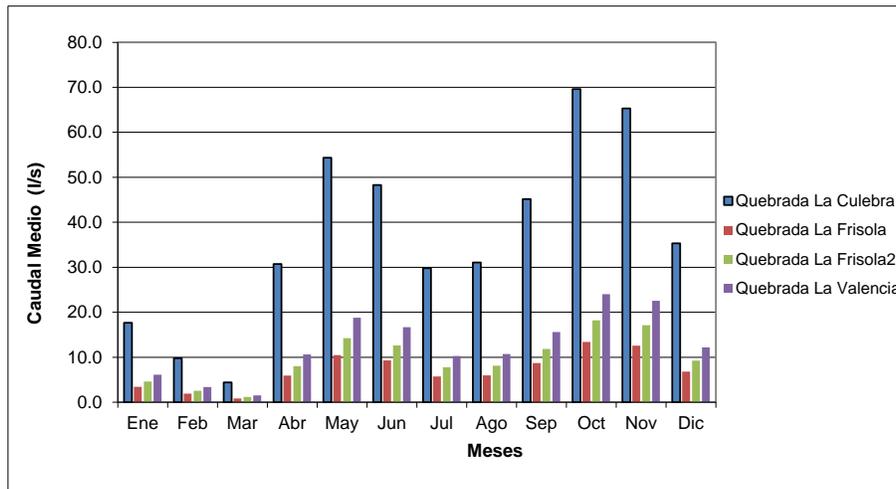
Tabla 5-49 Rendimientos medios mensuales ($m^3/s km^2$) – Estación Penalta (Río Aurrá)

$A_{estación}$ (Km²) 192.06

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Caudal medio (m^3/s)	2.78	2.31	2.47	2.97	4.21	4.27	3.71	3.65	4.23	5.55	5.04	3.83	3.75
Rendimiento ($m^3/s km^2$)	0.014	0.012	0.013	0.015	0.022	0.022	0.019	0.019	0.022	0.029	0.026	0.020	0.020

Fuente. (Consultoría Colombiana S. A, 2016)

Figura 5-90 Caudales medios mensuales – Quebradas sitio túnel



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Tabla 5-50 Caudales medios mensuales (l/s) – Quebrada sitio túnel

ID	NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
3	Quebrada La Culebra	17.66	9.77	4.41	30.72	54.36	48.27	29.77	31.06	45.14	69.60	65.32	35.31	36.89
4	Quebrada La Frisola	3.40	1.88	0.85	5.92	10.48	9.30	5.74	5.99	8.70	13.42	12.59	6.81	7.11
5	Quebrada La Frisola2	4.62	2.56	1.16	8.04	14.23	12.64	7.79	8.13	11.82	18.22	17.10	9.24	9.66
6	Quebrada La Valencia	6.10	3.38	1.52	10.61	18.77	16.67	10.28	10.73	15.59	24.04	22.56	12.20	12.74

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

➤ Niveles medios

Teniendo en cuenta, el caudal medio anual calculado y una sección típica en el sitio de proyección del túnel, se observan alturas de lámina de agua no mayores de 30 cm para las quebradas en referencia.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.5.5.3.2 Caudales máximos

A fin de calcular caudales máximos para diferentes periodos de retorno, se utiliza la metodología del hidrograma unitario recomendada por “The Soil Conservation Service. SCS” para cuencas mayores a 2.50 km² y el método racional para cuencas con superficies menores a este valor.

Estos modelos lluvia – escorrentía son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en las cuencas hidrográficas, y son modelos en los cuales se calcula la escorrentía superficial.

A fin de calcular caudales máximos para diferentes periodos de retorno, se utiliza la metodología del hidrograma unitario recomendada por “The Soil Conservation Service. SCS” para cuencas mayores a 2.50 km² y el método racional para cuencas con superficies menores a este valor.

Estos modelos lluvia – escorrentía son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en las cuencas hidrográficas, y son modelos en los cuales se calcula la escorrentía superficial.

➤ **Parámetros Morfométricos**

Para las cuencas en estudio se han evaluado los parámetros de: pendiente media y tiempo de concentración, según la siguiente metodología:

◆ **Pendiente media del cauce (S)**

Es la variación de inclinación del cauce. Determina la velocidad de escurrimiento del agua. A mayor pendiente, mayor velocidad.

La pendiente media del cauce se realizó por el método de Taylor - Schwarz, que ajusta una rasante al perfil de la corriente.

$$S = \left[\frac{L_t}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^2$$

Donde:

- Lt: Longitud total del cauce principal en (Km)
- Li: Longitud en que se divide el cauce principal (Km)
- Si: Pendiente de cada uno de los tramos

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

◆ Tiempo de concentración (Tc)

Tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca.

Las expresiones más utilizadas son las de:

- Kirpich

$$T_c = 0.06628 \cdot \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Desarrollada a partir de información del SCS, recomendada para cuencas rurales en zonas montañosas.

- Temez

$$T_c = 0.30 \cdot \frac{L^{0.75}}{S^{0.19}}$$

- U.S. Corps of Engineers

$$T_c = 0.0882 \cdot \frac{L^{0.76}}{S^{0.19}}$$

- Chow

$$T_c = 0.0197 \cdot \frac{L^{0.64}}{S^{0.32}}$$

Donde:

L: Longitud total del cauce principal en (Km)

S: Pendiente Promedio en (m/m)

Tc: Tiempo de Concentración en (min)

5.1.5.5.3.2.1 Cálculo de caudales para cuencas menores mediante el método racional

Este método estima el caudal en función de la intensidad de la precipitación, el área de drenaje y el coeficiente de escorrentía, mediante la fórmula:

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Donde:

- Q: Caudal de diseño (m³/s)
C: Coeficiente de escorrentía
I: Intensidad de lluvia de duración igual al Tc de la cuenca (mm/hr)
A: Superficie de la subcuenca en proyección horizontal (Km²)

5.1.5.5.3.2.2 Método del Hidrograma unitario del SCS

Este método de cálculo de la escorrentía máxima, utiliza como información básica, el área de drenaje, la longitud del cauce principal, la pendiente del cauce, la precipitación bruta caída en la cuenca en estudio, su duración y el valor característico del suelo CN, de acuerdo con la clasificación definida por el U.S. S.C.S. Para cuencas sin medición de caudales y con áreas mayores a 2.5 km², se empleó el método del hidrograma unitario de SCS.

En esencia se pretende determinar un caudal pico específico o por unidad de lluvia neta qp en (m³/s-cm de lluvia neta). Para este fin, se utilizó la metodología del Hidrograma Unitario, el cual, a través de un proceso lineal como lo es la convolución, se hace la transformación de lluvia efectiva a escorrentía directa por el cauce. Uno de los métodos más utilizados para cuencas con tamaños similares a la de los ríos de la zona del proyecto, es el Método Triangular, desarrollado por el SCS de los Estados Unidos.

Se utilizó el hidrograma triangular desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service que a partir de su forma se obtiene las siguientes relaciones:

$$T_c = L^{0.77} S^{-0.385}$$

- L: Longitud del cauce principal desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés, en Km
S: Pendiente promedio del cauce, en m/m
Tp: Tiempo al pico, se mide desde el comienzo del hidrograma unitario en horas y está dado por la siguiente expresión:

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6T_c$$

Donde D es el exceso de precipitación unitaria en horas y Tc es el tiempo de concentración en horas

Ahora:

- Qp: Caudal unitario máximo en m³/s y está dado por la expresión:

$$Q_p = 0.2083A \frac{E}{T_p}$$

Donde:

- A: Área de la cuenca en Km²
E: Esgurrimiento medio en mm
Tp: Tiempo al pico en horas

De la misma manera:

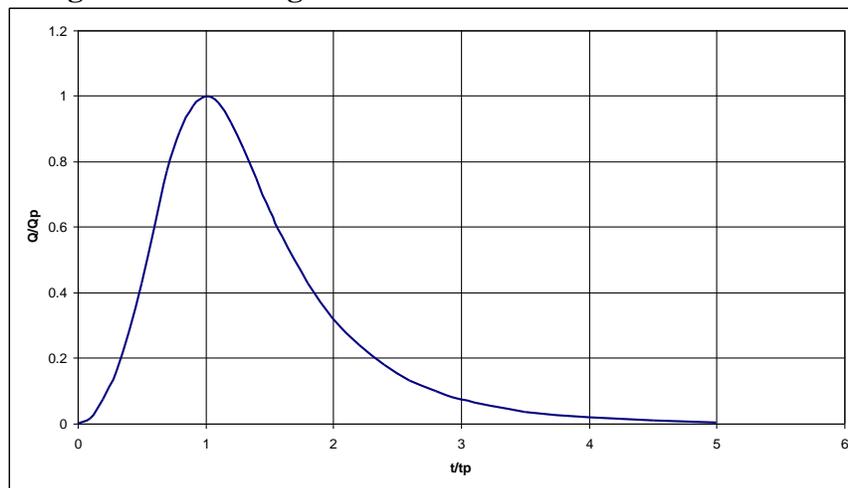
$$T_b = \frac{8}{3} T_p$$

Para convertir el hidrograma unitario triangular en curvilíneo se utilizó el hidrograma unitario adimensional desarrollado por el U. S. Soil Conservation Service (Ver Figura 5-91).

Ahora, para la determinación del hietograma sintético de la lluvia de diseño o sea la distribución de la profundidad de la lluvia en el tiempo. Se obtuvieron las profundidades totales para diferentes períodos de retorno en las estaciones más representativas de los sitios de interés.

En el presente estudio se obtuvo el valor de la profundidad de la lluvia para períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años, a partir de los análisis de precipitación realizados para las estaciones de registro de lluvias de la zona.

Figura 5-91 Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S.



Fuente: Ven te Chow, 1994

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

La precipitación efectiva (P_e), fue estimada utilizando el método del Soil Conservation Service de los EEUU, el cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_e = \frac{\left(P - \frac{5080}{CN} + 50.8 \right)^2}{P + \frac{20320}{CN} - 203.2}$$

Donde:

P_e : precipitación efectiva en mm.

P: precipitación de tormenta de diseño en mm.

CN: número de curva.

La determinación del número de curva de las cuencas se realiza mediante un promedio ponderado por el área del número de curva asignado a cada zona o unidad de suelo y cobertura vegetal homogénea identificada dentro de las cuencas.

5.1.5.5.3.2.3 Resultados Caudales máximos

Con base en datos de precipitación efectiva, tiempo de concentración y área aferente de las cuencas, se calcularon los caudales máximos en condiciones de lluvia asociadas a diferentes periodos de retorno (Ver Tabla 5-51).

Tabla 5-51 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método Racional

Id	Nombre	Área (Km2)	Longitud de Cauce (m)	Cota Superior msnm	Cota Inferior msnm	Dif. de altura (m)	So (%)	Tc Ec. U.S. Corps Engineers	
								horas	min
3	Quebrada La Culebra	2.0197	2470	2657	2025	632	25.59	0.72	43.27
4	Quebrada La Frisola	0.3893	725	2696	2401	295	40.69	0.26	15.61
5	Quebrada La Frisola2	0.5287	1127	2665	2025	640	56.78	0.34	20.49
6	Quebrada La Valencia	0.6976	1963	2809	2007	802	40.85	0.55	33.25

Id	Nombre	Caudales a diferentes periodos de retorno (m3/s)					
		2.33	5	10	25	50	100
3	Quebrada La Culebra	18.10	20.92	23.86	28.40	32.40	36.96

Id	Nombre	Caudales a diferentes periodos de retorno (m3/s)					
		2.33	5	10	25	50	100
4	Quebrada La Frisola	6.77	7.83	8.93	10.62	12.12	13.82
5	Quebrada La Frisola2	7.70	8.90	10.16	12.09	13.79	15.73
6	Quebrada La Valencia	7.42	8.58	9.78	11.64	13.28	15.15

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

➤ Niveles Máximos

Teniendo en cuenta los caudales máximos calculados para diferentes periodos de retorno y con una sección típica en el sitio de proyección del túnel, se observan alturas de lámina de agua para periodos de retorno de 100 años no mayores de 0.8 m para las quebradas en sitios de túnel.

5.1.5.5.3.3 Caudales mínimos

La metodología para la estimación del caudal ecológico de cuencas se encuentra definida en la Resolución No. 0865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el cual el caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua. Este método fue desarrollado por el IDEAM y acogido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, como procedimiento general en el territorio nacional.

Existen diversas metodologías para estimar los caudales ecológicos:

- Hidrológicas: Se basan en el comportamiento de los caudales en los sitios de interés, para lo cual es necesario el conocimiento de series históricas de caudales.
- Hidráulicas: Consideran la conservación del funcionamiento o dinámica del ecosistema fluvial a lo largo de la distribución longitudinal del río, es decir que el caudal de reserva que se deje en los distintos tramos permita que el río siga comportándose como tal.
- Simulación de los hábitats: Estiman el caudal necesario para la supervivencia de una especie en cierto estado de desarrollo.
- Mínimo histórico: El Estudio Nacional del Agua (2000) a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

caudal promedio multianual de mínimo 5 a máximo 10 años que permanece el 97,5% del tiempo y cuyo periodo de recurrencia es de 2,33 años.

- Porcentaje de Descuento: El IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

De acuerdo con lo anterior, el caudal mínimo ecológico se a partir de rendimientos hídricos de la estación Penalta localizada sobre el río Aurrá. En la Tabla 5-52 se muestran los caudales mínimos calculados.

Tabla 5-52 Caudales mínimos mensuales (l/s) – Quebradas sitio Túnel

ID	NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
3	Quebrada La Culebra	17.66	9.77	4.41	30.72	54.36	48.27	29.77	31.06	45.14	69.60	65.32	35.31	36.89
4	Quebrada La Frisola	3.40	1.88	0.85	5.92	10.48	9.30	5.74	5.99	8.70	13.42	12.59	6.81	7.11
5	Quebrada La Frisola2	4.62	2.56	1.16	8.04	14.23	12.64	7.79	8.13	11.82	18.22	17.10	9.24	9.66
6	Quebrada La Valencia	6.10	3.38	1.52	10.61	18.77	16.67	10.28	10.73	15.59	24.04	22.56	12.20	12.74

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

➤ Niveles Mínimos

Teniendo en cuenta el caudal mínimo anual calculado y con una sección típica en el sitio de proyección del túnel, se observan alturas de lámina de agua de hasta 5 cm para las quebradas en referencia.

5.1.5.5.4 Localización de las corrientes y cuerpos de agua

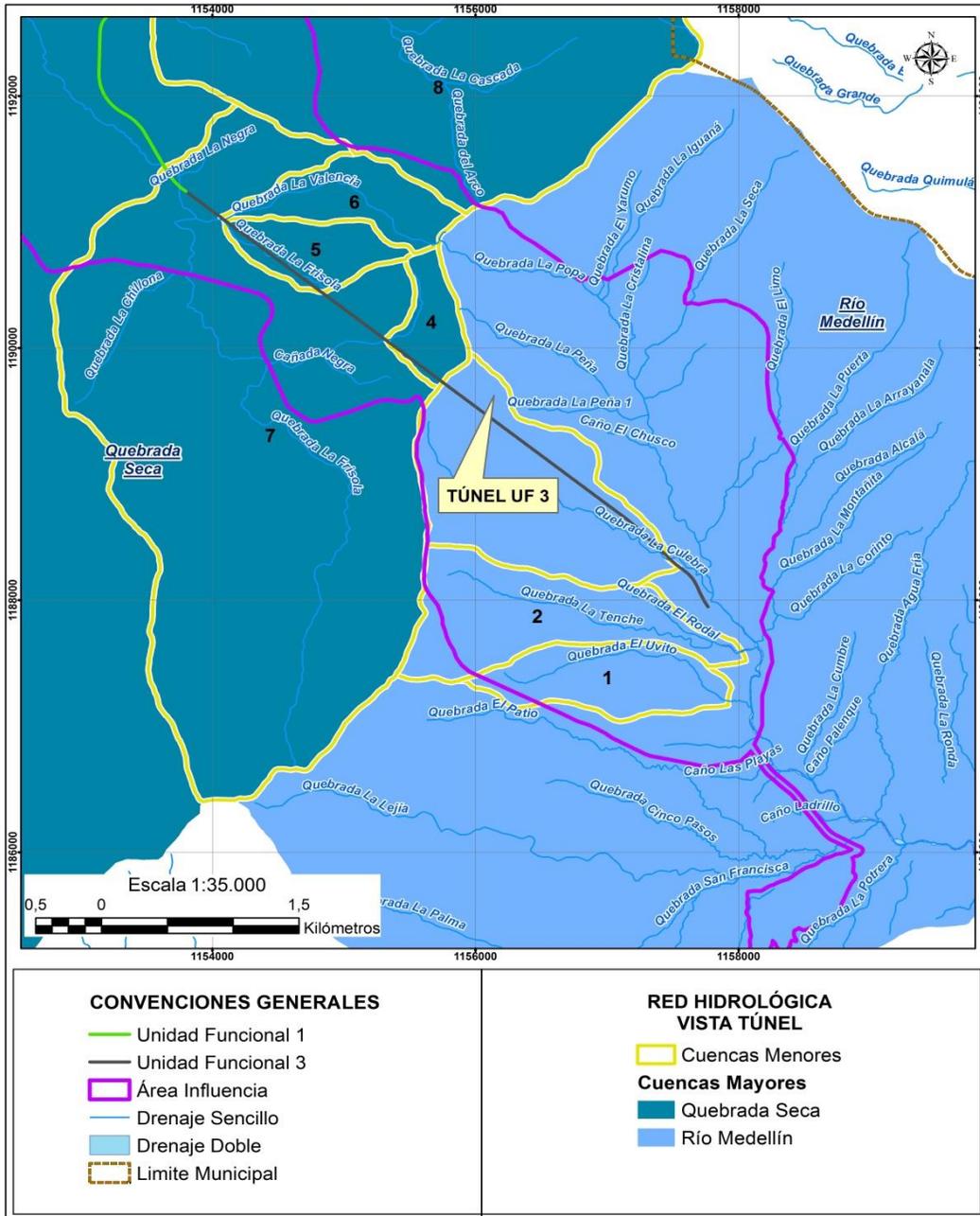
Las corrientes en el sitio de construcción del segundo túnel de Occidente, son corrientes pequeñas, con áreas de drenaje no mayores a 2.5 Km².

Las corrientes más representativas son la quebrada La Culebra- afluente de la quebrada La Iguaná- y quebrada La Valencia y dos corrientes pequeñas afluentes de la quebrada La Frisola

En general, se trata de cauces de montaña con geometría bien definida y arrastre de sedimentos.

La identificación y localización de los cuerpos de agua (lénticos y lóticos) en el sector donde se proyecta la construcción del segundo túnel de Occidente, se efectuó a partir de la cartografía IGAC escala 1:10.000 y 1:25.000 y recorridos de campo, encontrándose que está constituida esencialmente por una red de drenajes de tipo lótico, que de acuerdo a la clasificación de Horton - Strahler son de orden entre 1 a 4. La red de drenaje se puede observar en la Figura 5-92.

Figura 5-92 Localización red hidrográfica sector segundo Túnel de Occidente



Fuente: IGAC, planchas topográficas. Escala 1:100.000; Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.6 Calidad del agua

El estado ambiental en que se encuentra el recurso hídrico, en cuanto a sus condiciones físico-químicas, bacteriológicas e hidrobiológicas, permite establecer el tipo de uso que se

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

le puede dar a este bajo ciertos estándares de calidad, que de no ser cumplidos, requerirían de tratamientos específicos para su posterior aprovechamiento. Estos estándares de calidad, pueden ser alterados de diferente forma, tanto directa como indirectamente, por aporte de diferentes agentes provenientes de la dinámica natural del entorno (aportes de materia orgánica, arrastre de sedimentos, etc.), o por actividades antrópicas que modifican las condiciones normales del recurso

5.1.6.1 Cuerpos de Agua Continentales

La evaluación de la calidad del agua (físicoquímica e bacteriológica) de los sistemas hídricos susceptibles de afectación por el proyecto, permitan evidenciar los cambios que se puedan presentar durante el desarrollo de las diferentes actividades de construcción; igualmente permitirán asegurar el cumplimiento a los requerimientos establecidos por las autoridades ambientales sobre la responsabilidad de conservar y proteger el recurso hídrico y como herramienta fundamental para establecer una línea base ambiental del proyecto.

A continuación se presenta la información recopilada por el laboratorio Corporación Integral del Medio Ambiente –CIMA, el cual se encuentra acreditado por el IDEAM para el desarrollo de esta actividad. Para la ejecución de los monitores, se tuvo en cuenta los parámetros establecidos en los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental –EIA en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles, así como los establecidos en la resolución 631 de 2015 para el caso de las corrientes que pueden llegar a ser empleadas como receptoras de los vertimientos a generar en el proyecto. Se debe tener en cuenta que para las dos unidades funcionales (3-1) los monitoreos se realizaron en un periodo climático seco con mucha nubosidad; entre el 14 y 18 de marzo del 2016 para la UF 1 y entre los días 16 y 21 de abril de 2016 para la UF 3 por lo cual, posterior a los resultados de laboratorio, se presenta la estimación de los parámetros físicoquímicos y bacteriológicos de las corrientes hídricas para una temporalidad diferente a la medida; con el fin de dar cumplimiento a la resolución 751 del 26 de marzo de 2015

5.1.6.1.1 Caracterización Físicoquímica y Bacteriológica

Para la Unidad Funcional 3 los muestreos se realizaron en jurisdicción del municipio de Medellín en el departamento Antioquia, para el muestreo se consideraron inicialmente tres (3) puntos correspondientes a sistemas de aguas subterráneas y trece (13) a sistemas de agua superficial de los cuales únicamente se monitorearon ocho (8) cuerpos de agua. Debido a que a la hora de realizar el muestreo de este grupo de puntos de agua superficial se encontró un (1) punto seco y dada la topografía montañosa no se pudo acceder a cuatro (4) puntos.

Por otro lado, para la Unidad Funcional 1 se consideraron 31 cuerpos de agua superficial, de los cuales se registraron 18 puntos secos en el momento de la verificación en campo. La evaluación de los resultados físicoquímicos y bacteriológicos de las aguas superficiales, se desarrollo tomando como referencia los criterios establecidos en el *Decreto 1076 de 2015*

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (correspondientes a los parámetros establecidos inicialmente por el *Decreto 1594 de 1984* del Ministerio de Agricultura, teniendo en cuenta que el Decreto 1076 es una norma compilatoria que no los modificó)

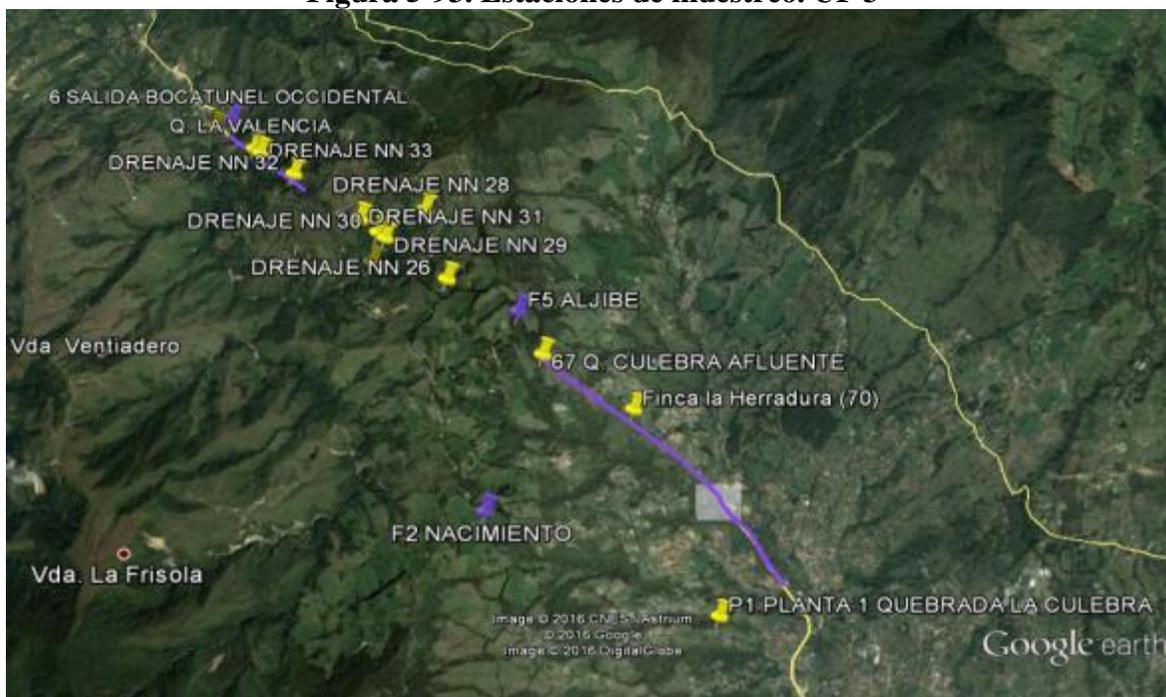
A continuación se presenta la georreferenciación de todos los cuerpos de agua muestreados para la UF 3 y en la Figura 5-93 se muestra la ubicación espacial, así mismo para la UF 1 se presentan en la Tabla 5-54 y se localizan en la Figura 5-94 respectivamente.

Tabla 5-53. Georreferenciación de las estaciones de muestreo UF 3

Id	Nombre Punto de Muestreo	Coordenadas geográficas		Coordenadas planas Magna Sirgas Origen Oeste	
		Latitud	Longitud	Norte	Este
V3	Quebrada la Valencia	6°19'17,7"N	75°41'6,7"W	1191006,6	1154070,36
32	Drenaje NN 32	6°19'8,56"N	75°40'53,99"W	1190726,8	1154461,87
28	Drenaje NN 28	6°18'57,0"N	75°40'22,7"W	1190374,17	1155424,82
27	Drenaje NN 27	6°18'46,3"N	75°40'35,28"W	1190044,34	1155038,94
26	Drenaje NN 26	6°18'40,0"N	75°40'17,3"W	1189852,24	1155592,25
67	Afluente Q. Culebra	6°18'23,3"N	75°39'57,0"W	1189340,77	1156217,77
1	Quebrada la Culebra	6°17'52,3"N	75°39'18,8"W	1188391,39	1157394,84
P2	Q. La Frisola	6°19'25,8"N	75°41'17,3"W	1191254,62	1153743,8
29	Drenaje NN 29	6°18'51,6"N	75°40'32,2"W	1190207,45	1155133,19
30	Drenaje NN 30	6°18'52,8"N	75°40'33,8"W	1190244,19	1155083,9
31	Drenaje NN 31	6°18'55,8"N	75°40'37,5"W	1190336,07	1154969,9
33	Drenaje NN 33	6°19'16,6"N	75°41'4,2"W	1190973,01	1154147,31
70	Finca la Herradura	6°18'11,16"N	75°39'37,28"W	1156824,82	1118969,53
6	Salida Bocatunel Occidental	6°19'27,3"N	75°41'12,9"W	1191301,08	1153878,95
F5	Aljibe	6°18'32,5"N	75°40'2,0"W	1189623,06	1156063,28
F2	Nacimiento	6°17'47,3"N	75°40'8,5"W	1188233,61	1155867,18

Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-93. Estaciones de muestreo. UF 3



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016), Modificado de Google Earth

Tabla 5-54. Georreferenciación de las estaciones de muestreo UF1

Id	Nombre Punto de Muestreo	Coordenadas geográficas		Coordenadas planas Magna Sirgas Origen Oeste	
		Latitud	Longitud	Norte	Este
51	Q. La Guaracú I	6°25'38,1"N	75°43'48,5"W	1202682,14	1149065,463
52	Caño. El Garabato	6°25'04,2"N	75°43'41,6"W	1201641,04	1149280,295
57	Q. La San Juan	6°23'58,1"N	75°43'38,6"W	1199610,21	1149377,852
58	Caño El Gustazo	6°23'57,4"N	75°43'35,3"W	1199588,97	1149479,348
59	Drenaje NN 04 Piedra Negra	6°23'38,2"N	75°43'14,5"W	1199000,69	1150120,278
60	Q. La Murrapala	6°23'21,5"N	75°42'57,3"W	1198488,94	1150650,355
62	La Gasapera	6°22'57,8"N	75°42'59,5"W	1197760,52	1150584,652
63	Piedra Negra	6°22'46,9"N	75°43'14,7"W	1197424,36	1150118,283
138	Q. Saltos Pisquines	6°22'06,3"N	75°42'39,7"W	1196179,66	1151197,501
146	Q. La Cola	6°20'20,8"N	75°41'31,4"W	1192943,49	1153305,804
147	Q. La Volcana Guayabal	6°20'15,4"N	75°41'21,9"W	1192778,34	1153598,307
150	Drenaje NN01 Q La Volcana	6°19'50,3"N	75°41'33,1"W	1192778,34	1153598,307
P2	Q. La Frisola	6°19',8"N	75°41'17,3"W	1191254,62	1153743,802
145	Q. La Nuez	6°20'22,5"N	75°41'36,0"W	1192991,92	1153176,03

Id	Nombre Punto de Muestreo	Coordenadas geográficas		Coordenadas planas Magna Sirgas Origen Oeste	
		Latitud	Longitud	Norte	Este
137	Q. San Gregorio	6°22'0,7"N	75°42'45,9"W	1196003,54	1151001,07
136	Q. La Iris	6°21'58,3"N	75°42'46,5"W	1195926,78	1150984,28
135	Q. La Roncha	6°21'55,1"N	75°43'4,8"W	1195844,18	1150416,62
134	Q. La Mula	6°22'0,3"N	75°43'6,5"W	1195999,2	1150373,7
133	Q. La Rochela	6°22'9,7"N	75°43'7,8"W	1196290,48	1150339,31
132	Q. NN 01	6°22'24,3"N	75°43'11,8"W	1196730,45	1150210,29
66	Q. La Yola	6°22'29,1"N	75°43'20,5"W	1196912,88	1149940,92
65	Q. Mestizal	6°22'35,8"N	75°43'20,8"W	1197083,95	1149931,73
64	Q. La Madera	6°22'35,1"N	75°43'43,2"W	1197193,48	1149947,31
56	Drenaje NN 06	6°24'1,7"N	75°43'44,7"W	1199730,17	1149192,44
54	Cañada Honda	6°25'23,7"N	75°43'52,2"W	1200398,48	1148957,51
53	Drenaje NN 07	6°24'32,2"N	75°43'51,9"W	1200657,88	1148965,19
61	Drenaje NN 03	6°23'52,49"N	75°42'47,83"O	1198106,67	1150603,93

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-94. Estaciones de muestreo UF 1



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016), modificado de Google Earth

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.1		

Con el fin de establecer las condiciones de calidad de las fuentes hídricas que posiblemente puedan ser objeto de intervención a lo largo del trazado de la vía, se programó una campaña para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos que se listan a continuación. Se debe tener en cuenta que los cuerpos de agua de la UF 3 correspondientes a la Quebrada La Culebra (P1) Y Quebrada La Frisola (P2) para la campaña de monitoreo se consideraron como posibles puntos de vertimientos, por lo cual se tomaron parámetros establecidos en los términos de referencia y en la resolución 631 del 2015 por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Así mismo puntos de aguas subterráneas los cuales hacen referencia a los siguientes nombres Salida Bocatunel Occidental (6), Aljibe (F5) y Nacimiento (F2) correspondientes a la UF 3. Por lo anterior se debe entender que en los resultados habrá puntos de muestreo que tendrán más parámetros medidos y evaluados que otros.

Parámetros *In situ*:

- Temperatura muestra
- Conductividad
- Oxígeno Disuelto
- Sólidos sedimentables
- Sólidos disueltos totales
- pH

Otros

- | | |
|----------------------------------------|----------------------|
| • Acidez total | • Zinc |
| • Alcalinidad total | • Plata |
| • Dureza cálcica | • Plomo |
| • Dureza total | • Selenio |
| • Color | • Arsénico |
| • DBO5 (demanda bioquímica de oxígeno) | • Bario |
| • DQO (demanda química de oxígeno) | • Cadmio |
| • Fenoles totales | • Cobre |
| • Fósforo total | • Cromo total |
| • Grasas y aceites | • Coliformes totales |
| • Nitrógeno total | • Coliformes fecales |
| • Sólidos suspendidos totales | |
| • Sólidos totales | |
| • Turbiedad | |
| • Mercurio | |
| • Níquel | |

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Los muestreos se llevaron a cabo de acuerdo al Plan de muestreo del laboratorio, siguiendo los procedimientos estipulados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Ed. 22, en los textos de la APHA-AWWA-WPCF (American Public Health Association, AWWA (American Water Works Association y WPCF (Water Pollution Control Federation), Standard Methods Edición 22 (2012) y la metodología aprobada a C.I.M.A. por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA en la resolución de 1431 del 10 de noviembre de 2015, para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de Estudios Ambientales. A continuación se presentan los métodos considerados para la evaluación de cada uno de los parámetros medidos, y en la Tabla 5-56 se muestran los requerimientos de manipulación y preservación de la muestra.

Tabla 5-55. Métodos y parámetros evaluados.

Análisis	Unidad	Método Analítico
Acidez total	Mg/L	SM 2310 B
Alcalinidad total	mg/L	SM 2320 B
Arsénico total	mg/L	S.M 3500 - As B
Bario	mg/L	SM 3111 D
Cadmio	mg/L	SM 3111 B
Cobre	Mg/L	SM 3111 B
Coliformes fecales	NMP/100mL	S.M 9221 E
Coliformes totales	NMP/100mL	S.M 9223 B
Color verdadero	UPC	SM 2120 C
Conductividad (<i>In Situ</i>)	uS/cm	SM 2510 B
Cromo total	mg/L	SM 3111 B
DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	mg/L	SM 5210 B - 4500 - OG
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mg/L	SM 5220 D
Dureza cálcica	mg/L	SM 3500 - CA B
Dureza total	mg/L	SM 2340 C
Fenoles totales	mg/L	SM 5530 B - D
Fósforo total	mg/L	SM 4500 P B - D
Grasas y aceites	mg/L	SM 5520 B
Mercurio total	mg/L	SM 3112 B
Níquel total	mg/L	SM 3111 B
Nitrógeno total	mg/L	SM 4500-NORG B
Oxígeno disuelto (<i>In situ</i>)	mg/L	SM 4500 O G
pH (<i>In situ</i>)	Unidad	SM 4500 H+ B
Plata total	mg/L	SM 3111 B
Plomo total	mg/L	SM 3111 B
Selenio total	mg/L	SM 3114 B
Sólidos disueltos totales (<i>In situ</i>)	mg/L	SM 2510 B
Sólidos sedimentables (<i>In situ</i>)	ml/L-h	SM 2540 F
Sólidos totales	Mg/L	SM 2540 B
Temperatura (<i>In situ</i>)	°C	SM 2550 B
Turbiedad	NTU	SM 2130 B
Zinc	mg/L	SM 3111 B

Fuente: Standard Methods for examination of water and wastewater. 22st edition. 2012.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Tabla 5-56. Requerimientos de manipulación y preservación de la muestra

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	TAMAÑO MÍNIMO MUESTRA mL	PRESERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE ANÁLISIS RECOMENDADO
Acidez	Plástico o vidrio	100	Refrigerar	24 horas
Alcalinidad	Plástico o vidrio	200	Refrigerar	24 horas
Arsénico	Plástico o vidrio	1000	HNO ₃ hasta pH < 2 Refrigerar	6 meses
Cadmio	Plástico o vidrio	1000	HNO ₃ pH < 2 Refrigerar	6 meses
Cobre	Plástico o vidrio	1000	HNO ₃ hasta pH < 2 Refrigerar	6 meses
Coliformes fecales	Plástico o vidrio	200	0,2 mL Tiosulfato 3 % Refrigerar	12 horas
Coliformes totales	Plástico o vidrio	200	0,2 mL Tiosulfato 3 % Refrigerar	12 horas
Color	Plástico o vidrio	500	Refrigerar	48 horas
Conductividad	Plástico o vidrio	500	Refrigerar	7 días
Cromo VI	Plástico con HNO ₃ 1 + 1 vidrio con HNO ₃ 1 + 1	1000	Refrigerar	24 horas
DBO	Plástico o vidrio	1000	Refrigerar	6 horas
DQO	Plástico o vidrio	100	Analizar lo más pronto posible o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2 y refrigerar	7 días
Dureza	Plástico o vidrio	100	Agregar HNO ₃ o H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	6 meses
Fenoles	Plástico o vidrio PTFE	500	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2 y refrigerar	preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento y analizar lo más pronto posible
Fósforo total	Plástico o vidrio	100	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2 y refrigerar	28 días
Grasas y aceites	Vidrio de boca ancha	1000	Agregar HCl o H ₂ SO ₄ hasta pH < 2 y refrigerar	28 días
Mercurio	Plástico con HNO ₃ 1 + 1 vidrio con HNO ₃ 1 + 1	1000	Agregar HNO ₃ hasta pH < 2 y refrigerar	28 días
Metales	Plástico con HNO ₃ 1 + 1 vidrio con HNO ₃ 1 + 1	1000	Filtrar inmediatamente para metales disueltos Agregar HNO ₃ hasta pH < 2	6 meses
Níquel	Vidrio	1000	Acidificar a pH < 2	1 mes
Nitrógeno total	Plástico	500	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2 y refrigerar	28 días
Oxígeno disuelto,	Vidrio, botella	300	Analizar de inmediato	15 minutos

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	TAMAÑO MÍNIMO MUESTRA mL	PRESERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE ANÁLISIS RECOMENDADO
eléctrodo	Winkler			
pH	Plástico o vidrio	50	Analizar de inmediato	15 minutos
Plata	Plástico o vidrio	1000	Agregar HNO ₃ hasta pH < 2 y refrigerar	6 meses
Plomo	Plástico o vidrio	1000	Agregar HNO ₃ hasta pH < 2 y refrigerar	6 meses
Selenio	Vidrio	1000	Acidificar a pH < 2	1 mes
Sólidos disueltos totales	Plástico o vidrio	200	Refrigerar	7 días
Sólidos sedimentables	Plástico o vidrio	200	Refrigerar	7 días
Sólidos totales	Plástico o vidrio	200	Refrigerar	7 días
Temperatura	Plástico o vidrio	-	Analizar de inmediato	15 minutos
Turbiedad	Plástico o vidrio	100	Almacenar en la oscuridad, hasta 24 horas, refrigerar, analizar el mismo día	24 horas
Zinc	Plástico o vidrio	1000	Agregar HNO ₃ hasta pH < 2 y refrigerar	6 meses

Fuente: Standard Methods for examination of water and wastewater. 22st edition. 2012.

En el Anexo E3_Calidad de Agua se presenta el informe detallado de los resultados y los soportes correspondientes, entregados por CIMA con los respectivos soportes.

5.1.6.1.1.1 Resultados

A continuación se presenta una descripción puntual de las condiciones climáticas y generales de cada punto donde se realizó la toma de muestra y posteriormente se analizan cada una de las variables estudiadas.

Tabla 5-57. Descripción de puntos de monitoreo UF 3

Puntos de monitoreo	Coordenadas: Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos		Registro fotográfico
	Q. La Valencia	N:	1191006,60	Climático	
E:		1154070,35	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa	



Puntos de monitoreo	Coordenadas: Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos	Registro fotográfico
			Cobertura: Bosque con inicio de alteración importante cuya continuidad se ve frecuentemente interrumpida. Del Cuerpo de agua COLOR: Agua transparente. SUSTRATO: Rocoso cubierto con abundante hojarasca OLOR: No se perciben olores particulares	
Observaciones: En un tramo de 100 m de longitud, se aprecia que el cuerpo de agua presenta un ancho aproximado de 6 m y profundidad máxima de 0,5 m, presenta tipología sinuosa, se encuentra un puente peatonal que pasa sobre el cuerpo de agua. Como coriotopos presente se encuentra hojarasca y piedra en corriente lenta; como actividades antrópicas en esta zona rural se encuentra ganadería y agricultura.				
Drenaje NN 32	N:	1190726,796	Climático	Día Seminublado con una temperatura ambiente de 18°C
	E:	1154461,868	Paisajístico	Geomorfología: montañosa Cobertura: Franja de bosque secundario con inicio de alteración importante cuya continuidad se ve frecuentemente interrumpida.
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: Rocoso-arenoso OLOR: No se perciben olores particulares
Observaciones: En un tramo de 100m de longitud, se aprecia un ancho aproximado de 0,3 m y una profundidad máxima de 0,05 m, el cuerpo de agua es atravesado por un paso peatonal, la tipología del cuerpo de agua es sinuosa, como coriotopos presentes se encuentra hojarasca y piedra en corriente lenta. Como actividades antrópicas presentes en la zona se destaca la agricultura y la ganadería				
Drenaje NN 28	N:	1190374,17	Climático	Día seminublado con una temperatura ambiente de 18°C 

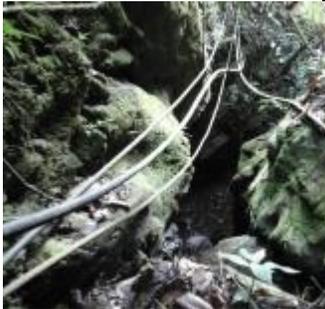
Puntos de monitoreo	Coordenadas: Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos		Registro fotográfico
	E:	1155424,821	Paisajístico	Geomorfología: montañosa Cobertura: Franja de bosque secundario de aproximadamente 10 metros de ancho sobre el cuerpo de agua, zona de bosque secundario con fuertes alteraciones cuya continuidad es esporádica.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Aguas transparente. SUSTRATO: Arcilloso arenoso OLOR: No se perciben.	
Observaciones: En un tramo de 100 m se observa que el cuerpo de agua presenta un ancho de 1 m, y una profundidad máxima de 0,02 m, cuerpo de tipología sinuosa, donde se observan como coriotopos representativos hojarasca y arena, como actividades antrópicas se destaca la agricultura y la ganadería.					
Drenaje NN 27	N:	1190044,34	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 17°C.	
	E:	1155038,937	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa con pendientes de más de 45°. Cobertura: Bosque secundario ligeramente perturbado cuya continuidad se ha visto poco interrumpida	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: Arenoso- Rocoso. OLOR: No se perciben.	
Observaciones: Sobre un tramo de 100m, el cuerpo de agua presenta un ancho de 0,8 m y una profundidad máxima de 0,3 m, tipología sinuosa, no se observan estructuras artificiales. Como coriotopos presentes se observa hojarasca y arena. Como actividades en cercanías al punto, se identifican la gricultura y en menor escala la ganadería.					
Drenaje 26	N:	1189852,244	Climático	Día, Nublado con una temperatura ambiente de 17°C	

Puntos de monitoreo	Coordenadas: Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos	Registro fotográfico
	E:	1155592,253	Paisajístico Geomorfología: Montañosa con pendientes de más de 45° Cobertura: Franja de bosque secundario con inicio de alteración importante cuya continuidad se ve frecuentemente interrumpida.	
			Del Cuerpo de agua COLOR: Agua transparente. SUSTRATO: Rocoso arcilloso OLOR: No se perciben olores característicos	
Observaciones: Sobre un tramo de 100m se observa que el cuerpo de agua lóxico presenta 0,50 m de ancho, y una profundidad máxima de 0,05 m, se encuentra al lado del cuerpo de agua una manguera que toma el agua de un pozo construido de aproximadamente 1 m ² , la tipología del cuerpo de agua es sinuosa. Como coriotopos presentes se encuentra hojarasca y arena. El sitio se encuentra en una zona rural donde se generan actividades antrópicas tales como la agricultura y la ganadería en menor proporción.				
67 Afluente Q. Culebra	N:	1189340,774	Climático	
	E:	1156217,767	Paisajístico	
			Del Cuerpo de agua	
Observaciones: Se hace una evaluación del punto en un tramo de 100 m, en los que se encuentra que el cuerpo de agua posee un ancho de 0,7 m y una profundidad media de 0,10 m, no se observan estructuras artificiales. Como coriotopos presentes se encuentra hojarasca y piedra en corriente lenta. El sitio es una zona rural donde se desarrollan como actividades antrópicas la agricultura y la ganadería.				
Trama 1 Quebrada Culebra	N:	1188391,394	Climático	Día, nublado con una temperatura ambiente de 21°C.

Puntos de monitoreo	Coordenadas: Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos		Registro fotográfico
	E:	1157394,839	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Franja de bosque secundario, ligeramente perturbado, con continuidad poco interrumpida.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SISTRATO: Rocoso-arenoso OLOR: No se perciben olores particulares.	
Observaciones: Se realiza una observación sobre un tramo de 100 m de longitud, en el que se encuentra que el cuerpo de agua posee un ancho de 1 m, y una profundidad máxima de 0,3 m, no se observan estructuras artificiales presentes. Se precia como coriotopos representativos, piedra en corriente lenta y arena. Las actividades antrópicas presentes en la zona son la agricultura y la ganadería.					
Planta 2 Quebrada la Frisola	N:	1191254,624	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 24 °C.	
	E:	1153743,802	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona donde el bosque presenta inicio de alteración importante cuya continuidad se ve frecuentemente interrumpida.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente. SISTRATO: Rocoso-arenoso. OLOR: No se perciben olores particulares.	
Observaciones: Sobre la zona de 100 m se encuentra que el ancho promedio es de 10 m, con una profundidad media promedio de 0,4 m, de tipología trenzada. Se presentan como coriotopo predominante, piedra en corriente rápida. Las actividades antrópicas presentes en la zona rural, son la ganadería, la agricultura y la minería con la extracción de material para la construcción, arena y piedra.					
6 Salida boca túnel occidental	N:	1191301,077	Climático	Día, Nublado con una temperatura ambiente de 23°C.	

Puntos de monitoreo	Coordenadas: Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos		Registro fotográfico
	E:	1153878,953	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona donde el bosque se encuentra con degradación extrema no existe continuidad.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: No se aprecia puesto que las aguas son recogidas en un Box Culvert. OLOR: No se perciben olores particulares.	
Observaciones: El punto se encuentra a la salida derecha del túnel Medellín-Santafé de Antioquia, recoge las aguas de infiltración del interior del túnel y la descarga sobre un Box-Culvert. La actividad antrópica preponderante en el punto es el transporte.					
F5 ALJIBE	N:	1189623,055	Climático	Día, Seminublado con una temperatura ambiente de 18°C.	
	E:	1156063,276	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura Franja de bosque secundario con degradación extrema y continuidad nula.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: agua transparente SUSTRATO: Arenoso-arcilloso OLOR: No se perciben olores particulares.	
Observaciones: se observa sobre un transepto de 100 m el inicio de un proceso de infiltración el cual ha sido represado artificialmente, las aguas subterráneas son recogidas en un pozo artificial, el cual está lleno de materia orgánica en descomposición. Como actividades antrópicas en la zona se encuentra la agricultura y la ganadería, aunque también se encuentra la tala y aprovechamiento de la madera.					
F2 NACIMI ENTO	N:	1188233,613	Climático	Día soleado, temperatura ambiente de 19°C.	

Puntos de monitoreo	Coordenadas: Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos		Registro fotográfico
	E:	1155867,181	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa con inclinaciones mayores a 45° Cobertura: Franja de bosque secundario fuertemente alterado, continuidad se ve frecuentemente interrumpida.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: agua transparente SUSTRATO: Arenoso-arcilloso Olor: No se perciben olores característicos.	
Observaciones: Se encuentra un pozo que recoge las aguas de infiltración provenientes de las zonas altas de la montaña, pozo de aproximadamente 0,4 x 0,5 m, y una profundidad de 0,05 m. Como actividades antrópicas en la zona se destaca la agricultura y la ganadería.					
Drenaje NN 29	N:	1190207,45	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 18 °C.	
	E:	1155133,19	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Bosque secundario sin intervención	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: NA SUSTRATO: NA OLOR: NA	
Observaciones: Punto en el cual la topografía y la pendiente del terreno impidieron el acceso, por lo cual, por motivos de seguridad del personal no es viable la toma de muestra para análisis.					
Drenaje NN 30	N:	1190244,19	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 18 °C.	
	E:	1155083,9	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa	

Puntos de monitoreo	Coordenadas: Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos		Registro fotográfico
				Cobertura: Bosque secundario sin intervención	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: NA SUSTRATO: NA OLOR: NA	
Observaciones: Punto en el cual la topografía y la pendiente del terreno impidieron el acceso, por lo tanto por motivos de seguridad no se tomó el punto.					
Drenaje NN 31	N:	1190336,07	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 17 °C.	
	E:	1154969,9	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Bosque secundario sin intervención	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: NA SUSTRATO: NA OLOR: NA	
Observaciones: Punto en el cual la topografía y la pendiente del terreno impidieron el acceso, por lo tanto por motivos de seguridad no se tomó el punto.					
Drenaje NN 33	N:	1190973,01	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 19 °C.	
	E:	1154147,31	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Bosque secundario sin intervención	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: NA SUSTRATO: NA OLOR: NA	
Observaciones: Punto en el cual la topografía y la pendiente del terreno impidieron el acceso, por lo tanto por motivos de seguridad no se tomó el punto.					

Puntos de monitoreo	Coordenadas: Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos		Registro fotográfico
Finca la Herradura (ID 70)	N:	1156824,82	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 18 °C.	
	E:	1118969,53	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Franja de Bosque secundario con inicio de alteración importante cuya continuidad se ve frecuentemente intervenida.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: NA SUSTRATO: NA OLOR: NA	
Observaciones: Este punto se encontraba seco.					

Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

A continuación (Tabla 5-58) se presenta una descripción de las condiciones climáticas y generales de cada punto donde se realizó la toma de muestra para la Unidad Funcional 1 y posteriormente se analizan cada una de las variables estudiadas.

Tabla 5-58. Descripción de puntos de monitoreo UF 1.

Puntos de monitoreo	Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá		Aspectos		Registro fotográfico
51. Quebrada Guaracú I	N:	1202682,138	Climático	Día Soleado, temperatura ambiente de 27°C	
	E:	1149065,463	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona de bosque secundario con inicio de alteración importante, cuya continuidad se está viendo frecuentemente interrumpida.	

Puntos de monitoreo		Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá		Aspectos		Registro fotográfico
				Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua color pardo, semi transparente SUSTRATO: Arenoso- Limoso OLOR: No se perciben olores particulares.	
Observaciones: En el tramo de observación de 100 m, el cuerpo de agua presenta un ancho aproximado de 6 m, y una profundidad máxima de 0,4 m, la tipología del tramo es sinuosa y se encuentra como estructura artificial presente un puente vehicular. Como coriotopos presentes en la zona se destaca hojarasca, piedra en corriente rápida, piedra en corriente lenta y arena. Se observan como actividades antrópicas en la zona la agricultura y la ganadería, aunque en la zona se encuentran una gran cantidad de fincas dedicadas a la recreación y el turismo.						
52 Caño el Garabato	N:	1201641,041	Climático	Día Soleado, temperatura ambiente de 30 °C		
	E:	1149280,295	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa		
				Cobertura: Zona donde se perdió el bosque original, muestra degradación extrema y continuidad nula		
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Transparente ligeramente turbio SUSTRATO: Lecho canalizado OLOR: No se perciben olores		
Observaciones: El cuerpo de agua ha sido intervenido, con la canalización en un Box Culvert, se encuentra una película delgada de agua de algunos milímetros de espesor, la canalización abarca más de 100 metros, estructura rectilínea en caída en forma de escalones. Debido a este proceso antrópico no se encuentra sustrato para la colonización de comunidades como los macroinvertebrados acuático, el zooplancton, peces o macrófitas, por lo cual no se pueden tomar muestras hidrobiológicas.						
57 Q. La San Juan	N:	1199610,21	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 26 °C.		
	E:	1149377,852	Paisajístico	Geomorfología: montañosa		
				Cobertura: Zona en la que el bosque muestra fuertes alteraciones y la continuidad de este es esporádica.		
Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: Rocoso					

Puntos de monitoreo	Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá		Aspectos		Registro fotográfico
				OLOR: no se perciben olores particulares	
Observaciones: Se realiza una observación en un tramo de 100 metros en donde se encuentra que el cuerpo de agua presenta un ancho promedio de 2 m, y una profundidad máxima de 0,30 m, la tipología del cuerpo de agua es sinuosa. Las actividades antrópicas presentes en la zona son la agricultura y ganadería.					
58 (Caño El Gustazo)	N:	1199588,968	Climático	Día Nublado con temperatura ambiente de 25 °C.	
	E:	1149479,348	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona donde el bosque presenta degradación extrema, continuidad nula.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: aguas transparente SISTRATO: Rocoso arenoso OLOR: no se perciben olores particulares inicialmente, sin embargo al remover el sustrato se percibe olor a sulfuro de hidrógeno.	
Observaciones: Este cuerpo de agua se origina por la filtración proveniente de la montaña, las aguas se posan en el Box Culvert que queda bajo la vía, donde se presenta una lámina delgada de agua, en el tramo de 100 m de observación se encuentra que el ancho promedio del cuerpo de agua es de 0,20 m , y la profundidad es de 0,02 cm fuera del Box Culvert, donde se presenta una profundidad de 0, 0 m, la tipología en el tramo es rectilínea. En la zona se desarrolla como actividad antrópica principal una zona de paraderos donde se establecen restaurantes, sobre el cuerpo de agua se está construyendo un local comercial.					
59 Piedra Negra	N:	1199000,687	Climático	Día, soleado con temperatura ambiente de 27°C.	
	E:	1150120,278	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona donde el bosque presenta degradación extrema y continuidad nula. Solo se observa una cobertura herbácea.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente ligeramente turbia	

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.1		

Puntos de monitoreo		Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá	Aspectos		Registro fotográfico
				SUSTRATO: cubierto por un Box Culvert OLOR: No se perciben olores	
Observaciones: Cuerpo de agua canalizado, Box Culvert, rectilíneo que presenta una lámina de agua de algunos milímetros, el ancho aproximado del Box Culvert es de 1,2 m, localizado en una zona mixta entre urbana y rural, por lo cual las actividades de uso están ligadas al uso doméstico por parte de las viviendas aledañas y la agricultura.					
60 Quebrada La Murrápala	N:	1198488,936	Climático	Día, despejado con una temperatura ambiente de 25°C.	
	E:	1150650,355	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Bosque con fuertes alteraciones continuidad esporádica, zona donde predomina la vegetación herbácea y algunas franjas arbóreas.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: Rocoso OLOR: No se perciben olores particulares.	
Observaciones: En el tramo de observación (100 m), el ancho promedio del cuerpo de agua es de 0,80 m, y una profundidad promedio de 0,2 m, de tipología sinuosa, donde se presentan como coriotopos hojarasca, piedra en corriente rápida y piedra en corriente lenta, como estructuras artificiales presentes se encuentra un vía ducto que pasa sobre el ecosistema. Como actividades antrópicas presentes en la zona rural, está la agricultura y la ganadería.					
62 La Gasapera (Q. La San JuanaII)	N:	1197760,517	Climático	Día seminublado con una temperatura ambiente de 25°C.	
	E:	1150584,652	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona en la que el bosque presenta fuertes alteraciones cuya continuidad es esporádica, la cobertura es principalmente herbácea.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: Rocoso	

Puntos de monitoreo	Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá		Aspectos	Registro fotográfico	
			OLOR: No se perciben olores particulares		
Observaciones: Se encuentra en el tramo de observación (100 m), que el promedio del ancho del cuerpo de agua es de 2,5 m y una profundidad máxima aproximada de 0,20 m; de tipología sinuosa. Como estructuras artificiales presentes en la zona está un puente que pasa sobre el ecosistema. Las actividades antrópicas presentes en la zona rural son agricultura y ganadería.					
63 Piedra negra	N:	1197424,357	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 22°C	
	E:	1150118,283	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona donde el bosque presenta degradación extrema y continuidad nula, cobertura principalmente herbácea.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: Rocoso OLOR: No se perciben olores particulares.	
Observaciones: En el tramo de observación, (100 m), se encuentra en una zona de pendiente muy prolongada, la única zona plana es el Box Culvert que pasa bajo la vía, la tipología del cuerpo de agua es sinuosa se encuentra una película de agua delgada en la que no se aprecian coriotopos para el asentamiento de comunidades hidrobiológicas como macrinvertebrados acuáticos, zooplancton o peces, por lo tanto no es posible tomar muestras hidrobiológicas.					
138 Saltos y Pisquines	N:	1196179,664	Climático	Día, Nublado con una temperatura ambiente de 23°C.	
	E:	1151197,501	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura Al inicio la zona de bosque presenta una alteración importante cuya continuidad se ve frecuentemente interrumpida, la cobertura es principalmente arbustiva y arbórea en menor medida herbácea.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: Rocoso	

Puntos de monitoreo		Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá		Aspectos		Registro fotográfico	
				OLOR: No se perciben olores particulares.			
Observaciones: En el tramo de observación (100 m) se encuentra que el ancho promedio del cuerpo de agua es de 0,4 m, y una profundidad de 0,02 m de tipología sinuosa, zona de montaña con una pendiente muy prolongada que restringe el acceso a diferentes coriotos sin embargo en el punto de acceso se encuentra como corioto presente piedra en corriente rápida.							
Quebrada La Cola	N:	1192943,488	Climático	Día nublado en el que se presentaron algunas lloviznas al final de muestreo, temperatura ambiente de 23 °C.			
	E:	1153305,804	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona donde el bosque presenta fuertes alteraciones, la continuidad es esporádica, la cobertura es principalmente herbácea.			
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: Rocoso. OLOR: no se perciben olores particulares			
Observaciones: Sobre la zona de 100m se encuentra que el ancho promedio es de 1,5 m, con una profundidad promedio de 0,2 m, de tipología sinuosa. Como estructuras artificiales presentes en se encuentra un puente vehicular sobre el ecosistema. Se presentan como coriotos hojarasca y piedra en corriente rápida. Las actividades antrópicas presentes en la zona rural, son la ganadería y la agricultura.							
147 Quebrada la Volcana Guayabal	N:	1192778,339	Climático	Día nublado, temperatura ambiente de 23 °C.			
	E:	1153598,307	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona donde el bosque presenta fuertes alteraciones, la continuidad es esporádica, la cobertura es principalmente herbácea.			
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua verdosa transparente. SUSTRATO: Rocoso. OLOR: No se perciben olores particulares.			

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Puntos de monitoreo		Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá	Aspectos	Registro fotográfico
<p>Observaciones: Sobre la zona de 100m se encuentra que el ancho promedio es de 6 m, con una profundidad promedio de 0,5 m, de tipología sinuosa y corriente fuerte. Como estructuras artificiales presentes en se encuentra un viaducto sobre el ecosistema. Se presentan como coriotopos hojarasca, piedra en corriente rápida y piedra en corriente lenta. Las actividades antrópicas presentes en la zona rural, son la ganadería y la agricultura.</p>				
150 Quebrada La Volcana	N:	1192778,339	Climático	Día despejado en el que la, temperatura ambiente fue de 22 °C.
	E:	1153598,307	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona donde el bosque presenta degradación extrema, la continuidad es nula, la cobertura es principalmente herbácea.
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: Cubierto por construcción de Box Culvert. OLOR: No se perciben olores particulares.
				
<p>Observaciones: Sobre la zona de 100m se encuentra canalizado el cuerpo de agua por un Box Culvert de ancho promedio es de 1,5 m, con una profundidad media promedio de 0,01 m, por lo cual no existen coriotopos para comunidades hidrobiológicas como, macroinvertebrados, acuáticos o peces. Las actividades antrópicas presentes en la zona rural, son la ganadería y la agricultura.</p>				
Planta 2 Quebrada la Frisola	N:	1191254,624	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 24 °C.
	E:	1153743,802	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Cobertura: Zona donde el bosque presenta inicio de alteración importante cuya continuidad se ve frecuentemente interrumpida.
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Agua transparente SUSTRATO: Rocoso-arenoso. OLOR: No se perciben olores particulares.
				

Puntos de monitoreo	Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá		Aspectos		Registro fotográfico
Observaciones: Sobre la zona de 100 m se encuentra que el ancho promedio es de 10 m, con una profundidad media promedio de 0,4 m, de tipología trezada. Se presentan como coriotopo predominante, piedra en corriente rápida. Las actividades antrópicas presentes en la zona rural, son la ganadería, la agricultura y la minería con la extracción de material para la construcción, arena y piedra.					
53. Drenaje NN 07	N:	1200657,88	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 24 °C.	
	E:	1148965,19	Paisajístico	Geomorfología: Montañosa Se encuentra una estructura artificial tipo box culvert, en el que no se encontró espejo de agua para realizar la toma de la muestra	
			Del Cuerpo de agua	Cuerpo de agua seco	
Observaciones: Cuerpo de agua intervenido por la vía existente.					
54. Cañada Honda	N:	1200398,48	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 23°C.	
	E:	1148957,51	Paisajístico	Del mismo modo que en el caso anteriormente descrito se evidencia un sistema artificial tipo box culvert en el que no hay espejo de agua	
			Del Cuerpo de agua	Cuerpo de agua seco	
Observaciones: Cuerpo de agua intervenido por la vía existente.					
53. Drenaje NN 06	N:	1199730,17	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 25 °C.	
	E:	1149192,44	Paisajístico	En el momento del muestreo se observó un box culvert sin ningún espejo de agua; en este caso se ubica cerca a la vía	
			Del Cuerpo de agua	Cuerpo de agua seco	
Observaciones: en cada orilla se observan signos de condiciones de sequía.					
61. Drenaje NN 03	N:	1198106,67	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 25°C.	
	E:	1150603,93	Paisajístico	En este caso se encontró un box culvert en el que no hay	

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Puntos de monitoreo	Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá		Aspectos		Registro fotográfico
				lámina de agua, por ende se considera como punto seco	
			Del Cuerpo de agua	No se encontró lámina de agua	
Observaciones: en cada una de las orillas del sistema artificial existe vegetación riparia					
65. Quebrada Mestizal	N:	1197083,95	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 24 °C.	
	E:	1149931,73	Paisajístico	El cuerpo se ubicó debajo de una estructura vial, en el muestreo no se evidenció espejo de agua	
			Del Cuerpo de agua	Cuerpo de agua seco	
Observaciones: en cada una de las orillas del sistema artificial existe vegetación riparia					
64. Quebrada La Madera	N:	1198106,67	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 24°C.	
	E:	1150603,93	Paisajístico	El sistema está bajo una estructura vial tipo puente y presenta vegetación arbustiva.	
			Del Cuerpo de agua	No hay lámina de agua.	
Observaciones: punto seco					
66. Quebrada La Yola	N:	1196912,88	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 25 °C.	
	E:	1149940,92	Paisajístico	El punto de muestreo se ubica bajo un puente vehicular.	
			Del Cuerpo de agua	Cuerpo de agua seco	
Observaciones: punto seco					
64. Q. NN 01	N:	1196730,45	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 25°C.	
	E:	1150210,29	Paisajístico	Sistema ubicado bajo una estructura vial y un peñasco, acompañado por sustrato rocoso.	

Puntos de monitoreo		Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá		Aspectos		Registro fotográfico
				Del Cuerpo de agua	No hay lámina de agua.	
Observaciones: punto seco						
133. Quebrada La Rochela	N:	1196912,88	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 25 °C.		
	E:	1149940,92	Paisajístico	Se ubica bajo la vía, en un parche de bosque de rastrojo.		
			Del Cuerpo de agua	Cuerpo de agua seco		
Observaciones: punto seco						
134. Q. La Mula	N:	1195999,2	Climático	Día soleado con temperatura ambiente de 25°C.		
	E:	1150373,7	Paisajístico	El cuerpo de agua está ubicado a un lado del paso vehicular; en el recorrido se observa basura y desechos en cada orilla.		
			Del Cuerpo de agua	No hay lámina de agua.		
Observaciones: punto seco						
135. Quebrada La Roncha	N:	1195844,18	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 25 °C.		
	E:	1150416,62	Paisajístico	Se ubica bajo la vía, en un parche de bosque de rastrojo.		
			Del Cuerpo de agua	Cuerpo de agua seco		
Observaciones: punto seco						
136. Q. La Iris	N:	1195926,78	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 25°C.		
	E:	1150984,28	Paisajístico	El cuerpo de agua está ubicado a un lado del paso vehicular; se observan tuberías sobre el sistema.		
			Del Cuerpo de agua	No hay lámina de agua.		

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Puntos de monitoreo	Coordenadas Magna Sirgas - Origen Bogotá		Aspectos		Registro fotográfico
Observaciones: punto seco					
137. Quebrada San Gregorio	N:	1196003,54	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 25 °C.	
	E:	1151001,07	Paisajístico	Se ubica bajo la vía, en un parche de bosque de intervenido.	
			Del Cuerpo de agua	Cuerpo de agua seco	
Observaciones: punto seco					
145. Q. La Nuéz	N:	1192991,92	Climático	Día soleado con una temperatura ambiente de 25°C.	
	E:	1153176,03	Paisajístico	El cuerpo de agua está ubicado a un lado del paso vehicular, en cada orilla hay vegetación arbustiva, desechos y basura en el sistema.	
			Del Cuerpo de agua	No hay lámina de agua.	
Observaciones: punto seco					

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

5.1.6.1.1.1.1 Resultados UF 3

Los resultados de las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas de la Unidad Funcional 3 obtenidos por el laboratorio, se presentan de forma resumida en la Tabla 5-59 el detalle de los análisis de variación se presentan en el Anexo E3_Calidad de agua en el cual se incluye el informe completo de laboratorio. Como se mencionó anteriormente dependiendo del tipo de intervención prevista en cada cuerpo de agua, se desarrolló la campaña de monitoreo, por lo cual, para los cuerpos de agua denominados Quebrada La Culebra y Quebrada La Frisola, se determinaron los parámetros establecidos en el artículo 15 de la Resolución 631 de 2015 la cual establece los parámetros y límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales dependiendo el tipo de actividad a desarrollar.

Tabla 5-59. Resultados *In situ* y de laboratorio de los cuerpos de agua superficial.

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS			DECRETO 1076/2015					
		DRENAJE NN 27	DRENAJE NN 26	67 AFLUENTE Q. LA CULEBRA	Art 2.2.3.3.9.3 Cons. Hum.Trat.	Art. 2.2.3.3.9.4 Cons. Hum.Des	Art 2.2.3.3.9.5 Uso Agr.	Art 2.2.3.3.9.6 Uso Pec.	Art 2.2.3.3.9.7 Fines Recr. 1	Art 2.2.3.3.9.8 Fines Recr. 2
No. LABORATORIO IHA		54974	54973	54972						
No. LABORATORIO CIAN		3808	3807	3806						
No. CIMA		2781	2780	2779						
FECHA	A-M-D	2016-04-17	2016-04-17	2016-04-16						
HORA	h:min	14:02	9:30	9:30						
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	17	17	18	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	15,64	15,98	15,8	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
pH	Unidades	7,85	7,08	7,6	5 - 9	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	N.E.	5 - 9	5 - 9
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	28	67	79	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	22	53	63	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	0,1	<0,1	0,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
OXÍGENO DISUELT	mg/L	7,75	6,27	7,01	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	<5	<5	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	18	50	58	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
BARIO	mg/L	0,8	0,8	0,9	1	1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
CADMIO	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E.	N.E.
COBRE	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	1	1	0,2	0,5	N.E.	N.E.
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	96	12	42	2000	N.E.	1000	N.E.	200	N.E.
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	136	14	44	20000	1000	5000	N.E.	1000	5000
CROMO TOTAL	mg/L	<0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	1	N.E.	N.E.
DBO5	mg/L O ₂	3	3	4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg/L O ₂	62	<5	9	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA CALCICA	mg/L CaCO ₃	7	22	36	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	13	35	42	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
FÓSFORO TOTAL	mg/L P	0,19	1,03	0,94	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	<0,5	<0,5	<0,5	S.P.V	S.P.V	N.E.	N.E.	S.P.V.	S.P.V.
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	8,40	6,72	10,60	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
NIQUEL	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	0,2	N.E.	N.E.	N.E.
PLATA	mg/L	0,005	<0,05	<0,14	0,05	0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
PLOMO	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	5	0,1	N.E.	N.E.
S. SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	5	15	46	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	18	57	99	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
TURBIDAD	NTU	6,6	1,8	8,4	N.E.	190	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ZINC	mg/L	<0,01	<0,01	0,01	15	15	2	25	N.E.	N.E.
MERCURIO	mg/L	<0,0019	<0,0019	<0,0019	0,002	0,002	N.E.	0,01	N.E.	N.E.
SELENIO	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,01	0,01	0,02	N.E.	N.E.	N.E.

NE: No Establecido; valores en color verde indican que se encuentran cumpliendo con los límites permisibles; valores en color rojo están por fuera de estos límites.

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS			DECRETO 1076/2015					
		V3 Q. LA VALENCIA	DRENAJE NN 28	DRENAJE NN 32	Art 2.2.3.3.9.3 Cons. Hum.Trat.	Art. 2.2.3.3.9.4 Cons. Hum.Des	Art 2.2.3.3.9.5 Uso Agr.	Art 2.2.3.3.9.6 Uso Pec.	Art 2.2.3.3.9.7 Fines Recr. 1	Art 2.2.3.3.9.8 Fines Recr. 2
No. LABORATORIO IHA		54976	54977	54975	Art 2.2.3.3.9.3 Cons. Hum.Trat.	Art. 2.2.3.3.9.4 Cons. Hum.Des	Art 2.2.3.3.9.5 Uso Agr.	Art 2.2.3.3.9.6 Uso Pec.	Art 2.2.3.3.9.7 Fines Recr. 1	Art 2.2.3.3.9.8 Fines Recr. 2
No. LABORATORIO CIAN		4144	4145	3809						
No. CIMA		2796	2797	2782						
FECHA	A-M-D	2016-04-18	2016-04-19	2016-04-18						
HORA	h:min	16:30	13:10	11:55						
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	17	18	18	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	17,36	15,91	16,16	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
pH	Unidades	7,55	7,25	7,78	5 - 9	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	N.E.	5 - 9	5 - 9
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	20	38	14	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	15	30	11	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	m/L	0,3	0,5	1,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	7,25	5,51	7,45	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	<5	<5	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	11	26	9	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
BARIO	mg/L	0,8	1,0	0,9	1	1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
CADMIO	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E.	N.E.
COBRE	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	1	1	0,2	0,5	N.E.	N.E.
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	12	299	56	2000	N.E.	1000	N.E.	200	N.E.
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	13	313	57	20000	1000	5000	N.E.	1000	5000
CROMO TOTAL	mg/L	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05	0,1	1	N.E.	N.E.
DBO5	mg/L O ₂	3	5	3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg/L O ₂	<5	28	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA CALCICA	mg/L CaCO ₃	<5	14	2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	8,5	17	6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
FÓSFORO TOTAL	mg/L P	3,73	1,63	1,79	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	<0,5	<0,5	<0,5	S.P.V	S.P.V	N.E.	N.E.	S.P.V.	S.P.V.
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	10,10	5,04	10,60	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
NÍQUEL	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	0,2	N.E.	N.E.	N.E.
PLATA	mg/L	<0,05	0,06	<0,05	0,05	0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
PLOMO	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	5	0,1	N.E.	N.E.
S. SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	19	180	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	31	206	10	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
TURBIEDAD	NTU	7,5	97	0,4	N.E.	190	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ZINC	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	15	15	2	25	N.E.	N.E.
MERCURIO	mg/L	<0,0019	<0,0019	<0,0019	0,002	0,002	N.E.	0,01	N.E.	N.E.
SELENIO	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,01	0,01	0,02	N.E.	N.E.	N.E.

NE: No Establecido; valores en color verde indican que se encuentran cumpliendo con los límites permisibles; valores en color rojo están por fuera de estos límites.

M STUS	PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS		DECRETO 1076/2015					
			P1 Q. LA CULEBRA	P2 Q. LA FRISOLA	Art 2.2.3.3.9.3 Cons. Hum.Trat.	Art. 2.2.3.3.9.4 Cons. Hum.Des	Art 2.2.3.3.9.5 Uso Agr.	Art 2.2.3.3.9.6 Uso Pec.	Art 2.2.3.3.9.7 Fines Recr. 1	Art 2.2.3.3.9.8 Fines Recr. 2
	No. LABORATORIO IHA		54971	2731						
	No. LABORATORIO ANTEK		34132	2749						
	No. LABORATORIO CIAN		3805	3585						
	No. CIMA		2778	2731						
	FECHA	A-M-D	2016-04-16	2016-04-15						
	HORA	h:min	14:10	12:10						
	TEMPERATURA AMBIENTE	°C	21	25	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	18,25	20,51	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	pH	Unidades	7,82	7,46	5 - 9	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	N.E.	5 - 9	5 - 9
	CONDUCTIVIDAD	µS/cm	137	39	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	102	20	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	OXÍGENO DISUELTTO	mg/L	7,29	7,65	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	CAUDAL	L/s	5,4	1255	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO3	<5	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO3	76	18	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	ALUMINIO	mg/L	0,8	0,7	N.E.	N.E.	5	5	N.E.	N.E.
	ANTIMONIO	mg Sb/L	<0,01	<0,01	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	AOX	mg/L	<0,01	<0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	BARIO	mg/L	0,8	0,8	1	1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	BERILIO	mg Be/L	<0,011	<0,011	N.E.	N.E.	0,1	N.E.	N.E.	N.E.
	BORO	mg/L	<0,137	<0,137	N.E.	N.E.	0,3 - 4,0	5	N.E.	N.E.
	CADMIO	mg/L	<0,005	<0,005	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E.	N.E.
	CLORUROS	mg/L Cl-	<5	<5	250	250	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	COBRE	mg/L	<0,03	<0,03	1	1	0,2	0,5	N.E.	N.E.
	COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	11	103	2000	N.E.	1000	N.E.	200	N.E.
	COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	12	114	20000	1000	5000	N.E.	1000	5000
	COMPUESTO FENOLICOS SEMIVOLATILES	mg/L	<0,001	<0,001	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	CROMO TOTAL	mg/L	0,12	<0,05	0,05	0,05	0,1	1	N.E.	N.E.
	DOC	mg/L	17	68	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	DBO5	mg/L	3	2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	DQO	mg/L O2	11	54	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	ESTAÑO	mg/L	<0,229	<0,229	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	DUREZA TOTAL	mg/L CaCO3	75	13	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	DUREZA CALCICA	mg/L CaCO3	46	6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	FORMALDEHIDO	mg/L	<0,2	<0,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	FÓSFORO TOTAL	mg/L P	1,95	1,77	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	GRASAS Y ACEITES	mg/L	<0,5	<0,5	S.P.V	S.P.V	N.E.	N.E.	S.P.V.	S.P.V.
	HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS	mg/L	<0,0003	<0,0003	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	HIDROCARBUROS TOTALES	mg/L	<0,5	<0,5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	HIERRO TOTAL	mg/L	<0,05	0,26	N.E.	N.E.	5	N.E.	N.E.	N.E.
	LITIO	mg/L	<0,021	<0,021	N.E.	N.E.	2,5	N.E.	N.E.	N.E.
	MANGANESO	mg/L	<0,03	<0,03	N.E.	N.E.	0,2	N.E.	N.E.	N.E.
	MERCURIO	mg/L	<0,0019	0,0019	0,002	0,002	N.E.	0,01	N.E.	N.E.
	MOLÍBDENO	mg/L	0,3	0,2	N.E.	N.E.	0,01	N.E.	N.E.	N.E.
	NÍQUEL	mg/L	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	0,2	N.E.	N.E.	N.E.
	NITRATOS	mg/L N - NO3	2,3	<0,3	10	10	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	NITRITOS	mg/L N - NO2	<0,003	<0,003	1	1	N.E.	10	N.E.	N.E.
	NITRÓGENO AMONICAL	mg/L N-NH3	<5	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	NITRÓGENO TOTAL	mg/L	11,8	9,5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	ORTOFOSFATOS	mg PO43-/L	0,212	<0,06	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	PLATA	mg/L	<0,05	<0,05	0,05	0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	PLOMO	mg/L	<0,05	<0,05	0,05	0,05	5	0,1	N.E.	N.E.
	SELENIO	mg/L	<0,009	<0,009	0,01	0,01	0,02	N.E.	N.E.	N.E.
	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	30	18	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	SÓLIDOS TOTALES	mg/L	113	39	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	SULFATOS	mg/L SO4-2	2,9	2	400	400	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	SULFUROS	mg/L S-2	<4	<4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	TENSOACTIVOS	mg/L LAS	0,168	0,292	0,5	0,5	N.E.	N.E.	0,5	0,5
	TITANIO	mg/L	<0,158	<0,158	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	TURBIDAD	NTU	1,08	7,3	N.E.	N.E.	190	N.E.	N.E.	N.E.
	VANADIO	mg/L	<0,3	<0,3	N.E.	N.E.	0,1	N.E.	N.E.	N.E.
	ZINC	mg/L	0,03	0,03	15	15	2	25	N.E.	N.E.
	Arsenico	mg/L	<0,01	<0,01	0,05	0,05	0,1	0,2	N.E.	N.E.
	BENCENO, TOLUENO, XILENO Y ETILBENCENO	mg/L	<0,01	<0,01	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	CIANURO	mg/L	<0,05	<0,05	0,2	0,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	COBALTO	mg/L	<0,05	<0,05	N.E.	N.E.	0,05	N.E.	N.E.	N.E.
	Fenoles	mg/L	<0,002	<0,002	0,002	0,002	N.E.	N.E.	0,002	N.E.
	COLOR REAL (436 Nm)	1/m	6,5	9,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	COLOR REAL (520 Nm)	1/m	5,7	8,7	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	COLOR REAL (620 Nm)	1/m	5,0	8,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
	FLUORUROS	mg/L de F-	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

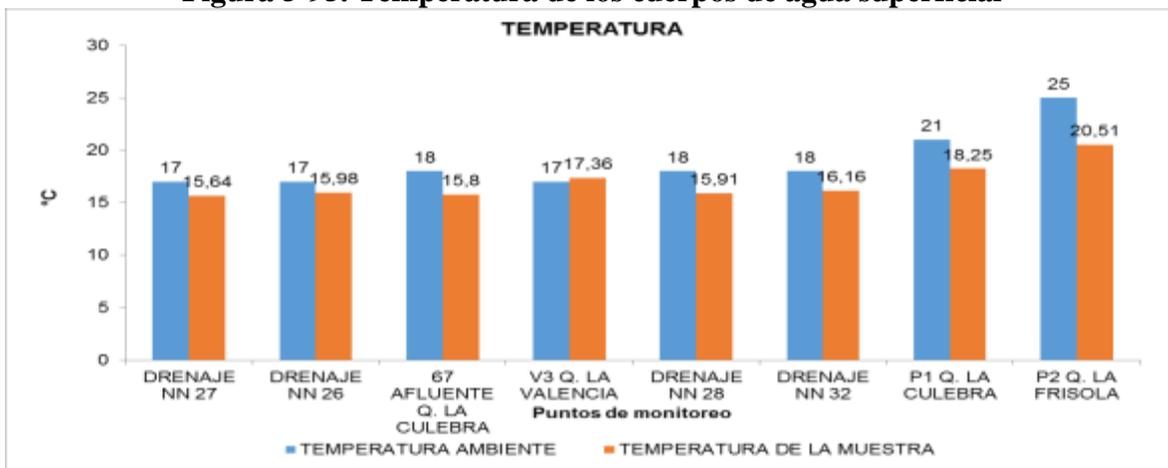
NE: No Establecido; valores en color verde indican que se encuentran cumpliendo con los límites permisibles; valores en color rojo están por fuera de estos límites.

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Temperatura

La temperatura es un parámetro de gran relevancia en los análisis de calidad del agua, debido a que influye en el grado de saturación del oxígeno disuelto y en la solubilidad de gases (Rodier et al., 2010); para el caso de los cuerpos de agua superficial monitoreados se reportaron valores acordes a las condiciones climatológicas de la zona (en la cual se registró una temperatura ambiente máxima de 25°C), presentando un comportamiento similar en los puntos de muestreo (Figura 5-95) con temperaturas entre los 21°C y 17 °C.

Figura 5-95. Temperatura de los cuerpos de agua superficial



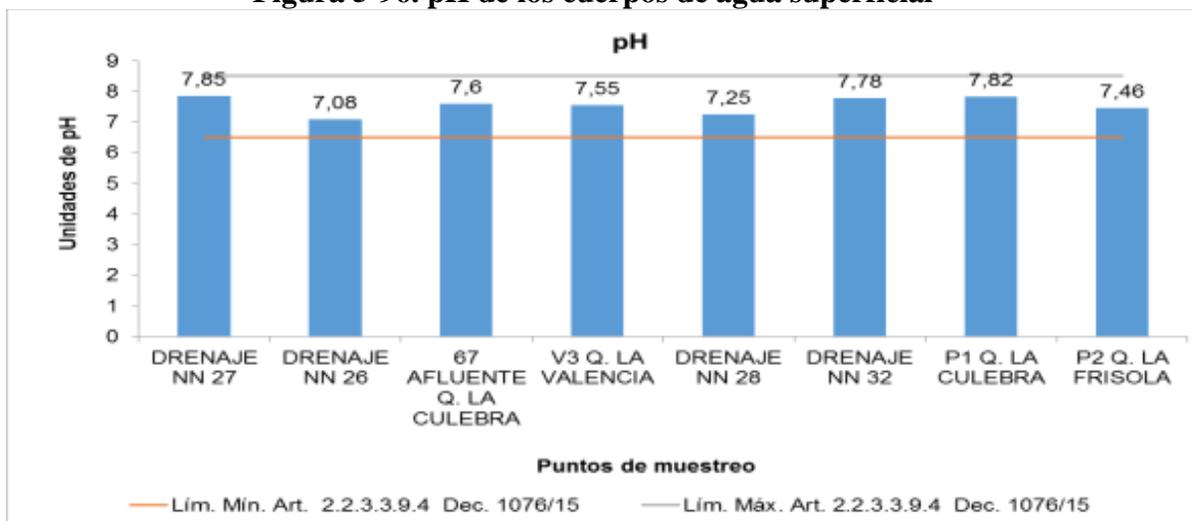
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

pH

El potencial de hidrogeno (pH) permite determinar las características básicas o alcalinas del agua, condición que influye en el desarrollo de la vida acuática y en la solubilidad de sustancias en el recurso hídrico (Rodier et al., 2010).

En relación a este parámetro en la Figura 5-96 es posible evidenciar un comportamiento similar en los 8 puntos de monitoreo, resultados que permiten determinar características neutras en los cuerpos de agua evaluados, exceptuando el Drenaje 27 con un valor de 7,85; teniendo en cuenta lo anterior, en relación a la normatividad vigente es posible determinar que los valores de pH obtenidos en todos los puntos se encuentran dentro de los rangos permisibles establecidos en los artículos del Decreto 1076 de 2015, lo que permite que el agua sea apta para consumo humano (tratamiento previo), uso agrícola y con fines recreativos, no obstante se deberá tener en cuenta los resultados que se obtengan en los demás parámetros medidos.

Figura 5-96. pH de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es un indicador de gran importancia en la evaluación de la calidad del recurso hídrico, debido a que permite determinar el grado de contaminación y las condiciones aerobias o anaerobias del cuerpo de agua evaluado (Rodier et al., 2010).

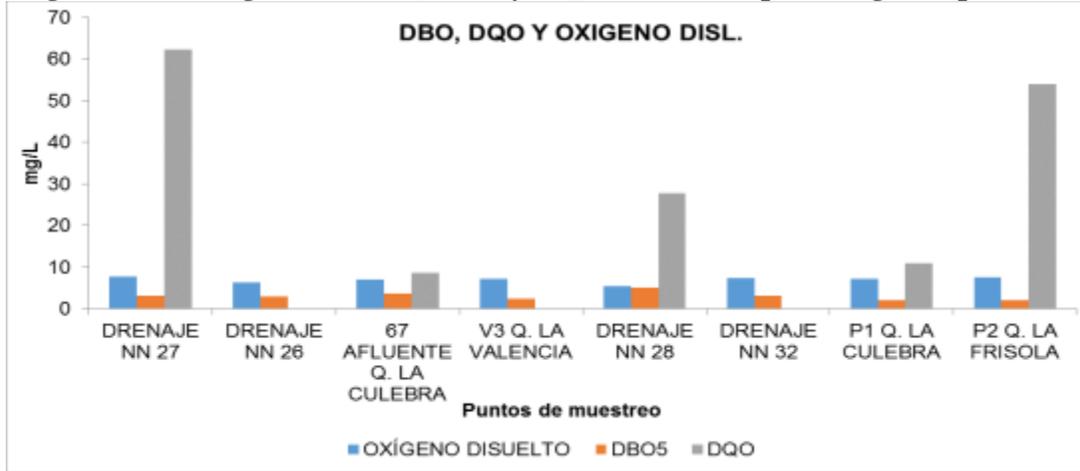
En relación a este parámetro es posible evidenciar que a lo largo de cada uno de los muestreos se mantuvo un valor promedio inferior a 10 mg/L de Oxígeno, registrándose la menor concentración de Oxígeno en el Drenaje 27; es importante mencionar que según estos valores es posible el establecimiento de ciertos organismos.

DBO y DQO

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO) permiten determinar el consumo de oxígeno durante la degradación de materia orgánica en el agua (Rodier et al., 2010). En relación al primer parámetro se registraron valores menores a 0,5 mg/L en los 8 puntos de monitoreo (Figura 5-97) evidenciando una carga orgánica baja, resultado posiblemente asociado a la ausencia de actividades antrópicas en la zona y a las elevadas pendientes.

En relación a la demanda química de oxígeno (DQO), se reportaron valores inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio en el punto Drenaje NN 32, por el contrario, se destacan los valores de la Quebrada la Frisola con un valor de 67 mg/L y para el Drenaje NN 27 con un valor de 60 mg/L de oxígeno.

Figura 5-97. Oxígeno disuelto, DBO y DQO de los cuerpos de agua superficial.



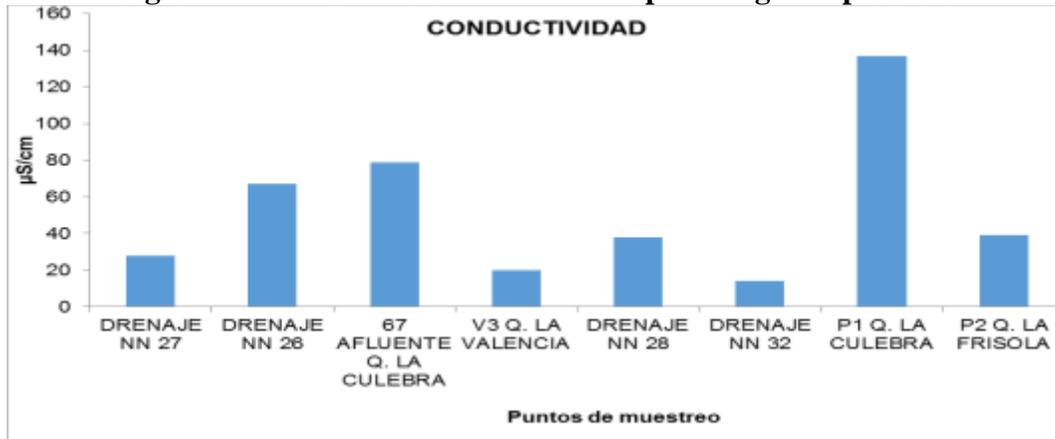
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Conductividad

La conductividad es un parámetro que permite determinar la capacidad del agua para transmitir corriente eléctrica, condición asociada al contenido de sales disueltas y al grado de mineralización que posee el recurso hídrico (Rodier et al., 2010). Teniendo en cuenta lo anterior, para el caso del presente estudio se reportó un valor máximo de 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto Quebrada La Culebra, resultados que permiten clasificar al agua procedente de este sistema lotico como en una condición de “*mineralización media*”

Por otro lado y en contraste con lo mencionado anteriormente se reportó un valor cercano a los 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la mayoría de los puntos, como es el caso del Afluente Q. La Culebra,; finalmente para el caso del Drenaje 32 se registro una condición de “*mineralización débil*”, con un valor de conductividad menor a 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando que el agua no posee condiciones de salinidad que alteren sus características fisicoquímicas, resultados posiblemente asociados a las características morfológicas y a las condiciones climatológicas de la zona, factores que según Rodier (2010) influyen en el arrastre de sales en el recurso hídrico (Figura 5-98).

Figura 5-98. Conductividad de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Diferentes tipos de sólidos

Los sólidos suspendidos totales tuvieron su valor más alto en el punto Drenaje NN 28, con un total de 170 mg/L; en contraste con este valor cabe mencionar que en el caso de los demás puntos se presentaron valores por debajo de 50 mg/L, permitiendo definir de esta manera que no existió un aporte significativo de sedimentos a los cuerpos de agua analizados. Por lo tanto estos resultados son favorables para la calidad estética del recurso hídrico; es importante mencionar que la normatividad vigente no establece límites permisibles en relación a este parámetro (Figura 5-99).

Para el caso de los sólidos disueltos totales es posible evidenciar que en el punto Q. La Culebra se obtuvo un valor cercano a los 100 mg/L, a diferencia de la mayoría de puntos con un valor menor a 30 mg/L; en relación a la cantidad de sólidos encontrados, se debe tener en cuenta las condiciones climatológicas de la zona y el régimen fluvial del recurso, lo que finalmente influye en el arrastre de sólidos en estos cuerpos de agua.

Los sólidos sedimentables se midieron *in situ* por medio de un cono Imhoff, reportando valores inferiores al límite de la técnica empleada en campo (<0,1 mL/L) en la totalidad de puntos de monitoreo correspondiendo a un valor acorde a las condiciones naturales de las aguas superficiales y al nivel de turbiedad que posee el recurso por lo tanto no altera la calidad estética del mismo, sin embargo se puede observar el drenaje NN 28 el cual es el punto en el cual se tienen los valores más altos con respecto a sólidos; así mismo al observar el parámetro de turbiedad analizado más adelante se tiene entre ellos una relación totalmente directa.

Figura 5-99. Diferentes tipos de sólidos.



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Turbiedad

La turbiedad es un parámetro que permite determinar el grado de transparencia del recurso hídrico, condición asociada al material orgánico, inorgánico y partículas en suspensión presentes en el agua (Rodier et al., 2010).

En relación a este parámetro se reportó un valor por debajo del límite de la técnica analítica empleada en el laboratorio (<1) correspondiente al Drenaje NN 32, en contraste, para el caso del punto Drenaje NN 28 se obtuvo un valor de 97 NTU que aún siendo altos frente a los demás registros, cumple con los 190 NTU establecidos como límite máximo permisible del Decreto 1076 de 2015 en el artículo 2.2.3.3.9.4. Para los demás cuerpos de agua se consideran favorables los valores registrados, en relación con la calidad estética del recurso. (Figura 5-100).

Figura 5-100. Turbiedad de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Alcalinidad total, Dureza cálcica, Dureza total y Acidez

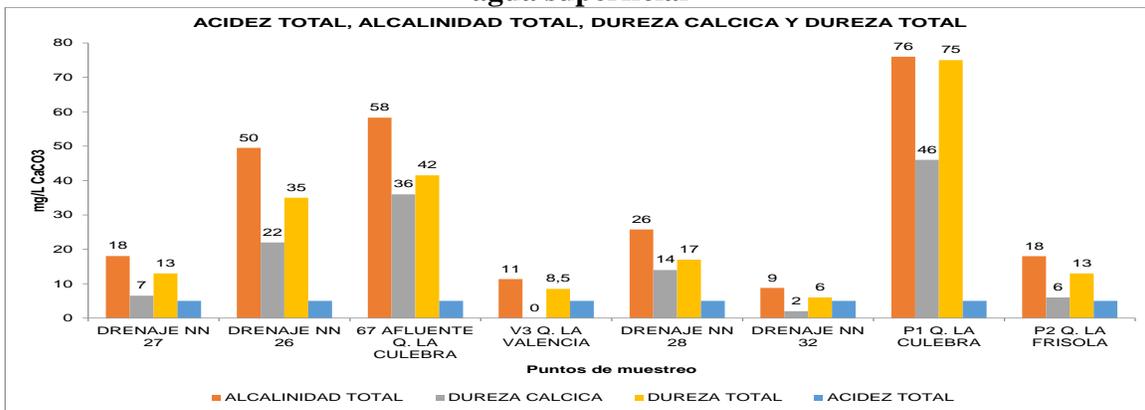
La alcalinidad total hace referencia a la capacidad del agua para neutralizar ácidos y se

encuentra asociada a la presencia de elementos carbonatos y bicarbonatos en el recurso hídrico. De acuerdo a los resultados obtenidos en el monitoreo para la mayoría de las estaciones de muestreo se obtuvo un valor superior a 50 mg/L CaCO₃, sin embargo en el caso de las estaciones Quebrada La Valencia, Drenaje NN 23 y La Frisola este valor fue cercano a 23 mg/L CaCO₃ (Figura 5-101), asociado posiblemente a la presencia de carbonatos, producto del poco arrastre de sedimentos en el suelo, resultados acordes al pH obtenido.

La dureza total reportó valores altos en puntos como la Quebrada La Culebra, con una concentración de 80 mg/L CaCO₃, mientras que para los demás puntos de muestreo se presentó un valor bajo; este escenario está posiblemente asociados a las condiciones geomorfológicas del suelo, al tipo de material parental por el cual pasan los cuerpos de agua y a pocas precipitaciones días previos, lo cual disminuye el arrastre de sales (incluidas el calcio y magnesio) en los cuerpos de agua (Figura 5-101).

La acidez total para todos los puntos de muestreo fue menor al límite de cuantificación de la técnica analítica 5 mg/L CaCO₃.

Figura 5-101. Acidez, Alcalinidad, Dureza cálcica y Dureza total de los cuerpos de agua superficial



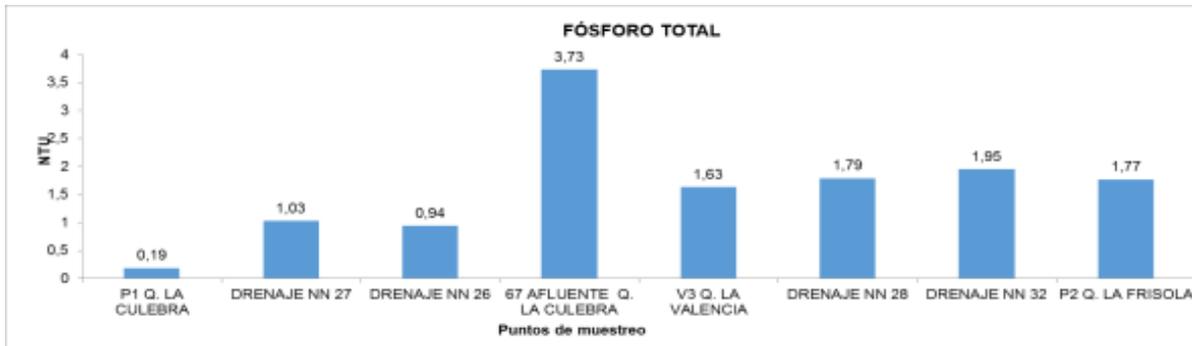
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Fósforo total y Nitrógeno total

El fósforo es un elemento que se encuentra de forma natural en los cuerpos de agua, siendo un factor clave en la disponibilidad de nutrientes, sin embargo en cantidades considerables contribuye junto al nitrógeno a la eutrofización del recurso hídrico (Rodier et al., 2010). En relación al parámetro fósforo total en todos los puntos de muestreo se reportaron valores superiores a (<0,02 mg/L P); indicando posiblemente que los cuerpos de agua poseen condiciones de eutrofización las cuales están alterando las características fisicoquímicas del recurso hídrico (Figura 5-102).

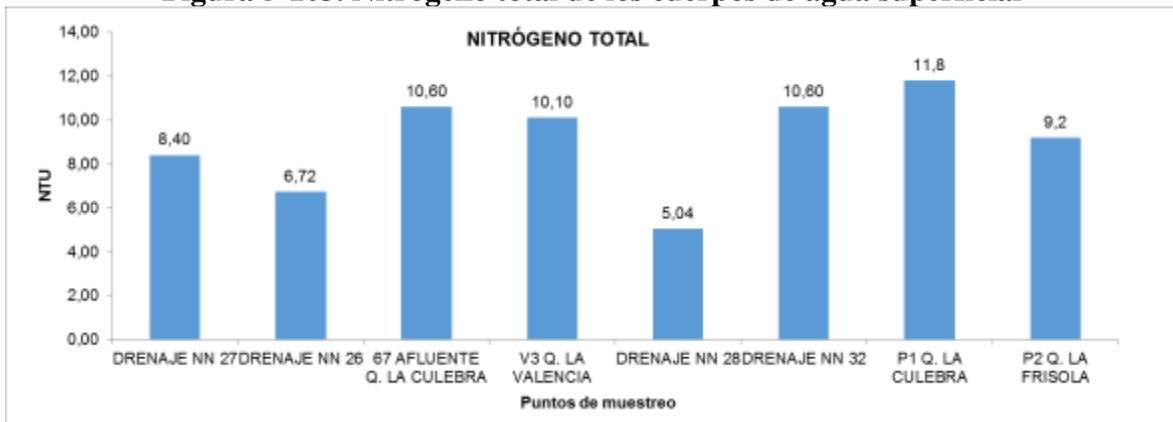
Por otra parte, el nitrógeno total presentó en todos los puntos de muestreo concentraciones superiores al límite de la técnica analítica empleada en el laboratorio (5 mg N/L) siendo el valor más alto, el reportado en la Quebrada La Culebra 11,8 mg N/L, lo cual indica que existe presencia de materia orgánica y material vegetal que incrementa este parámetro.

Figura 5-102 Fosforo total de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-103. Nitrógeno total de los cuerpos de agua superficial



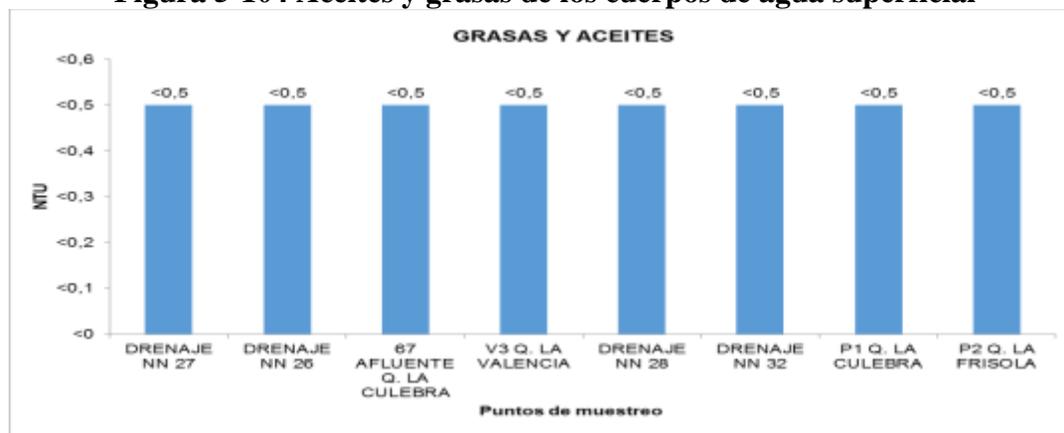
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Grasas y Aceites

Las grasas y aceites reportaron en todos los puntos de monitoreo valores inferiores al límite de la técnica analítica empleada en el laboratorio (<0.5 mg/L), indicando que los cuerpos de agua evaluados poseen trazas mínimas de estos compuestos orgánicos, y por lo tanto, no forman películas que alteren la oxigenación y la calidad estética del recurso hídrico.

En relación a la normatividad vigente, es posible determinar que los valores registrados en todos los cuerpos de agua cumplen las condiciones establecidas en los artículos de Decreto 1076 de 2015, resultado que permite determinar que en relación a este parámetro el agua es apta para consumo humano, doméstico y fines recreativos; teniendo en cuenta claramente los demás parámetros. (Figura 5-104).

Figura 5-104 Aceites y grasas de los cuerpos de agua superficial



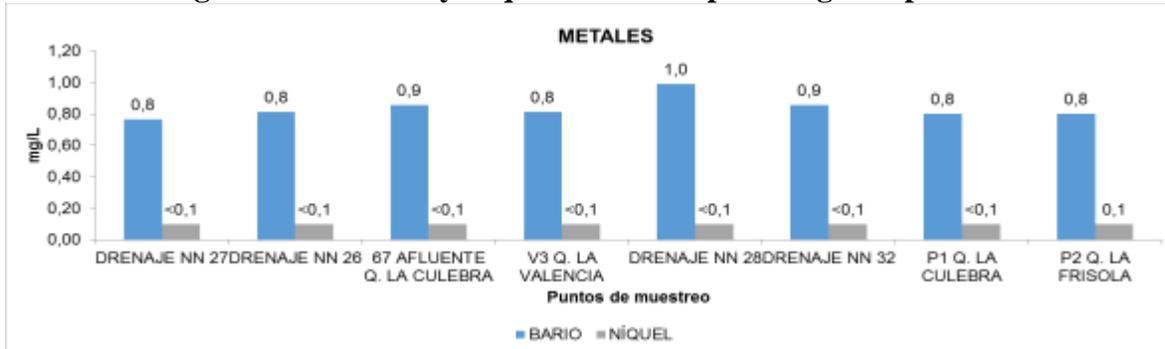
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Bario y Níquel

Entre los diversos efluentes generados por diversas industrias, se encuentran las aguas de producción, que son mezclas complejas de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos y disueltos, cuya composición varía con el origen y el tiempo de explotación del yacimiento al cual pertenecen. Dentro de dichos componentes se encuentra el Bario, metal pesado cuya concentración en estos efluentes puede exceder los límites permisibles exigidos por la legislación vigente, constituyéndose en un problema de gran importancia ambiental (Ministerio de Salud, 1983, 1984 y OMS, 1990), pero para los cuerpos de agua estudiados, este metal no presenta ningún conflicto debido a que las concentraciones reportadas para la totalidad de puntos de muestreo se encuentra por debajo del límite máximo permisible (<1 mg/L) establecido en el Decreto 1076 de 2015 (Figura 5-105).

En relación al contenido de Níquel en los puntos de muestreo se ha evidenciado que bajas concentraciones es vital para el desarrollo de plantas y animales, pero en elevados valores causan problemas graves en la salud humana. Todos los cuerpos de agua presentaron concentraciones menores al límite inferior de la técnica analítica implementada por el laboratorio (<0,1 mg/L), cumpliendo con el Artículo 40 del Decreto 1076 de 2015, al no superar los 0,2 mg/L establecidos.

Figura 5-105. Bario y Níquel de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

METALES

Aluminio

Este parámetro solo fue analizado para los puntos Quebrada La Culebra, y Quebrada La Frisola por ser considerados como puntos de vertimientos (acorde con lo establecido con la Resolución 631 de 2015) obteniéndose 0,8 mg/L y 0,7 mg/L respectivamente; estos valores son indicativos de la no existencia de aportes por acción de industrias como la alimenticia, farmacéutica y del papel, con las cuales se relaciona generalmente los aportes de este elemento al agua. En cuanto a los límites permisibles establecidos en el decreto 1076 de 2015, los valores registrados con los valores establecidos para el uso del recurso en actividades agrícolas y pecuarias, siendo estos los únicos reglamentadas en la norma.

Antimonio

Al igual que el aluminio, este parámetro se determinó únicamente para los puntos Quebrada La Culebra, y Quebrada La Frisola, por requerimiento de la Resolución 631 de 2015. En este caso se obtuvo un valor menor al límite de detección considerado por el laboratorio (0.01 mg Sb/L) siendo esta la concentración típica en las aguas superficiales y subterráneas. En cuanto al cumplimiento normativo, es de anotar que este parámetro no está considerado dentro del decreto 1076 de 2015.

Berilio

Las concentraciones obtenidas para este parámetro en los puntos Quebrada La Culebra, y Quebrada La Frisola fueron menores a 0,011 mg/L, el cual es el límite de detección del equipo empleado por el laboratorio, lo cual permite indicar que se encuentra dentro de los límites permitidos por el decreto 1076 de 2015.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.1		

Boro

El boro es un elemento que es liberado al aire, suelo y agua a través de los procesos de erosión, por otro lado, se le debe adicionar que los humanos utilizan este elemento en las industrias del vidrio, sin embargo la liberación de Boro por los humanos es más pequeña que las concentraciones liberadas por procesos naturales de erosión. Teniendo en cuenta lo anterior, para la Quebrada La Culebra, y la Quebrada La Frisola se encuentran dentro del límite normativo de <0.137 mg/L establecido en el Decreto 1076 de 2015, como se ha mencionado antes, este t metal se midió únicamente en los puntos considerados para entrega de los vertimientos que se prevé generarán las actividades constructivas.

Cadmio

El cadmio es considerado especialmente peligroso ya que se puede combinar con otras sustancias tóxicas; afecta principalmente a los micro moluscos (no se desarrolla la concha) y puede llegar a producir graves enfermedades cardiovasculares en el hombre, además, es un irritante gastrointestinal. Para todos los cuerpos de agua evaluados, la concentración de esta sustancia fue menor a 0,05 mg/L (Figura 5-106), valor equivalente al límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada por el laboratorio, valor que cumple con la norma, al ser inferior a lo establecido en Decreto 1076 de 2015.

Cloruros

Este parámetro solamente fue tenido en cuenta en el caso de los puntos Quebrada La Culebra, y la Quebrada La Frisola, para estos casos se obtuvo un valor menor al límite de detección (5 mg/L), indicando que se encuentra por debajo de los límites permisivos en el Decreto 1076 de 2015.

Cobre

Su toxicidad sobre los organismos acuáticos varía con la especie, características físicas y químicas del agua, como temperatura, dureza, turbiedad y contenido de CO₂. Para todos los puntos sus valores fueron inferiores a 0,03 mg/L (Figura 5-106) cuya concentración es el límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada por el laboratorio, cumpliendo con lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015.

Cromo total

Su toxicidad varía con el tipo de peces, con la temperatura y el pH del agua, así como también con su estado de oxidación. La concentración de cromo fue menor al límite mínimo cuantificable por la técnica analítica empleada por el laboratorio (0,05 mg/L) en la mayoría de puntos de monitoreo (Figura 5-106) a excepción del Drenaje NN 28, Drenaje NN 32 y Quebrada La Culebra los cuales reportaron concentraciones de Cromo de 0,07

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

mg/L para los primeros dos puntos y de 0,12 para el último punto, encontrándose por encima del límite máximo permisible establecido por el el Decreto 1076 de 2015 de 0,05 mg/. Estos valores pueden estar asociados al tipo de suelo por el cual discurren las corrientes, los cuales serian aportantes naturales de cromo o por acción antrópica de procesos de curtido, pigmentos de textiles, aleaciones, catalizadores, agentes anticorrosivos, baterías, fungicidas, recubrimientos metálicos, electrogalvanizados, entre otros, sin embargo, durante la verificación de campo, no se identificaron industrias como las indicadas.

Estaño

En el caso de los puntos Quebrada La Culebra, y la Quebrada La Frisola donde fue medido este parámetro, se obtuvo un valor menor a 0,229 mg/L, el cual es atribuible al uso de pesticidas en la zona. En cuanto al límite normativo a tener en cuenta, es de mencionar que el Decreto 1076 de 2015 no establece un valor de referencia. Estos parámetros al igual que el Formaldehído, Hierro total, Litio, Manganeseo, Molibdeno, Ortofosfatos se midieron únicamente en los puntos donde habrá posible vertimiento.

Formaldehído

Las concentraciones de Formaldehído obtenidas en la Quebrada La Culebra, y la Quebrada La Frisola se encontraron por debajo de 0,2 mg/L, asociado principalmente al uso de abonos en la agricultura, su concentración se considera baja y no se encuentra contemplado dentro del decreto 1076 de 2015.

Hierro total, Litio y Manganeseo

Las mediciones de hierro efectuadas en la Quebrada La Culebra, y la Quebrada La Frisola presentaron valores de <0,05 mg/L y 0,26 mg/L respectivamente, el cual se encuentra dentro de los límites establecidos por el decreto 1076 de 2015; para el caso del Litio en ambos puntos se encontró un valor de <0,021 mg/L, sin embargo, no se consideran valores limite permisibles en la normatividad.

En el caso de Manganeseo se determinó un valor menor a 0,03 mg/L, siendo este por debajo del límite normativo establecido para el uso del recurso en actividades pecuarias y agrícolas.

Mercurio

Cuando está presente en agua de consumo de una u otra forma invade el cuerpo humano a través de los tejidos de la piel o ingestión de comida preparada con dicha agua. En su totalidad, los puntos evaluados presentaron concentraciones por debajo del límite mínimo de cuantificación por la técnica analítica implementada por el laboratorio (0,0019 mg/L) cumpliendo con el límite máximo permisible de 0,002 mg/L establecido en el Decreto 1076

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

de 2015 (Figura 5-106;**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Molibdeno

La medición de Molibdeno en el punto Quebrada La Culebra presento un valor de 0,3 mg/L, mientras que en el punto Quebrada La Frisola arrojó un valor de 0,2 mg/L. En ambos casos, se encuentran por fuera del rango establecido para uso agrícola por el Decreto 1076 de 2015 de 0,01 mg/L. Los valores registrados pueden ser atribuibles a las actividades agrícolas desarrolladas en la parte alta de las corrientes en las cuales se emplean pesticidas y abonos que pueden llegar a contener esta sustancia.

Plata

Las emisiones de plata se encuentran tradicionalmente ligadas a vertidos industriales y mineros, y en particular relacionadas con la industria de la fotografía. La plata es uno de los elementos más nocivos para la comunidad microbiana y los invertebrados que viven en los ecosistemas acuáticos, a pesar de la baja toxicidad para los seres humanos. En los Decreto 1076 de 2015 se encuentra estipulado como límite máximo un valor de 0,05 mg/L, valor que es superado solo en los cuerpos de agua Drenaje NN 28 y Quebrada Afluente la Culebra con valores de 0,6 mg/L y 0,14 mg/L respectivamente, los demás puntos presentaron una concentración menor al límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada por el laboratorio (<0,05) mg/L (Figura 5-106).

Plomo

Compuesto tóxico acumulativo en el cuerpo humano que igualmente puede ocasionar afectación a la fauna acuática, en todos los puntos de muestreo su concentración fue menor al límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada por el laboratorio (<0,05 mg/L), por lo cual se puede establecer que se cumplen con el límite máximo permitido de 0,05 mg/L establecido en el Decreto 1076 de 2015 (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Selenio

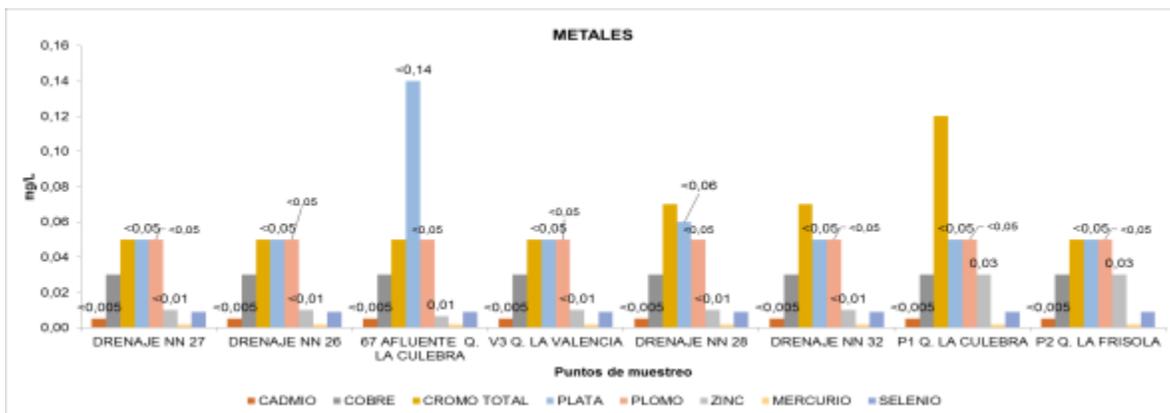
El selenio es un elemento que, dependiendo de su concentración y forma química, puede ser un elemento esencial o un agente tóxico poderoso para la gente, el ganado, aves acuáticas, peces y ciertas bacterias (Frankenberger y Benson, 1994; McKeown y Mariñas, 1986). Las concentraciones de Selenio en todos los puntos evaluados estuvo por debajo del límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada en el laboratorio (<0,009 mg/L), cumpliendo con lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015, al no sobrepasar el límite máximo permisible de 0,01 mg/L (Figura 5-106).

Zinc

Es un elemento esencial para las plantas y animales, pero en elevadas concentraciones es

tóxico para algunas especies de la vida acuática. En aguas alcalinas pueden originar opalescencia en concentraciones de 5 mg/L. Su presencia es un indicador de descargas contaminantes industriales. Todos los cuerpos de agua, a excepción de los puntos Quebrada La Culebra y Quebrada La Frisola, presentaron una concentración por debajo del límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada por el laboratorio (<0,01 mg/L), para los puntos indicados, se reporto una concentración de 0,03 mg/L cumpliendo con lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015 (Figura 5-106).

Figura 5-106 Metales presentes en los cuerpos de agua superficial

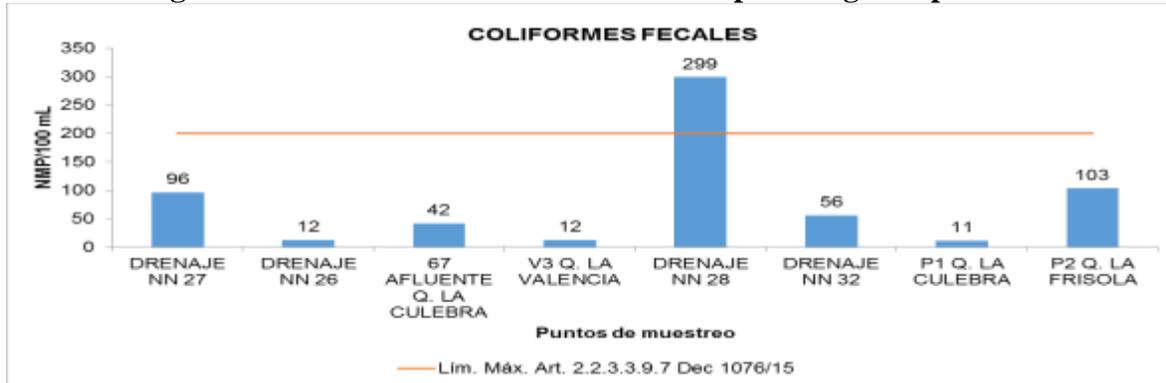


Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

Coliformes Fecales

En relación a los parámetros bacteriológicos, los coliformes fecales reportaron valores que oscilan entre 11 NMP/100 mL y 229 NMP/100 mL en los 8 puntos de monitoreo, evidenciándose que en el Drenaje NN 28 se presentó la carga bacteriológica más alta, con un total de 299 NMP/100 mL; en este caso es importante mencionar que no se cumple con los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015 para el uso del recurso para consumo humano, uso agrícola y fines recreativos; en relación a los demás puntos evaluados todos cumplen con la anterior norma. (Figura 5-107).

Figura 5-107. Coliformes fecales de los cuerpos de agua superficial

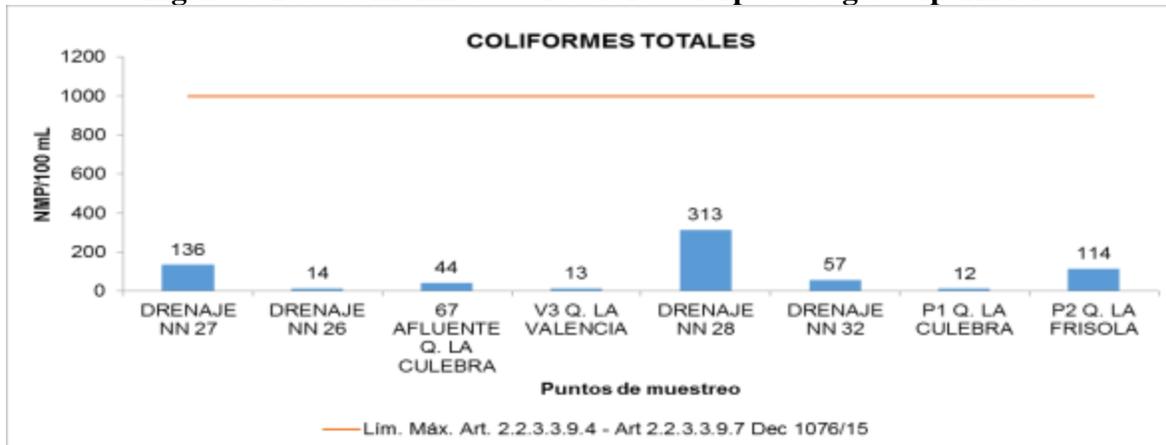


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Coliformes totales

De acuerdo a los resultados obtenidos de coliformes totales es posible determinar que el valor registrado para las estaciones de muestreo cumplen con lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015, al presentar concentraciones por debajo de los 1000 NMP/100 mL, resaltando que las concentraciones más elevadas fueran las presentadas en el Drenaje NN 28 con 313 NMP/100 mL (Figura 5-108).

Figura 5-108. Coliformes totales de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Ortofosfatos

El parámetro, ortofosfatos no se encuentra contemplado en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015, se resalta que el punto Planta 1 Quebrada la Culebra se obtuvo un valor de 0,212 mg/L, en contraste con lo anterior en el caso del punto Planta 2 Quebrada La Frisola el valor reportado fue menor al límite de detección utilizado por la técnica empleada en el laboratorio en cual tuvo un valor <0.06 mg/L.(Únicamente se realizó medición en los posibles puntos de vertimientos).

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

5.1.6.1.1.1.2 Resultados UF 1

Los resultados de las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas de la Unidad Funcional 1 obtenidos por el laboratorio se presentan de forma resumida en la Tabla 5-60 el detalle de los análisis se presentan en el Anexo E3 en el cual se incluye el informe completo de laboratorio.

Tabla 5-60. Resultados In situ y de laboratorio de los cuerpos de agua superficial

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS				DECRETO 1076/2015					
		51 Q. Guaracú I	52. C. El Garabato	57. Q. La San Juan	58. C. El Gustazo	Art 2.2.3.3.9.3 Cons. Hum.Trat.	Art. 2.2.3.3.9.4 Cons. Hum.Des	Art 2.2.3.3.9.5 Uso Agr.	Art 2.2.3.3.9.6 Uso Pec.	Art 2.2.3.3.9.7 Fines Recr. 1	Art 2.2.3.3.9.8 Fines Recr. 2
No. LABORATORIO IHA		53615	53616	53618	53619						
No. CIMA		N.A	N.A	N.A	N.A						
FECHA	A-M-D	2016-03-14	2016-03-14	2016-03-15	2016-03-15						
HORA	h:min	9:29	12:29	9:25	11:00						
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	27	30	26	25	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	23,58	23,38	22,58	22,45	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
pH	Unidades	8,11	8,67	7,79	7,48	5 - 9	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	N.E.	5 - 9	5 - 9
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	188	316	202	201	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	125	165	138	115	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
CAUDAL	L/s					N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
OXIGENO DISUELTO	mg/L	8,35	7,73	7,58	7,02	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	21,54	82,07	30,78	40,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	19,19	37,42	113,22	98,83	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ARSÉNICO	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2	N.E.	N.E.
BARIO	mg/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,00	1,00	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
CADMIO	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E.	N.E.
COBRE	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1	1	0,2	0,5	N.E.	N.E.
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	430	210	110	1100	2000	N.E.	1000	N.E.	200	N.E.
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	2015	5493	2851	11980	20000	1000	5000	N.E.	1000	5000
COLOR REAL (436 Nm)	1/m	1,1	1,7	0,3	0,6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
COLOR REAL (520 Nm)	1/m	0,3	0,5	<0,2	0,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
COLOR REAL (620 Nm)	1/m	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
CROMO TOTAL	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	0,1	1	N.E.	N.E.
DBO ₅	mg/L O ₂	17,8	31,2	12,9	12,4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg/L O ₂	40,04	70,2	<32,0	<32,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA CÁLCICA	mg/L CaCO ₃	77,22	132,21	86,58	45,63	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	78,39	183,69	98,87	50,31	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
FENOLES	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,002	N.E.	N.E.	0,002	N.E.
FÓSFORO TOTAL	mg/L P	0,05	0,06	0,04	0,12	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	S.P.V	S.P.V	N.E.	N.E.	S.P.V.	S.P.V.
MERCURIO	mg/L	<0,0019	<0,0019	<0,0019	<0,0019	0,002	0,002	N.E.	0,01	N.E.	N.E.
NÍQUEL	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	N.E.	N.E.	0,2	N.E.	N.E.	N.E.
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	mg/L	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
PLATA	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
PLOMO	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	5	0,1	N.E.	N.E.
SELENIO	mg/L	0,030	0,032	<0,009	0,028	0,01	0,01	0,02	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	33,0	<20,0	<20,0	28,5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	198,0	192,0	234,0	190	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
TURBIEDAD	NTU	1,2	<1,0	3,5	4,2	N.E.	190	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ZINC	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	15	15	2	25	N.E.	N.E.

PARÁMETRO	UNIDADES	DECRETO 1076/2015									
		59. Drenaje NN04	60. Q. La Murrupala	62. La Gasapera (Q. La San Juana II)	63. Piedra Negra	Art 2.2.3.3.9.3 Cons. Hum.Trat.	Art. 2.2.3.3.9.4 Cons. Hum.Des	Art 2.2.3.3.9.5 Uso Agr.	Art 2.2.3.3.9.6 Uso Pec.	Art 2.2.3.3.9.7 Fines Recr. 1	Art 2.2.3.3.9.8 Fines Recr. 2
No. LABORATORIO IHA		53620	53621	53622	53623						
No. CIMA		N.A	N.A	N.A	N.A						
FECHA	A-M-D	2016-03-15	2016-03-16	2016-03-16	2016-03-16						
HORA	h:min	13:25	9:05	10:46	13:05						
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	27	25	25	22	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	25,23	21,5	21,12	21,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
pH	Unidades	7,5	7,75	7,92	7,17	5 - 9	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	N.E.	5 - 9	5 - 9
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	205	215	166	205	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	97	150	117	115	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
CAUDAL	L/s					N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
OXIGENO DISUELTO	mg/L	7,45	7,17	6,52	7,12	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	40,01	37,96	51,3	46,17	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	63,33	110,82	103,63	114,18	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ARSÉNICO	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2	N.E.	N.E.
BARIO	mg/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,00	1,00	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
CADMIO	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E.	N.E.
COBRE	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1	1	0,2	0,5	N.E.	N.E.
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	350	210	110	70	2000	N.E.	1000	N.E.	200	N.E.
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	3076	2224	721,5	1287	20000	1000	5000	N.E.	1000	5000
COLOR REAL (436 Nm)	1/m	1,3	1,1	0,2	1,5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
COLOR REAL (520 Nm)	1/m	0,5	<0,5	0,2	0,6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
COLOR REAL (620 Nm)	1/m	<0,2	<0,2	0,2	<0,2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
CROMO TOTAL	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	0,1	1	N.E.	N.E.
DBO5	mg/L O ₂	27,5	14,5	6,3	13,6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg/L O ₂	62,0	32,6	<32,0	<32,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA CÁLCICA	mg/L CaCO ₃	33,93	79,56	81,9	76,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	36,27	97,11	83,07	85,41	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
FENOLES	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,002	N.E.	N.E.	0,002	N.E.
FÓSFORO TOTAL	mg/L P	0,29	0,04	0,03	0,03	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
GRASAS Y ACEITES	mg/L	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	S.P.V	S.P.V	N.E.	N.E.	S.P.V.	S.P.V.
MERCURIO	mg/L	<0,0019	<0,0019	<0,0019	<0,0019	0,002	0,002	N.E.	0,01	N.E.	N.E.
NIQUEL	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	N.E.	N.E.	0,2	N.E.	N.E.	N.E.
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	mg/L	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
PLATA	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
PLOMO	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	5	0,1	N.E.	N.E.
SELENIO	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	0,01	0,01	0,02	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	33,5	<20,0	<20,0	<20,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	192	220	187	182	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
TURBIEDAD	NTU	10,7	<1,0	<1,0	<1,0	N.E.	190	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ZINC	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	15	15	2	25	N.E.	N.E.

PARÁMETRO	UNIDADES	DECRETO 1076/2015						Art 2.2.3.3.9.3 Cons. Hum.Trat.	Art. 2.2.3.3.9.4 Cons. Hum.Des	Art 2.2.3.3.9.5 Uso Agr.	Art 2.2.3.3.9.6 Uso Pec.	Art 2.2.3.3.9.7 Fines Recr. 1	Art 2.2.3.3.9.8 Fines Recr. 2
		138. Q. Saltos y Pisquines	146. Q. La Cola	147. Q. La Volcana Guayabal	150. Drenaje NN01	151. Quebrada La Frisola							
No. LABORATORIO IHA		53624	53625	53626	53627	54882							
No. CIMA		N.A	N.A	N.A	N.A	2731							
FECHA	A-M-D	2016-03-17	2016-03-17	2016-03-17	2016-03-18	2016-04-15							
HORA	h:min	9:05	11:45	13:05	9:24	12:10							
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	23	23	23	22	25	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	20,34	19,62	18,35	20,15	20,51	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
pH	Unidades	7,58	7,7	8,04	7,87	7,46	5 - 9	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	N.E.	5 - 9	5 - 9	
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	178	173	40	148	39	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	122	125	30	106	20	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
CAUDAL	L/s					1255	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	5,59	6,66	7,91	6,53	7,65	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	48,22	22,57	18,47	14,36	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	112,26	55,65	38,38	6,72	18	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
ARSENICO	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,01	0,05	0,05	0,1	0,2	N.E.	N.E.	
BARIO	mg/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	0,8	1,00	1,00	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
CADMIO	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E.	N.E.	
COBRE	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,03	1	1	0,2	0,5	N.E.	N.E.	
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	94	120	14	63	103	2000	N.E.	1000	N.E.	200	N.E.	
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	3314	727	100,5	1607	114	20000	1000	5000	N.E.	1000	5000	
COLOR REAL (436 Nm)	1/m	0,6	1,7	1	1,1	9,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
COLOR REAL (520 Nm)	1/m	<0,2	1,1	0,2	0,6	8,7	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
COLOR REAL (620 Nm)	1/m	<0,2	0,6	<0,2	<0,2	8,0	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
CROMO TOTAL	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	0,1	1	N.E.	N.E.	
DBC5	mg/L O ₂	12,9	14,2	6,6	17,6	10,9	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
DQO	mg/L O ₂	<32,0	32,0	<32,00	39,5	54	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
DUREZA CÁLCICA	mg/L CaCO ₃	76,05	29,25	2,5	2,5	6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	84,24	31,59	6	6	13	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
FENOLES	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,002	N.E.	N.E.	0,002	N.E.	
FÓSFORO TOTAL	mg/L P	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
GRASAS Y ACEITES	mg/L	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<0,5	S.P.V	S.P.V	N.E.	N.E.	S.P.V.	S.P.V.	
MERCURIO	mg/L	<0,0019	<0,0019	<0,0019	<0,0019	<0,0019	0,002	0,002	N.E.	0,01	N.E.	N.E.	
NIQUEL	mg/L	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,050	N.E.	N.E.	0,2	N.E.	N.E.	N.E.	
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	mg/L	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
PLATA	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
PLOMO	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	5	0,1	N.E.	N.E.	
SELENIO	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	0,01	0,01	0,02	N.E.	N.E.	N.E.	
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	120,3	<20,0	<20,0	<20,0	18	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	308	184	70	124	39	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
TURBIEDAD	NTU	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	7,3	N.E.	190	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	
ZINC	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	15	15	2	25	N.E.	N.E.	

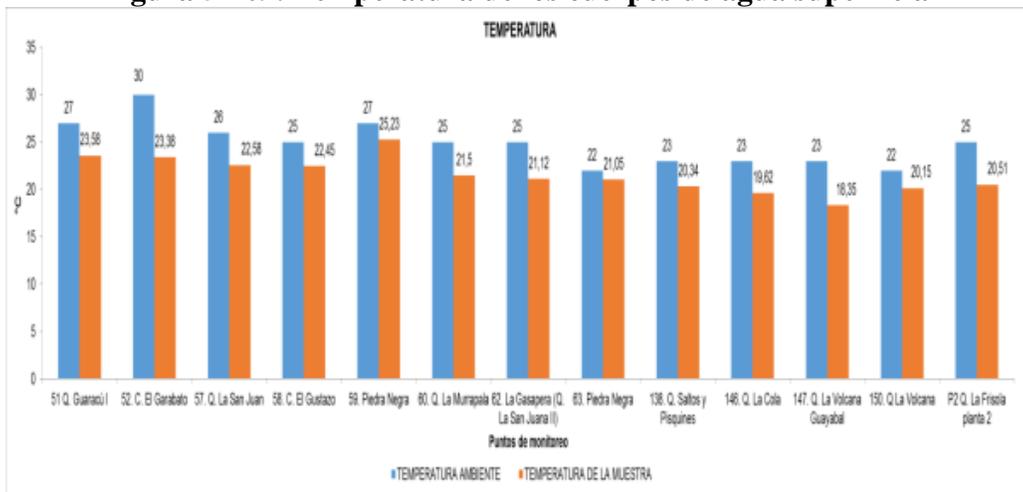
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

A continuación se presentan los resultados para la Unidad Funcional 1, se debe tener en cuenta que para este caso no se incluyeron cuerpos de agua para vertimientos.

Temperatura

En relación a este parámetro se reportaron valores acordes a las condiciones climatológicas de la zona, presentando un comportamiento similar en las 13 estaciones de muestreo. Las temperaturas de los cuerpos de agua se registraron entre los 18,25°C y 25,23°C, estando todos por debajo de la temperatura ambiente medida al momento del monitoreo. (Ver Figura 5-109).

Figura 5-109. Temperatura de los cuerpos de agua superficial



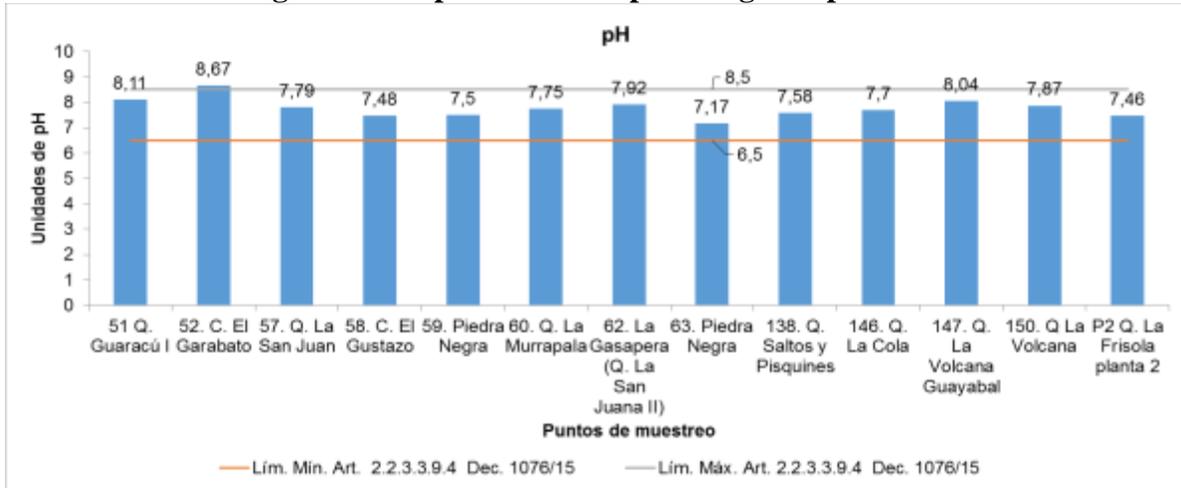
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

pH

Teniendo en cuenta la información relacionada con el potencial de hidrógeno (pH) para cada una de las muestras se puede establecer las características básicas o alcalinas del agua, condición que influye en el desarrollo de la vida acuática y en la solubilidad de sustancias en el recurso hídrico (Rodier et al., 2010).

En relación a este parámetro en la Figura 5-110 es posible evidenciar un comportamiento similar en las estaciones de muestreo de características neutras, exceptuando los puntos Caño Garabato y Quebrada Guarucú I, sin embargo, en ninguno de los puntos de medición se determinó un pH de carácter ácido; en relación a los límites establecidos por la norma se encuentran dentro de los rangos permisibles establecidos en los artículos 2.2.3.3.9.3 al 2.2.3.3.9.8 del Decreto 1076 de 2015, lo que permite afirmar que partiendo únicamente de este parámetro, el agua es apta para consumo humano (tratamiento previo), uso agrícola y fines recreativos; se exceptua de este grupo el Caño El Garabato por presentar un pH por encima de 8.5 no siendo apto el recurso para consumo humano (previa desinfección)

Figura 5-110. pH de los cuerpos de agua superficial

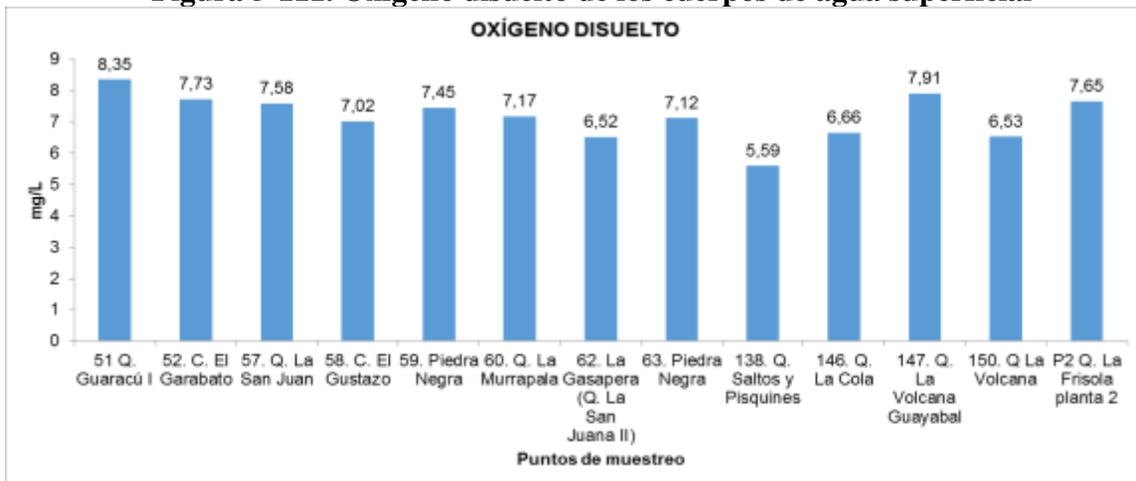


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Oxígeno Disuelto

Se estableció que en el caso de la estación Quebrada Guaracú I se obtuvo el valor más alto para este parámetro, con un total de 8,35 mg/L; en la mayoría de los puntos este parámetro registro valores cercanos a 7 mg/L, entre los que se destacan las estaciones Quebrada La Volcana Guayabal y Piedra Negra; finalmente en el caso de los puntos Saltos y Pisquines y Quebrada La Volcana este valor no superó los 6,5 mg/L (Figura 5-111), las variaciones de este parámetro se relacionan directamente con los registros de DBO y DQO que se exponen a continuación.

Figura 5-111. Oxígeno disuelto de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

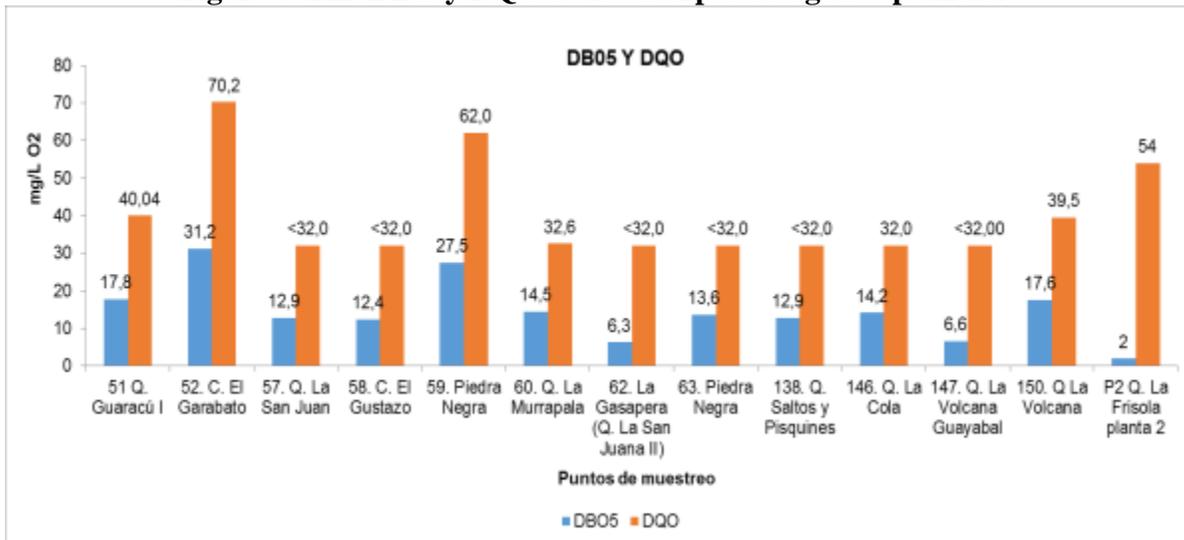
DBO y DQO

En relación a la DBO₅ se estableció un valor máximo de 31,2 mg/L, determinado en la estación Caño El Garabato; en segundo lugar se ubicó la estación 59. Piedra Negra con un total de 27,5 mg/L; finalmente en las demás estaciones de muestreo el valor descrito no superó un valor de 15 mg/L O₂.

En relación a la DQO, se destacó la estación Caño El Garabato, registrando un valor de 70,2 mg/L O₂; siendo acorde al resultado de DBO₅ y la Quebrada Guaracú con un total de 40,04 mg/L. A diferencia del parámetro DBO₅, para la DQO los valores obtenidos en los once (11) puntos restantes presentaron un comportamiento uniforme, encontrándose dentro de un rango inferior a 32 mg/L (Figura 5-112). Tomando en consideración los valores de estos dos parámetros se debe tener en cuenta que en los puntos en los que la DBO₅ es alta es posible que exista algún tipo de intervención ya sea de carácter antrópica que permita, por un lado el aumento de materia orgánica depositado en el lecho de los cuerpos de agua, y por el otro, el aumento en la cantidad necesaria de oxígeno para degradarla, lo que podría implicar procesos anaeróbicos de degradación en estos cuerpos de agua.

Finalmente es importante relacionar que se presenta actividad antrópica en sus alrededores, sean cultivos, tránsito de personas o vehículos, entre otros, lo que incide claramente en los resultados obtenidos, principalmente para los cuerpos de agua denominados Caño El Garabato y Quebrada Guaracu.

Figura 5-112. DBO y DQO de los cuerpos de agua superficial

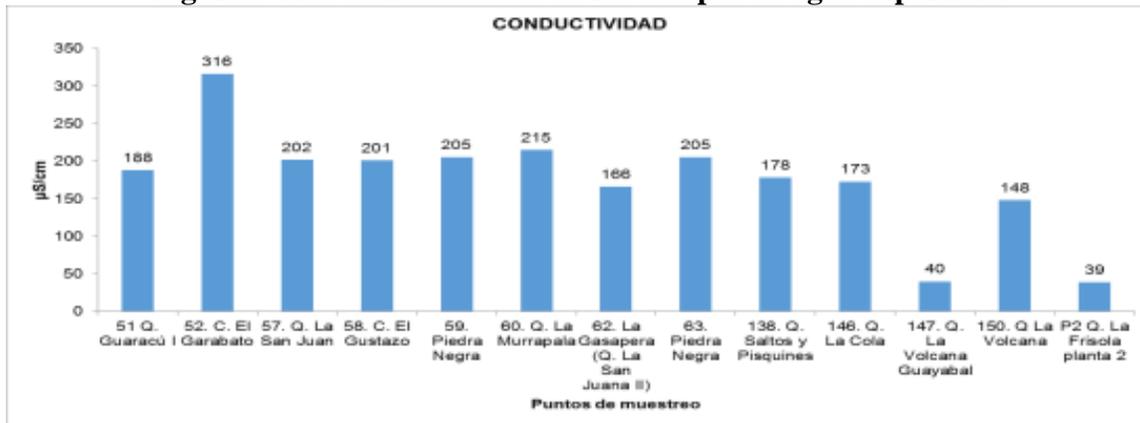


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Conductividad

En relación a este parámetro se reportaron valores que oscilan entre 39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 316 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los 13 cuerpos de agua monitoreados, con una mineralización “*muy débil*” en los puntos Quebrada La Volcana Guayabal y Quebrada La Frisola Punto 2, *mineralización débil*” en los puntos Quebrada Guaracú, Q. La Gasapera, Q. Saltos y Pisquines, Q La Cola y Quebrada La Volcana y “*mineralización media acentuada*” en la Q. El Garabato, Q. La San Juan, C el Gustazo, Piedra negra y Q. La Murrapala.

Figura 5-113. Conductividad de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

En contraste con lo anterior se encontró otro comportamiento para la conductividad, en este segundo grupo se determinó una condición de “*mineralización media*”; con valores de conductividad en un rango promedio de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$; pertenecientes a este grupo se encontraron, entre otras, las estaciones Caño El garabato, Quebrada La San Juan y piedra negra. Finalmente en este caso los puntos Quebrada Volcana y Quebrada la Frisola tuvieron una condición de “*mineralización débil*” con valores de conductividad menores a 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$; los anteriores valores permitieron definir que el agua procedente de estos cuerpos hídricos no posee condiciones de salinidad que alteren sus características fisicoquímicas, resultados posiblemente asociados a las características morfológicas y a las condiciones climatológicas de la zona, factores que según Rodier (2010) influyen en el arrastre de sales en el recurso hídrico.

Sólidos disueltos y sólidos sedimentables

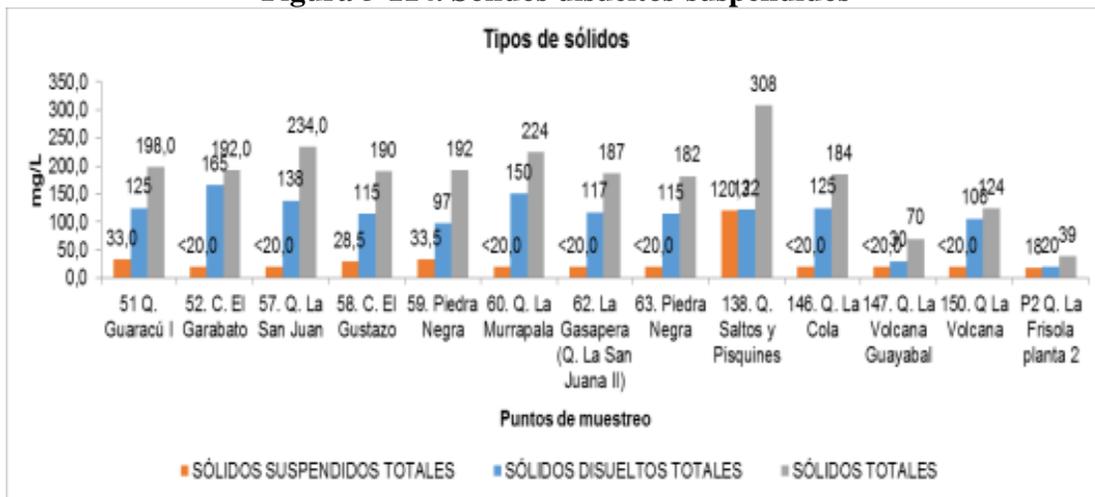
En relación a este conjunto de parámetros, los cuales permiten definir, entre otras consideraciones, las características de penetración de luz a lo largo de la columna de agua, se evidenció que en términos de la cantidad de sólidos disueltos totales es posible evidenciar un valor máximo de 165 mg/L, siendo este calculado en el punto Caño El Garabato, donde está acorde con las condiciones climatológicas de la zona y al régimen fluvial del recurso, así influyendo en el arrastre de sólidos en estos cuerpos de agua (Figura 5-114), con valores mayores a 100m mg/L también se destaca la estación de muestreo

Quebrada la San Juan, con un total de 138 mg/L; finalmente se evidenció en los puntos de muestreo Quebrada La Volcana Guayabal y Quebrada La Frisola, un valor menor a 90 mg/L; en términos generales para este conjunto de puntos de muestreo este parámetro permitió definir valores muy similares en cada punto.

En relación al parámetro de sólidos suspendidos totales se presentaron dos comportamientos a lo largo de los puntos, en primer lugar para la mayoría de las estaciones de muestreo este valor fue menor a 20 mg/L, dentro de los cuales se encuentran la Quebrada La Cola, Quebrada La Volcana y Caño el Gustazo; un segundo escenario estuvo conformado por valores cercanos a 120 mg/L. En el caso de los sólidos sedimentables se midieron *in situ* por medio de un cono Imhoff, reportando valores inferiores al límite de la técnica empleada en campo (<0,1 mL/L) en la totalidad de puntos, correspondiendo a un valor acorde a las condiciones naturales de las aguas superficiales y al nivel de turbiedad que posee el recurso, por lo tanto no altera la calidad estética del mismo.

Los sólidos suspendidos totales reportaron valores inferiores al límite de la técnica analítica empleada en el laboratorio (<20 mg/L), en todos los puntos de monitoreo a excepción de la Quebrada Guarucú 1, ya que presentó una concentración de 33 mg/L, resultados favorables para la calidad estética del recurso hídrico. Es importante mencionar que la normatividad vigente no establece límites permisibles en relación a este parámetro, sin embargo los resultados obtenidos en el monitoreo correspondiente al mes de marzo son acordes a las condiciones naturales de las aguas superficiales (Figura 5-114).

Figura 5-114. Sólidos disueltos-suspendidos



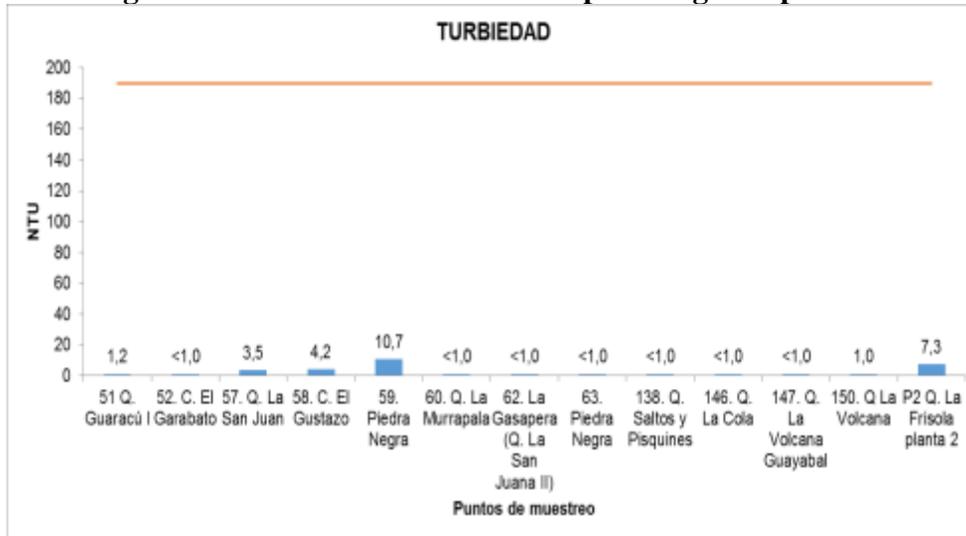
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Turbiedad

Se reportó un valor por debajo del límite de la técnica analítica empleada en el laboratorio (<1) en la mayoría de los puntos, por ejemplo en La Quebrada La Gasapera, Quebrada La Cola, Quebrada la Volcana, entre otras; en contraste con lo anterior en el caso de las

quebradas Guaracú, La San Juan, y Piedra Negra , reportándose valores superiores a 3.,5 NTU; sin embargo la totalidad de puntos cumplen con los 190 NTU establecidos como límite máximo permisible en el Decreto 1076 de 2015; teniendo en cuenta lo anterior las concentraciones de este parámetro en todos los cuerpos de agua evaluados son favorables para la calidad estética del recurso hídrico (Figura 5-115).

Figura 5-115. Turbiedad de los cuerpos de agua superficial

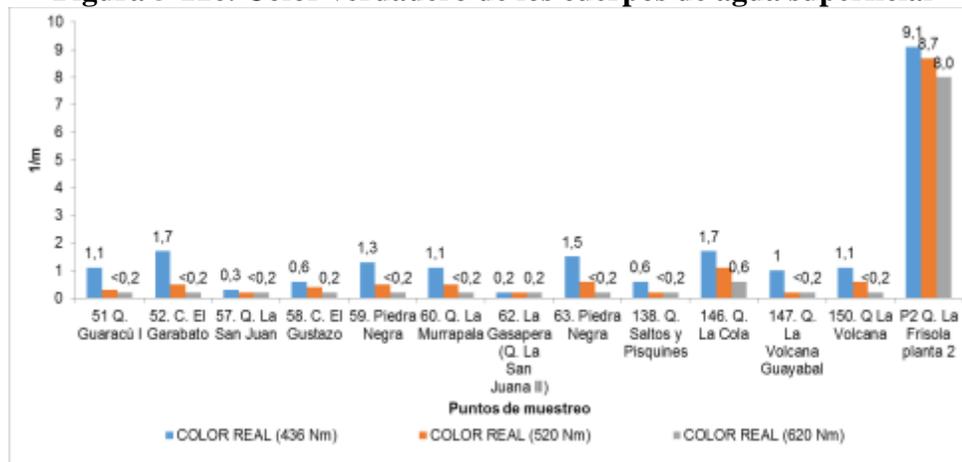


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Color verdadero

La totalidad de puntos presentan concentraciones por debajo de los 10 1/m, resultados favorables para la calidad estética de estos cuerpos de agua; asociados a las condiciones climatológicas de la zona y a la dinámica fluvial de estos cuerpos de agua, factores que influyen en el arrastre de sólidos en suspensión y consecuentemente en el color del recurso (Figura 5-116).

Figura 5-116. Color verdadero de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

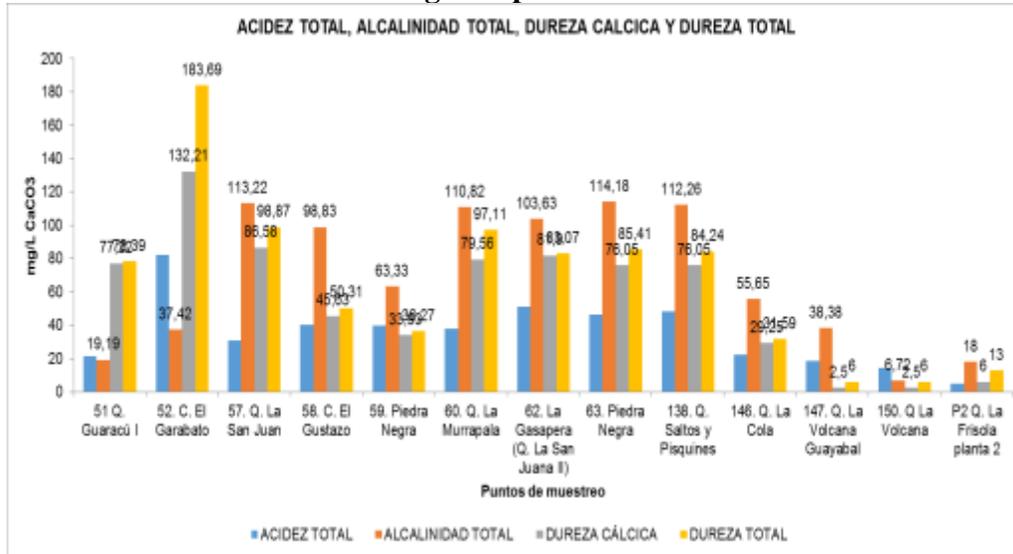
Acidez total, Alcalinidad total, Dureza cálcica y Dureza total

Con respecto al parámetro de acidez el valor más alto fue en el punto Caño El Garabato, con un valor cercano a los 85 mg/L CaCO₃, del mismo modo en el punto Quebrada La Gasapera se presentó una concentración de 51 mg/L CaCO₃ (Figura 5-117), también se debe mencionar que en el caso de los puntos Quebrada La Volcana Guayabal y Quebrada La Volcana se registraron los valores más bajos, siendo menores a 20 mg/L de CaCO₃.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el parámetro de alcalinidad se tiene que existe un grupo de puntos de monitoreo en los que este valor fue superior a 100 mg/L de CaCO₃; indicando que a lo largo de la columna de agua existen cantidades importantes de carbonatos; en contraste con lo anterior en el resto de las estaciones de muestreo este valor estuvo por debajo de 63 mg/L de CaCO₃ (Figura 5-117), lo que permite asociar esta condición a la posiblemente presencia de carbonatos, producto del poco arrastre de sedimentos en el suelo, resultados acordes al pH obtenido.

La dureza total reportó valores altos en términos generales para cada una de las estaciones de muestreo, por ejemplo en el caso del punto Caño El Garabato se obtuvo un valor de 183 mg/L CaCO₃, en contraste con lo anterior en los demás puntos evaluados su concentración varió entre los 6 mg/L CaCO₃ y 98 mg/L CaCO₃, resultados posiblemente asociados a las condiciones geomorfológicas del suelo, al tipo de material parental por el cual pasan los cuerpos de agua y a pocas precipitaciones días previos, lo cual disminuye el arrastre de sales (incluidas el calcio y magnesio) en los cuerpos de agua (Figura 5-117).

Figura 5-117. Acidez, Alcalinidad, Dureza cálcica y Dureza total de los cuerpos de agua superficial

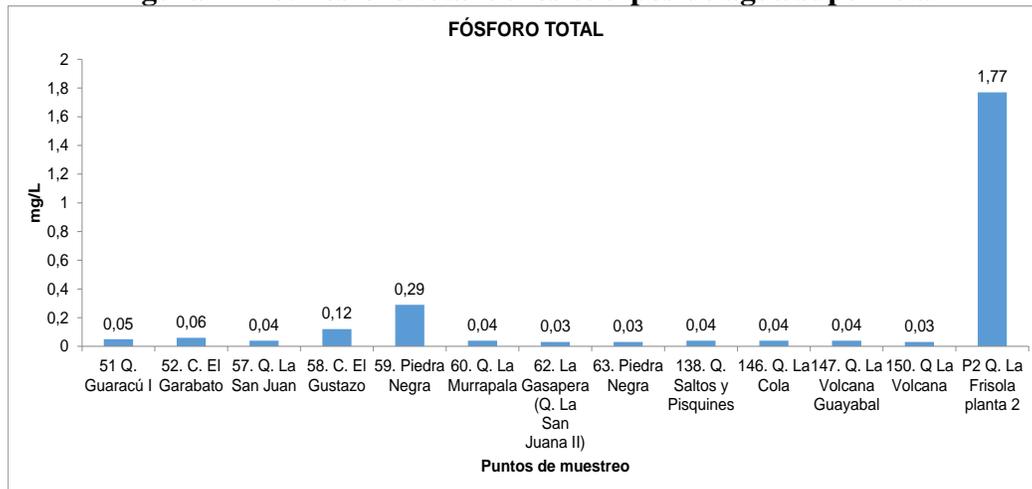


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Fósforo total y Nitrógeno total

En relación al parámetro fósforo total para el presente estudio, se evidenció que con un valor superior a 0,04 mg/L los puntos correspondientes a Q Guaracá, C. Garabato, Caño el Gustazo, Piedra Negra y Planta La Frisola; en contraste con lo anterior para el resto de estaciones de muestreo estos valores fueron inferiores o iguales a 0,04 mg/L, indicando que los cuerpos de agua no poseen condiciones de eutrofización que alteren las características fisicoquímicas del recurso hídrico (Figura 5-118).

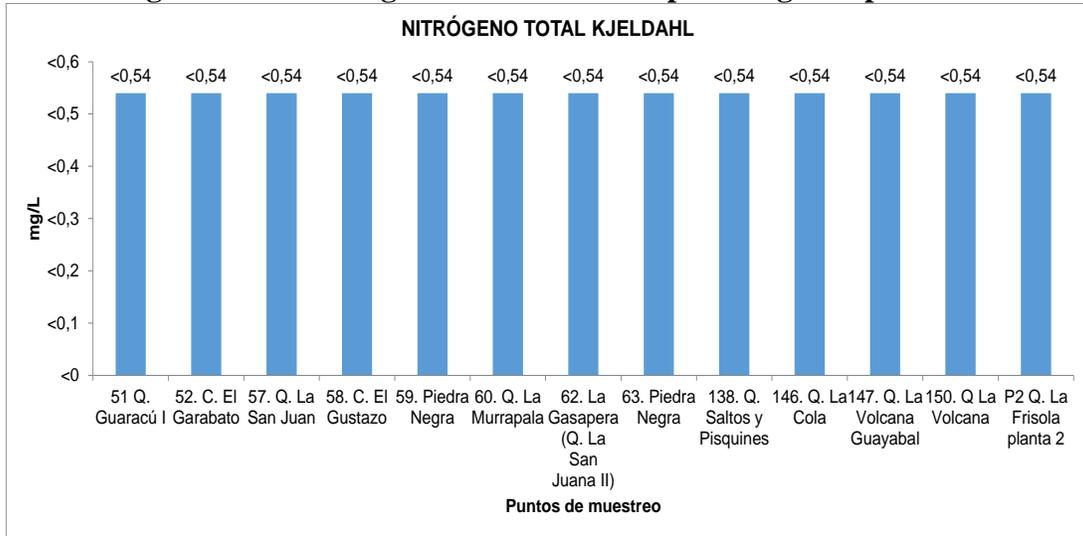
Figura 5-118. Fósforo total de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

En relación al valor del Nitrógeno se establecieron concentraciones por debajo del límite mínimo cuantificable por las técnicas analíticas implementadas en el laboratorio (<0,54 mg/L N) en la totalidad de puntos de monitoreo (Figura 5-119), indicando poca presencia de materia orgánica y material vegetal que incrementa la concentración de este parámetro.

Figura 5-119. Nitrógeno total de los cuerpos de agua superficial

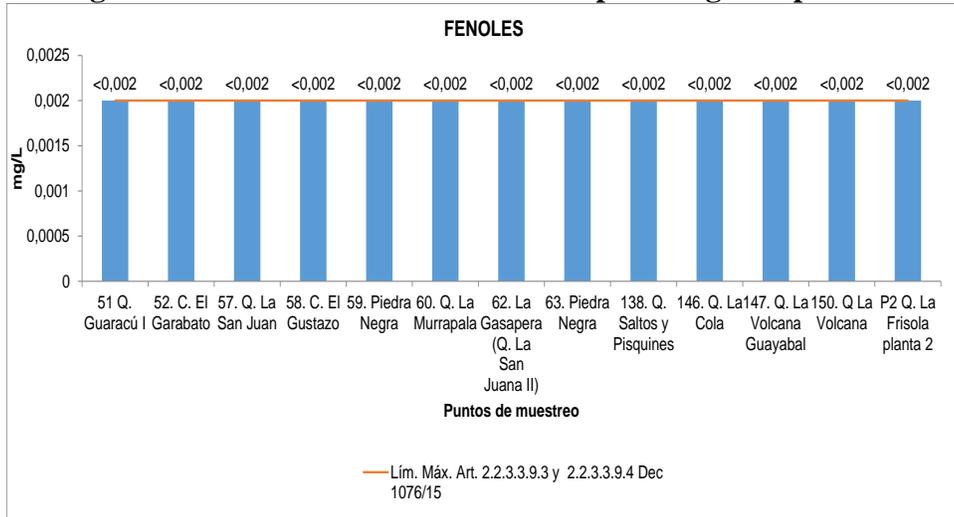


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Fenoles totales

Los fenoles totales reportaron valores inferiores al límite de la técnica analítica empleada en el laboratorio (<0,002 mg/L) en la mayoría de los puntos de monitoreo, encontrándose por debajo del límite máximo permisible establecido de 0,002 mg/L en los artículos 2.2.3.3.9.3 , por otro lado es importante tener en cuenta que en el punto Quebrada La Frisola el valor de este parámetro fue <0,20 mg/L, observándose que la mayoría de los cuerpos de agua superficial monitoreados se encuentran en cumplimiento de la mencionada norma, y por tanto, en lo que se refiere a este parámetro el agua es apta para consumo humano, doméstico y fines recreativos, siendo favorable para la calidad del recurso hídrico (Figura 5-120).

Figura 5-120 Fenoles totales de los cuerpos de agua superficial

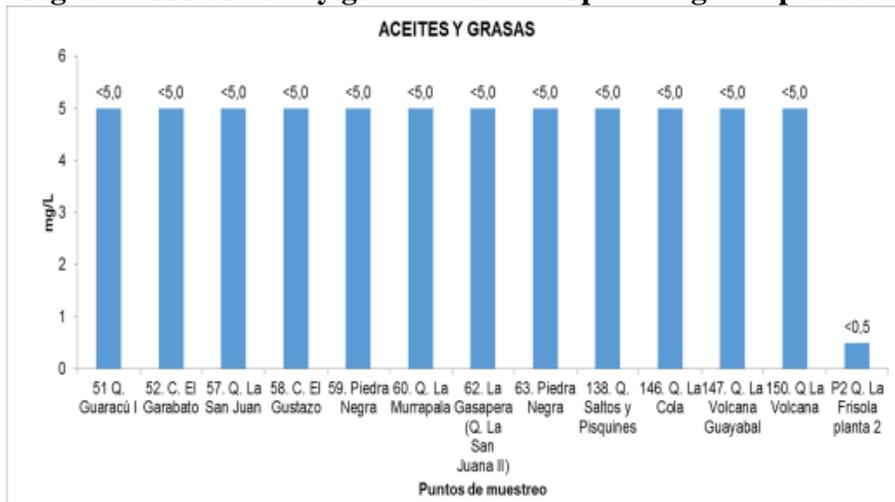


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Grasas y Aceites

Las grasas y aceites reportaron en la mayoría de puntos de monitoreo valores inferiores al límite de la técnica analítica empleada en el laboratorio, indicando que los cuerpos de agua evaluados poseen trazas mínimas de estos compuestos orgánicos, y por lo tanto, no forman películas que alteren la oxigenación y la calidad estética del recurso hídrico. En relación a la normatividad vigente, es posible determinar que los valores registrados en los 13 cuerpos de agua cumplen las condiciones establecidas en los artículos del Decreto 1076 de 2015, resultado que permite determinar que en relación a este parámetro el agua es apta para consumo humano, doméstico y fines recreativos (Figura 5-121).

Figura 5-121. Aceites y grasas de los cuerpos de agua superficial

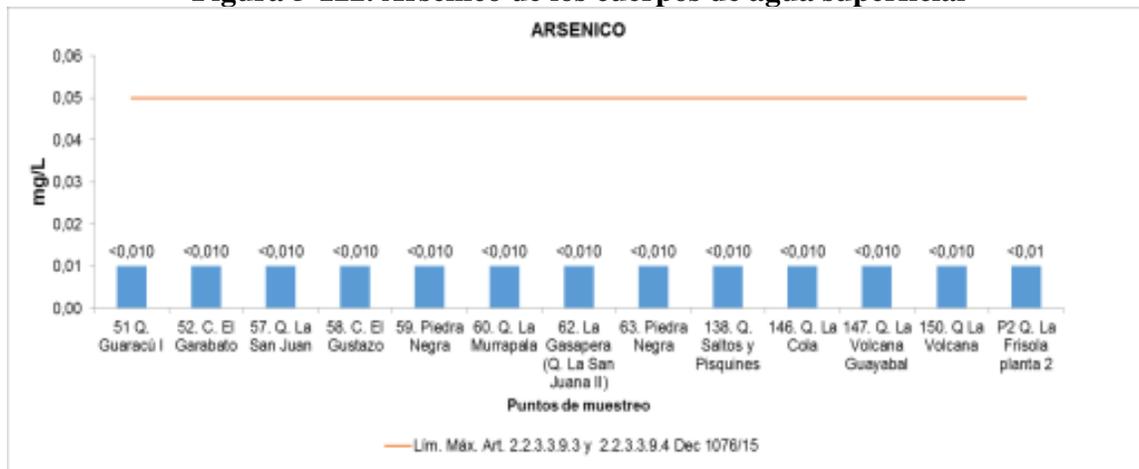


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Arsénico

La contaminación por Arsénico aparece asociada a la fabricación o utilización de herbicidas o pesticidas. En la Figura 5-122 se puede observar que la concentración de Arsénico fue menor a 0,010 mg/L, encontrándose por debajo de la concentración máxima permitida para este parámetro según los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015.

Figura 5-122. Arsénico de los cuerpos de agua superficial



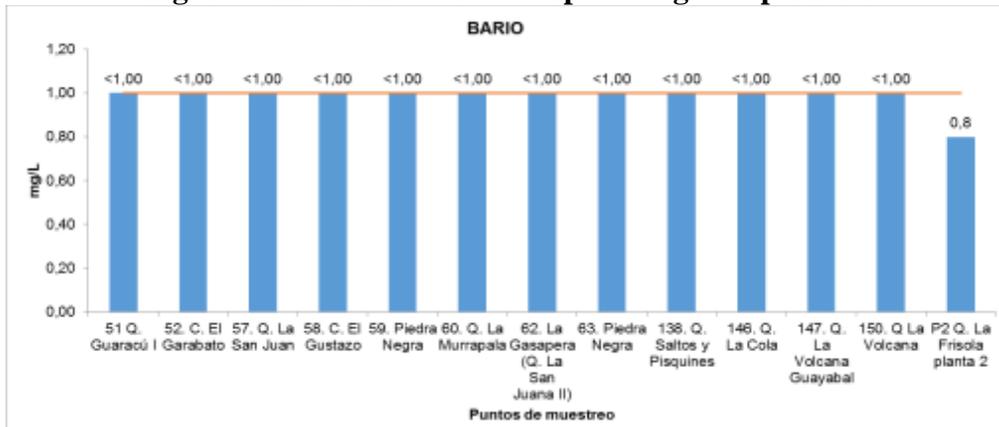
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Bario

Entre los diversos efluentes generados por diversas industrias, se encuentran las aguas de producción, que son mezclas complejas de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos y disueltos, cuya composición varía con el origen y el tiempo de explotación del yacimiento al cual pertenecen.

Teniendo en cuenta lo anterior, se encuentra el Bario, metal pesado cuya concentración en algunos efluentes puede exceder los límites permisibles exigidos por la legislación vigente, constituyéndose en un problema de gran importancia ambiental (Ministerio de Salud, 1983, 1984 y OMS, 1990), en este caso para los cuerpos de agua estudiados este metal no presenta ningún conflicto debido a que las concentraciones reportadas para la totalidad de puntos de muestreo se encuentra por debajo del límite mínimo cuantificable (<1 mg/L), encontrándose por debajo del límite máximo permisible establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 del 2015 (Figura 5-123).

Figura 5-123. Bario de los cuerpos de agua superficial

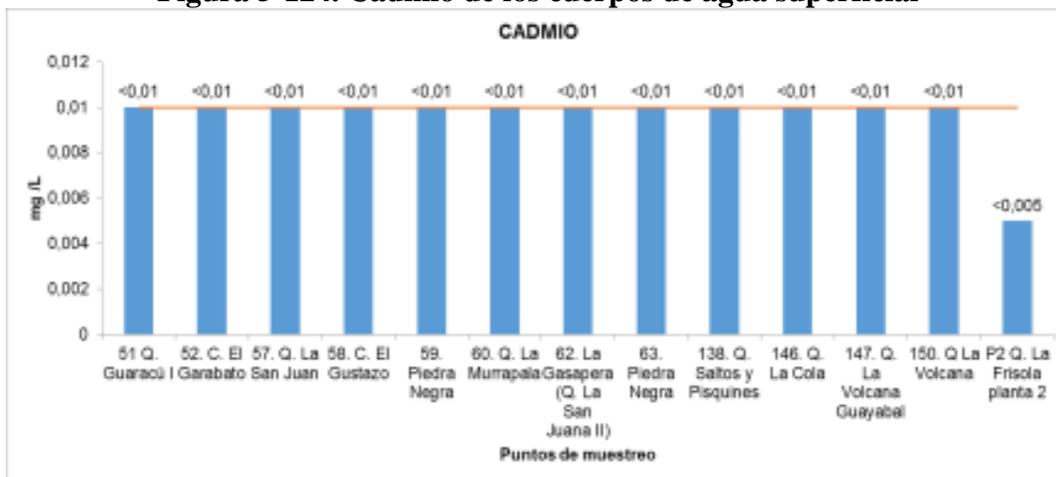


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Cadmio

Es especialmente peligroso ya que se puede combinar con otras sustancias tóxicas; afecta principalmente a los micromoluscos (no se desarrolla la concha); produce graves enfermedades cardiovasculares en el hombre, además, es un irritante gastrointestinal. La concentración de Cadmio fue menor a 0,01 mg/L en todos los puntos de monitoreo (Figura 5-124), cuya concentración es el límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada por el laboratorio, valor que cumple con la norma al ser inferior a lo establecido en el Decreto 1076 de 2015

Figura 5-124. Cadmio de los cuerpos de agua superficial



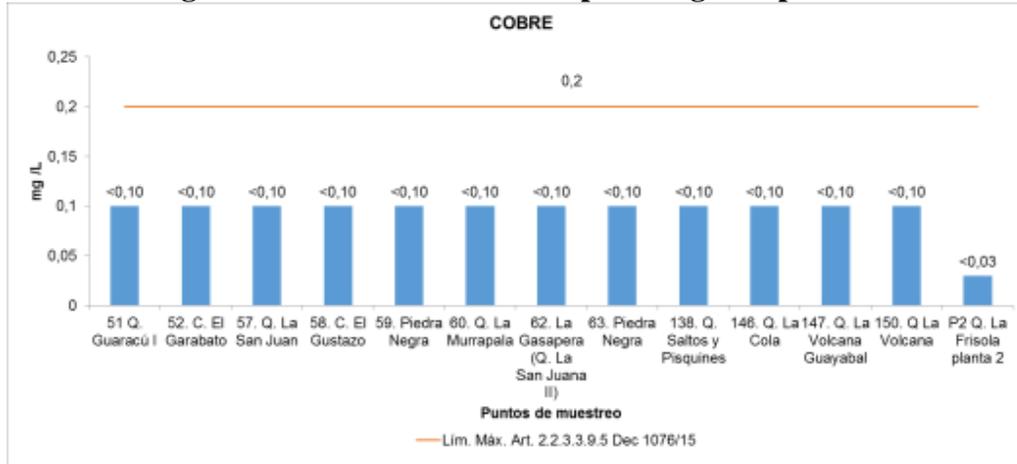
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Cobre

Su toxicidad sobre los organismos acuáticos varía con la especie, características físicas y químicas del agua, como temperatura, dureza, turbiedad y contenido de CO₂. Para todos los

puntos sus valores fueron inferiores a 0,1 mg/L (Figura 5-125), cuya concentración es el límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada por el laboratorio, cumpliendo con lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015.

Figura 5-125. Cobre de los cuerpos de agua superficial

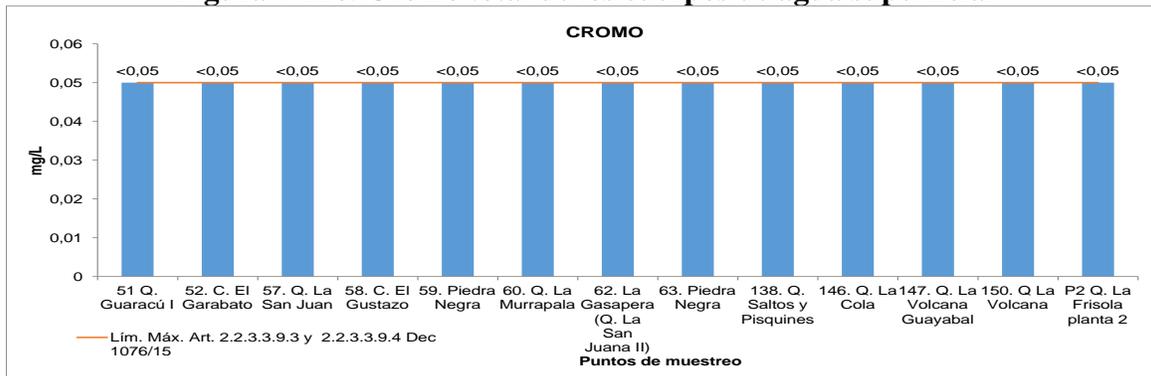


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Cromo total

Su toxicidad varía con el tipo de peces, con la temperatura y el pH del agua, así como también con su estado de oxidación. La concentración de Cromo fue menor al límite mínimo cuantificable por la técnica analítica empleada por el laboratorio en todos los puntos de monitoreo (Figura 5-126), resultado favorable para la calidad del recurso hídrico.

Figura 5-126. Cromo total de los cuerpos de agua superficial



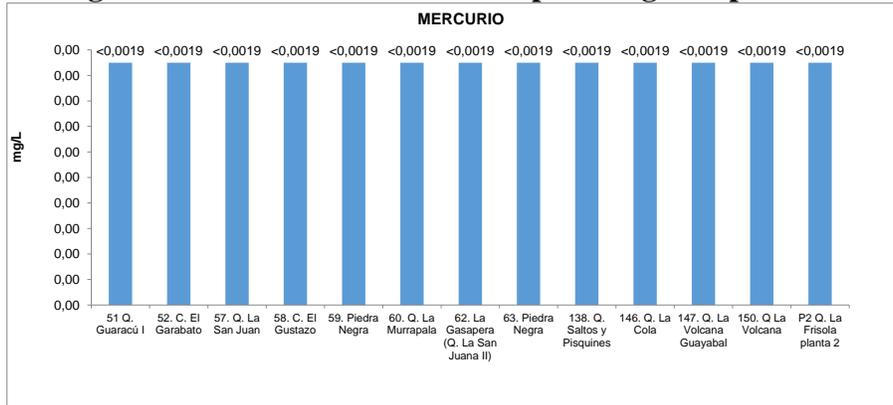
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Mercurio

En su totalidad los puntos evaluados, presentaron concentraciones por debajo del límite mínimo de cuantificación por la técnica analítica implementada por el laboratorio (0,0019

mg/L) cumpliendo con el límite máximo permisible de 0,002 mg/L establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 del 2015 (Figura 5-127)

Figura 5-127. Mercurio de los cuerpos de agua superficial.

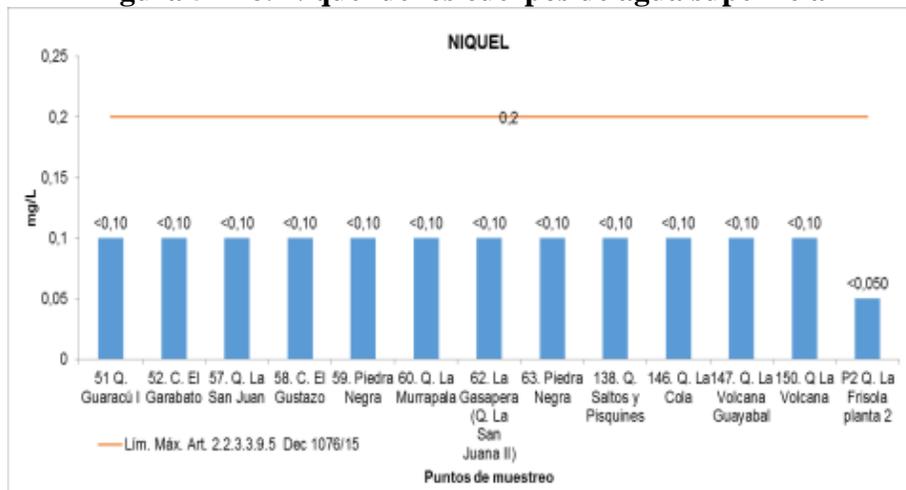


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Níquel

En bajas concentraciones es vital para el desarrollo de plantas y animales, pero en elevados valores causan problemas graves en la salud humana. Todos los cuerpos de agua presentaron concentraciones menores al límite inferior de la técnica analítica implementada por el laboratorio, cumpliendo con el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015 al no superar los 0,2 mg/L establecidos (Figura 5-128).

Figura 5-128. Níquel de los cuerpos de agua superficial



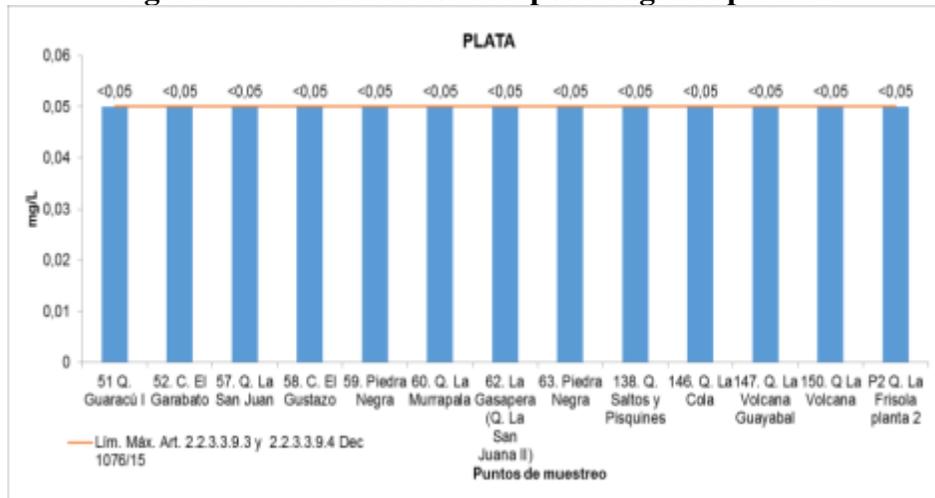
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Plata

Teniendo en cuenta lo anterior en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076

de 2015 se encuentra estipulado como límite máximo 0,05 mg/L, valor que no es superado en ninguno de los cuerpos de agua muestreados, debido a que todos presentaron una concentración menor al límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada por el laboratorio (<0,05) mg/L) (Figura 5-129).

Figura 5-129. Plata de los cuerpos de agua superficial

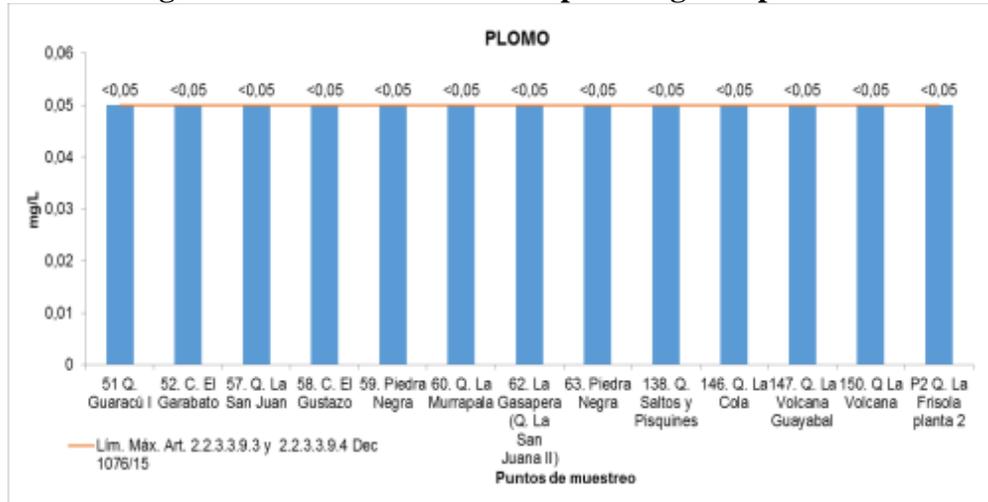


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Plomo

En todos los puntos de muestreo su concentración fue menor al límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada por el laboratorio (<0,05 mg/L), observándose que cumplen con el límite máximo permitido de 0,05 mg/L establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 (Figura 5-130).

Figura 5-130. Plomo de los cuerpos de agua superficial

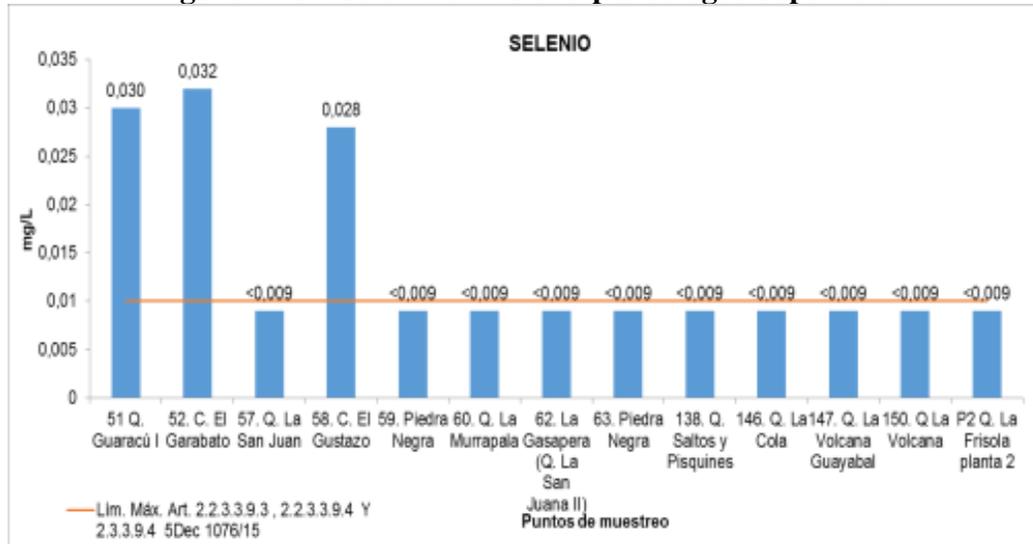


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Selenio

Las concentraciones de Selenio en todos los puntos evaluados estuvo por debajo del límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada en el laboratorio (<0,009 mg/L), cumpliendo con lo estipulado en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015, al no sobrepasar el límite máximo permisible de 0,01 mg/L, a excepción de los puntos Q, Guaracú, Q. El Garabato, y C El Gustazo, los cuales presentaron concentraciones superiores al límite normativo (Figura 5-131).

Figura 5-131. Selenio de los cuerpos de agua superficial

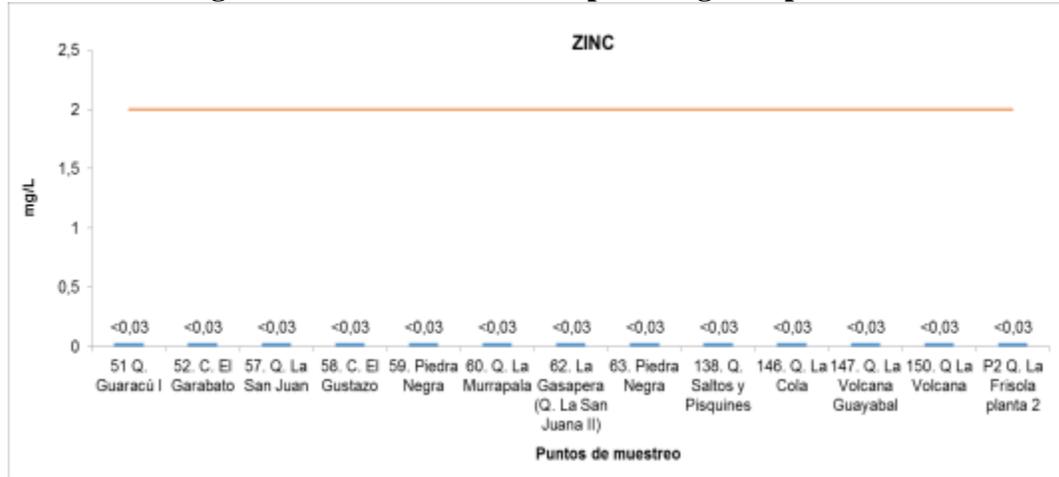


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Zinc

Todos los cuerpos de agua presentaron una concentración por debajo del límite mínimo cuantificable por la técnica analítica implementada por el laboratorio ($<0,03$ mg/L) (Figura 5-132), cumpliendo con lo estipulado en los Artículos del Decreto 1076 de 2015.

Figura 5-132. Zinc de los cuerpos de agua superficial

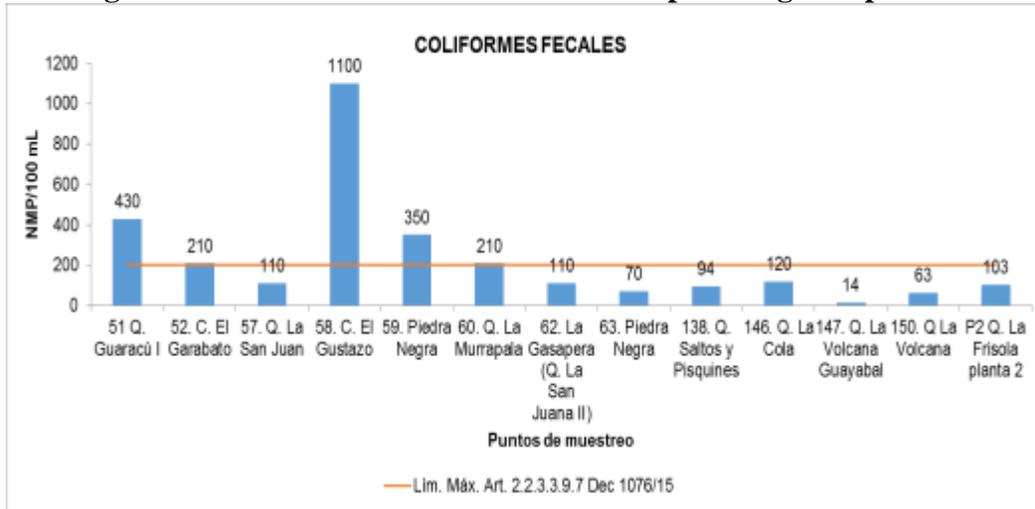


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Coliformes Fecales

En relación a los parámetros bacteriológicos, los coliformes fecales reportaron valores que oscilan entre 14 NMP/100 mL y 1100 NMP/100 mL en los 13 puntos de monitoreo, destacándose en los puntos La Murrapala, Piedra negra y C. El Gustazo, incumpliendo los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015, indicando que en lo que se refiere a este parámetro el agua es apta para uso recreativo; en contraste con lo anterior los demás puntos de monitoreo cumplen con lo establecido en el Artículos 2.2.3.3.9.3 de la normatividad vigente al no exceder los 2000 NMP/100 mL, indicando que el agua es apta para uso agrícola y consumo humano y doméstico únicamente (tratamiento previo) (Figura 5-133).

Figura 5-133. Coliformes fecales de los cuerpos de agua superficial

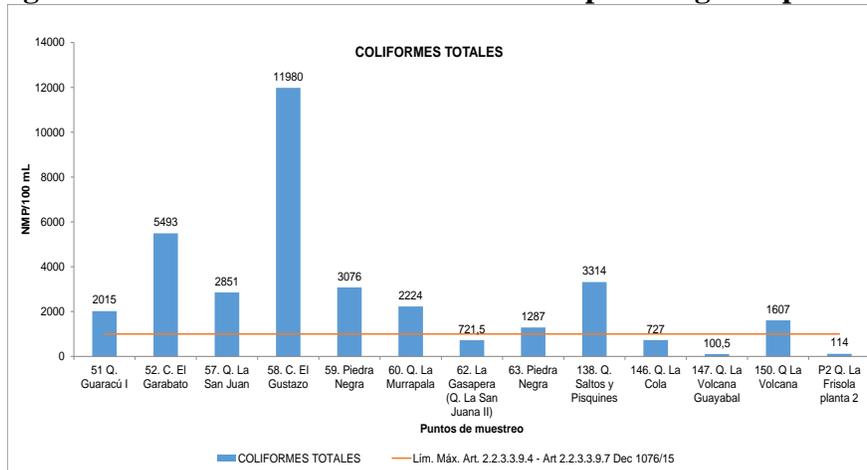


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Coliformes totales

De acuerdo a los resultados obtenidos de coliformes totales es posible determinar que el valores registrados los puntos, Quebrada Gasapera, Q la Cola y Q. Volcana Guayabal cumple con lo estipulado en los Artículos del Decreto 1076 de 2015, sin embargo los demás cuerpos de agua monitoreados no cumplen con lo establecido en la norma con resultados de concentraciones por encima de los 1000 NMP/100 mL, teniendo en cuenta que las concentraciones más elevadas fueran las presentadas en la quebrada Salto y Pisquines con 3314 NMP/100 mL y Caño El Gustazo con 11980 NMP/100 mL (Figura 5-134).

Figura 5-134. Coliformes totales de los cuerpos de agua superficial



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.6.1.2 Estimación de Índice de Calidad característicos

La aplicación de índices para determinar la calidad del agua de las fuentes hídricas superficiales, son una herramienta fundamental para determinar las presiones que éstas sufren por las acciones que desarrollan las poblaciones asentadas a su alrededor, ya que combinan ciertos parámetros que determinan susceptibilidades a tipos de contaminación y transmiten de una manera más clara y fácil de interpretar.

Teniendo en cuenta lo establecido en los Términos de Referencia M-M-INA-02 adoptados mediante la Resolución 751 de 2015, a continuación se presenta el índice de Langelier, Capacidad Buffer (Tampón) y el Índice de Calidad del Agua (ICA) para las fuentes hídricas que se consideraron susceptibles de intervención por el proyecto, y el índice de alteración de la calidad del agua de la subzona hidrográfica a la cual corresponden dichas fuentes hídricas.

5.1.6.1.2.1 Índice de Langelier

El **Índice de Langelier** es un índice para calcular el carácter incrustante o agresivo del agua y tiene que ver con los diversos equilibrios en el agua del anhídrido carbónico, bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total.

Es importante para poder controlar la incrustación o la corrosión en las redes de distribución del agua y para las instalaciones interiores domésticas.

El Índice de Langelier se usa para determinar el equilibrio del agua:

Si el índice es 0: el agua está perfectamente equilibrada.

Si el índice es negativo: indica que el agua es corrosiva.

Si el índice es positivo: indica que el agua es incrustante.

Se debe tener en cuenta que la información completa del informe entregado por CIMA se encuentra en el Anexo E3.

Para la Unidad funcional 3 tenemos que el índice de Langelier catalogó una condición *corrosiva* en el agua presente en las estaciones; F2 Nacimiento, F5 Aljibe, Drenaje NN 27, Drenaje NN 26, Afluente Q. la Culebra, V3 Q. La Valencia, Drenaje NN 28, Drenaje NN 32, Q. La Culebra y Q. La Frisola; teniendo en cuenta lo anterior este resultado en conjunto evidencia que los valores de pH, temperatura, dureza cálcica y alcalinidad determinados en cada caso establecen una condición especial en el agua, en la que de acuerdo a este índice si el agua entra en contacto con algún instrumento de transporte, tal como tuberías o alcantarillado en general, se producirían efectos de desgaste y erosión de los materiales, que se traducen en efectos corrosivos sobre los mismos, por otro lado también se debe tener en cuenta si estos cuerpos de agua pueden ser utilizados como fuente de consumo humano, por

lo que deben estar sujetos a algún tipo de tratamiento.

En contraste con lo anterior en el caso de la estación de muestreo M6 Bocatunel Occidente el índice de Langelier permitió definir una condición de *equilibrio* en el agua analizada, por ende en estos casos el resultado del análisis de los parámetros temperatura, pH, dureza cálcica y alcalinidad se encuentran en rangos aceptables entre sí, lo que significa que no existen eventos de acumulación y/o precipitación de sales de calcio ni minerales en general, lo que en conjunto favorece las condiciones y calidad del agua respectiva. (Tabla 5-61).

Tabla 5-61. Cálculo del índice de Langelier

PARAMETRO/PUNTO	F2 NACIMIENTO	F5 ALJIBE	M6 BOCATUNEL OCCIDENTE	DRENAJE NN 27	DRENAJE NN 26	67 AFLUENTE Q. LA CULEBRA	V3 Q. LA VALENCIA	DRENAJE NN 28	DRENAJE NN 32	P1 Q. LA CULEBRA	P2 Q. LA FRISOLA
PH	7,13	7,06	8,24	7,85	7,08	7,6	7,55	7,25	7,78	7,82	7,46
TEMPERATURA	16,97	15,73	21,61	15,64	15,98	15,8	17,36	15,91	16,16	18,25	20,51
DUREZA CALCICA	13	17,5	62	6,5	22	36	<5	14	2	46	6
ALCALINIDAD	34,08	31,46	108,31	18,05	49,51	58,28	11,35	25,79	8,77	76	18
INDICE LANGELIER (IL)	-2,43	-2,37	0,1	-2,35	-2,09	-1,28	-2,75	-2,35	-2,69	-0,73	-2,83
FACTOR DE TEMPERATURA (TF)	0,43	0,4	0,54	0,4	0,4	0,4	0,44	0,38	0,41	0,47	0,52
FACTOR DUREZA DE CALCIO (CF)	0,72	0,86	1,39	0,31	0,93	1,17	0,31	0,72	0,31	1,28	0,31
FACTOR ALCALINIDAD (AF)	1,52	1,47	2,02	1,29	1,68	1,75	1,11	1,39	0,95	1,87	1,2
CONDICION DEL AGUA	CORROSIVA	CORROSIVA	EQUILIBRADA	CORROSIVA	CORROSIVA	CORROSIVA	CORROSIVA	CORROSIVA	CORROSIVA	CORROSIVA	CORROSIVA

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Por otro lado y continuando con la misma metodología; se tiene que para la Unidad funcional 1 a partir de los valores relacionados en la Tabla 5-62 se estableció que índice de Langelier catalogó una condición *corrosiva* en el agua presente en las estaciones Quebrada Guaracú I, Caño El Gustazo y Piedra Negra, para los cuales se debe tener en cuenta que en conjunto los valores de pH, temperatura, dureza cálcica y alcalinidad determinados en cada caso establecen una condición especial en el agua, en la que de acuerdo a este índice si el agua entra en contacto con algún instrumento de transporte, tal como tuberías o alcantarillado en general, se producirían efectos de desgaste y erosión de los materiales, que se traducen en efectos corrosivos sobre los mismos, por otro lado también se debe tener en cuenta si estos cuerpos de agua pueden ser utilizados como fuente de consumo humano, por lo que deben estar sujetos a algún tipo de tratamiento. (Tabla 5-62)

Tabla 5-62. Cálculo del índice de Langelier

PARAMETRO/PUNTO	44 Q. La espalda	47 Q. La guaracú	48 Q. La Muñoz II	49 Q. La Muñoz I	Captación 4	Captación 2 (Río Aurra)	CAPTACIÓN 5 RIO CAUCA	CAPTACIÓN 6 RIO TONUSCO
PH	8,16	8,46	7,46	7,64	7,48	7,81	7,3	8,29
TEMPERATURA	27,39	27,55	26,5	24,83	23,93	26,68	25,57	32,28
DUREZA CALCICA	2,5	113,49	21,06	5,85	16	37	32	83
ALCALINIDAD	36,46	20,15	14,39	26,87	29,91	54,67	36	94
IL	-1,59	0,02	-1,91	-2,02	-1,71	-0,81	-1,59	0,40
FACTOR DE TEMPERATURA (TF)	0,66	0,66	0,65	0,6	0,59	0,65	0,63	0,76
FACTOR DUREZA DE CALCIO (CF)	0,31	1,66	0,93	0,31	0,81	1,16	1,11	1,53
FACTOR ALCALINIDAD (AF)	1,54	1,29	1,11	1,42	1,48	1,72	1,52	1,96
CONDICION DEL AGUA	CORROSIVA	EQUILIBRADA	CORROSIVA	CORROSIVA	CORROSIVA	CORROSIVA	CORROSIVA	EQUILIBRADA

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

En contraste con lo anterior, en el caso de las estaciones de muestreo Caño El Garabato, Quebrada La San Juan, Quebrada La Murrupala y Quebrada La Gasopera el índice de Langelier permitió definir una condición de *equilibrio* en el agua analizada, por ende en estos casos el resultado del análisis de los parámetros temperatura, pH, dureza cálcica y alcalinidad se encuentran en rangos aceptables entre sí, lo que significa que no existen eventos de acumulación y/o precipitación de sales de calcio ni minerales en general, lo que en conjunto favorece las condiciones y calidad del agua respectiva.

5.1.6.1.2.2 Capacidad de Buffer o Tampón

Se define como la resistencia del agua al cambio de pH. Convencionalmente, la capacidad tampón se expresa como la cantidad de ácido o base fuerte, en equivalentes-gramo, que debe ser añadido a 1 litro de la solución para cambiar su pH en una unidad (The Pearson Guide To Physical Chemistry For The AIPMT sección 6.4, Atul Singhal, 2011)

Esta se calcula con la siguiente expresión:

$$\beta = \frac{\Delta B}{\Delta pH}$$

Dónde:

ΔB = Gramo equivalente de ácido fuerte / base para cambiar el pH de 1 litro de solución tampón

ΔpH = Cambio de pH causado por la adición de ácido fuerte / base

Para la Unidad Funcional 3 en la Tabla 5-63 se presentan los resultados obtenidos para el cálculo de la capacidad Buffer. La interpretación de esta característica debe hacerse a partir del concepto de capacidad Buffer, en este contexto a mayor capacidad buffer mayor es la resistencia del cuerpo de agua a cambios en su pH ante el vertimiento de un ácido o una base, de esta forma se identificó que los puntos Bocatúnel Occidente y Quebrada la Valencia presentan la mayor capacidad buffer.

Tabla 5-63. Capacidad buffer en cuerpos de agua superficial analizados UF3

	F2 NACIMIENTO	F5 ALJIBE	M6 BOCATUNEL OCCIDENTE	DRENAJE NN 27	DRENAJE NN 26	67 AFLUENTE Q. LA CULEBRA
Capacidad Buffer (meq-g / Unidades de pH)	0,03	0,02	0,72	0,10	0,03	0,23

	V3 Q. LA VALENCIA	DRENAJE NN 28	DRENAJE NN 32	P1 Q. LA CULEBRA	P2 Q. LA FRISOLA
Capacidad Buffer (meq-g / Unidades de pH)	0,41	0,05	0,05	0,38	0,06

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Por otro lado En la Tabla 5-64 se presentan los resultados obtenidos para el cálculo de la capacidad Buffer de la Unidad Funcional 1, de esta forma se identificó que los puntos Quebrada La Murrapala y Quebrada La San Juan presentan la mayor capacidad buffer, lo que significa que el agua presente en estos puntos presentan una alta capacidad de regular el pH y reducir los cambios puntuales en el mismo, posibilitando una continuidad en las condiciones de acidez y basicidad.

Tabla 5-64. Capacidad buffer en cuerpos de agua superficial analizados UF1

	51 Q. Guaracú I	52. C. El Garabato	57. Q. La San Juan	58. C. El Gustazo	59. Piedra Negra	60. Q. La Murrapala	62. La Gasopera
Capacidad Buffer (meq-g / Unidades de pH)	0,12	0,30	0,55	0,32	0,21	0,52	0,56

	63. Piedra Negra	138. Q. Saltos y Pisquines	146. Q. La Cola	147. Q. La Volcana Guayabal	150. Q La Volcana	P2 Q. La Frisola planta 2
Capacidad Buffer (meq-g / Unidades de pH)	0,15	0,43	0,25	0,23	0,04	0,06

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

5.1.6.1.2.3 Índice de Calidad de Aguas Superficiales ICA

Este índice es tomado de INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, (IDEAM, 2010), El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t. (Tabla 5-65).

l indicador se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

variables que determinan, en gran parte, la calidad de las aguas corrientes superficiales.

La fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right), \text{ Donde:}$$

ICA_{njt} Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t , evaluado con base en n variables.

W_i Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i .

I_{ikjt} Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j , registrado durante la medición realizada en el trimestre k , del período de tiempo t ; n es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5.

A continuación se resumen las variables que están involucradas en el cálculo del indicador para los casos en los que se emplea 5 variables, la unidad de medida en la que se registra cada uno de ellos y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo.

Tabla 5-65. Ponderación asignada a las variables fisicoquímicas

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 C.E.	µs/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Fuente: IDEAM 2010.

Para cada una de las variables se construye una “relación funcional” o “curva funcional” (ecuación) en la que los niveles de calidad de 0 a 1 se representan en las ordenadas de cada gráfico, mientras que los distintos niveles (o intensidades) de cada variable se disponen en las abscisas, trazando en cada gráfico una curva que represente la variación de la calidad del agua respecto a la magnitud de cada contaminante.

Para la Unidad Funcional 3 los resultados obtenidos partir de la definición de este índice se debe tener en cuenta que evalúa la calidad de un cuerpo de agua superficial en un tiempo determinado en términos de bienestar humano, independientemente del uso; para el caso de

los cuerpos de agua monitoreados en el presente estudio se estableció que el ICA catalogó con una calidad ACEPTABLE la mayoría de los puntos de muestreo, resaltados en este caso de color verde en la Tabla 5-66, por ejemplo en el caso de los puntos P1 Quebrada La Culebra y P2 Quebrada La Frisola; en todos los casos donde se presentó esta condición se deben tener en cuenta los valores de los parámetros analizados, por ejemplo en el caso del oxígeno disuelto se obtuvo valores inferiores al 75%, por otro lado en el caso de los sólidos suspendidos totales en el punto Afluente Quebrada La Culebra se reportó un valor de 46,5 mg/L.

Tabla 5-66. Resultados índices de calidad de agua ICA

PARÁMETRO/ PUNTO	F2 NACIMIENTO	F5 ALJIBE	M6 BOCATUNEL OCCIDENTE	DRENAJE NN 27	DRENAJE NN 28	67 AFLUENTE Q. LA CULEBRA	V3 Q. LA VALENCIA	DRENAJE NN 28	DRENAJE NN 32	P1 Q. LA CULEBRA	P2 Q. LA FRISOLA
OD % SAT	64,78	34,09	65,60	75,70	61,34	68,54	73,13	53,60	73,46	74,79	81,93
SST	10	58,5	5	5	14,5	46,5	18,5	180	5	30	18
DOO	5	5	5	62,4	5	8,64	5	27,84	5	11	54
CONDUCTIVIDAD	49	43	192	28	67	79	20	38	14	137	39
pH	7,13	7,06	8,24	7,85	7,08	7,6	7,55	7,25	7,78	7,82	7,46
iod	0,65	0,34	0,66	0,76	0,62	0,69	0,73	0,54	0,73	0,75	0,82
iodt	0,99	0,8445	1,005	1,005	0,9765	0,8805	0,9645	0,48	1,005	0,93	0,966
iodp	0,91	0,91	0,91	0,26	0,91	0,91	0,91	0,51	0,91	0,91	0,26
iodc	0,90	0,92	0,37	0,95	0,85	0,81	0,97	0,93	0,98	0,60	0,93
iodh	1,00	1,00	0,76	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ICA	0,99	0,90	0,74	0,79	0,87	0,96	0,92	0,69	0,93	0,94	0,79
Calificación	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Buena	Regular	Buena	Aceptable	Aceptable

Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

En el caso del punto NN 28 el ICA catalogó una condición regular en el agua, lo que probablemente está directamente relacionado con lo obtenido para el parámetro de sólidos suspendidos totales (SST) con 180 mg/L; cabe mencionar en este caso que para la calidad del agua es importante que a lo largo de la columna de agua exista una adecuada penetración de luz solar para que los procesos bióticos de transferencia de energía tengan lugar y exista un adecuado reciclaje de nutrientes, en este caso este valor afecta directamente esta condición.

Finalmente en el Quebrada La Valencia y Drenaje NN 32 el ICA estableció una calidad buena para el agua analizada; para estos cuerpos loticos se debe mencionar que se reportaron valores normales para los parámetros de sólidos suspendidos totales, DBO, pH y saturación de oxígeno, lo que se evidencia en esta condición; por otro lado se deben tener en cuenta los índices de contaminación calculados para estos puntos, ya que en ninguno de ellos se encontró un evento de contaminación importante; adicionalmente estos valores están acordes con el contenido de materia orgánica, coliformes y oxígeno disuelto determinados en cada caso.

Por otro lado para la Unidad Funcional 1 se encontró que los puntos 51 Q. Guaracú I, 52 C. El Garabato, 58 Piedra Negra, 60 Murrapala y 138 Q. Saltos y Pisquines, presentan calidad de agua "REGULAR", mientras que los cuerpos de agua: 57 Q. San La Juan, 58 C. El gustazo, 62 La Gasapera, 63 Piedra Negra, 146 La cola, 147 La Volcana Guayabal, 150 La

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

Volcana, P2 La Frisola Planta 2, presentan calidad de agua “ACEPTABLE”.

En el caso de la Q. Guaracú I, el resultado es consecuente con los resultados de ICOMO, en el cual el alto contenido de materia orgánica categoriza al punto con contaminación media, lo cual también sucede con el punto C. El Garabato, Piedra Negra, Q. La Murrapala, y Q. Saltos y Pisquines (Tabla 5-67).

Tabla 5-67. Índice de calidad de aguas superficiales Ica.

PARAMETRO/ PUNTO	51 Q. Guaracú I	52. C. El Garabato	57. Q. La San Juan	58. C. El Gustazo	59. Piedra Negra	60. Q. La Murrपाला	62. La Gasapera (Q. La San Juana II)	63. Piedra Negra	138. Q. Saltos y Pisquines	146. Q. La Cola	147. Q. La Volcana Guayabal	150. Q. La Volcana	P2 Q. La Frisola planta 2
OD % SAT	94,61	87,11	84,20	77,63	86,54	78,03	70,27	76,85	59,08	69,91	81,46	69,17	81,93
SST	33	20	20	28,5	33,5	20	20	20	120,3	20	20	20	18
DQO	40,04	70,2	32	32	62	32,6	32	32	32	32	32	39,5	54
CONDUCTIVIDAD	188	316	202	201	205	215	166	205	178	173	40	148	39
PH	8,11	8,67	7,79	7,48	7,5	7,75	7,92	7,17	7,58	7,7	8,04	7,87	7,46
Iod	0,95	0,87	0,84	0,78	0,87	0,78	0,70	0,77	0,59	0,70	0,81	0,69	0,82
Isst	0,921	0,96	0,96	0,9345	0,9195	0,96	0,96	0,96	0,6591	0,96	0,96	0,96	0,966
Idqo	0,26	0,26	0,51	0,51	0,26	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,26
Ice	0,39	0,00	0,33	0,33	0,31	0,27	0,48	0,31	0,43	0,45	0,92	0,56	0,93
Iph	0,66	1,16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,62	1,00	1,00
ICA	0,64	0,65	0,73	0,71	0,67	0,70	0,73	0,71	0,64	0,72	0,77	0,74	0,79
Calificación	Regular	Regular	Aceptable	Aceptable	Regular	Regular	Aceptable	Aceptable	Regular	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

5.1.6.1.2.4 Índice de afectación de calidad del agua (IACAL)

El índice sobre la alteración potencial de la calidad del agua se encuentra establecido a partir de la presión de la carga contaminante que ejercen diferentes actividades sectoriales sobre las condiciones de calidad hídrica (IACAL) de estos sistemas. Con base en información secundaria (estadísticas oficiales), agregadas y evaluadas en 309 subzonas hidrográficas con datos del 2008, en el ENA 2010 se evaluaron los resultados del indicador de alteración potencial de la calidad (IACAL) y las condiciones de calidad en los 154 puntos de referencia de la red básica del IDEAM.

Para la generación del indicador de alteración potencial de la calidad de agua (IACAL) como referente de la presión sobre las condiciones de calidad de agua en los sistemas hídricos superficiales del país con base en variables representativas, se introdujeron innovaciones en relación con el estudio del año 2001. Además de las estimaciones de mayor cobertura de actividades para DBO, incluyeron las variables de demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT).

Estimaron el IACAL en los sistemas hídricos superficiales para 2008, a partir de información secundaria como el promedio de las jerarquías asignadas a las cargas contaminantes ejercidas por el sector doméstico para 1099 municipios y el industrial (a 4 dígitos CIU23) para 186 municipios.

Para el cálculo del IACAL municipal, dividieron el promedio de las jerarquías del cociente de las cargas contaminantes entre la oferta de agua total para año medio y año seco en millones de metros cúbicos, la cual representa la capacidad de autodepuración; da un indicativo de la probabilidad de afectación por cargas contaminantes, de modo que un valor menor indica una probabilidad menor de ocurrencia de un evento severo de alteración de la calidad. La amenaza debida a la alteración de la calidad a escala municipal y por subzonas hidrográficas se clasifica de acuerdo a la Tabla 5-68.

Tabla 5-68 Categoría y descriptor del IACAL

IACAL	
PROMEDIO CATEGORÍA (NT+PT+SST+DBO+(DQO-DBO)/5)	
Categoría	Valor
Baja	1
Moderada	2
Media Alta	3
Alta	4
Muy Alta	5

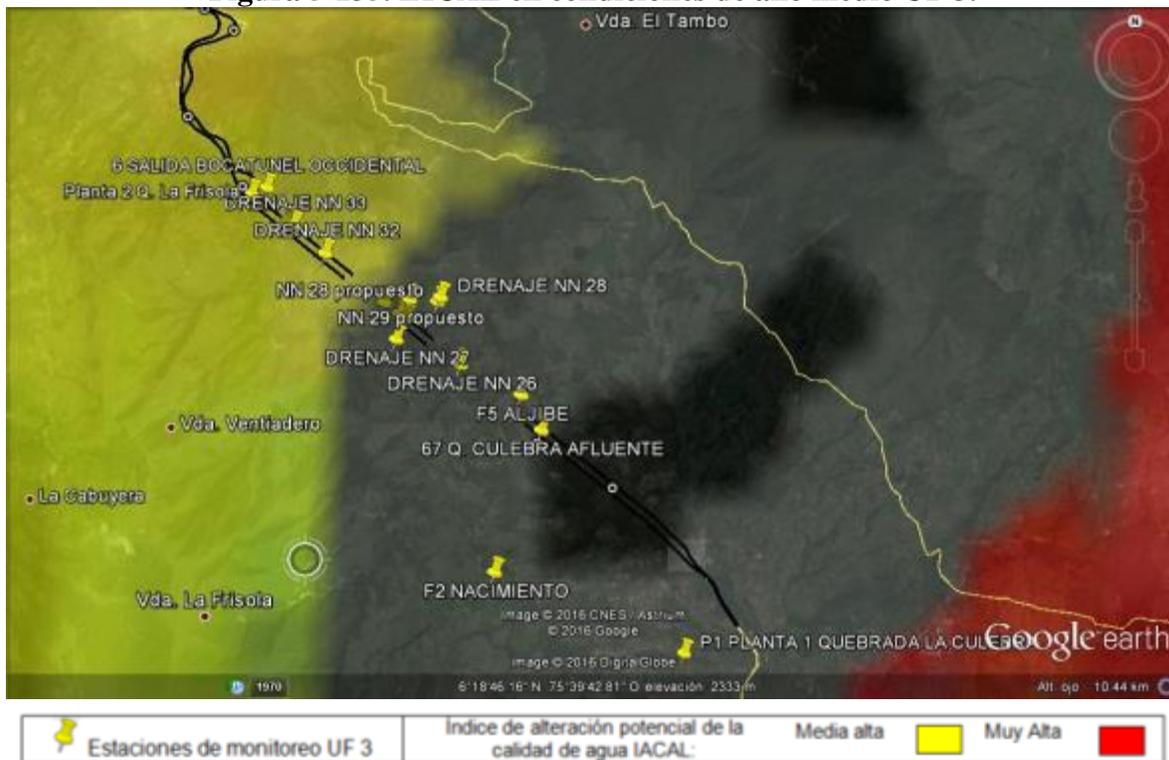
Fuente: Orjuela et al., 2010, MODIFICADO POR cima

Con base a la información expuesta, para este índice se realizó una comparación de la ubicación de los puntos de muestreo con el mapa IACAL para las 309 subzonas hidrográficas en año medio y año seco.

Para el índice de afectación de calidad de agua (IACAL) se realizó una comparación con los mapas emitidos por el IDEAM en condiciones de año medio para las 309 subzonas hidrográficas tenidas en cuenta para la evaluación de los resultados del indicador de alteración potencial de la calidad (IACAL), teniendo en cuenta lo anterior en este caso se realizó una comparación de la ubicación de los puntos de muestreo tenidos en cuenta para este estudio con el IACAL en condiciones de año medio.

De acuerdo a lo obtenido en esta comparación de imágenes es posible determinar que las estaciones de muestreo contempladas para la unidad funcional 3 se ubicaron a lo largo de la zona de afectación MEDIA-ALTA y otro grupo en la franja de transición entre la afectación MEDIA-ALTA y MUY ALTA (Figura 5-135); en este caso se deben tener en cuenta las características de cada uno de los cuerpos de agua, así como los posibles riesgos que afectarían potencialmente la calidad del agua presente en estos sistemas, tal como se describió anteriormente en el caso de los índices de Langelier e ICA.

Figura 5-135. IACAL en condiciones de año medio UF 3.

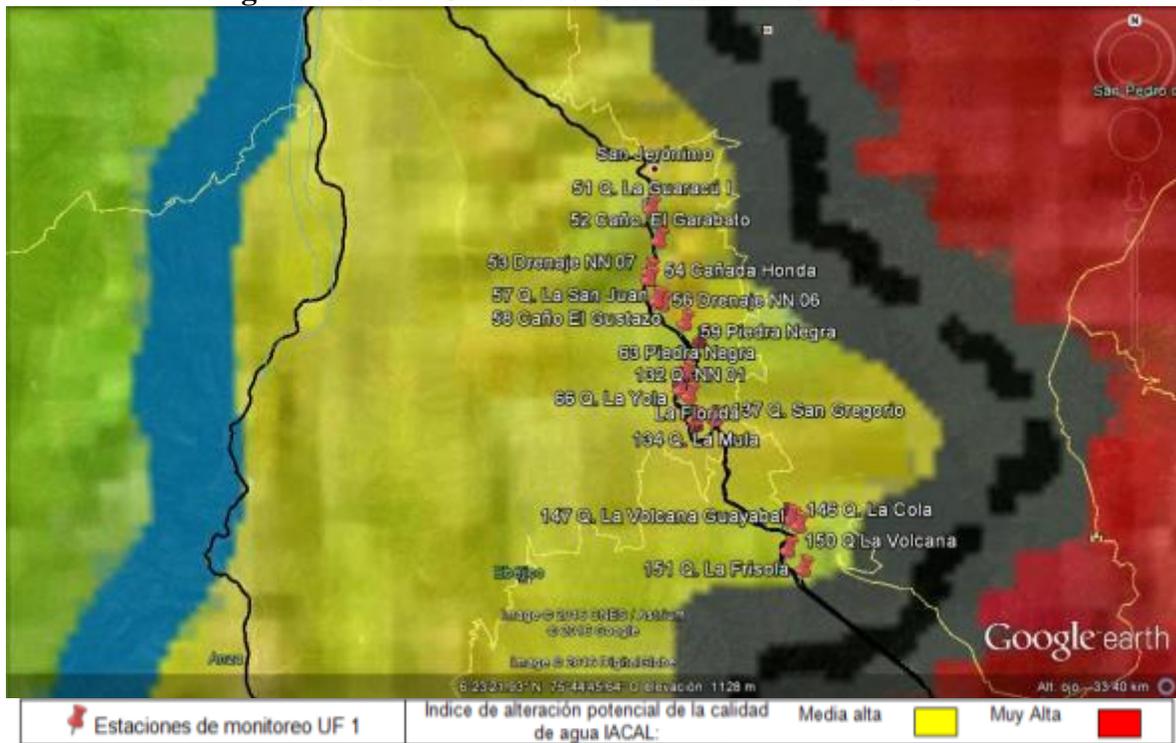


Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016), Modificado por Orjuela et al., 2010

Para la Unidad Funcional 1 que todos los puntos de muestreo analizados estuvieron ubicados dentro de la franja de color amarillo, que de acuerdo a las convenciones del índice corresponde a una zona en la que la alteración potencial de la calidad del agua es MEDIA ALTA (Figura 5-136); en contraste con lo anterior es necesario relacionar este escenario con los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros fisicoquímicos ejecutados, por ejemplo en el caso del punto Caño El Garabato el índice de contaminación por Mineralización obtuvo un valor MUY ALTO, relacionado con lo obtenido para los parámetros de Conductividad, Alcalinidad y Dureza.

Finalmente para el caso de las demás estaciones de muestreo en relación a los índices de contaminación por materia orgánica (ICOMO) y por sólidos suspendidos (ICOSUS) se encontraron rangos bajos; en conjunto estos valores se relacionan con el índice de afectación de la calidad del agua IACAL y la respectiva categoría MEDIA ALTA.

Figura 5-136. IACAL en condiciones de año medio UF 1



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Finalmente se debe tener en cuenta que los análisis entregados por el laboratorio CIMA con respecto al resultados hidrobiológicos, índices ecológicos, bioindicacion y demás se encuentra en la parte biótica del estudio de la construcción de la segunda calzada entre Túnel de Occidente y San Jerónimo.

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

5.1.6.1.3 Estimaciones Para Otra Temporalidad Climatologica

Como se mencionó anteriormente y dando cumplimiento al requerimiento de la resolución 751 del 26 de marzo de 2015 en su numeral 5.1.6.1, donde pide adicional a la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las corrientes hídricas, una estimación mediante herramientas técnicas de dichas características para una temporalidad diferente.

5.1.6.1.3.1 Selección y justificación de la herramienta de estimación

En principio las herramientas técnicas conocidas para hacer estimaciones en términos de calidad del agua obedecen a modelos matemáticos y simuladores, por tanto se procedió a revisar los modelos y software existente y/o comercial que típicamente se usan. Se identificó que la oferta de modelos de simulación que se pueden encontrar en el mercado actual es numerosa y variada en cuanto a su tipología, no obstante todos obedecen a modelos determinístico y/o conceptuales orientados a simular la calidad del agua posterior a un vertimiento y/o tributario, este es el caso de los modelos que se mencionaran a continuación a manera informativa. Los modelos se describen en su totalidad en el anexo 6 correspondiente a calidad de agua.

- USEPA; programa QUAL2K (River and Stream Water Quality Model). Aplicación de uso libre para la simulación de la calidad de las aguas Superficiales continentales. QUAL2K es unidimensional
- USEPA 2002; programa EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code). Capaz de hacer simulaciones en multitud de ambientes, tanto Continentales como marinos, entre ellos: ríos, lagos, embalses, estuarios, línea de costa y humedales
- DHI (Danish Hydraulic Institute); programa MIKE 11.
- USEPA; programa WASP/WASP7 (Water Quality Analysis Simulation Program).
- Mix Zon Inc.; programa CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System). Se trata de un sistema que simula el funcionamiento de descargas a partir de focos puntuales y continuos sobre zonas reguladoras de mezcla.
- Ecosystems Research Division, NERL, ORD; USEPA 2003: programa VISUAL PLUMES.

Ninguno de los modelos presentados se ajusta al requerimiento puntual de la resolución 751 de 2015, por esta razón fue necesario plantear un modelo matemático específico para las estimación de las variables requeridas en los escenarios planteados.

En este contexto y teniendo en cuenta la complejidad del sistema a modelar, dada la gran variabilidad de los parámetros en función de eventos meteorológicos, geológicos y

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

antropológicos puntuales no predecibles, la disponibilidad de información y el alcance que se requiere, se determinó usar un modelo estocástico. Un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para tratar magnitudes aleatorias que varían con el tiempo, o más exactamente para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. Cada una de las variables aleatorias del proceso tiene su propia función de distribución de probabilidad y pueden o no, estar correlacionadas entre ellas.

Cada variable o conjunto de variables sometidas a influencias o efectos aleatorios constituye un proceso estocástico. Un proceso estocástico puede entenderse como una familia uniparamétrica de variables aleatorias indexadas mediante el tiempo t . Los procesos estocásticos permiten tratar procesos dinámicos en los que hay cierta aleatoriedad.

Las razones por las que el comportamiento de un sistema puede resultar aleatorio son variadas y puntualmente los valores asociados a los parámetros de calidad del agua en una fuente superficial obedecen a estas por:

- Existencia de procesos realmente estocásticos (eventos geológicos, tipo deslizamientos de tierra que alteran los drenajes por tanto la calidad del agua).
- Existencia de procesos aparentemente estocásticos debido a nuestra falta de conocimiento (eventos antropogénicos, tipo vertimientos aguas arriba).
- Procesos muy complejos que es preferible modelizar como estocásticos (eventos meteorológicos, tipo precipitaciones).

5.1.6.1.3.2 Conceptualización del Modelo Propuesto.

Se propone un modelo estocástico – dinámico - Empírico, en este contexto se basara en relaciones estadísticamente significativas entre variables, las ecuaciones o estimadores estadísticos no son por tanto físicamente o dimensionalmente consistentes ni universales, ya que en rigor sólo son válidas para el contexto espacio-temporal en el que se trabajaran. Para este caso se utilizaron series de datos medidos en sistemas hídricos similares (misma zona hidrológica), Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Red de Monitoreo Ambiental en la cuenca hidrográfica del Río Medellín- Aburrá - RedRío. Parámetros de Calidad Principales Quebradas Tributarias al Río Aburrá_Medellín 2012-2014.

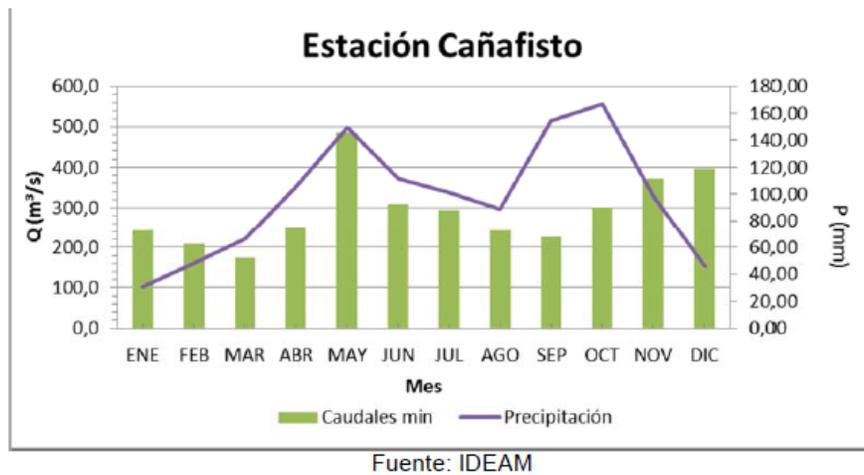
Las series de datos corresponden a 84 mediciones hechas en 33 estaciones durante 3 años distribuidos en diferentes temporalidades climatológicas. Las variables medidas y tenidas en cuenta en las estimaciones fueron : Temperatura ambiente (°C), Temperatura del Agua (°C), pH (U de pH), OD (mg/L), Conductividad (μ s/cm), Turbiedad (NTU), DBO (mg/L), DQO (mg/L), Ptotal (mg P/L), PO4 (mg P/L), Porg (mg P/L), NO3 (mg N/L), NO2 (mg N/L), Norg (mg N/L), NTK (mg N/L), SST (mg/L), ST (mg/L), SDT (mg/L), Ssed ml/lh, Caudal (m³/s).

Para dar mayor peso en términos estadísticos al modelo se integraron series de datos medidas en el río río Zulia (Norte de Santander), lo anterior dado a la frecuencia y rigurosidad con la que estos fueron colectados (mediciones semanales durante 3 años seguidos), también teniendo en cuenta que lo que se buscan son factores (estimadores) que relacionen los parámetros de calidad del agua con las temporalidades climatológicas, y se pudo identificar que el régimen de precipitaciones de punto de medición es bimodal al igual que la zona de estudio.

Usando las series de datos se realizó un análisis de dependencia de variables, se establecieron correlaciones y definieron las ecuaciones, dado lo dispersos que pueden llegar a ser los valores asociados a parámetros de calidad del agua y basados en lo propuesto en el informe estadístico para el Diseño y puesta en marcha de la segunda etapa de la red de monitoreo en la cuenca hidrográfica del río Aburrá – Convenio 313 de 2005, se definió la existencia de relación estadística entre variables a partir de coeficientes de correlación (R2) mayores a 0,6.

En principio el caudal se fijó como variable independiente para los parámetros SST, Sólidos sedimentables y sólidos totales dado que mostro ser directamente proporcional a la precipitación, parámetro que representa los cambios de temporalidad climatológica, lo anterior siendo coherentes con el objetivo del modelo (ver Figura 5-137).

Figura 5-137. Relación precipitación vs caudales, (variables climatológicas vs Hidrológicas)



Como descomposición de series de tiempo, cuyo patrón de generación se descompone en Tendencia, factor cíclico, movimiento estacional y movimiento irregular), (Granger, 1989). Dado el objetivo del modelo, que busca identificar la variabilidad de los parámetros de calidad en temporalidades climáticas diferentes en el año, se buscó determina el un factor estacional por mes en las series de datos medidos, este factor se usara como multiplicador para la estimación de cada parámetro en cada cuerpo de agua según corresponda.

La ecuación general de un estimador multiplicativo de series de tiempo es:

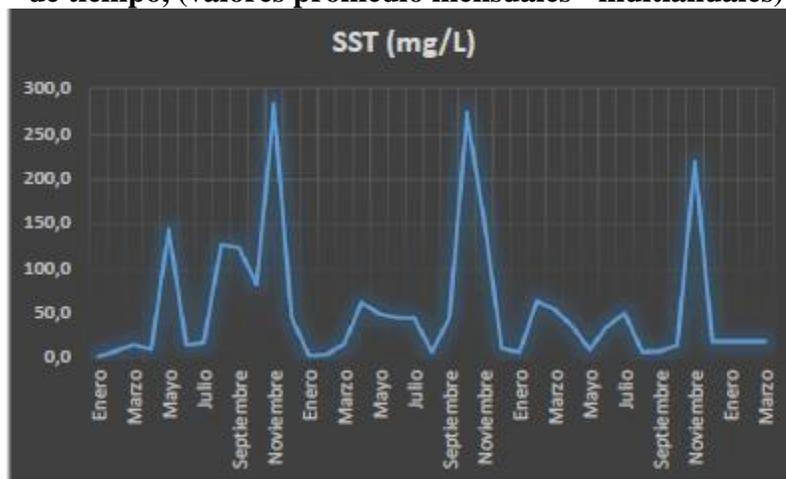
$$S(t) = T(t) * Y * C + u$$

Donde:

- S = Valor Pronosticado
- T = Factor de tendencia
- C = Componente Cíclico
- Y = Componente Estacional
- u = Variación no sistemática

En la siguiente figura se puede ver claramente el comportamiento de los SST en una de las series temporales usadas, esta es parte de la justificación de la simplificación, aquí se puede observar claramente el comportamiento estacional mientras otras características como tendencia, oscilaciones cíclicas y variación no sistemática no se ven claramente.

Figura 5-138. Comportamiento estacional de los sólidos suspendidos totales en series de tiempo, (valores promedio mensuales - multianuales)



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Dado lo anterior se definió una relación estadística entre los valores promedios mensuales para determinar un multiplicador que definiera la magnitud del incremento o disminución de cada parámetro de calidad del agua mes a mes, para guardar concordancia con las series de datos que definen las variaciones climáticas.

Dichas relaciones se calcularon para cada parámetro y se usaron como multiplicador por el valor medido en la corriente objeto de estudio, dicho producto se ubicó en el mes de la Medición, para el caso particular en marzo, el valor estimado se tomó como base de cálculo para el siguiente mes y así sucesivamente hasta completar un año de estimaciones, el valor reportado como estimación para temporalidad climatológica diferente fue el del mes que según la gráfica 1 es opuesta en términos de precipitación al momento muestreado, para

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

este caso octubre. La metodología y su explicación en cada parámetro se encuentran en el Anexo 6.

5.1.6.1.3.3 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos del modelo de estimación para la temporalidad de lluvia en cada una de las corrientes caracterizadas para la Unidad Funcional 3.

Tabla 5-69. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS				
		F2 NACIMIENTO	F5 ALJIBE	M8 BOCATUNEL OCCIDENTE	P1 Q. LA CULEBRA	P2 Q. LA FRISOLA
MES DE PROYECCIÓN	NA	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	17,0	15,7	21,6	18,25	20,51
pH	Unidades	7,17	7,09	8,28	7,86	7,50
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	87,19	76,51	341,63	243,77	69,39
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	67,61	60,50	236,65	181,5	35,6
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	6,4	3,6	6,0	7,23	7,59
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	<3,77	4,52	<3,77	<3,77	<3,77
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	25,72	23,74	81,73	57,35	13,58
DBO5	mg/L O ₂	1,6	2,6	2,6	1,95	1,30
DQO	mg/L O ₂	<2,379	<2,379	<2,379	5,23	25,70
DUREZA CALCICA	mg/L CaCO ₃	9,81	13,58	46,78	56,59	9,81
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	14,34	15,09	63,76	34,71	4,53
FOSFORO TOTAL	mg/L P	1,543	1,513	0,983	1,916	1,739
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	7,0	5,9	5,9	11,35	9,13
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	16	95	8	48,5	29,1
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	53	109	148	141,47	48,82
TURBIEDAD	NTU	8,1	19,4	2,4	1,7	11,8

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Tabla 5-70. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS					
		DRENAJE NN 27	DRENAJE NN 28	67 AFLUENTE Q. LA CULEBRA	V3 Q. LA VALENCIA	DRENAJE NN 28	DRENAJE NN 32
MES DE PROYECCIÓN	NA	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	15,84	15,98	15,80	17,38	15,91	16,18
pH	Unidades	7,89	7,11	7,64	7,59	7,29	7,82
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	49,82	119,21	140,57	35,59	67,61	24,91
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	39,14	94,30	112,10	26,69	53,38	19,57
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	0,13	0,13	0,13	0,38	0,63	1,50
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	7,89	6,22	6,95	7,19	5,47	7,39
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	<3,77	<3,77	<3,77	<3,77	<3,77	<3,77
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	13,62	37,36	43,98	8,56	19,46	6,62
DBO5	mg/L O ₂	2,02	1,95	2,41	1,63	3,34	2,08
DQO	mg/L O ₂	29,70	2,379	4,11	2,379	13,25	2,379
DUREZA CALCICA	mg/L CaCO ₃	4,90	16,60	27,16	3,77	10,56	1,51
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	9,81	26,41	31,31	6,41	12,83	4,53
FOSFORO TOTAL	mg/L P	0,187	1,012	0,924	3,665	1,602	1,759
NITROGENO TOTAL	mg/L	8,08	6,46	10,19	9,71	4,85	10,19
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	8,1	23,5	75,2	29,9	291,1	8,1
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	22	71	124	38	258	13
TURBIEDAD	NTU	10,67	2,91	13,59	12,13	156,88	0,65

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

A continuación se presentan los resultados obtenidos del modelo de estimación para la temporalidad de lluvia en cada una de las corrientes caracterizadas para la Unidad Funcional 1.

Tabla 5-71. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS						
		51 Q. Guaracú I	52. C. El Garabato	57. Q. La San Juan	58. Drenaje NND5 (C. Gustazo)	59. Drenaje NND4	60. Q. La Murapala	62. La Gasapera (Q. La San Juana II)
MES DE PROYECCION	NA	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	23,58	23,38	22,58	22,45	25,23	21,50	21,12
pH	Unidades	8,15	8,71	7,83	7,52	7,54	7,79	7,96
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	334,51	562,26	359,42	357,64	364,76	382,55	295,37
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	222,41	293,59	245,55	204,62	172,59	266,90	208,18
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	8,28	7,67	7,52	6,96	7,39	7,11	6,47
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	16,25	61,93	23,23	30,26	30,19	28,64	38,71
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	14,48	28,24	85,43	74,57	47,79	83,62	78,19
DBO5	mg/L O ₂	11,57	20,28	8,39	8,06	17,88	9,43	4,10
DQO	mg/L O ₂	19,1	33,4	15,2	15,2	29,5	15,5	15,2
DUREZA CALCICA	mg/L CaCO ₃	58,27	99,76	65,33	34,43	25,60	60,03	61,80
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	59,15	138,60	74,60	37,96	27,37	73,27	62,68
FÓSFORO TOTAL	mg/L P	0,049	0,059	0,039	0,118	0,285	0,039	0,029
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	53,4	32,3	32,3	46,1	54,2	32,3	32,3
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	247,9	240,4	292,9	237,9	240,4	280,4	234,1
TURBIEDAD	NTU	1,94	1,62	5,66	6,79	17,31	1,62	1,62

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Tabla 5-72. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS					
		63. Piedra Negra	138. Q. Sallos y Pisquines	146. Q. La Cola	147. Q. La Volcana Guayabal	150. Drenaje NN01	151. Quebrada La Frisola
MES DE PROYECCIÓN	NA	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre	Octubre
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	21,05	20,34	19,62	18,35	20,15	20,51
pH	Unidades	7,21	7,62	7,74	8,08	7,91	7,50
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	364,76	316,72	307,82	71,17	263,34	69,39
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	204,62	217,08	222,41	53,38	188,61	35,59
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	7,06	5,54	6,61	7,85	6,48	7,59
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	34,84	36,38	17,03	13,94	10,84	3,77
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	86,15	84,71	41,99	28,96	5,07	13,58
DBO ₅	mg/L O ₂	8,84	8,39	9,23	4,29	11,44	7,09
DQO	mg/L O ₂	15,2	15,2	15,2	15,2	18,8	25,7
DUREZA CÁLCICA	mg/L CaCO ₃	57,38	57,38	22,07	1,89	1,89	4,53
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	64,45	63,56	23,84	4,53	4,53	9,81
FÓSFORO TOTAL	mg/L P	0,029	0,039	0,039	0,039	0,029	0,020
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	32,3	194,6	32,3	32,3	32,3	29,1
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	227,8	385,6	230,4	87,6	155,2	48,8
TURBIEDAD	NTU	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	11,81

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

La caracterización base se realizó en temporada de estiaje, meses de marzo y abril, por tanto las proyecciones presentadas fueron para temporada de lluvia, meses de octubre y noviembre, en los sólidos y los parámetros asociados se notó un incremento como se esperaba, esto indica coherencia en la metodología de estimación.

Se debe aclarar que el factor determinado obedece a los promedios de series de datos medidos durante 3 años lo que hace que se suavice valores extremos, pero la base de cálculo (caracterización en temporada de estiaje) corresponde a un muestreo puntual que pudo o no registrar un valor extremo, por tanto el orden del valor estimado para la temporalidad de lluvia guarda total concordancia con el momento de la mencionada caracterización.

5.1.7 Usos del agua

Para la determinación del estado actual de los usos y usuarios del agua en el área de estudio del proyecto UF 3 y 1, se tuvo en cuenta la información en los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas de los ríos Aburrá, Aurrá y la quebrada La Clara o Seca, al igual que el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Medellín y los Esquemas de Ordenamiento y Manejo de San Jerónimo. Igualmente se tuvo en cuenta información entregada por CORANTIOQUIA en agosto de 2015, febrero y julio de 2016.

5.1.7.1 Identificación de Usos Actuales y Propyectados

A continuación se presenta la identificación de los usos actuales y proyectados para cada

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

una de las cuencas identificadas en la zona del proyecto, las cuales pertenecen al área hidrográfica Magdalena-Cauca específicamente a las zonas hidrográficas del río Cauca y río Nechí.

5.1.7.1.1 Usos actuales

5.1.7.1.1.1 Cuenca del río Porce (Aburrá o Medellín)

De acuerdo a información contenida en el plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá del año 2005, para el cálculo de la demanda se tomó la información existente en el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) sobre población total y rural de cada municipio que conforma la cuenca; a partir de esta información se calculó la dotación neta en tres escenarios (Ver Tabla 5-73).

Escenario positivo (Escenario 1), el cual supone un uso eficiente del recurso y una consecuente disminución en la dotación (disminuye un 15%);

Escenario normal (Escenario 2), donde se considera que el consumo permanece estable en el tiempo -el promedio histórico de acuerdo a registros de EEPPM corresponde a 211 L/hab./día.

Un escenario negativo (Escenario 3), donde el consumo se incrementa debido a la no racionalización del agua (aumenta un 15%).

Tabla 5-73. Dotación neta asumida para el cálculo de la demanda

L/hab./día	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Dotación	242	211	180

Fuente: Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá. 2005

Los resultados de la demanda de agua potable para los habitantes de la cuenca según las proyecciones de población para el 2016 y algunos años posteriores, considerando la misma dotación de agua diaria para los usuarios urbanos y rurales, se presenta en la Tabla 5-74.

Tabla 5-74. Proyección de la demanda de agua potable para habitantes de la cuenca del río Aburrá

Año	Demanda de agua potable (m ³ /s)		
	Escenario 1 Pesimista	Escenario 2 Tendencial	Escenario 3 Optimista
2016	14,9	13,0	11,1
2017	15,2	13,3	11,3
2018	15,5	13,5	11,6
2019	15,9	13,8	11,8

Año	Demanda de agua potable (m ³ /s)		
	Escenario 1 Pesimista	Escenario 2 Tendencial	Escenario 3 Optimista
2025	20,0	17,4	14,9

Fuente: Ajustado del Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá. 2005

Sabiendo que la capacidad instalada de las plantas de tratamiento de agua de EEPPM es de 17,25 m³/s, se puede concluir que es suficiente para abastecer la demanda de agua potable en la cuenca durante todo el horizonte de planificación, inclusive en el escenario tendencial de uso del recurso hídrico. (POMCA río Aburrá, 2005)

Para el caso de las demandas de agua asociadas a los diferentes usos, dentro del Plan de ordenación y manejo de la cuenca no se presenta información relacionada, no obstante, se presenta la estimación de la demanda para la zona rural de cada uno de los municipios que forman parte de la cuenca, a partir de las proyecciones de población y la dotación promedio de 211 l/hab./día de acuerdo a los reportes de EEPPM.

Tabla 5-75. Demanda hídrica proyectada para la zona rural de la cuenca

Municipios	Demanda (m ³ /año)		
	2016	2019	2025
Barbosa	2.389.984	2.527.091	2.825.353
Bello	1.734.430	1.977.956	2.572.387
Caldas	2.094.774	2.433.191	3.282.874
Copacabana	793.740	835.521	925.797
Don Matías	125.904	135.218	155.963
Envigado	700.786	711.295	732.788
Girardota	1.848.512	2.004.289	2.356.332
Guarne	625.405	684.279	819.176
Itagüí	3.496.748	4.231.531	6.196.750
La Estrella	3.811.346	4.603.891	6.717.667
Medellín	14.908.596	16.419.472	19.916.087
Sabaneta	1.125.664	1.267.878	1.608.477
San Vicente	215.570	196.697	163.763
Santo Domingo	190.575	189.023	185.957
Yolombo	9.321	10.130	11.964

Fuente: Ajustado del Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá. 2005

5.1.7.1.1.2 Cuenca quebrada La Clara o Seca

Los usos actuales en la cuenca de la quebrada La Clara o Seca, se tomaron del documento elaborado por CORANTIOQUIA denominado Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica –POMCA- de las quebradas La Clara y La Sucia del año 2003, es de mencionar que este estudio no fue finalmente adoptado por la corporación, no obstante corresponde a información recopilada con miras al establecimiento del instrumento de planificación de la cuenca.

Tabla 5-76. Demanda de agua en la cuenca de las quebrada La Clara y La Sucia

Corriente	Caudal asignado (l/s)					
	Uso Pecuario	Uso Agrícola	Uso Piscícola	Uso Minero	Uso Industrial	Uso Recreativo
La Rochela	0,1					
Juan Ramos	0,06		11,2		0,1	
Juan Baquero	0,087					
Patudo	0,62	1,08	0,01			
La Sucia	0,142	185	21,92	3,0	3,49	0,649
Chuscala		0,066				
Miraflores	1,034	13,356	0,198			

Fuente: Plan de ordenación y manejo de la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia, 2003.

Se estima que más del 50% de las aguas captadas para diferentes usos, en la cuenca hidrográfica, no tienen concesión de aguas otorgada por la autoridad ambiental, lo que hace muy difícil conocer a ciencia cierta, el uso que se le da al agua y la cantidad que es utilizada en ello. (POMCA quebradas La Clara y La Sucia, 2003)

5.1.7.1.1.3 Cuenca río Aurra

De acuerdo con la información registrada en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca (2008), el resumen de la demanda total de agua en la cuenca del río Aurra se presenta en laTabla 5-77.

Para determinar la demanda de agua por consumo humano se procedió de la siguiente manera: primero, se calculó el agua otorgada para el abastecimiento; segundo, se estimó el agua demandada por las restantes personas no conectadas a acueductos. Para esta estimación se utilizó los módulos de consumo determinados por el estudio hecho el Grupo de Investigaciones Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana para Corantioquia en 2002. De acuerdo con este estudio, para la regional Tahamíes el consumo de agua por habitante al día es de 160 litros y para la regional Hevéxicos de 233 litros. (POMCA río Aurra 2008)

El cálculo de la demanda de agua para uso agrícola se consideró la estimación hecha por el Grupo de Investigaciones Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana (Corantioquia, 2002). Dadas las condiciones de la cuenca, se consideró para uso agrícola un promedio de 0,61 l/ha/seg, incluyendo el beneficio de café. (POMCA río Aurra 2008)

El consumo de agua para uso pecuario se hizo uso de los módulos de consumo determinados en el estudio ya citado de la Universidad Pontificia Bolivariana (Corantioquia, 2002). Dada la dificultad para diferenciar entre el número de cabezas de ganado y porcinos, se consideró un número global, de acuerdo con estimaciones de área cultivada en pastos y frutales, así como la estimación del número total de cerdos encontrada. Para el uso avícola se estimó un número aproximado de aves de corral por cuenca y se le asignó un módulo de consumo de 0,28 l/animal-día. (POMCA río Aurra

2008)

Tabla 5-77. Demanda total de agua en la cuenca del río Aurra

Tipo de caudal	Caudal asignado (l/s)						Total
	Uso doméstico	Uso Agrícola	Uso Avícola	Uso Piscícola	Uso Pecuario	Otros Usos	
Caudales legalizados ¹	194,64	165,21	0,13	20,72	10,25	21,96	412,91
Otros caudales legalizados ²	7,99	28,15		10,10	1,05	24,99	72,28
Caudales no legalizados ³	3,96	720,0	0,02		0,29		724,26
Totales	206,59	913,36	0,15	30,82	11,59	46,95	1209,45

1. Suma de caudales concedidos en las subcuencas consideradas.

2. Caudales concedidos sobre el río Aurra u otras corrientes tributarias.

3. Caudales remanentes no legalizados.

Fuente: Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aurra. 2008.

5.1.7.1.2 Usos potenciales

Los usos potenciales para cada cuenca se presentan a continuación:

5.1.7.1.2.1 Cuenca del río Aburrá

La cuenca del río Aburrá hasta el sitio Puente Gabino donde se une con el río Grande y cambia su nombre a río Porce, tiene un área estimada de 1251 km², una pequeña porción de esta área corresponde a las veredas Naranjal (1,983 Km²) y La Cuchilla (1,986 Km²), por las cuales discurrirá el túnel que forma parte del proyecto (UF3).

Además de pertenecer a la cuenca del río Aburrá; 1,339Km² de la vereda Naranjal (68%) y 1,203Km² de la vereda La Cuchilla (61%) pertenecen al Distrito de Manejo Integral –DMI- de los recursos naturales renovables divisoria Valle de Aburrá-Río Cauca, el cual fue declarado en el año 2007 por CORANTIOQUIA.

A nivel general, del área total del DMI pertenecen a la cuenca del río Aburrá aproximadamente 152,949 Km², lo que corresponde al 12,22% de la cuenca, mientras que dicha área equivale al 54,60% del territorio que forma parte del DMI que asciende a un total de 280,15Km². (Ajustado del Plan Integral de Manejo del DMI, CORANTIOQUIA.2009)

Acorde con lo anterior, para la definición de los usos potenciales en la zona de interés del proyecto (Vereda Naranjal y vereda La Cuchilla) se consideraron los usos establecidos en la zonificación descrita por CORANTIOQUIA en el acuerdo 327 de 2009 por ser estos más

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

restrictivos en cuanto a las posibilidades de uso. El mencionado acuerdo -con el cual se dio el nombre actual al distrito de manejo- declaro las zonas de producción agroforestal sostenible como los únicos lugares dentro del perímetro del municipio de Medellín, donde se permiten las actividades productivas agropecuarias pero restringidas a manejos agroecológicos, con planes de manejo aprobados y restringe la construcción de infraestructura nueva para apoyo a la producción, por lo cual se infiere que esta zonificación aplica a las veredas de interés.

En los espacios para la producción agroforestal sostenible, en el largo plazo se debe desestimular las plantaciones forestales productoras, promoviendo aprovechamientos sostenibles y labores de conservación. La realidad en la capacidad de soporte natural de estas áreas, hace recomendar la necesidad de desestimular o revertir la producción agraria, hacia usos de preservación ecológica. (Plan Maestro para el área de reserva, CORANTIOQUIA, 2006)

5.1.7.1.2.2 Cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia

Los usos potenciales en la cuenca están enmarcados en el potencial de uso de los suelos y al cubrimiento de las expectativas sociales y económicas de los habitantes de la zona, generándose una orientación hacia el cambio en el sistema productivo actual, pues la organización y funcionamiento de la economía local se fundamenta en la producción agropecuaria, la cual se ha visto afectada por factores de tipo externo, que han contribuido a la pérdida de valor adquisitivo de la población y al deterioro ambiental general. (POMCA quebradas La Clara y La Sucia, 2003)

En la Tabla 5-78 se muestran las unidades de ordenamiento y manejo ambiental que comprende la cuenca hidrográfica, donde aparecen su área y porcentaje dentro del territorio de la cuenca, posteriormente se describen cada una de las unidades de acuerdo a la información presentada en el POMCA de las quebradas La Clara y La Sucia del año 2003.

Tabla 5-78. Unidades de manejo para la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia

Usos de la tierra	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Corredores viales	725,68	3,05
Zona de actividades pecuarias	5302,23	22,28
Zona de consolidación agraria	7524,58	31,62
Zona de protección ambiental	1922,19	8,08
Zona de retiros a fuentes de agua	3244,26	13,63
Zonas abastecedoras de acueductos	1889,74	7,94
Zona de recuperación y protección ambiental	3189,22	13,40

Fuente: Plan de ordenación y manejo de la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia, 2003.

Zona de recuperación y protección ambiental: Se propone para esta zona la restauración y recuperación ecológica mediante la compra de predios por las administraciones municipales, evitar en el corto plazo, nuevas divisiones prediales y construcción de

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

viviendas. Es un área espacialmente continua ubicada al sur de la cuenca hidrográfica, de la cual hacen parte ecosistemas estratégicos como el Cerro del Padre Amaya y la Cuchilla de Las Baldías. Esta unidad abarca el 13,40% del área total de las cuencas hidrográficas de La Clara y La Sucia, para una extensión de 3.189,22 ha.

Zonas abastecedoras de acueductos: Estas zonas corresponden a las microcuencas que actualmente son captadas para utilizar sus aguas para el consumo humano, tanto de la población dispersa como concentrada, localizada en los tramos medio y bajo de la cuenca, además de poblaciones humanas por fuera de ella.

Estas zonas deberán dedicarse exclusivamente a la protección ambiental con fines de producción y regulación hidrológica, en donde tan solo se permitirán reforestaciones con fines protectores, además de las obras necesarias para la recuperación de zonas degradadas, caso procesos erosivos, evitando cualquier tipo de asentamiento humano en ellas y cualquier actividad diferente a la protección ambiental. Esta zona comprende un área de 1.889,74 ha, correspondientes al 7,94 % del área total de la cuenca hidrográfica.

Zona de consolidación agraria: Localizada en todo el tramo medio de la cuenca hidrográfica, coincidente con las mayores concentraciones poblacionales, donde se incluyen la cabecera urbana del municipio de Ebéjico y los corregimientos de Palmitas, Sevilla, El Brasil y La Clara, además de las veredas con mayor población.

En esta zona se deberá buscar establecer relaciones espaciales efectivas entre las zonas urbanas y rurales mediante la adecuada integración de los elementos naturales y agropecuarios al paisaje; promover nuevas actividades económicas relacionadas o compatibles con la función ambiental, tales como agricultura orgánica, agroturismo y turismo rural, entre otras. Se trata de la Unidad de mayor extensión, alcanzando un total de 7.524,58 ha, correspondientes al 31,62 % del área total, atravesada por la vía troncal de occidente, la nueva vía Aburrá – río Cauca, además de la vía que conduce al municipio de Ebéjico.

Zona de protección ambiental: Los terrenos de esta Unidad se localizan en la parte baja de la cuenca hidrográfica, en las laderas de las cuchillas conocidas como Quirimará y Loma Hermosa, además de una serie de pequeñas áreas distribuidas a lo largo y ancho de la zona de consolidación agraria. El área cartografiada ocupa el 8,08 % del área de la cuenca, que corresponde a 1.922,19 ha.

Zona de actividades pecuarias y parcelaciones campestres: Localizada en la parte central y noroccidental de los tramos de las quebradas La Clara y La Sucia, y a lo largo de la denominada quebrada Seca, en inmediaciones del corregimiento Guayabal, vereda Quirimará – Placitas, Quirimará – Rodeo, Filo de San José y parte de las veredas La Honda y La Quebra, San Nicolás, La Puerta y Guayamaral, en territorio de los municipios de Ebéjico, San Jerónimo y Sopetrán.

Para esta zona se propone entre otros, el mejoramiento de praderas con métodos intensivos

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

a partir del reconocimiento de las limitaciones ecológicas de la zona y de los fines específicos de la ganadería local; implementación de programas de sistemas silvopastoriles, que puedan contribuir en el mejoramiento de los suelos y en la diversificación de la actividad ganadera. Esta Unidad es la segunda con mayor extensión de la cuenca hidrográfica, abarcando el 22,28 % de su territorio, correspondiente a 5.302,23 ha.

Zona de retiros a fuentes de agua: Esta zona hace referencia a todos los cordones de tierra aledaños a los 777, 4 kilómetros de longitud que suman las corrientes de agua de esta cuenca hidrográfica.

En estas zonas se propone la conservación de un franja mínima de 20 metros a lado y lado, no se estipulan los 30 m de que trata la Ley, buscando generar mayores posibilidades de negociación con los propietarios, especialmente en aquellos terrenos que no poseen áreas considerables, se proponen estrategias como el aislamiento, reforestación y generación de incentivos a la protección, entre otros.

Zona de corredores viales: Hace referencia a las áreas aledañas a los principales corredores viales que recorren la cuenca hidrográfica como es el caso de la vía al mar, conexión Aburrá – Río Cauca y la carretera principal que atraviesa la cuenca en su parte media, para intercomunicar la cabecera del municipio de Ebéjico. Para estas zonas se propone la ejecución de un mínimo plan de ordenamiento de las actividades y asentamientos que se desarrollan, incluyendo la relocalización, prohibición, recuperación de áreas aledañas.

5.1.7.1.2.3 Cuenca del río Aurra

Los usos potenciales del agua en la cuenca del río Aurra, se basan en los usos potenciales del suelo establecidos en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca, los cuales fueron definidos de acuerdo al sistema para la determinación de la capacidad agrológica de las tierras establecido por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales –USNR- del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América -USDA. Acorde con lo indicado a continuación se presentan las clases agrológicas presentes en la cuenca.

Clase II. Se localizan de forma dispersa en el área de la cuenca que pertenece al municipio de San Pedro de los Milagros, principalmente en los Llanos de Ovejas, ocupando un área de 1.126,22 ha.

Clase III. En la cuenca se tiene un total de 551,20 ha que pertenecen a esta clase agrológica localizadas en la llanura aluvial de las quebradas Charco Colorado (vereda El Tambo), en cercanía del casco urbano del municipio de San Jerónimo y la vereda Piedecuesta, así como en los nacimientos del río Aurra.

Clase IV. Este tipo de suelos es de buena productividad, está muy desaprovechado ya que se ha destinado a las parcelaciones y fincas de recreo, sin ningún aprovechamiento

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

agrícola. Se localizan en las veredas: Llano de Aguirre, Veliguarín, El Calvario, Quimbayito, Piedra Negra, El Golfo, Llano de San Juan, gran parte de Las Estancias y un pequeño sector de Piedecuesta, en el municipio de San Jerónimo; así como en las veredas El Rodeo, Llano de Montaña, Guaimaral y Los Almendros del municipio de Sopetrán. En la cuenca pertenece a esta clase un área total de 2608,44 ha.

Clase VI. En la cuenca se presenta esta clase de suelo cubriendo un área de 5984,13 ha, en las cuencas de las quebradas La Espada y Grande; y gran parte del área de las veredas Cerezales, La Pulgarina, La Cuchilla (San Jerónimo) y El Rodeo (Sopetrán).

Clase VII. En la cuenca el área total definida en esta Clase Agrológica es de 11796,14 ha que se constituye en la mayor área del total de la cuenca. Ocupan la cabecera del municipio de San Jerónimo y las siguientes veredas: Tafetanes, Mestizo, Los Cedros, El Chocho, Poleal, Buenos Aires, Alto Colorado, Cabuyal, Montefrío y Pesquinal. Parte de: Loma Hermosa, Quimbayo, Los Alticos, Los Guayabos, Piedecuesta, La Ciénaga, Matasano, El Pomar y Mestizal.

Clase VIII. Esta clase se presenta en la cuenca abarcando un área de 1631,99 ha, que se localizan en las veredas: Los Guayabos, La Palma, Piedecuesta, Mestizal, Veliguarín, Piedra Negra, El Pomar, El Rincón, Aguamala, La Ciénaga, Matasano, Las Estancias, El Guaico, Llanos de San Juan, Murrápala y El Golfo (San Jerónimo).

5.1.7.2 Inventario de todos los usos y usuarios y sus demandas hídricas

A continuación se presentan la descripción de los principales usos identificados en la zona de estudio, posteriormente, se presenta el listado de usos del agua identificados durante el trabajo de campo en las corrientes que se interceptan con el trazado propuesto para el proyecto vial, se destacan entre ellas el uso recreativo dadas las actividades de turismo que predominan en la zona y el uso para consumo por la existencia y construcción de condominios y casas de descanso.

5.1.7.2.1 Ganadería

Dentro de las actividades productivas en el área del proyecto que hacen uso del agua, se incluye la ganadería a baja escala, actividad que se sule de acueductos veredales y corrientes superficiales; las cuales se presentan a continuación.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

Fotografía 5-129. Presencia de ganado en fincas a lo largo de la vía en San Jerónimo



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Fotografía 5-130. Bebedero para ganado vereda La Sucia, municipio de Medellín



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Fotografía 5-131 Bebedero para ganado vereda Naranjal, municipio de Medellín



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.7.2.2 Consumo Humano

Las veredas del área de estudio tienen como principal fuente de abastecimiento las corrientes de la zona a través de acueductos veredales, usando el recurso principalmente en actividades domésticas y para consumo humano; las bocatomas o estructuras de captación se ubican en las partes altas de las cuencas con el propósito de obtener más presión durante la conducción y distribución del agua.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

En el sector entre Tunel de Occidente y San Jerónimo se identificaron algunos puntos principales, adicionalmente en algunos sectores se suplen de pozos o aljibes, que abastecen de agua cuando los sistemas de acueducto presentan falla o interminterencia en el servicio. (Ver Fotografías).

Fotografía 5-132. Tanques de almacenamiento en el sector de la Cuchilla, Municipio de Medellín



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Fotografía 5-133. Tubería que conecta a acueducto en el sector de Mestizal, Municipio de San Jerónimo



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

Fotografía 5-134. Tanque de almacenamiento y distribución de agua cruda, en la vereda en Naranjal del municipio de Medellín



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Fotografía 5-135. Caja para captación de afloramiento de agua en la vereda Urquita del municipio de Medellín



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Fotografía 5-136 Acueducto Naranjal-Cuchilla-Uvito-Llano, con captación de la quebrada la Frisola. Tratamiento de desinfección



- **Uso recreativo y turístico**

Este uso en la zona está dado por la presencia de casas y muy pocos condominios vacacionales a lo largo del corredor vial existente, se desarrolla aproximadamente desde San Jerónimo con aumento considerable hacia el río Cauca, donde se destacan la presencia de proyectos en proceso de construcción de tipo recreativo o condominios. (Fotografía 5-137)

Fotografía 5-137. Viviendas en construcción o modificación de las mismas, La Volcana Guayabal del municipio de Medellín



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Fotografía 5-138. Sitio recreativo en la Quebrada la Iguana en el sector de Boqueron en el municipio de Medellín



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.7.2.3 Uso industrial

En la zona de interés se identificó el uso del recurso para la extracción de materiales de arrastre, actividad que se ha facilitado por el periodo de sequía presente en la zona a finales de 2015 y comienzos de 2016.

Fotografía 5-139 Extracción de material en la quebrada La Frisola, vereda La Volcana-Guayabal del municipio de Medellín



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Tabla 5-79. Usuarios identificados en el trabajo de campo – cuerpos loticos

Id	Municipio	Vereda o corregimiento	Nombre fuente hídrica	Coordenadas Magna Sirgas Origen Oeste		Descripción	Foto
				Norte	Este		
08	San Jerónimo	Loma Hermosa	Cañada Honda	12004107,9	11489581,7	Vertimiento de vivienda aledaña de tipo doméstico, carácter esporádico. Habitante de la vivienda indica que hacen captación más o menos 700 metros aguas arriba sobre la misma corriente.	
09	San Jerónimo	Loma Hermosa	Drenaje NN 06	11997301,7	11491924,4	Paso de tubería de acueducto veredal.	
10	San Jerónimo	Murrapala	Drenaje NN3	11981066,7	11506039,3	Vertimiento de vivienda aledaña de tipo doméstico, carácter esporádico.	

Id	Municipio	Vereda o corregimiento	Nombre fuente hídrica	Coordenadas Magna Sirgas Origen Oeste		Descripción	Foto
				Norte	Este		
11	San Jerónimo	Mestizal	Drenaje NN2	11974263,9	11501155,1	Tuberia de vivienda aledaña que se conecta a acueducto veredal	
224	San Jerónimo	Piedra Negra	Drenaje NN 100	11982863,63	11504496,35	Presencia de reiduos por parte de los habitantes y restaurantes cercanos al a zona	
229	San Jerónimo	Piedra Negra	Drenaje NN 101	11978064,14	11504111,35	Captacion de agua por medio de manguera para uso dmoestico	

Id	Municipio	Vereda o corregimiento	Nombre fuente hídrica	Coordenadas Magna Sirgas Origen Oeste		Descripción	Foto
				Norte	Este		
13	Medellín	Urquita	Q. La Iris	11959267,8	11509842,8	Cruce de mangueras de acueducto veredal	
15	Medellín	C. San Cristóbal / V. Naranjal	Drenaje NN 25	11893409,1	11562196,3	Captación de agua a través de manguera para vivienda en la zona baja	

Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

A continuación en la Tabla 5-80 se muestran los usuarios identificados en la zona de estudio para el sector del Túnel.

Tabla 5-80. Usuarios identificados en el trabajo de campo en la zona correspondiente el Tunel de Occidente- Cuerpos Loticos

Id	Municipio	Vereda o corregimiento	Nombre fuente hídrica	Coordenadas Magna Sirgas Origen Oeste		Descripción	Foto
				Norte	Este		
12	Medellín	La Volcana-Guayabal	La Frisola	11914262,1	11536923,5	Zona de extracción de material de arrastre, durante visita no se presentaban actividades.	
64	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 101	11892825,73	11564215,27	Captación por medio de mangueras sobre un afluente de la quebrada La Culebra. Consumo agrícola y humano	
68	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 102	11892310,14	11564296,76	Captación por medio de manguera para consumo uso domestico	

Id	Municipio	Vereda o corregimiento	Nombre fuente hídrica	Coordenadas Magna Sirgas Origen Oeste		Descripción	Foto
				Norte	Este		
6	Medellín	El Naranjal	Quebrada la Culebra	11892131,981	11566737,9	Captación por mangueras o directa por parte de los habitantes de esta zona, en específico para uso agrícola y uso doméstico, además de sistema riego	
187	Medellín	El Naranjal	Drenaje NN 103	11889782,71	11568220,86	Captación para uso ganadero	
190	Medellín	Boqueron	Quebrada la Iguana	11889369,81	11574571,34	Captación para uso agrícola y ganado, además está quebrada tiene uso recreativo por parte de los habitantes y personas que habitan la zona	

Id	Municipio	Vereda o corregimiento	Nombre fuente hídrica	Coordenadas Magna Sirgas Origen Oeste		Descripción	Foto
				Norte	Este		
239	Medellín	Boqueron	Drenaje NN 104	11892264,52	11574017,18	Tubería de suministro de agua el cual proviene del acueducto veredal de la zona	
14	Medellín	C. San Cristóbal / V. Naranjal	Drenaje NN 23	11891173,9	11568239,3	Captación de agua para riego de cultivos a través de tanque y conducción con manguera.	

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.7.3 Usuarios aprobados por CORANTIOQUIA

A continuación se listan las autorizaciones otorgadas por CORANTIOQUIA en las veredas que forman parte del área de influencia del proyecto vial, de acuerdo con los reportes entregados por la autoridad.

5.1.7.3.1 Concesiones zona de interés del río Aburrá

En la Tabla 5-81 se presenta la información de concesiones otorgadas en la cuenca del río Aburrá para las veredas La Cuchilla y Naranjal pertenecientes al corregimiento San Cristóbal del municipio de Medellín, las cuales serán las únicas cruzadas por el proyecto en esta cuenca. La información presentada corresponde al reporte generado por CORANTIOQUIA en agosto de 2015; se aclara que el reporte entregado por la entidad no incluye el nombre de la corriente ni las coordenadas de localización, sin embargo, se presentan todas las concesiones reportadas para las veredas de interés, teniendo en cuenta que la totalidad del territorio pertenece a la cuenca del río Aburrá.

Tabla 5-81. Concesiones otorgadas en la cuenca del río Aburrá

Solicitante	Total Caudal	Vereda	Uso
Lilia Eugenia Cano Urrego	0,005	La Cuchilla	Doméstico
Jorge Albeiro Vásquez Cano	0,005	La Cuchilla	Agrícola
Jorge Albeiro Vásquez Cano	0,005	La Cuchilla	Doméstico
Jorge Albeiro Vásquez Cano	0,005	La Cuchilla	Agrícola
Lilia Eugenia Cano Urrego	0,005	La Cuchilla	Agrícola
Lilia Eugenia Cano Urrego	0,005	La Cuchilla	Doméstico
Jorge Mario Correa Vásquez	0,08	La Cuchilla	Pecuario
Julio Eduardo Gómez Isaza	0,01	La Cuchilla	Agrícola
Jorge Mario Correa Vásquez	1,74	La Cuchilla	Agrícola
José Arturo Velásquez Velásquez	0,01	La Cuchilla	Agrícola
Isidro De Jesús Restrepo Ortiz	0,03	La Cuchilla	Agrícola
Isidro De Jesús Restrepo Ortiz	0,001	La Cuchilla	Pecuario
Rogelio De Jesús Cano Restrepo	0,0127	La Cuchilla	Doméstico
Rogelio De Jesús Cano Restrepo	0,02	La Cuchilla	Agrícola
Luis Enrique Muñoz Ortiz	0,0061	La Cuchilla	Doméstico
Luis Enrique Muñoz Ortiz	0,2046	La Cuchilla	Agrícola
Luis Enrique Muñoz Ortiz	0,0037	La Cuchilla	Doméstico
Gabriela De Las Mercedes Cardona	0,0024	Naranjal	Pecuario
Gabriela De Las Mercedes Cardona	0,0314	Naranjal	Agrícola
Gabriela De Las Mercedes Cardona	0,0002	Naranjal	Pecuario
Blanca Nubia Cano De Vásquez	0,04	La Cuchilla	Agrícola

Solicitante	Total Caudal	Vereda	Uso
Víctor De Jesús Cano Correa	0,165	Naranjal	Agrícola
José Abigail Ortiz Correa	0,04	Naranjal	Agrícola
José Elías Ortiz Velásquez	0,012	Naranjal	Agrícola
Rubén Darío Ortiz Velásquez	0,03	Naranjal	Agrícola
Francisco Javier Ortiz Velásquez	0,008	Naranjal	Agrícola
Rogelio De Jesús Ortiz Velásquez	0,03	Naranjal	Agrícola
Bertha Ligia Velásquez Ortiz	0,0061	Naranjal	Doméstico
Bertha Ligia Velásquez Ortiz	0,0044	Naranjal	Agrícola
Bertha Ligia Velásquez Ortiz	0,0139	Naranjal	Doméstico
Leandro De Jesús Ortiz Velásquez	0,0044	Naranjal	Agrícola
Rodrigo De Jesús Velásquez Celis	0,0041	Naranjal	Doméstico
Rodrigo De Jesús Velásquez Celis	0,0028	Naranjal	Doméstico
Rodrigo De Jesús Velásquez Celis	0,0044	Naranjal	Agrícola
Leandro De Jesús Ortiz Velásquez	0,0056	Naranjal	Doméstico
Leandro De Jesús Ortiz Velásquez	0,0028	Naranjal	Doméstico
Beatriz Elena Cano Cardona	0,033	Naranjal	Agrícola
Jorge Nilton Cano Cardona	0,033	Naranjal	Agrícola
José Abel Cardona Velásquez	0,132	Naranjal	Agrícola
María Cristina Uribe De Cano	0,008449	Naranjal	Pecuario
María Cristina Uribe De Cano	0,008101	Naranjal	Doméstico
María Cristina Uribe De Cano	0,05	Naranjal	Agrícola
Manuel Salvador Cano Correa	0,05	Naranjal	Agrícola
Manuel Salvador Cano Correa	0,0122	Naranjal	Doméstico
Pablo Emilio Restrepo	0,0039	La Cuchilla	Doméstico
José Romilio Correa	0,0039	La Cuchilla	Doméstico
Pablo Emilio Celis	0,0039	La Cuchilla	Doméstico
Javier Muñoz	0,0039	La Cuchilla	Doméstico
Yolima Del Carmen Pérez	0,0039	La Cuchilla	Doméstico
Aura Delia Muñoz	0,0039	La Cuchilla	Doméstico

Fuente: CORANTIOQUIA, reporte a agosto de 2015. Consultoría Colombia S.A.

Del anterior reporte se destaca que existen 26 concesiones otorgadas en la vereda Naranjal de las cuales ocho son para uso doméstico, quince son para uso agrícola y tres son para uso pecuario, en el caso de la vereda La Cuchilla se tiene un total de 24 concesiones de las cuales doce son para uso doméstico, diez para uso agrícola y dos para uso pecuario.

5.1.7.3.2 Vertimientos zona de interés del río Aburrá

En cuanto al uso de la cuenca para el manejo y disposición de vertimientos, de acuerdo al reporte de la corporación a agosto de 2015 se tenían 24 permisos otorgados (18 para la vereda La Cuchilla y 6 para Naranjal) todos para vertimientos de tipo doméstico.

Tabla 5-82. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca del río Aburrá

Solicitante	Caudal	Vereda	Actividad
Luis Enrique Muñoz Ortiz	0,00758	La Cuchilla	Doméstico
Gabriela de las Mercedes Cardona	0,0137	Naranjal	Doméstico
Gabriela de las Mercedes Cardona	0,0137	Naranjal	Doméstico
Gabriela de las Mercedes Cardona	0,0137	Naranjal	Doméstico
Pablo Emilio Cano	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Pablo Emilio Cano	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Pablo Emilio Cano	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
María Edilma Muñoz	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
María Edilma Muñoz	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
María Edilma Muñoz	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Olga Vásquez	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Olga Vásquez	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Olga Vásquez	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Adriana María Correa	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Adriana María Correa	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Adriana María Correa	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Dora del Socorro Ortiz	0,0103	La Cuchilla	Doméstico
Dora del Socorro Ortiz	0,0103	La Cuchilla	Doméstico
Dora del Socorro Ortiz	0,0103	La Cuchilla	Doméstico
Mary Isabel Álvarez Correa	0,0043	Naranjal	Doméstico
Mary Isabel Álvarez Correa	0,0043	Naranjal	Doméstico
Blanca Margarita Ortiz Cano	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Blanca Margarita Ortiz Cano	0,0044	La Cuchilla	Doméstico
Germán Alberto Vásquez Marín	0,0029	Naranjal	Doméstico

Fuente: CORANTIOQUIA, reporte a agosto de 2015. Consultoría Colombia S.A.

5.1.7.3.3 Concesiones zona de interés cuenca Quebrada La Seca y La Sucia

De acuerdo con información suministrada por CORANTIOQUIA en Julio de 2016, se identifican 76 concesiones otorgadas por la territorial hevéxicos para las corrientes que conforman la cuenca de las quebradas La Clara, La Sucia y la Seca las cuales se listan a continuación, es de mencionar que como parte de los reportes entregados por la corporación no se incluye el uso autorizado.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Tabla 5-83. Concesiones otorgadas en la cuenca de las quebradas La Seca – La Sucia

Solicitante	Total caudal	Municipio	Vereda	Fuente	Coordenadas	
					x	y
Rosa Nelly Garcia Silva	0,048	San Jerónimo	Matasano	El Pino	11434301	11955591
Regional De Occidente S.A E.S.P	29,47	San Jerónimo		La Muñoz (San Jerónimo)	11434301	11955591
Junta De Acción Comunal Vereda El Mestizo	0,663	San Jerónimo	Mestizo	Los Naranjos	11434301	11955591
Octavio Arcesio Orrego Piedrahita	0,042	San Jerónimo	Loma Hermosa	El Zapote	11434301	11955591
Hernando De Jesús Díaz Bastidas	0,3	San Jerónimo	Piedra Negra	La Rochela	11434301	11955591
Jose Rodrigo De Jesus Echavarría Ochoa	0,028	San Jerónimo	Tafetanes	Aguacatillo	11434301	11955591
Junta De Accion Comunal Vereda Alto Colorado	3,8	San Jerónimo	Alto Colorado	La Clara	11434301	11955591
J.A.C Vereda Alto Colorado - Sector El Cedral	3,78	San Jerónimo	Alto Colorado	La Clara	11434301	11955591
Gloria Ester Peña Jimenez	0,54	San Jerónimo	El Mestizo	Piedra Lisa	11434301	11955591
Junta De Acción Comunal El Calvario	7,86	San Jerónimo	El Calvario	La Muñoz (San Jerónimo)	11434301	11955591
Omar De Jesús Tabares García	0,187	San Jerónimo	El Chocho	Cañon Bravo	11434301	11955591
Martha Cecilia Colorado Zapata	0,059	San Jerónimo	Loma Hermosa	Sin Nombre	11434301	11955591
Oscar Mario Montoya Palacio	0,037	San Jerónimo	Llanos De San Juan	La Cascada	11434301	11955591
Jorge Arango Arredondo	0,045	San Jerónimo	El Berial	Aguas Negras	11434301	11955591
María Ines Ríos De Muñoz	0,278	San Jerónimo	La Ciénaga	Los Arenales	11434301	11955591
Carlos Eduardo Escobar Uribe	0,056	San Jerónimo	Quimbayo	Los Arados	11434301	11955591
Jose Asael Henao Ortiz	0,5	San Jerónimo	El Berial	Sin Nombre	11434301	11955591
Luz Estella Gallego Múnera	0,033	San Jerónimo	Los Cedros	Potrerito	11434301	11955591
Junta De Accion Comunal Vereda Tafetanes	11,433	San Jerónimo	Tafetanes	Aurrá	11434301	11955591
El Tesoro Hotel Y Centro De Convenciones S.A.	8,5	San Jerónimo		La Muñoz (San Jerónimo)	11434301	11955591

 <p>Agencia Nacional de Infraestructura</p>	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 <p>SOMOS TU VÍA</p>
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Solicitante	Total caudal	Municipio	Vereda	Fuente	Coordenadas	
					x	y
Diabonos S.A.	10,729	San Jerónimo		La Muñoz (San Jerónimo)	11434301	11955591
Nazareth Acevedo De Cañas	0,0411	San Jerónimo	La Ciénaga	La Aguada	11434301	11955591
Miguel Alfonso Escobar Escobar	0,474	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Espada	11434301	11955591
Elsy De Jesus Londoño Parra	5,023	San Jerónimo	Llano Arriba	La Muñoz (San Jerónimo)	11434301	11955591
Lisandro Antonio Giraldo Suarez	3,18	San Jerónimo	Alto Colorado	La Clara	11434301	11955591
Jaime Stiven Jiménez Espinal	0,3	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Espada	11434301	11955591
Corporacion Veredal Llanos De San Juan	7,35	San Jerónimo	El Pomar	El Guaico	11434301	11955591
Marta Cecilia Ramiez Patiño	0,394	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Espada	11434301	11955591
Asociación De Suscriptores O Usuarios Del Acueducto De La Vereda Estancias	3,324	San Jerónimo	Las Estancias	El Guaico	11434301	11955591
Gustavo Alvarez Lopera	1,659	San Jerónimo	Llanos De San Juan	Aguamala (Acequia)	11434301	11955591
Sara María Escobar Rojas	4,3908	San Jerónimo	Llano Arriba	La Muñoz (San Jerónimo)	11434301	11955591
Julián Escudero Bastidas	0,5	San Jerónimo	Quimbayo	La Guineala	11434301	11955591
María Eugenia Gómez Pineda	2	San Jerónimo	El Rincón	Aurrá	11434301	11955591
Luz Dary Alvarez	0,677	San Jerónimo	El Pomar	La Cañada	11434301	11955591
Junta De Accion Comunal Vereda Buenos Aires Parte Baja	2	San Jerónimo	Buenos Aires	La Ramírez	11434301	11955591
Hector Alonso Perez Alvarez	0,3	San Jerónimo	Pie De Cuasta	La Alarcona	11434301	11955591
María Luisa Aguirre Virgen	8	Ebéjico	El Socorro	Juan Ramos	11461807	11914227
Jose Miguel Toro Villegas	2,546	San Jerónimo	Llano Arriba	La Muñoz (San Jerónimo)	11434301	11955591
Fabio De Jesús Echavarría Muñoz	1,1801	Ebéjico		Cañada La Guinea	11434288	11846840
Edilberto De Jesús Gómez Arango	0,323054	Ebéjico	Filo De San José	Nacimiento Matilde Caro	11451964	11935687

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Solicitante	Total caudal	Municipio	Vereda	Fuente	Coordenadas	
					x	y
José Elías Restrepo Salazar	0,302858	Ebéjico	Quirimará Placitas	Sin Nombre	11423135	11919003
Gleny De Jesús Acosta Ramírez	0,216447	Ebéjico	Campo Alegre	Cabañita 2	11452354	11923651
Asociacion De Usuarios Del Acueducto De La Vereda El Socorro	4,624373	Ebéjico	El Socorro	Miraflores	11465469	11901550
Junta De Acción Comunal Fátima Socorro	4,624373	Ebéjico	Fátima	Miraflores	11465469	11901550
Matilde De Jesús Caro De Hernández	0,06656	Ebéjico	Filo De San José	El Mestizo	11451954	11937357
Asoc. De Usuarios Del Acueducto Multiveredal Las Nieves E.S.	8,974895	Ebéjico		La Clara	11487152	11853511
Patricia Patiño Zapata	8,432222	San Jerónimo	Montefrio	Yarumalito	11435313	11998290
Francisco Jimenez Talavera	0,75	Ebéjico	Santander	El Volcán	11473066	11917442
Junta De Accion Comunal Vereda Santander	2,275183	Ebéjico	Santander	Canoita	11488497	11918790
Luis Fernando Castrillon Velasquez	1,5	Ebéjico	Holanda	Juan Ramos	11453234	11918267
Esneda Londoño Ruiz	2,996109	Ebéjico		Mata De Guadua	11443958	11971375
Junta De Acción Comunal Vereda Llano De Santa Barbara	0,270947	Ebéjico	Llanos De Santa Barbara	Versalles	11432543	11891342
Oscar Cataño Higueta	0,038499	Ebéjico	Holanda	Nacimiento Sin Nombre (Predio La Cruz)	11450910	11922613
Cooperativa Multiactiva De Expendedores De Carne Del Municipio De Ebejico	0,291955	Ebéjico	Holanda	Miraflores	11465469	11901550
Agropecuaria Los Molinos S.A.S	3,576149	Ebéjico	La Aguada	Alticos	11503090	11856952
Pedro Luis Alvarez Muñoz	0,078703	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Zoila	11472331	12009595
Diego Obed Giraldo Yopez	1,631869	San Jerónimo	Llanos De San Juan	Quebrada La Sanjuana	11434301	11955591
José Reinaldo Bastidas Bastidas	0,431047	San Jerónimo	Pesquinal	Sin Nombre (La Italia)	11486512	11991920

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Solicitante	Total caudal	Municipio	Vereda	Fuente	Coordenadas	
					x	y
Inversiones Edmec Ltda.	1,846887	San Jerónimo	Tafetanes	Los Pomos	11465114	12033079
John Jairo Antonio Puerta Agudelo	0,043	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Tinajita	11434301	11955611
Martha Lilia Gallego Lopez	0,5195	San Jerónimo	Loma Hermosa	Los Pomos	11434301	11955591
Mauricio Fernandez Laverde	0,1181	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Quebradita	11465902	12023235
Orlando De Jesus Gonzalez Gomez	0,6014	San Jerónimo	El Calvario	La Muñoz (San Jerónimo)	11434301	11955591
Juan Bautista Sanchez Sierra	0,3416	San Jerónimo	Piedra Negra	La Cristalina	11498250	11973151
Medardo Antonio Rodriguez Pulgarin	0,0141	San Jerónimo	Loma Hermosa	Los Pomos	11463696	12031161
Ana De Jesus Maya Restrepo	0,0226	Ebéjico	Comunidad	Quebrabarrigo	11461861	11882152
Agropecuaria El Pomar O.R.G S.A.S	0,1145	Ebéjico	Comunidad	Las Minitas	11475786	11884472
Asociacion De Productores Agropecuarios De La Vereda Matasano	18,425	San Jerónimo	Matasano	Yarumalito	11435513	11958758
Ciudadela Del Sol	0,99	San Jerónimo		La Muñoz (San Jerónimo)	11434301	11955591
Ciudadela Del Sol Premium P.H.	0,99	San Jerónimo		La Muñoz (San Jerónimo)	11434301	11955591
Fabiola De Jesus Munera Marin	0,1178	San Jerónimo	Loma Hermosa	El Mestizo	11486521	11992090
Jose Santiago Valencia Prieto	0,0081	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Tinajita	11465300	12023652
Asociacion De Usuarios Del Acueducto Aguas De Poleal	0,3183	San Jerónimo	Poleal	La Arias	11434301	11955591
Inversiones Edmec Ltda.	0,7548	San Jerónimo	Tafetanes	Los Pomos	11465114	12033079
Jac Vereda La Palma Cgto San Juan	1,924	San Jerónimo	La Palma	Santuario	11434301	11955591
Catalina Giraldo Marroquin	1,803	San Jerónimo	Llanos De San Juan	La Aguamala	11434301	11955591

Fuente: CORANTIOQUIA 2016. Consultoría Colombia S.A.

Para el caso de las concesiones otorgadas en el municipio de Medellín se consultó el reporte de CORANTIOQUIA de agosto de 2015, se destaca que a diferencia del reporte del 2016, este contiene el uso autorizado. Se incluye el total de reportes de las veredas La

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Aldea, La Sucia, La Suiza, La Volcana-Guayabal, Miserengo y Urquita.

Tabla 5-84. Concesiones otorgadas en la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia municipio de Medellín

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Uso	Caudal por uso
Junta De Acción Comunal Vereda La Sucia	Palmitas	La Sucia	Doméstico	0,43
Asociación De Acueducto Vda La Aldea	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Pecuario	0,025347
Asociación De Acueducto Vda La Aldea	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,275462
Asociación De Acueducto Vda La Aldea	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Agrícola	0,3
Flor Marina Pulgarin Ospina	Palmitas	La Volcana	Agrícola	0,0032
Flor Marina Pulgarin Ospina	Palmitas	La Volcana	Doméstico	0,0104
Flor Marina Pulgarin Ospina	Palmitas	La Volcana	Pecuario	0,0018
Flor Marina Pulgarin Ospina	Palmitas	La Volcana	Agrícola	0,0032
Flor Marina Pulgarin Ospina	Palmitas	La Volcana	Pecuario	0,0018
Ramiro De Jesús Álvarez	Palmitas	La Volcana	Doméstico	0,0104
Manuel José Bastidas Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Agrícola	0,02
Saulo De Jesús Ortiz Montoya	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Agrícola	0,02
Saulo De Jesús Ortiz Montoya	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,008101
Rubén Arturo Restrepo Montoya	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Agrícola	0,02
Wilmar De Jesús Bastidas Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,008101
Héctor Manuel Bastidas Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,008101
Rubén Arturo Restrepo Montoya	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,008101
Manuel José Bastidas Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,012152
María Blanca Nury Galeano Galeano	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,012152
María Blanca Nury Galeano Galeano	Palmitas	La Aldea	Agrícola	0,011
Marco Tulio Álvarez Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,008101
Marco Tulio Álvarez Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,001851
Marco Tulio Álvarez Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Agrícola	0,023148
Marco Tulio Álvarez Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,003472

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Uso	Caudal por uso
Jesús Oscar Acevedo Maya	Palmitas	Urquita	Agrícola	0,0305
Jesús Oscar Acevedo Maya	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,0081
Jesús Oscar Acevedo Maya	Palmitas	Urquita	Pecuario	0,0023
José De Jesús Pulgarín Ortiz	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,006
Amanda Marín Correa	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,010127
José De Jesús Pulgarín Ortiz	Palmitas	Urquita	Agrícola	0,0305
Resfa Nelly Correa De Arroyave	San Sebastián De Palmitas	La Volcana-Guayabal	Agrícola	0,05
Resfa Nelly Correa De Arroyave	San Sebastián De Palmitas	La Volcana-Guayabal	Pecuario	0,003472
Resfa Nelly Correa De Arroyave	San Sebastián De Palmitas	La Volcana-Guayabal	Doméstico	0,020254
Aurelio Galindo Álzate	San Cristóbal	La Volcana	Agrícola	0,33
Aurelio Galindo Álzate	San Cristóbal	La Volcana	Pecuario	0,006
Aurelio Galindo Álzate	San Cristóbal	La Volcana	Industrial	6,6
Aurelio Galindo Álzate	San Cristóbal	La Volcana	Doméstico	0,0506
Hilda Inés Palomeque Padilla	Palmitas	La Aldea	Agrícola	0,033
Hilda Inés Palomeque Padilla	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,001215
Junta De Acción Comunal Vereda La Suiza	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,048032
Junta De Acción Comunal Vereda La Suiza	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,20052
Junta De Acción Comunal Vereda La Suiza	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Pecuario	0,068437
Junta De Acción Comunal Vereda La Suiza	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Pecuario	0,000061
Junta De Acción Comunal Vereda La Suiza	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Pecuario	0,005324
Luz María Ortiz Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,006076
Luz María Ortiz Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Agrícola	0,03
Luz María Ortiz Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,001296
María Fanny Ortiz Álvarez	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,006076
Bernardo Antonio García Moná	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,00405
Luz Mary Pérez Bastidas	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,00405
Luis Arturo Ortiz Morales	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,002025
Luz Adriana García Bastidas	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,008101
Fredy Alonso Álvarez Muñoz	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,010127

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Uso	Caudal por uso
Jesús María Ospina Franco	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,010127
Arturo De Jesús Galeano Perez	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,011574
Flor María Muñoz Cardona	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,010127
Jorge William Ortiz Álvarez	Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,003379
Dora Del Socorro Ortiz Álvarez	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,008101
Rogelio De Jesús Ortiz Álvarez	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,010127
Rogelio De Jesús Ortiz Álvarez	Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,003009
Blanca Cecilia Ortiz Álvarez	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,008101
Jorge William Ortiz Álvarez	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,008101
Blanca Cecilia Ortiz Álvarez	Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,002534
Cecilia Corrales Flórez	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,00405
Marta Lucia Pulgarin Ospina	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,008101
Aurelio Londoño	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,010127
Marco Tulio Pulgarin	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,010127
Luis Oracio Ortiz Morales	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,011574
Fanny Velásquez De Acevedo	Palmitas	Urquitá	Agrícola	0,0033
Fanny Velásquez De Acevedo	Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,007222
Fanny Velásquez De Acevedo	Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,007222
Fanny Velásquez De Acevedo	Palmitas	Urquitá	Agrícola	0,0011
Gloria Aguilar	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,0046
María Fanny Ortiz Álvarez	Palmitas	Urquitá	Agrícola	0,05
Gloria Aguilar	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,0122
María Fanny Ortiz Álvarez	Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,0014
Paola Marcela Muñoz	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,0061
José Rubiel Pulgarin	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,0081
Adriana Gil Montoya	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,0093
Martha Ofelia Rodríguez	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,0122
José Rubiel Pulgarin	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,0122
José De Jesús Díaz	Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,0041
Luz Mary Pérez Bastidas	Palmitas	Urquitá	Agrícola	0,046296
Luis Arturo Ortiz Morales	Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,004224
Luz Mary Pérez Bastidas	Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,004224
Luz Adriana García Bastidas	Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,004224

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Uso	Caudal por uso
Bernardo Antonio García Moná	Palmitas	Urquité	Agrícola	0,046296
Bernardo Antonio García Moná	Palmitas	Urquité	Pecuario	0,004224
Luis Arturo Ortiz Morales	Palmitas	Urquité	Agrícola	0,046296
Luz Adriana García Bastidas	Palmitas	Urquité	Agrícola	0,046296
Nelly María Bastidas	Palmitas	Urquité	Pecuario	0,004224
Nelly María Bastidas	Palmitas	Urquité	Agrícola	0,046296
María Nelida Correa De Jaramillo	Palmitas	La Aldea	Agrícola	0,1
María Nelida Correa De Jaramillo	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,008101
María Nelida Correa De Jaramillo	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,004629
Jesús Alfonso Gamarra Acosta	Palmitas	La Frisola	Doméstico	0,002025
Jesús Alfonso Gamarra Acosta	Palmitas	La Frisola	Pecuario	0,008449
Jesús Alfonso Gamarra Acosta	Palmitas	La Frisola	Agrícola	0,1
Luz Elena Galeano Cano	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,0344
María Nelida Correa De Jaramillo	Palmitas	La Aldea	Agrícola	0,05
Municipio De Medellín	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	4,107638
Municipio De Medellín	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,394965
Miguel Ángel Restrepo Sierra	Palmitas	Urquité	Pecuario	0,000462
Miguel Ángel Restrepo Sierra	Palmitas	Urquité	Doméstico	0,006076
Isabel Mejía De López	Palmitas	La Volcana	Doméstico	0,010127
Isabel Mejía De López	Palmitas	La Volcana	Agrícola	0,1
Isabel Mejía De López	Palmitas	La Volcana	Pecuario	0,324074
Lorena Del Socorro Galeano Arboleda	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,010127
Lorena Del Socorro Galeano Arboleda	Palmitas	La Aldea	Agrícola	0,013888
Jhon Jairo Ríos Guerra	San Sebastián De Palmitas	Urquité	Agrícola	0,1
Jhon Jairo Ríos Guerra	San Sebastián De Palmitas	Urquité	Doméstico	0,0081
Jhon Jairo Ríos Guerra	San Sebastián De Palmitas	Urquité	Doméstico	0,0017
Agropecuaria Aras S.A.S.	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,0405

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Uso	Caudal por uso
Agropecuaria Aras S.A.S.	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,2025
Agropecuaria Aras S.A.S.	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Agrícola	0,0385
Edilberto De Jesús Gómez Arango	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Pecuario	0,0036
Edilberto De Jesús Gómez Arango	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Agrícola	0,122
Asociación Usuarios Acueducto Vdal Urquita	Palmitas	Miserengo	Doméstico	0,7211
Asociación Usuarios Acueducto Vdal Urquita	Palmitas	Miserengo	Doméstico	0,1648
Viviana Maritza Suarez Uribe	Palmitas	Urquita	Industrial	0,0018
Viviana Maritza Suarez Uribe	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,0101
Viviana Maritza Suarez Uribe	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,0037
Viviana Maritza Suarez Uribe	Palmitas	Urquita	Industrial	0,3753
Municipio De Medellín	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Sin Información	0,0723
Dionisio Velásquez Flórez	Palmitas	Urquita Parte Baja	Agrícola	0,028
María Dolores Mejía Valencia	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Agrícola	0,1643
María De La Luz Ortiz	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
María De La Luz Ortiz	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
María Margarita Flórez	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
María Margarita Flórez	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
María Nubia Ortiz Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
María Nubia Ortiz Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
María Nubia Ortiz Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
Reinaldo Antonio Ortiz Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
Reinaldo Antonio Ortiz Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
Reinaldo Antonio Ortiz Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
Miguel Ángel Muñoz Arteaga	Palmitas	La Aldea	Agrícola	0,005

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Uso	Caudal por uso
Miguel Ángel Muñoz Arteaga	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,023
María De La Luz Ortiz	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
María Margarita Flórez	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,017
Aida María Vélez Jaramillo	Palmitas	La Volcana	Acuicultura	0,447
Aida María Vélez Jaramillo	Palmitas	La Volcana	Pecuario	0,019
Aida María Vélez Jaramillo	Palmitas	La Volcana	Pecuario	0,019
Aida María Vélez Jaramillo	Palmitas	La Volcana	Acuicultura	0,288
Aida María Vélez Jaramillo	Palmitas	La Volcana	Doméstico	0,003
Aida María Vélez Jaramillo	Palmitas	La Volcana	Pecuario	0,019
Aida María Vélez Jaramillo	Palmitas	La Volcana	Agrícola	0,021
Aida María Vélez Jaramillo	Palmitas	La Volcana	Doméstico	0,009
Aida María Vélez Jaramillo	Palmitas	La Volcana	Pecuario	0,019

Fuente: CORANTIOQUIA 2015. Consultoría Colombia S.A.

5.1.7.3.4 Vertimientos zona de interés cuenca Quebrada La Seca y La Sucia

Los vertimientos son otro tipo de uso de las corrientes que conforman una cuenca, para el caso de las quebradas La Clara y La Sucia, se consultaron los reportes entregados por CORANTIOQUIA en Julio de 2016 para identificar aquellos asociados a la cuenca, sin embargo, se debe tener en cuenta que alguno de estos carecen de información de la fuente receptora.

Tabla 5-85. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia en los municipios de Ebéjico, San Jerónimo y Sopetrán

Solicitante	Municipio	Vereda	Subactividad	Receptor	Caudal
FABIO DE JESÚS ECHAVARRÍA MUÑOZ	Ebéjico	Palo Blanco	No Puntual	suelo	
CLAUDIO MUÑOZ PULGARIN	Ebéjico	El Brasil	No Puntual	SUELO	
JUNTA DE ACCION COMUNAL VEREDA EL SOCORRO	Ebéjico				
FABIO DE JESÚS ECHAVARRÍA MUÑOZ	Ebéjico		No Puntual		
COOPERATIVA MULTIACTIVA DE EXPENDEDORES DE CARNE DEL MUNICIPIO DE EBEJICO	Ebéjico		Puntual		
HOSPITAL SAN RAFAEL DE EBEJICO E.S.P.	Ebéjico	Fatima	Puntual		0,089

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Solicitante	Municipio	Vereda	Subactividad	Receptor	Caudal
AGROPECUARIA LOS MOLINOS S.A.S	Ebéjico	La Aguada	No Puntual		
ASTRID DORIS MUÑOZ	Ebéjico		No Puntual		
CARACOL TELEVISIÓN S.A.	Ebéjico		Puntual		
MUNICIPIO DE EBÉJICO	Ebéjico	Nariño	Puntual		
RAMÓN HERNANDO ROJAS VÁSQUEZ	Ebéjico		Puntual		
LUIS FERNANDO CASTRILLON VELASQUEZ	Ebéjico		Puntual		
POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID	San Jerónimo	Loma Hermosa	No Puntual		23
LIBARDO ALBERTO GIRALDO GIRALDO	San Jerónimo	Piedra Negra	No Puntual	SUELO	0,012
JOSÉ OVIDIO JARAMILLO HENAO	San Jerónimo	Mestizal	No Puntual		0,31
BLANCA OFELIA SIERRA DE FERNÁNDEZ	San Jerónimo	Loma Hermosa			
NATALÍ CARDONA ARIAS	San Jerónimo	Loma Hermosa	No Puntual		
JOSÉ REINALDO BASTIDAS BASTIDAS	San Jerónimo	Pesquinal	No Puntual		
MIGUEL ALFONSO ESCOBAR ESCOBAR	San Jerónimo	Loma Hermosa	Puntual		
LUIS SANTIAGO DE FATIMA ARANGO LOPEZ	San Jerónimo	Loma Hermosa	Puntual		
DIEGO CASTAÑO DÍAZ	San Jerónimo	Loma Hermosa	No Aplica		
INVERSIONES ROSO DE OCCIDENTE S.A.S	San Jerónimo	Piedra Negra	Puntual		
ANA MARIA YEPES QUINTERO	San Jerónimo	Loma Hermosa	Puntual		

Fuente: CORANTIOQUIA 2016. Consultoría Colombia S.A.

Para el caso del municipio de Medellín de acuerdo al reporte generado por CORANTIOQUIA en agosto de 2015, se tienen 197 permisos de vertimientos otorgados en las veredas La Aldea, La Sucia, La Suiza, La Volcana-Guayabal, Miserengo y Urquita.

Tabla 5-86. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia en el municipio de Medellín

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Actividad	Caudal
Marco Tulio Álvarez Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Doméstico	0,0084
Marco Tulio Álvarez Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Agrícola	0,023
Marco Tulio Álvarez Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquitá	Pecuario	0,0018
Rosalba Amaya	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,04
Blanca Teresa Ospina	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,01
Blanca Teresa Ospina	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,03

 <p>Agencia Nacional de Infraestructura</p>	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 <p>SOMOS TU VÍA</p>
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Actividad	Caudal
Jesús Aicardo Arroyave Acevedo	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,03
Argemiro De Jesús Zapata Muñoz	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,0071
Libardo De Jesús Hernández Palacio	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,2213
Libardo De Jesús Hernández Palacio	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,2213
Rogelio Galeano Galeano	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,0171
Hilda Inés Palomeque Padilla	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,0102
Hilda Inés Palomeque Padilla	Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,0102
Huber De Jesús Delgado Caro	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Huber De Jesús Delgado Caro	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Huber De Jesús Delgado Caro	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Marcel Arroyave Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Marcel Arroyave Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Marcel Arroyave Álvarez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Marina Ortiz Mejía	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,014
Roberto Velásquez Suárez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0015
Roberto Velásquez Suárez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0015
Roberto Velásquez Suárez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0015
Marco Tulio Pulgarin	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,0074
Marco Tulio Pulgarin	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,0074
Marco Tulio Pulgarin	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,0074
Flor María Muñoz Cardona	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Flor María Muñoz Cardona	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Flor María Muñoz Cardona	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Jorge Iván Bedoya Guerra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Jorge Iván Bedoya Guerra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Jorge Iván Bedoya Guerra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Oscar Jairo Marín Bedoya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0088
Oscar Jairo Marín Bedoya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0088
Oscar Jairo Marín Bedoya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0088
Aparicio Velásquez Flórez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Aparicio Velásquez Flórez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Aparicio Velásquez Flórez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Rodolfo Acevedo Maya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Rodolfo Acevedo Maya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Rodolfo Acevedo Maya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Fabio León Giraldo Martínez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Fabio León Giraldo Martínez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Javier Darío Giraldo Martínez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0113

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Actividad	Caudal
Javier Darío Giraldo Martínez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0113
Alberto Elías Puerta Puerta	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,003
Alberto Elías Puerta Puerta	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,003
Alberto Elías Puerta Puerta	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,003
Jaime Antonio Morales Zapata	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Jaime Antonio Morales Zapata	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Francisco Luis Vargas Gallego	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Francisco Luis Vargas Gallego	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Francisco Luis Vargas Gallego	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Modesto Bedoya Betancourt	Palmitas	Urquita	Doméstico	0,0015
Adriana María Horta Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Adriana María Horta Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Adriana María Horta Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Jesús Oscar Acevedo Maya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Jesús Oscar Acevedo Maya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Jesús Oscar Acevedo Maya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Jesús Oscar Acevedo Maya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Hermilda Ríos Parra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Hermilda Ríos Parra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Hermilda Ríos Parra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Hermilda Ríos Parra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Catalina Marín Sierra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0031
Catalina Marín Sierra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0031
Catalina Marín Sierra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0031
Jhon Jairo Cano Cano	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,006
Jhon Jairo Cano Cano	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,006
Miguel Ángel Restrepo Sierra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0034
Miguel Ángel Restrepo Sierra	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0034
Carlos Hernán Suarez Correa	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
Jairo Alfonso Álvarez Tamayo	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Jairo Alfonso Álvarez Tamayo	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Miguel De Jesús Bedoya Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Miguel De Jesús Bedoya Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Urbano De Jesús Cano Muñoz	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,013
Urbano De Jesús Cano Muñoz	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,013
Edison Pulgarin Cano	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,006
Edison Pulgarin Cano	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,006
Mauro Pulgarin Pulgarin	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Actividad	Caudal
Mauro Pulgarin Pulgarin	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Luz Marina Pulgarín Marín	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0118
Luz Marina Pulgarín Marín	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0118
Naid Del Socorro Marín Marín	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,006
Naid Del Socorro Marín Marín	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,006
José Joaquín Estrada	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0074
José Joaquín Estrada	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0074
Gloria Inés Jaramillo Álvarez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0103
Gloria Inés Jaramillo Álvarez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0103
Sor Magola Galeano Arboleda	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,004
Sor Magola Galeano Arboleda	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,004
Pedro Pablo Murillo Cano	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
Pedro Pablo Murillo Cano	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
Blanca Inés Marín Marín	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,003
Blanca Inés Marín Marín	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,003
Jorge William Galeano Arboleda	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,003
Luis Guillermo Vergara Castrillón	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
Rosalba Espinosa Vélez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
Rosalba Espinosa Vélez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
Mario De Jesús Ospina Muñoz	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,006
Mario De Jesús Ospina Muñoz	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,006
Martha Cecilia Pulgarin Cano	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Martha Cecilia Pulgarin Cano	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Guillermo León Galeano Arboleda	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
Guillermo León Galeano Arboleda	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
Blanca Nubia Muñoz Bedoya	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0074
Blanca Nubia Muñoz Bedoya	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0074
Eucaris Pulgarin Correa	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Eucaris Pulgarin Correa	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Roberto De Jesús Bedoya Pulgarin	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Roberto De Jesús Bedoya Pulgarin	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
María De Los Dolores Marín Celis	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,003
María De Los Dolores Marín Celis	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,003
María Rosmira Celis Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
María Rosmira Celis Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
María Duarte Goetz	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
María Nubia Ortiz Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0074
María Nubia Ortiz Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0074

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Actividad	Caudal
María Rocio Muñoz	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0157
Belarmino Muñoz Cano	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
Belarmino Muñoz Cano	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
León Bernardo Ospina Suarez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
León Bernardo Ospina Suarez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0044
Jesús María Ortiz Correa	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,006
Jesús María Ortiz Correa	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,006
Benjamín Velásquez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
Benjamín Velásquez	San Sebastián De Palmitas	La Suiza	Doméstico	0,0015
María Rubiela Álvarez Montoya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,01
María Rubiela Álvarez Montoya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,01
María Rubiela Álvarez Montoya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,01
Daniel De Jesús Díaz Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0052
Daniel De Jesús Díaz Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0052
Daniel De Jesús Díaz Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0052
María Elena Díaz Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0115
María Elena Díaz Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0115
María Elena Díaz Ospina	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0115
Eucaris Muñoz Muñoz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,012
Eucaris Muñoz Muñoz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,012
Eucaris Muñoz Muñoz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,012
Iván De Jesús Bedoya Jaramillo	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0088
Iván De Jesús Bedoya Jaramillo	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0088
Iván De Jesús Bedoya Jaramillo	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0088
José Omar Rincón Marulanda	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,003
José Omar Rincón Marulanda	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,003
José Omar Rincón Marulanda	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,003
María Edilma Marín Correa	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
María Edilma Marín Correa	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
María Edilma Marín Correa	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Carmen Rosa Bedoya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0074
Carmen Rosa Bedoya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0074
Carmen Rosa Bedoya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0074
Myriam Ocampo De Ruiz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Myriam Ocampo De Ruiz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Myriam Ocampo De Ruiz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
José De Jesús Bedoya Jaramillo	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0015
José William Álvarez Torres	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0074

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Actividad	Caudal
Carmen Rosa Caro	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,012
Carlos Enrique Mejía Salazar	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0062
Luz Mila Bedoya Jaramillo	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0074
Carmen Norela Bedoya Muñoz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0052
Luz Orfidia Sepúlveda Jaramillo	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Gilberto Pulgarin Muñoz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Berenice Gutiérrez Fandiño	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0088
Nora Elena Vásquez Marín	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0031
Luis Ernesto Bedoya Jaramillo	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0015
Arismendy Caro Bedoya	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0074
Salomón Velásquez Flórez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0088
Luis Fernando Arboleda Muñoz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Reinel De Jesús Marín Correa	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Luis Horacio Ortiz Morales	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
María Oliva Álvarez Carballo	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0074
Hildebrando Velásquez López	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0088
Gustavo De Jesús Gallego Pulgarin	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,003
Carlos Mario Álvarez Muñoz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Iván Cano Pulgarin	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0074
Romualdo Londoño Loaiza	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Rosmira Benjumea Taborda	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Beatriz Bedoya Muñoz	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0044
Luz Mariela Bedoya González	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,0059
Analida Marín Ortiz	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,003
Mario Alberto Ospina Ramírez	Palmitas	Potrera - Miserengo	Doméstico	0,01
María Rubiela Bedoya Jaramillo	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,01
Irma Carvajal	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,01
Ana Julia Muñoz	San Sebastián De Palmitas	La Volcana	Doméstico	0,01
Mariela De Jesús Arteaga Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Sucia	Doméstico	0,01
Luz Elena Marín Cano	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,1033
Diego Alejandro Hernández	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,1033
Consuelo Del Socorro Cano Muñoz	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,1033
Robertina Jaramillo Acevedo	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,1033
Benjamín Velásquez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,01
Juan Carlos Gallego Velásquez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,01
Carlos Enrique Muñoz Ospina	San Sebastián De Palmitas	La Volcana	Doméstico	0,1033
Francisco Antonio Ruiz Ochoa	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,01
Rubén Darío Velásquez	San Sebastián De Palmitas	Urquítá	Doméstico	0,01

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Solicitante	Corregimiento	Vereda	Actividad	Caudal
Yeny Correa Hernández	San Sebastián De Palmitas	La Aldea	Doméstico	0,1033

Fuente: CORANTIOQUIA 2015. Consultoría Colombia S.A.

5.1.7.3.5 Concesiones zona de interés cuenca del río Aurra

De acuerdo con información suministrada por CORANTIOQUIA en febrero – Julio de 2016, se identifican 62 concesiones otorgadas principalmente por la territorial hevéxicos para las corrientes que conforman la cuenca del río Aurra las cuales se listan a continuación, es de mencionar que como parte de los reportes entregados por la corporación no se incluye el uso autorizado.

Tabla 5-87. Concesiones otorgadas en la cuenca del río Aurra

Solicitante	Total caudal	Municipio	Vereda	Fuente	Coordenadas	
					X	Y
Acueducto Agropecuario Las Dantas	13	Ebéjico		Cañada La Llorona	11516774	12020124
Maria Marleny Jaramillo Vergara	0,28474	San Jerónimo	El Berial	Sin Nombre	11491371	12007516
Alba Nery Muñoz Patiño	0,094511	San Jerónimo	Matasano	El Salto	11542057	11996934
Pedro Alberto Salazar Patiño	0,157518	San Jerónimo	La Murrapala	Afluente La San Juana	11504890	11979998
Octavio Arcesio Orrego Piedrahita	0,29	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Bomba	11474289	12020185
Argiro Hugo Rodriguez Restrepo	0,0082	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Espada	11475355	12025880
Sandra Milena Zapata Muñoz	0,3107	San Jerónimo	Matasano	El Desague	11538872	12001405
Pedro Pablo Delgado Torres	0,2962	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Espadita	11478921	12016242
Junta De Acción Comunal Vereda Cabuyal	6,147175	San Jerónimo	Cabuyal	La Ramírez	11552212	12013152
Blanca Ofelia Sierra De Fernández	2,228147	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Cumbre	11488968	12014831
Reinaldo Alarcon López	1,1395	San Jerónimo	El Rincón	La Clara	11520170	12051350
Sandra Milena Velasquez Diaz	0,02037	San Jerónimo	Piedra Negra	El Cañon	11506649	11980059
Gilma Ester Cano Ríos	1,798438	San Jerónimo	El Berial	Caño Del Garabato	11485883	12013993
Mario Patiño	1,052826	San Jerónimo	Montefrio	La Toma	11554815	11983419
Luis Eduardo Rodriguez Berrio	0,628518	San Jerónimo	Buenos Aires	La Ramirez	11563442	12009488
Asoc. De Usuar. Del Acued. De La Vda Pie De Cuesta De	0,35074	San Jerónimo	Pie De Cuesta	La Alarcona	11508085	12037161

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Solicitante	Total caudal	Municipio	Vereda	Fuente	Coordenadas	
					X	Y
Lopera			Lopera			
Miguel Angel Carmona Muñoz	0,223989	San Jerónimo	Montefrio	Yarumal	11548680	11989543
Hugo Armando Graciano Gomez	0,31	San Jerónimo	El Potrerito	Nacimiento Sin Nombre	11491369	11995868
Bernardo Bastidas Bastidas	1,972476	San Jerónimo	Llano Arriba	La Ramirez	11514400	12015790
Nubia Del Socorro Suarez Ríos	1,177869	San Jerónimo	Buenos Aires	La Alarcona	11547175	12022971
Fondo De Empleados Almacenes Exito	6,1	San Jerónimo		La Muñoz	11499801	12027733
Pedro Luis Monsalve	0,389259	San Jerónimo	Buenos Aires Parte Baja	Nacimiento La Ceja	11555897	12013963
Bernardino Gil Rios	0,150786	San Jerónimo	Buenos Aires Parte Baja	Nacimiento Sin Nombre	11556539	12016917
Marta Gabriela Echandia Echandia	0,089444	San Jerónimo	El Berial	El Zapote	11487343	12007223
Junta De Accion Comunal Vereda Tafetanes	4,96412	San Jerónimo	Tafetanes	La Muñoz	11497993	12025843
Adrian Alberto Munera Lopera	0,201331	San Jerónimo	Buenos Aires Parte Alta	La Clarita	11559148	12027311
Manuel De Jesús Munera Builes	1,531611	San Jerónimo	Buenos Aires Parte Baja	La Alarcona	11540488	12025832
Natalia Andrea Vergara Alzate	2,66	San Jerónimo	Pie De Cuasta	La Alarcona	11509944	12037342
Abelardo De Jesús Patiño Avendaño	0,090861	San Jerónimo	Matasano - Monte Frio	La Peña	11563639	11992900
Luis Andres Gomez Arcila	2,102962	San Jerónimo	El Berial	La Jungla	11490030	12002479
Andres Velasquez Uribe	0,236184	San Jerónimo	Loma Hermosa	Caño La Mina	11481782	12029617
Juan Guillermo Giraldo Posada	0,257888	San Jerónimo	El Berial	Caño Del Garabato	11490577	12014951
Natalí Cardona Arias	0,076222	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Espada	11475355	12025880
Catalina Giraldo Marroquin	1,4924	San Jerónimo	El Calvario	Nacimiento La Malena (Predio Argemiro Sierra)	11491165	12015364
Erika Isabel Correa Quijano	0,0523	San Jerónimo	Loma Hermosa	Fuente Sin Nombre- Finca	11491400	11997268

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Solicitante	Total caudal	Municipio	Vereda	Fuente	Coordenadas	
					X	Y
				Venecia-		
John Jairo Echavarria Aguilar	0,123	San Jerónimo	Loma Hermosa	Nacimiento Manantial (Predio John Jairo Echavarria)	11475725	12029352
Isidoro De Jesús Rodriguez Moreno	0,0528	San Jerónimo	Loma Hermosa	Llano Grande (Afluente Q. La Espada)	11472427	12030752
Dalgui Ayamet Castañeda Ceballos	0,0741	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Bomba	11474289	12020185
Diego De Jesus Ruiz Zuluaga	0,0544	San Jerónimo	Loma Hermosa	Llano Grande (Afluente Q. La Espada)	11472427	12030752
Unidad Campestre Las Palmeras	2,47	San Jerónimo	El Calvario	La Muñoz (San Jerónimo)	11506680	12019335
Luis Santiago De Fatima Arango Lopez	0,259	San Jerónimo	Loma Hermosa	Baulito	11473000	12025106
Corporacion Veredal Llanos De San Juan	10,48	San Jerónimo	Llanos De San Juan	La Aguamala	11524891	11981185
Gloria Lucia Arboleda Guzman	0,0639	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Espada	11475355	12025880
Maria Lucelly Ramirez Parra	0,136	San Jerónimo	El Berrial	Sin Nombre (Aflora En Predio Lucely Ramirez De Yepes)	11490232	12005640
Nestor Hincapie Giraldo	0,1079	San Jerónimo	Llanos De San Juan	Casa Blanca	11485691	12002374
Maria Azucena Zuluaga Montoya	0,6323	San Jerónimo	Piedra Negra	Agualinda	11507173	11972562
Gabriel Jairo Angel Bernal	6,8469	San Jerónimo	El Rincón	Aurrá	11540311	12047619
Gabriel Gonzalo Gomez Jimenez	0,0317	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Espada	11474851	12030037
Jorge Mario Ortiz Velez	0,622	San Jerónimo	El Calvario	La Muñoz	11501279	12028032
Margarita Maria Echeverri Cardona	0,0258	San Jerónimo	Loma Hermosa	La Espada	11475355	12025880
Maria Del Carmen Zapata De Castrillon	0,0486	San Jerónimo	Cabuyal	Sin Nombre	11539817	12015909
Myriam Dionny Astaiza	0,0854	San	El Berrial	Caño Del	11485883	12013993

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Solicitante	Total caudal	Municipio	Vereda	Fuente	Coordenadas	
					X	Y
Gallo		Jerónimo		Garabato		
Junta De Acción Comunal Vereda Buenos Aires Parte Alta	0,5	San Jerónimo	La Clarita	La Clarita	11569622	12011264
Luz Selene Restrepo Aristizabal	0,1008	San Jerónimo	El Calvario	Caño Del Garabato	11490151	12014258
Javier Antonio Suárez Muñoz	0,051	San Jerónimo	La Ciénaga	La Ramírez	11542328	12019083
Edgar Alexander Castrillon Zapata	0,0644	San Jerónimo	Buenos Aires Parte Baja	La Ramirez	11551697	12014049
John Jairo Vásquez González	0,0046	San Jerónimo	El Berial	Sin Nombre	11491371	12007516
Asociación De Usuarios Del Acueducto De La Vda Buenos Aires	3,1296	San Jerónimo	Buenos Aires	Yarumalito	11560356	11986651
Sara María Escobar Rojas	0,0457	San Jerónimo	Llano Arriba	La Muñoz	11505599	12021138
Rio Escondido S.A.S	2,2035	San Jerónimo	Pie De Cuesta	La Clara	11520170	12051350
Elsy De Jesus Londoño Parra	5,0237	San Jerónimo	Pie De Cuesta	La Muñoz (San Jerónimo)	11500316	12032036
Gildardo De Jesús Gómez Múnera	0,0127	San Jerónimo	El Poleal	Los Papayos	11574050	12052377

Fuente: CORANTIOQUIA 2016. Consultoría Colombia S.A.

5.1.7.3.6 Vertimientos zona de interés cuenca del río Aurra

Para el caso de la cuenca del río Aurra, de acuerdo con el reporte entregado por CORANTIOQUIA en Julio de 2016, se identifican autorizaciones en las veredas identificadas como parte del área de la cuenca, se empleó este filtro dado que no se cuenta con información de la corriente sobre el correspondiente receptor. (Tabla 5-88).

Tabla 5-88. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca del río Aurra

Solicitante	Municipio	Vereda	Subactividad	Caudal
HECTOR ALONSO PEREZ ALVAREZ	San Jerónimo	Pie De Cuasta	Puntual	
ARGIRO HUGO ARBOLEDA BUILES	San Jerónimo	Llanos De San Juan	Puntual	
ASOC. DE USUAR. DEL ACUED. DE LA VDA PIE DE CUESTA DE LOPERA	San Jerónimo	Pie De Cuesta	No Puntual	0,29
LUZ GABRIELA BASTIDAS CORREA	San Jerónimo	Llanos De San Juan	No Puntual	45
POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID	San Jerónimo	Loma Hermosa	No Puntual	23

Solicitante	Municipio	Vereda	Subactividad	Caudal
JORGE HUMBERTO ARBELAEZ JARAMILLO	San Jerónimo	Llanos De Aguirre	Puntual	0,264
LIBARDO ALBERTO GIRALDO GIRALDO	San Jerónimo	Piedra Negra	No Puntual	0,012
SOCIEDAD HOTELERA REAL DE COLOMBIA LTDA	San Jerónimo	Llanos De Aguirre	Puntual	
LISANDRO ANTONIO GIRALDO SUAREZ	San Jerónimo	Alto Colorado	No Aplica	
JOSÉ OVIDIO JARAMILLO HENAO	San Jerónimo	Mestizal	No Puntual	0,31
ASOCIACIÓN DE INSTITUTORES DE ANTIOQUIA	San Jerónimo	Llanos De Aguirre		0,4
TINTORERÍA SOBIESKY LTDA.	San Jerónimo	El Rincón	No Puntual	
BLANCA OFELIA SIERRA DE FERNÁNDEZ	San Jerónimo	Loma Hermosa		
UNIDAD CAMPESTRE CAMPIÑAS DE LA PRADERA	San Jerónimo	El Rincón	Puntual	
MUNICIPIO DE SAN JERONIMO	San Jerónimo	Tafetanes	Puntual	
REGIONAL DE OCCIDENTE S.A E.S.P	San Jerónimo	Quimbayo	Puntual	
ESTACION CAMPESTRE VEGAS DEL AURRA P.H.	San Jerónimo	El Rincón	Puntual	10414
NATALÍ CARDONA ARIAS	San Jerónimo	Loma Hermosa	No Puntual	
INVERSIONES QUIMBAYA LTDA	San Jerónimo	El Rincon	Puntual	
FEDERACION NACIONAL DE CACAOTEROS	San Jerónimo	El Rincon	No Puntual	
JOSÉ REINALDO BASTIDAS BASTIDAS	San Jerónimo	Pesquinal	No Puntual	
UNIDAD CAMPESTRE LAS PALMERAS	San Jerónimo	El Calvario	Puntual	
MUNICIPIO DE SAN JERONIMO	San Jerónimo	Los Cedros	No Puntual	
MIGUEL ALFONSO ESCOBAR ESCOBAR	San Jerónimo	Loma Hermosa	Puntual	
LUIS SANTIAGO DE FATIMA ARANGO LOPEZ	San Jerónimo	Loma Hermosa	Puntual	
RAMIRO SALDAÑA AMÉZQUITA	San Jerónimo	El Rincón	No Aplica	
DIEGO CASTAÑO DÍAZ	San Jerónimo	Loma Hermosa	No Aplica	
INVERSIONES ROSO DE OCCIDENTE S.A.S	San Jerónimo	Piedra Negra	Puntual	
CONDOMINIO HACIENDA SAN JERONIMO	San Jerónimo	Llano De Aguirre	Puntual	
JOHN JAIRO AGUDELO ORREGO	San Jerónimo	Pie De Cuesta	Puntual	

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Solicitante	Municipio	Vereda	Subactividad	Caudal
ANA MARIA YEPES QUINTERO	San Jerónimo	Loma Hermosa	Puntual	
FANNY NOGUERA SERNA	San Jerónimo	Las Estancias	Puntual	
LEONARDO HERRÓN GÓMEZ	San Jerónimo	Tafetanes	Puntual	

Fuente: CORANTIOQUIA 2016. Consultoría Colombia S.A.

5.1.7.4 Conflictos Disponibilidad y Uso del agua

En cuanto a la disponibilidad del recurso como ya se ha mencionado anteriormente para la unidad funcional 3 y 1 Túnel de Occidente – San Jerónimo, la fuente principal proviene de corrientes superficiales y pozos, por ende la mayoría de las zonas cuenta con acueductos y alcantarillado veredales, sin embargo, no todos tienen el proceso de calidad de agua; es decir no todos los acueductos cuentan con tratamiento previo a las aguas antes de su distribución y disposición para la comunidad. Por otro lado los habitantes de la zona de la vereda El Naranjal – en el municipio de Medellín, hacen referencia que debido a la construcción del primer túnel (Túnel de Occidente) han vendido presentando escases de agua producto de la disminución de los caudales en las fuente. Para el caso de la construcción del nuevo túnel, a continuación en el componente Hidrogeológico se aborda el análisis de lo manifestado por la comunidad.

A su vez es bueno tener presente que durante la época de sequias puede sentirse afectada la disminución del volumen de recurso agua (pozos, aljibes, canales, ríos, quebradas y caños) sobre todo los dueños de fincas ganaderas que consumen un volumen considerable del recurso, así mismo en ocasiones los acueductos presentan fallas por lo tanto las personas deben recurrir a la fuentes superficiales directamente o a la compra de agua en bolsa para consumo humano.

Finalmente el uso inadecuado del suelo con prácticas como las quemadas, rocería y tala indiscriminada de bosques para el cambio de áreas forestales a áreas ganaderas y agrícolas y mal manejo de las aguas, ocasiona una mayor desprotección del suelo reduciendo la cobertura cerca a los márgenes de quebradas y ríos disminuyendo el nivel de retención de agua.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

5.1.8 Hidrogeología

Teniendo en cuenta lo establecido en el Numeral 5.1.8 (Hidrogeología), del Capítulo 5 de los Términos de Referencia establecidos por la resolución 0111 de 28 de Enero de 2015, para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para el trámite de la licencia ambiental de los proyectos de construcción de carreteras y/o túneles con sus accesos, y la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales (MAVDT, 2010), se presenta el componente hidrogeológico, en el marco de la caracterización del medio abiótico del proyecto EIA para la construcción de la segunda calzada entre el túnel de occidente San Jerónimo Unidad funcional 3 y 1.

La caracterización hidrogeológica tiene como objetivos principales:

- Identificar los acuíferos de carácter regional, zonas de recarga y descarga, direcciones generales de flujo, tipo de acuífero.
- Evaluar el potencial hidrogeológico para almacenar y transmitir agua de las rocas y sedimentos presentes en el área de influencia
- Establecer la productividad de los acuíferos
- Identificar la posible afectación de los acuíferos a ser contaminados
- Describir el funcionamiento del sistema hidrogeológico de la zona de evaluación

Para la elaboración del componente hidrogeológico se realizaron actividades de recopilación, análisis y validación de información existente. Se utilizó información adquirida en los aspectos de geología, geomorfología, e hidrología, y se realizaron tareas específicas que incluyen información en campo para el reconocimiento de la zona de evaluación, así como, el inventario de puntos de agua subterránea, el cual se realizó a partir de una visita a los sitios de torre para identificar posibles puntos de agua, en el caso de identificar algún sitio (Manantial, Pozo, Aljibe) se levantó la información utilizando el formato FUNIAS, adicionalmente se realizaron recorridos a lo largo de la línea para verificar la presencia de puntos de agua subterránea.

Se partió de la evaluación y cartografía geológica realizada para el presente estudio (Ver numeral 5.1.1), de igual manera, se utilizó información de geomorfología, hidrología, presentada detalladamente en los respectivos apartes del estudio.

Para la elaboración de la cartografía hidrogeológica y caracterización de las unidades, se siguieron los lineamientos propuestos en los estándares internacionales, en este sentido se adopta la nomenclatura de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) “Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos” (UNESCO, International Legend for Hydrogeological Maps, 1983). La leyenda ha sido diseñada con base en la asignación de categorías hidrogeológicas teniendo en cuenta el potencial de las rocas y los sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea, en función de la composición, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad litológica evaluada.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

5.1.8.1 Información Secundaria

Para el área de influencia se realizó el análisis de información existente hidrogeológica, hidrológica, geofísica, geoquímica y caracterización de las aguas subterráneas y cartografía existente. La información fue obtenida en archivos digitales provenientes de las siguientes entidades:

- DEVIMAR
- Grupo TYPESA / Consultores Regionales Asociados CRA.SAS
- ANI – DESARROLLO VIAL AL MAR S.A.S.
- CORANTIOQUIA.
- TAT TÚNELES Y ASISTENCIA TÉCNICA
- GRUPO AUSCOLNOVA-INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOMATICA
- INTEINSA INGENIERIA INTELIGENTE
- SANEAR LTDA. INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

A continuación se presenta una síntesis de los trabajos consultados correspondientes artículos, informes y presentaciones técnicas.

- La presentación técnica “**Proyecto de Infraestructura Vial Autopista al Mar-1. CONSIDERACIONES Y ACLARACIONES ÁREAS DE MANEJO ESPECIAL EN JURISDICCIÓN DE CORANTIOQUIA**” (2016) realizado por DEVIMAR, contiene la descripción del proyecto Autopista al Mar 1, dividido en Unidades funcionales, destacando los aspectos de longitud, punto de inicio, punto final, profundidad máxima, calzadas, número de carriles en la calzada, ancho de calzada, obras de drenaje, puentes, galerías e impermeabilización (%).

En la caracterización del área de estudio, se establecen las áreas protegidas del SINAP, identificando la reserva de la Zona Ribereña del Río Cauca, la cual no corresponde a ninguna categoría de área protegida concreta, sino que responde a una estrategia administrativa que busca restringir el aprovechamiento del recurso. Igualmente se identificó el Distrito de Manejo Integrado Divisoria Valle De Aburra Rio Cauca.

La Influencia del proyecto en el Distrito de Manejo Integrado y en la reserva del Río Cauca, en donde el área a intervenir corresponde a la recuperación de puntos críticos localizados dentro de la franja de un (1) kilómetro definida por Corantioquia como reserva del río Cauca.

- El Documento técnico “**ATLAS HIDROGEOLÓGICO DE EL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO**” (2014) representa un trabajo conjunto entre CORANTIOQUIA, La UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Es una edición gratuita y de libre reproducción con fines pedagógicos.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Se considera un material de consulta por excelencia ya que sintetiza de manera muy práctica los aspectos hidrogeológicos relevantes de la región, y presta un muy buen punto de partida para situarse en el contexto regional que enmarcan los estudios hidrogeológicos e hidrológicos para obras de construcción, como lo es la vía al mar. Está apoyado en estudios previos que también son referentes de consulta en este y otros proyectos en la región y que se citan a continuación:

- Evaluación hidrogeológica entre los municipios de Cauca y Cáceres.
 - Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de acuíferos al norte del municipio de Cauca.
 - Evaluación hidrogeológica y vulnerabilidad de acuíferos en la cuenca del Río Cacerí.
 - Validación del modelo hidrogeológico de la territorial Panzenú usando técnicas isotópicas.
 - Geología de la plancha 93 Cáceres, 1:100000, Atlas veredal departamento de Antioquia.
 - Memorias del mapa geomorfológico, de amenazas y áreas degradadas de la jurisdicción de CORANTIOQUIA a escala 1:100.000. CORANTIOQUIA.
 - Estudio general de suelos y coberturas terrestres, 1:100.000, 1:25.000.
 - Estudio de suelos del departamento de Antioquia. Tomos I, II, III, IV.
 - Ciénagas de la región Panzenú.
 - Territorio CORANTIOQUIA; atlas geográfico
 - El Recurso hídrico en la jurisdicción de CORANTIOQUIA
 - Bajo Cauca, desarrollo regional: una tarea común universidad-región.
- El documento técnico “**Duplicación del Túnel de Occidente diseño Fase II. Capítulo III Diseño del túnel, obra civil**” (2013), realizado por el TYPASA/CRA S.A.S. contiene el “Estudio Hidrogeológico” del área que consta de: La caracterización hidrogeológica de la zona de estudio, el mapa hidrogeológico General de Colombia en escala 1:2.500.000 (SGC, 1989), mostrando el trazado de la obras.

Las unidades geológicas aflorantes en el área que se sintetizan como cuerpos ígneos y metamórficos de edad Cretácica y Paleozoica de baja a nula permeabilidad y rocas sedimentarias y volcánicas de permeabilidad más alta y edad Cretácica. Las áreas permeables corresponden a depósitos Cuaternarios de nula afectación por el proyecto.

Además, el estudio contempla la climatología de la área de estudio, y menciona que está definida por publicaciones del IDEAM pertenecientes al Atlas Climatológico de Colombia, 2005, con los que se estimó un valor aproximado de la infiltración promedio en grandes superficies de 500 mm, obtenido como diferencia entre la precipitación total menos la evapotranspiración y la escorrentía.

- El documento técnico “**Inventario de aguas Subterráneas en el Valle de Aburra**” (2000), realizado por HIDROGEMA Ltda. para el Ministerio de Ambiente, Banco

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

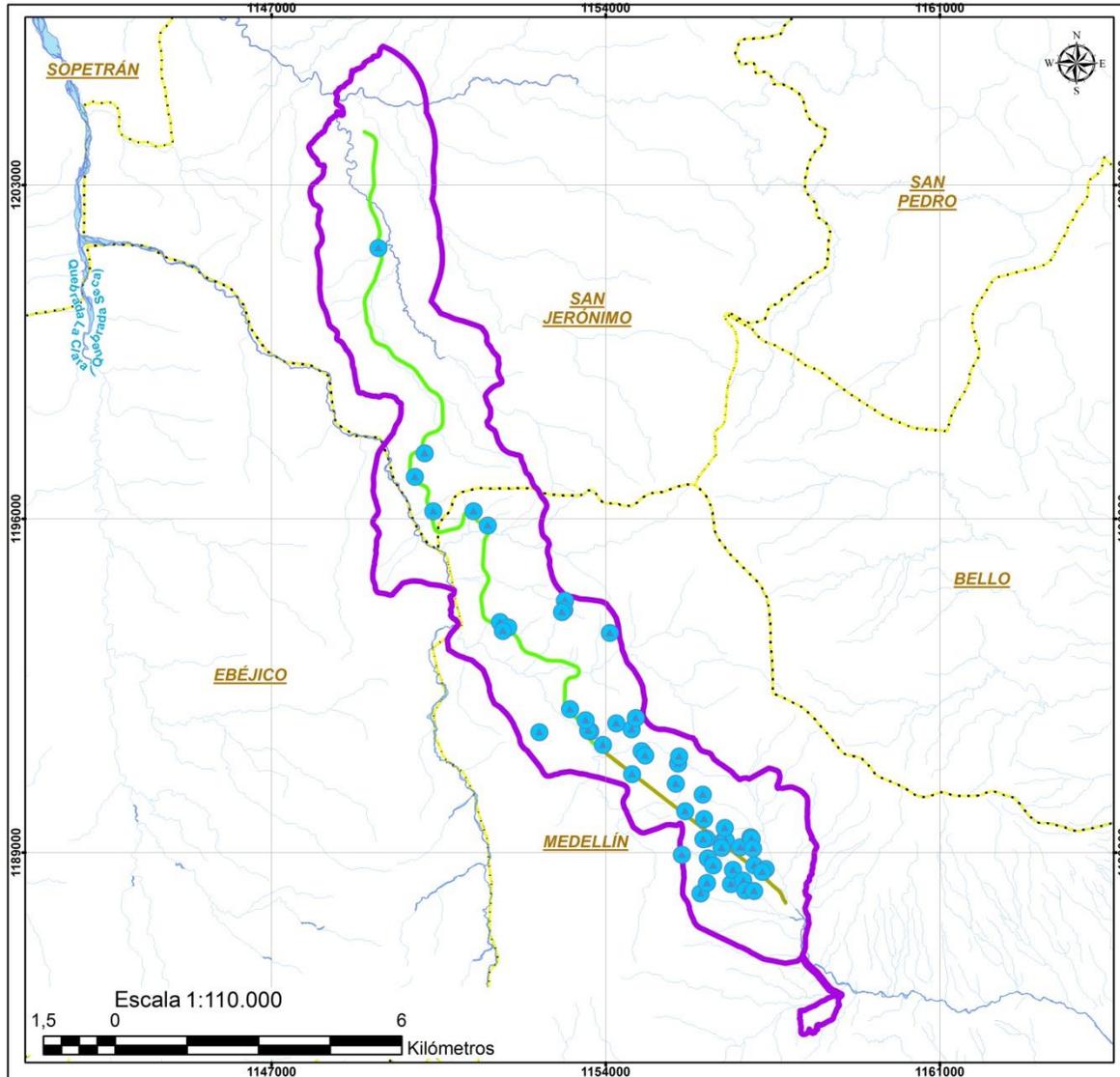
Mundial, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corantioquia – Sobretasa ambiental. En el documento se presenta la hidrología (evaporación, escorrentía, balances hídrico) geología, un SIG para el inventario de aguas subterráneas, inventario de Pozos (tipo de captación, y características) inventarios de acuíferos (flujo del agua, composición química y vulnerabilidad) calidad de aguas subterráneas.

- Los documentos técnicos **“Determinación y Protección de las potenciales Zonas de recarga en el Norte del Valle de Aburra (2011)”** y **“Determinación y Protección de las potenciales Zonas de recarga en el Centro y Sur del Valle de Aburra (2012)”**, los informes fueron realizados por la Universidad de Antioquia para Área Metropolitana del Valle de Aburra. Se destaca lo información concerniente a las zonas de recargas, determinadas por el método analítico Saaty, 2000; en donde se involucran principalmente cuatro (4) variables, topografía adecuada, patrones estructurales (diaclasamiento por unidad litológica) patrones texturales del suelo y condiciones de infiltración.

5.1.8.2 Inventario de puntos de agua subterráneas

El inventario es un método de recopilación y análisis de los datos relacionados con la hidrogeología y que proceden de la información de usuarios de los denominados puntos de agua subterránea; se utiliza para conocer rápidamente las características hidrogeológicas de una zona dada. En sentido estricto se puede definir un punto de agua subterránea como un lugar, obra civil o circunstancia que permita un acceso directo o indirecto a un acuífero, estos pueden incluir perforaciones existentes (pozos o aljibes), también se cuentan las fuentes o surgencias naturales (manantiales). El inventario se llevó a cabo durante los días 1 al 15 de febrero y se complemento en diciembre de 2016 teniendo en cuenta el requerimiento efectuado por la ANLA durante el proceso de evaluación del EIA, para el levantamiento de información, se utilizó el formato FUNIAS los cuales pueden ser consultados en el Anexo D Hidrogeología. (Ver Figura 5-139)

Figura 5-139 Distribución espacial del inventario de puntos de agua



**EIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA
TÚNEL - SAN JERÓNIMO UF 1 Y 3**

CONVENCIONES GENERALES

- Unidad Funcional 1
- Unidad Funcional 3
- Área Influencia
- Drenaje Sencillo
- Drenaje Doble
- Limite Municipal

CONVENCIONES TEMÁTICAS

- Punto Hidrogeológico

Fuente: Consultoría Colombiana S. A, 2016

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Regionalmente el área de influencia tiene 55 puntos de ocurrencia de agua subterránea correspondientes a 54 manantiales y el punto de aguas de infiltración que sale del túnel existente, de estos puntos de captación son productivos 30 para uso pecuario y doméstico, 22 puntos están en estado nativo y no se realiza ningún tipo de captación, y 2 puntos se encuentran abandonados muestran evidencias de intervención antrópica pero actualmente no se evidencia ninguna utilización. (Ver Tabla 5-89)

Durante el inventario de puntos de agua (pozos, aljibes y manantiales), se realizaron mediciones físico químicas in situ de conductividad eléctrica, pH, sólidos disueltos totales y temperatura, mediante un medidor multiparámetro portátil marca Hanna Instruments.

Tabla 5-89 Puntos de agua subterránea inventariados para las Unidades Funcionales 1 y 3.

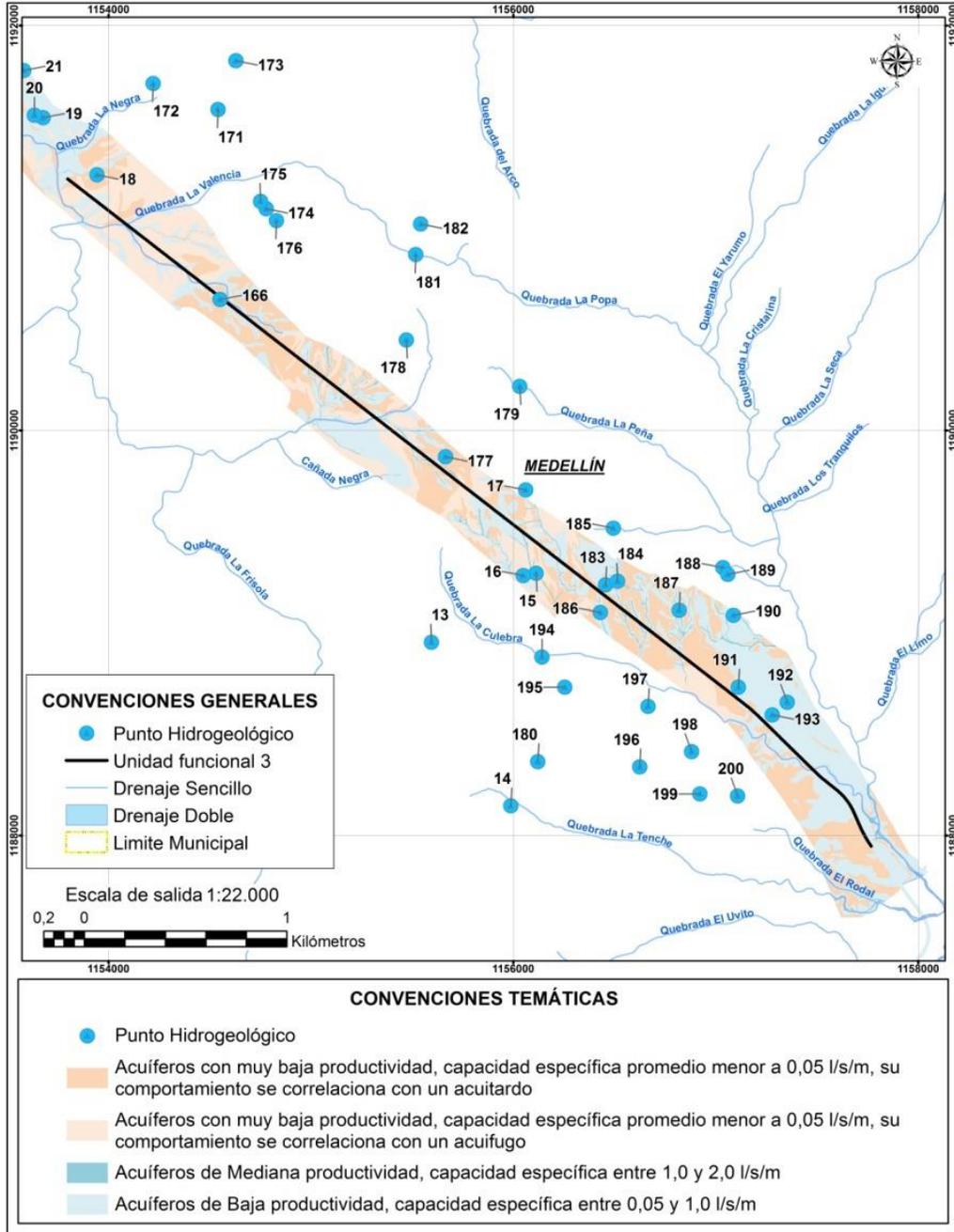
Id	Tipo captacion	Condición del punto	Cordenadas Magna Sirga Origen Oeste		Caudal de explotación (l/día)	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	pH
			Este	Norte				
29	Manantial	Productivo	1151957,8	1193726,0	360	22	254	7,4
30	Manantial	Productivo	1151846,2	1193650,7	3456	20	213	6,5
31	Manantial	Productivo	1151529,4	1195863,9	1320	22	188	8,3
32	Manantial	Productivo	1151234,4	1196159,5	800	22	330	7,1
13	Manantial	Productivo	1155595,3	1188955,0	86400	14,6	31	6,5
14	Manantial	Productivo	1155988,1	1188146,6	17280	17,7	125	7
15	Manantial	Productivo	1156112,5	1189295,1	6650	16,7	113	7,7
16	Manantial	Productivo	1156049,0	1189284,1	14400	17,4	149	8
17	Manantial	Productivo	1156061,6	1189706,8	21400	18,2	64	7,4
18	Aguas de Infiltración túnel actual	Productivo	1153943,0	1191263,4	1296000	22	250	8,2
19	Manantial	Productivo	1153676,7	1191545,3	720	20,5	124	6,7
20	Manantial	Productivo	1153634,3	1191557,3	720	21	185	6,9
21	Manantial	Productivo	1153581,2	1191778,9	720	21	64	7,5
22	Manantial	Productivo	1153252,6	1192009,8	1000	24	100	7,7
23	Manantial	Productivo	1153146,6	1194284,3	691	18	81	6,8
24	Manantial	Productivo	1153134,6	1194094,2	5760	18	105	7,4
25	Manantial	Productivo	1153083,7	1194046,6	5760	19,1	68	6,4
26	Manantial	Productivo	1154086,8	1193607,5	5000	17	27	6,6
28	Manantial	Productivo	1151787,7	1193834,6	2616	20	120	6,5
33	Manantial	Productivo	1149240,7	1201681,0	5760	23	286	7,8
166	Manantial	Reserva	1154551,2	1190647,4	0	17	10	8,3
181	Manantial	Reserva	1155518,6	1190869,0	0	15,3	10	7,1
182	Manantial	Reserva	1155542,4	1191020,2	0	14,6	30	7
183	Manantial	Reserva	1156455,8	1189238,8	0	21,1	101	9,1
184	Manantial	Productivo	1156514,8	1189256,4	800	18,1	85	7,6
185	Manantial	Productivo	1156494,7	1189518,4	600	16,8	125	6,7
186	Manantial	Productivo	1156429,9	1189102,1	400	16,6	128	7,1
187	Manantial	Productivo	1156819,0	1189113,1	300	18,9	252	7,4
188	Manantial	Reserva	1157035,9	1189323,0	0	18	151	6,7
189	Manantial	Productivo	1157060,0	1189290,3	200	17,9	136	7
190	Manantial	Productivo	1157087,2	1189088,1	400	18,3	170	6,4
191	Manantial	Reserva	1157112,2	1188733,0	0	21,4	221	6,2
192	Manantial	Productivo	1157352,8	1188658,3	2000	20,7	377	6,1
193	Manantial	Productivo	1157279,7	1188595,9	200	21,5	178	6,6

Id	Tipo captacion	Condición del punto	Cordenadas Magna Sirga Origen Oeste		Caudal de explotación (l/día)	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	pH
			Este	Norte				
194	Manantial	Reserva	1156141,2	1188881,7	0	16,9	151	7,2
195	Manantial	Reserva	1156254,1	1188732,8	0	18,9	72	6,6
196	Manantial	Productivo	1156624,8	1188339,4	250	17,5	142	7,3
197	Manantial	Reserva	1156666,1	1188637,6	0	16,8	138	6,9
198	Manantial	Reserva	1156880,5	1188414,4	0	18,5	207	6,7
199	Manantial	Reserva	1156922,3	1188205,6	0	18,4	188	6,7
200	Manantial	Reserva	1157108,3	1188195,3	0	18,6	322	6,8
167	Manantial	Abandonado	1150001,7	1196884,0	1	22,1	177	7,8
168	Manantial	Reserva	1152610,3	1191526,8	100	18,4	76	6,5
169	Manantial	Reserva	1150391,5	1196158,2	50	22	98	7,5
170	Manantial	Productivo	1150205,8	1197375,9	100	21,1	218	8,4
171	Manantial	Reserva	1154541,3	1191586,0	0	16,8	57	7,9
172	Manantial	Reserva	1154221,1	1191714,5	0	17,6	14	6,5
173	Manantial	Reserva	1154629,7	1191826,7	0	18,8	24	6,1
174	Manantial	Reserva	1154779,5	1191096,1	0	16,1	19	6,7
175	Manantial	Reserva	1154751,9	1191132,0	0	16,9	23	6,2
176	Manantial	Reserva	1154829,7	1191037,4	0	17,1	17	6,2
177	Manantial	Reserva	1155665,5	1189870,8	0	17,5	47	5,9
178	Manantial	Reserva	1155471,4	1190447,7	0	16,1	60	6,6
179	Manantial	Abandonado	1156031,8	1190218,1	0	16	321	6,4
180	Manantial	Productivo	1156121,2	1188364,9	100	17,4	122	6

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Para el área del túnel (unidad funcional 3) se tienen 42 puntos de ocurrencia de agua subterránea, 41 manantiales y el punto de aguas de infiltración del túnel actual. (Ver Tabla 5-90 y Figura 5-140)

Figura 5-140 Distribución espacial del inventario de puntos de agua en el área del túnel



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Tabla 5-90 Puntos de agua subterránea inventariados para el área del túnel.

id	Tipo captación	Condición del punto	Cordenadas Magna Sirgas Origen Oeste		Caudal de explotación (l/día)	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	pH
			Este	Este				
13	Manantial	Productivo	1155595,3	1188955,0	86400	14,6	31	6,5
14 (F2)	Manantial	Productivo	1155988,1	1188146,6	17280	17,7	125	7
15	Manantial	Productivo	1156112,5	1189295,1	6650	16,7	113	7,7
16	Manantial	Productivo	1156049,0	1189284,1	14400	17,4	149	8
17 (F5)	Manantial	Productivo	1156061,6	1189706,8	21400	18,2	64	7,4
18 (M6)	Aguas de Infiltración túnel actual	Productivo	1153943,0	1191263,4	1296000	22	250	8,2
19	Manantial	Productivo	1153676,7	1191545,3	720	20,5	124	6,7
20	Manantial	Productivo	1153634,3	1191557,3	720	21	185	6,9
21	Manantial	Productivo	1153581,2	1191778,9	720	21	64	7,5
22	Manantial	Productivo	1153252,6	1192009,8	1000	24	100	7,7
166	Manantial	Reserva	1154551,2	1190647,4	0	17	10	8,25
181	Manantial	Reserva	1155518,6	1190869,0	0	15,3	10	7,14
182	Manantial	Reserva	1155542,4	1191020,2	0	14,6	30	6,97
183	Manantial	Reserva	1156455,8	1189238,8	0	21,1	101	9,12
184	Manantial	Productivo	1156514,8	1189256,4	800	18,1	85	7,61
185	Manantial	Productivo	1156494,7	1189518,4	600	16,8	125	6,73
186	Manantial	Productivo	1156429,9	1189102,1	400	16,6	128	7,13
187	Manantial	Productivo	1156819,0	1189113,1	300	18,9	252	7,4
188	Manantial	Reserva	1157035,9	1189323,0	0	18	151	6,72
189	Manantial	Productivo	1157060,0	1189290,3	200	17,9	136	6,96
190	Manantial	Productivo	1157087,2	1189088,1	400	18,3	170	6,39
191	Manantial	Reserva	1157112,2	1188733,0	0	21,4	221	6,2
192	Manantial	Productivo	1157352,8	1188658,3	2000	20,7	377	6,13
193	Manantial	Productivo	1157279,7	1188595,9	200	21,5	178	6,56
194	Manantial	Reserva	1156141,2	1188881,7	0	16,9	151	7,17
195	Manantial	Reserva	1156254,1	1188732,8	0	18,9	72	6,63
196	Manantial	Productivo	1156624,8	1188339,4	250	17,5	142	7,27
197	Manantial	Reserva	1156666,1	1188637,6	0	16,8	138	6,87
198	Manantial	Reserva	1156880,5	1188414,4	0	18,5	207	6,73
199	Manantial	Reserva	1156922,3	1188205,6	0	18,4	188	6,71
200	Manantial	Reserva	1157108,3	1188195,3	0	18,6	322	6,79
168	Manantial	Reserva	1152610,3	1191526,8	100	18,4	76	6,54
171	Manantial	Reserva	1154541,3	1191586,0	0	16,8	57	7,89
172	Manantial	Reserva	1154221,1	1191714,5	0	17,6	14	6,51
173	Manantial	Reserva	1154629,7	1191826,7	0	18,8	24	6,06
174	Manantial	Reserva	1154779,5	1191096,1	0	16,1	19	6,68
175	Manantial	Reserva	1154751,9	1191132,0	0	16,9	23	6,18
176	Manantial	Reserva	1154829,7	1191037,4	0	17,1	17	6,16
177	Manantial	Reserva	1155665,5	1189870,8	0	17,5	47	5,92
178	Manantial	Reserva	1155471,4	1190447,7	0	16,1	60	6,64
179	Manantial	Abandonado	1156031,8	1190218,1	0	16	321	6,35
180	Manantial	Productivo	1156121,2	1188364,9	100	17,4	122	6

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

5.1.8.2.1 Manantiales

En el área de influencia se identificaron dieciocho (54) manantiales, cuarenta y uno (41) de estos se encuentran en el área del túnel, todos son manantiales aparentemente perennes y los caudales de producción son muy variables. (Ver Fotografía 5-140)

Fotografía 5-140 Manantial



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Las principales características físico-químicas del agua son: para todos los puntos el olor del agua es predominantemente inolora, para 53 puntos inventariados el agua se presentó inolora, mientras que uno tuvo tonalidad café. Se presentaron unidades de pH entre 6,4 y 8,3, la temperatura promedio del agua es de 22,66 °C, la conductividad eléctrica se presenta entre 27 y 667 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.1.8.2.2 Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las fuentes de agua subterránea

A continuación se analizan tres puntos monitoreados correspondientes a aguas subterráneas identificados como: F2 (Manantial) este punto corresponde al id 14 de la Tabla 5-89, F5 (Aljibe) este punto corresponde al id 17 de la Tabla 5-89 y M6 (Boca túnel de Occidente) este punto corresponde al id 18 de la Tabla 5-89, estos puntos fueron escogidos por su cercanía a la unidad funcional 3 (área del túnel) donde se requiere un mayor detalle de caracterización dadas las actividades constructivas asociadas al túnel, los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos se relacionan en la Tabla 5-91.

Tabla 5-91 Resultados de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas subterráneas

PARAMETRO	UNIDADES	F2	F5	M6 BOCATUNEL
FECHA	dd/mm/aa	21/04/2016	20/04/2016	20/04/2016
HORA	h:min	12:18	12:30	10:10
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	19	18	23
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	16,97	15,73	21,61
pH	Unidades	7,13	7,06	8,24
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	43	43	192
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	38	34	133
SOLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	<0,1	<0,1	0,1
OXIGENO DISUELTO	mg/L	6,49	3,59	6,05
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	<5	5,79	<5
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	34	31	108
BARIO	mg/L	1,1	1	1
CADMIO	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005
CALCIO TOTAL	mg/L	3,7	1,4	-
COBRE	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	53,9	197	2
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	62,9	395	2
CROMO TOTAL	mg/L	<0,05	<0,05	<0,07
DBO ₅	mg/L	3	4	4
DQO	mg/L O ₂	<5	<5	<5
DUREZA CALCICA	mg/L CaCO ₃	13	17,5	62
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	18,5	20	85
FOSFORO TOTAL	mg/L P	-	-	1
GRASAS Y ACEITES	mg/L	0,5	<0,52	0,6
MAGNESIO TOTAL	mg/L	1,8	1,4	-
NITROGENO TOTAL	mg/L	<2	<2	<2
NIQUEL	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1
OLOR		Acceptable		
PLATA	mg/L	0,09	0,08	0,1
PLOMO	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1
SABOR	zl	No aceptable	No aceptable	-
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	10	59	<5
SOLIDOS TOTALES	mg/L	43	87	119
TURBIEDAD	NTU	5	12	1,5
ZINC	mg/L	<0,04	<0,01	<0,0076
MERCURIO	mg/L	<0,0019	<0,0019	<0,0019
SELENIO	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009

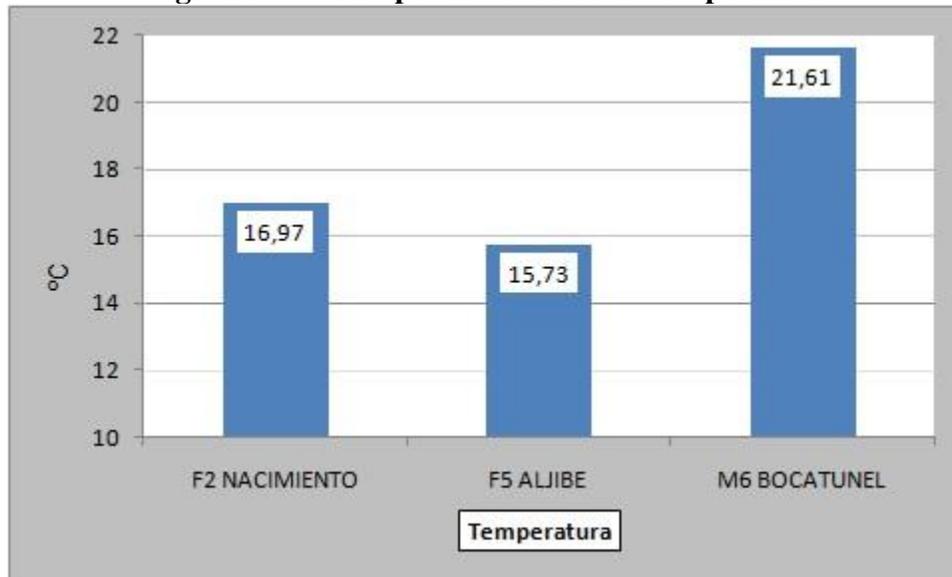
Fuente: Consultoria Colombiana S.A., 2016.

- Parámetros in situ
- Temperatura

La temperatura del agua influye en los procesos vitales para los organismos vivos y a su vez en la descomposición de la materia orgánica. Las muestras de agua subterránea analizadas, presentan una temperatura promedio de 18,1°C con una temperatura máxima de 21,61°C evidenciada en las muestras tomadas en la boca del túnel de occidente y una mínima de 15,73°C en la muestra F5, siendo consistentes con la temperatura ambiente del momento que se tomo la muestra y por consiguiente sugiriendo una buena calidad de la

misma (Ver Figura 5-141).

Figura 5-141 Comportamiento de la Temperatura



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

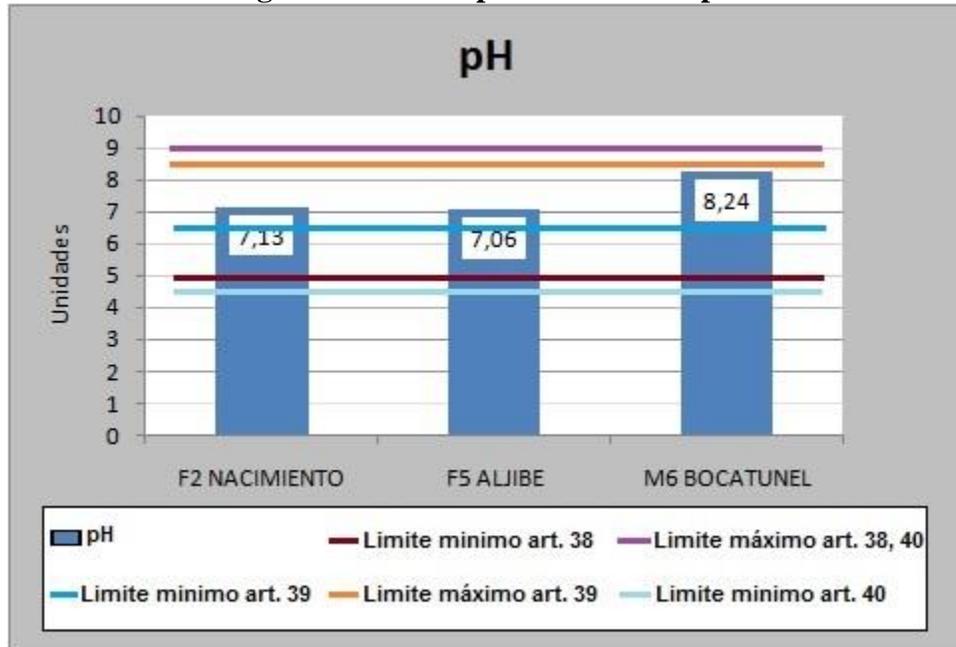
– Potencial de hidrógeno

El pH es un factor muy importante en las propiedades químicas y biológicas de las aguas naturales, ya que nos establece el grado de acidez o basicidad de las mismas.

De acuerdo a la información recolectada en el momento de recolección de las muestras el potencial de hidrogeniones reportado en el conjunto de muestras de agua subterránea objeto de estudio, registran una tendencia de valores entre neutro y alcalino, en donde el punto más alcalino con un pH de 8,24 se encuentra en el punto identificado como M6 el cual recoge las aguas infiltradas del túnel de occidente, en los demás puntos se encuentra acides neutra que se encuentra entre 7,13 y 7,06, posiblemente el resultado registrado con un carácter alcalino se relacione con la presencia de minerales en el agua.

En cuanto al cumplimiento normativo, todos los puntos cumplen con el nivel permisible de pH de acuerdo al artículo 39 Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud el cual indica que uno de los “criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y domestico” es el pH y el cual no puede sobrepasar los límites dados entre el intervalo de 6,5 y 8,5 de acidez (Ver Figura 5-142).

Figura 5-142 Comportamiento del pH



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

– Conductividad

La conductividad es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución (fundamentalmente Cloruro, Nitrato, Sulfato, Fosfatos, Sodio, Magnesio y Calcio), la cual nos permite inferir el grado de mineralización de las aguas. La Figura 5-143 evidencia que se registraron mayor concentración en el punto denominado como M6 Bocatúnel debido a la concentración de sales recogidos por las aguas en su tranposrte por la unidad geologica lo cual permite una acumulación por la mineralización de las rocas que la componen, las otras dos muestras muestran menor concentración en un intervalo parecido aunque la de menor conductividad es la muestra tomada en el punto F5.

Figura 5-143 Comportamiento de la conductividad.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

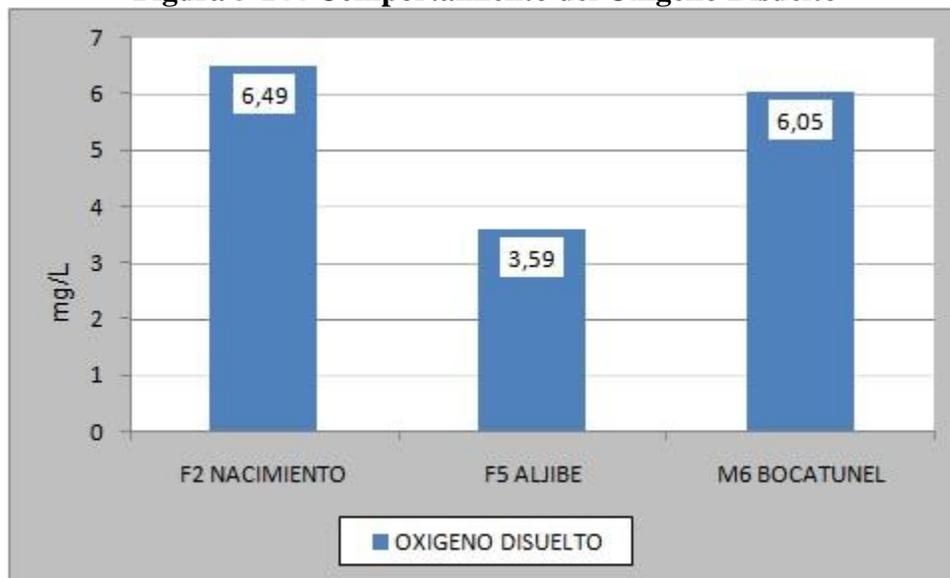
– Conductividad

La determinación del oxígeno disuelto es práctica cada vez más frecuente en los análisis químicos de agua. Su importancia deriva del hecho de su capacidad de oxidación de diferentes tipos de constituyentes que se encuentran en forma reducida y de modificar, en consecuencia, la solubilidad de los mismos. El contenido en oxígeno disuelto sirve como indicador de las condiciones bioquímicas del agua en un lugar y momento determinado.

La concentración de O₂ normal en aguas subterráneas puede llegar incluso a valores de saturación, variables en función de la presión y la temperatura (13.3 mg/l. a 10°C. 7.6 mg/l. a 30°C). Sin embargo las aguas anóxicas son frecuentes. (IGME y EPTISA, 1985).

Con referencia a los resultados obtenidos es posible decir que en general hay bajos niveles de Oxígeno lo cual es frecuente en aguas subterráneas. Con referencia a la normativa los artículos 38, 39, 40 y 41 del Decreto 1594 de 1984 no establecen límites máximos permisibles.

Figura 5-144 Comportamiento del Oxígeno Disuelto



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

- Parámetros analizados en Laboratorio vs Normatividad

De acuerdo a la normatividad vigente en el Decreto 1594/84 a continuación en la Tabla 5-92 se presentan los parámetros de las tres muestras tomadas, 1 tomada en el nacimiento nombrado como F2 y 1 en el punto F5.

Tabla 5-92 Parámetros analizados en el laboratorio.

PARAMETRO	UNIDADES	F2	F5	M6 BOCATUNEL	Límites Normativos Decreto 1594/84				Cumplimiento
					Art.38	Art.39	Art.40	Art.41	
ACIDEZ TOTAL	mg/L CaCO ₃	<5	5,79	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	34	31	108	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
BARIO	mg/L	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	N.E.	No Cumple
CADMIO	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,01	0,01	0,01	0,05	Cumplen
CALCIO TOTAL	mg/L	3,7	1,4	-	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
COBRE	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	1,0	1,0	0,2	0,5	Cumplen
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	53,9	197	2	2000	N.E.	1000	N.E.	Cumplen
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	62,9	395	2	20000	1000	5000	N.E.	Cumplen
CROMO TOTAL	mg/L	<0,05	<0,05	<0,07	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DBO5	mg/L	3	4	4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg/L O ₂	<5	<5	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA CALCICA	mg/L CaCO ₃	13	17,5	62	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DUREZA TOTAL	mg/L CaCO ₃	18,5	20	85	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
FOSFORO TOTAL	mg/L P	-	-	1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
GRASAS Y	mg/L	0,5	<0,52	0,6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

PARAMETRO	UNIDADES	F2	F5	M6 BOCATU	Limites Normativos Decreto 1594/84				Cumplimiento
ACEITES									
MAGNESIO TOTAL	mg/L	1,8	1,4	-	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
NITROGENO TOTAL	mg/L	<2	<2	<2	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
NIQUEL	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	0,2	N.E.	Cumplen
OLOR		Aceptable	No aceptable	-	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
PLATA	mg/L	0,09	0,08	0,1	0,05	0,05	N.E.	N.E.	No Cumple
PLOMO	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,05	0,05	5,0	0,1	No Determinado
SABOR	zl	No aceptable	No aceptable	-	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	10	59	<5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
SOLIDOS TOTALES	mg/L	43	87	119	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
TURBIEDAD	NTU	5	12	1,5	N.E.	190	N.E.	N.E.	Cumplen
ZINC	mg/L	<0,04	<0,01	<0,0076	15	15	2,0	25	Cumplen
MERCURIO	mg/L	<0,0019	<0,0019	<0,0019	0,002	0,002	N.E.	0,01	Cumplen
SELENIO	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,01	0,01	0,02	N.E.	Cumplen

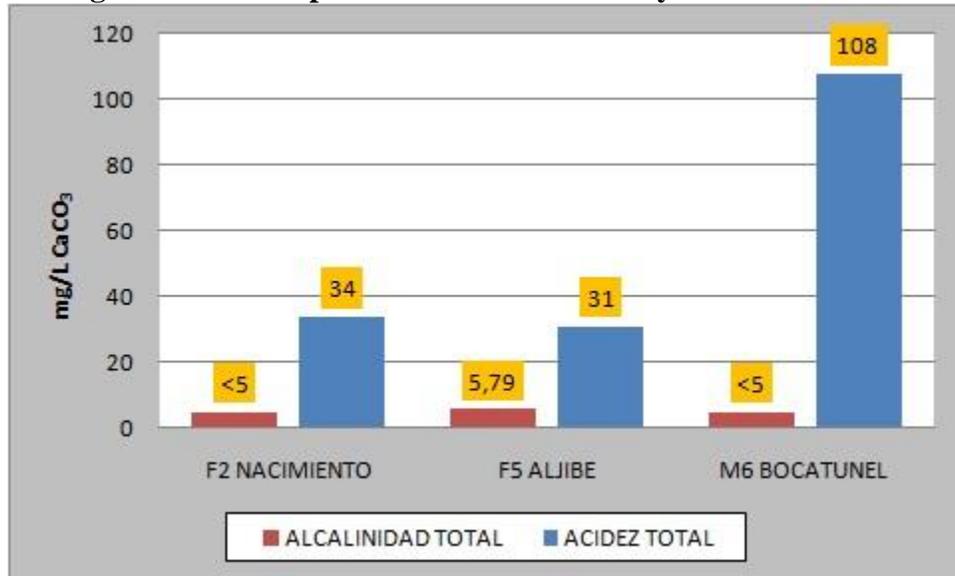
N.E. = No Establecido

En los puntos de agua subterránea monitoreados no se halló presencia de compuestos de interés sanitario como arsénico, molibdeno, cobalto, zinc, plomo, mercurio, estroncio, cromo y cobre, ya que se presentan en concentraciones por debajo de lo establecido en las normas de calidad evaluadas, cumpliendo con los límites permisibles de la reglamentación vigente establecida en la Resolución 2115/07 y el Decreto 1594/84. Se presenta afectación puntual al agua por la presencia de bario y plata con excedentes muy ligeros lo cual y puede deberse a fenómenos muy locales.

– Acidez, Alcalinidad, Bicarbonatos:

Los valores obtenidos en los parámetros de alcalinidad y acidez indican que las aguas de todos los puntos F2, F5 y las aguas de boca del túnel ya construido presentan una alcalinidad diferente los puntos denominados “F2 Nacimiento” y “M6 Bocatunel” tienen la misma alcalinidad con un <5 mg/L CaCO₃ con un ligero aumento en el punto denominado “F5”, la acidez total se encuentra en un promedio bajo en los puntos de nacimientos, pero en el punto de bocatunel si se encuentra muy alto, posiblemente por la acumulación de minerales de las unidades que captan dichas aguas (ver Figura 5-145).

Figura 5-145 Comportamiento de la Acidez y alcalinidad total.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

– Dureza Cálctica y Dureza Total

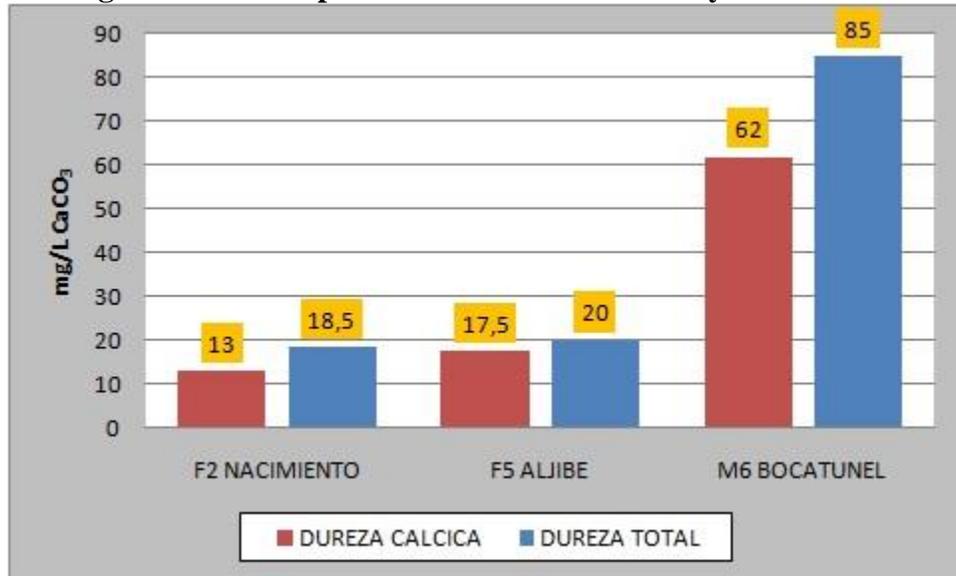
La dureza total se define como la cantidad de sales de elementos alcalini-terreos (Berilo, Magnesio, Calcio, Estroncio, Bario y Radio) que se encuentran presentes en el agua y que normalmente se asocia a la formación de incrustaciones calcáreas. Si bien el concepto de dureza incluye diversos elementos, en la práctica, la dureza de un agua se corresponde únicamente con la cantidad de calcio y magnesio existentes.

En lo que respecta a los resultados obtenidos es posible decir que el punto denominado “M6 Bocatunel” registró las mayores concentraciones de Dureza Total y Cálctica, posteriormente se encuentran las concentraciones registradas en los otros dos puntos. Lo anterior permite inferir que las aguas del túnel son consideradas como duras y muy duras lo cual es asociado directamente con los contenidos de Calcio y Magnesio.

Es importante decir que la dureza de las aguas subterráneas naturales varía generalmente entre 10 y 300 mg/L de CaCO₃, pudiendo llegar a 2000 o más. (IGME y EPTISA, 1985)

Con referencia a la normativa el Decreto 1594 de 1984 no establece límites máximos permisibles para estos parámetros.

Figura 5-146 Comportamiento Dureza Calcica y Dureza total



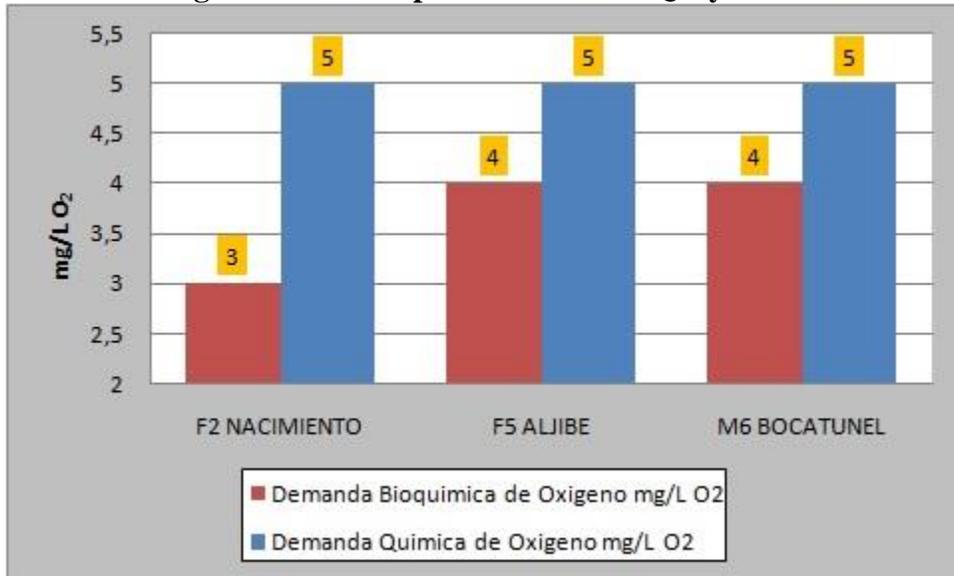
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

– DBO y DQO

Los parámetros DBO y DQO han sido ampliamente utilizados para caracterizar la carga contaminante. Las aguas naturales sin contaminar presentan concentraciones de materia orgánica muy bajas. La contaminación por materia orgánica tiene en general tres orígenes: doméstico/urbano, agrícola e industrial. Se puede hacer una subdivisión de la materia orgánica de un agua en biodegradable y no biodegradable. (Gobierno de Navarra, 2012).

Con referencia a los resultados obtenidos es posible afirmar que el parámetro DQO tuvo un comportamiento similar entre los 3 puntos evaluados. Por otra parte el parámetro DBO registro un comportamiento similar en donde solo se vio el decesnsos de 1 mg/L de O₂ en el punto de muestreo denominado “F2” y los otros dos puntos tiene un comportamiento igual como se puede observar en la Figura 5-147.

Figura 5-147 Comportamiento de DQO y DBO



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

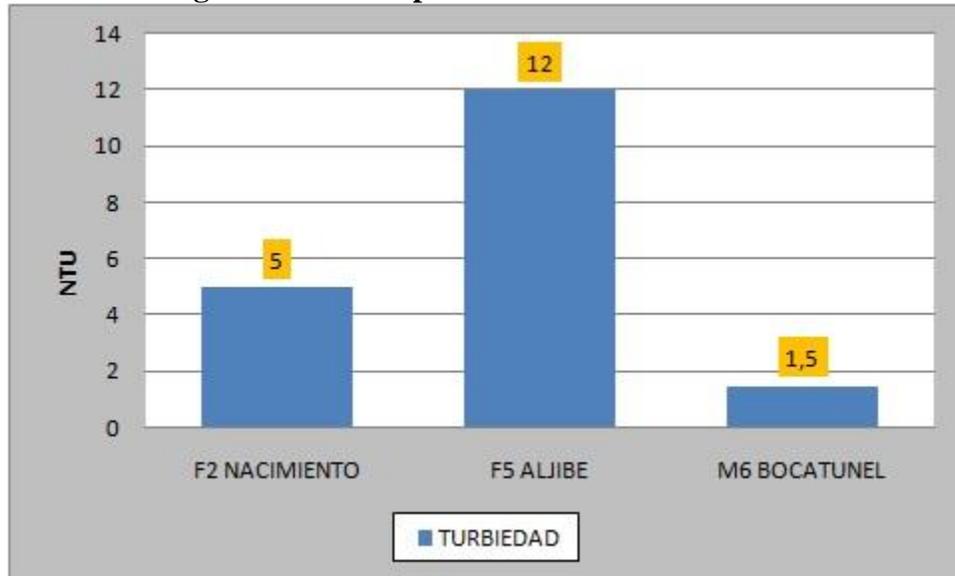
– Turbiedad y Color Verdadero

La turbidez de una muestra de agua, es una medida de la pérdida de su transparencia ocasionado por el material particulado o en suspensión contenida en el agua.

Con referencia a los resultados obtenidos en la Figura 5-148 se puede evidenciar que el punto denominado “F5 Aljibe” se registró el nivel más alto, lo cual es asociado con el contenido de solidos suspendidos.

En lo que respecta al Decreto 1594 de 1984 el artículo 39 establece un límite máximo permisible para este parámetro de 10 UJT lo cual es equivalente a 190 NTU. En este sentido las unidades de Turbiedad reportadas en los tres puntos de monitoreo cumplen satisfactoriamente con lo dispuesto en dicha normativa.

Figura 5-148 Comportamiento de la Turbiedad



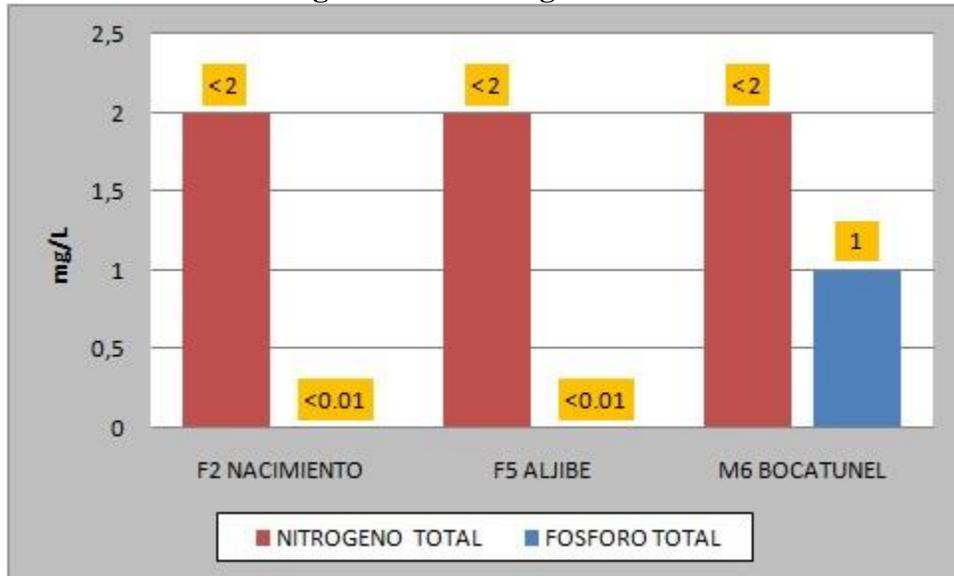
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

– Nitrógeno Total

El Nitrógeno es un indicador relevante en los estudios medioambientales, debido a la importancia que este tiene en los procesos de tratamiento, en el control de la calidad de las aguas y de las descargas de las aguas residuales al medio. Los nutrientes como los compuestos nitrogenados (Nitrógeno Amoniacal, Nitratos y Nitritos) que provienen de la degradación de la materia muerta, junto con el fósforo son esenciales en el metabolismo de las especies tanto vegetales como animales. En aguas subterráneas las fuentes son diversas como lixiviación, escorrentía, infiltración y uso de fertilizantes.

En la Figura 5-149 se identifican las concentraciones de los parámetros de Nitrógeno Total y Fosforo Total, en el parámetro de Nitrógeno total se ven valores inferiores a 2 mg/L, y en el parámetro de Fosforo Total se encuentran valores inferiores al límite de detección en los puntos identificados como “F1 y F5” en el punto llamado “F5 Bocatúnel” o cuantificación de la técnica de análisis empleada por el laboratorio. En lo que respecta a la normativa el Decreto 1594 de 1984 no establece límites máximos permisibles para este parámetro.

Figura 5-149 Nitrógeno Total



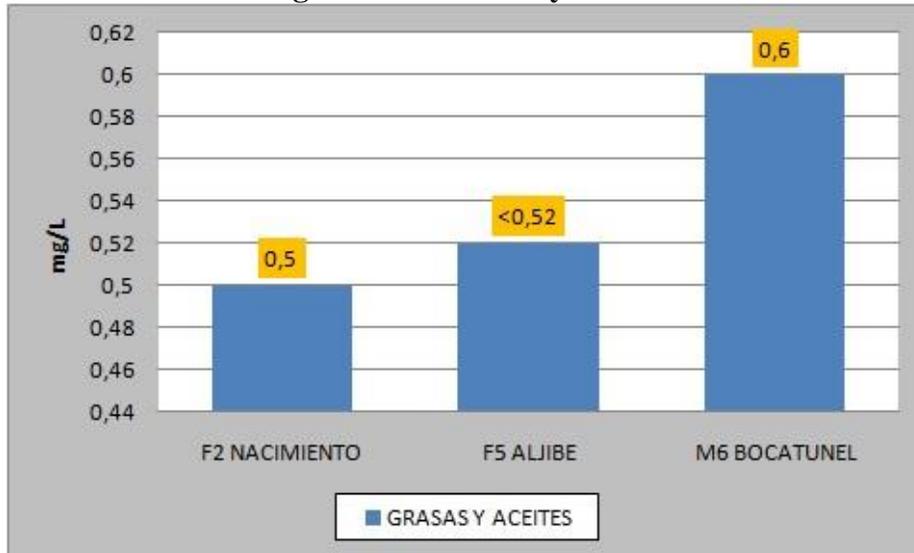
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

– Grasas y Aceites

Las Grasas y aceites son considerados como compuestos orgánicos que pueden ser aportados a los cuerpos de agua por desechos y descomposición de seres vivos. De igual manera pueden llegar a las fuentes naturales de agua por vertimientos industriales.

En la Figura 5-150 se puede ver que el parámetro de Grasas y Aceites registraron concentraciones muy bajas, que se encuentran en valores inferiores a 0.6 mg/L. En lo que respecta a la normativa el Decreto 1594 de 1984 no establece un límite máximo permisible para el parámetro Grasas y Aceites.

Figura 5-150 Grasas y Aceites



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

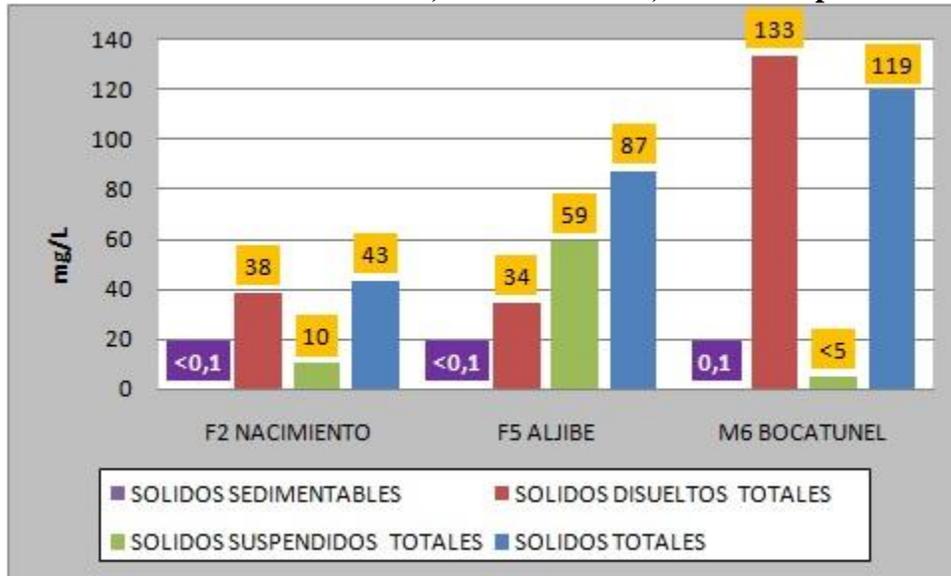
– Sólidos

Con relación a los sólidos presentes en los tres puntos de monitoreo se establece que la totalidad de los mismos estuvo determinada principalmente por los sólidos disueltos asociados a la cantidad de sales inorgánicas (principalmente de Calcio, Magnesio, Bicarbonatos, Cloruros y Sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que puedan estar presentes en los puntos de muestreo. Se considera generalmente que, con concentraciones del total de sólidos disueltos en el rango 50 a 600 mg/litro, el agua tiene un sabor agradable, que se deteriora progresivamente cuando la concentración sobrepasa los 1000 mg/litro con un límite superior de 1500 mg/litro. (Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2008). El Decreto 1594 de 1984 en el artículo 41 establece un límite máximo permisible para el contenido de sales de 3000 (Peso Total), teniendo en cuenta este criterio es posible decir que los tres puntos de monitoreo cumplen a cabalidad con lo establecido.

En lo que respecta a los parámetros Sólidos Sedimentables y Sólidos Suspendedos se registraron concentraciones muy bajas menores al límite de detección para 2 puntos los identificados como “F2” y “M6 Bocatunel” en la cuantificación de la técnica de análisis empleada por el laboratorio. Con referencia a la normativa el Decreto 1594 de 1984 no establece límites máximos permisibles para estos parámetros.

A continuación se ilustra el comportamiento de cada sólido en los sitios de muestreo evaluado, donde es notorio que el punto denominado “M6 Bocatunel” registró las mayores concentraciones, posterior a este punto se encontraron las concentraciones del punto “F5” y finalmente el punto “F2” registró las concentraciones más bajas (ver Figura 5-151)

Figura 5-151 Sólidos Disueltos totales, Sólidos Totales, Sólidos suspendidos Totales



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

- Parámetros Microbiológicos

El análisis bacteriológico es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación de agua, el ensayo se basa en que todas las aguas contaminadas por aguas residuales son potencialmente peligrosas, por tanto en control sanitario se realiza para determinar la presencia de contaminación fecal. La determinación de la presencia del grupo Coliformes se constituye en un indicio de polución así como la eficiencia y la purificación y potabilidad del agua. (Roldán, 2003)

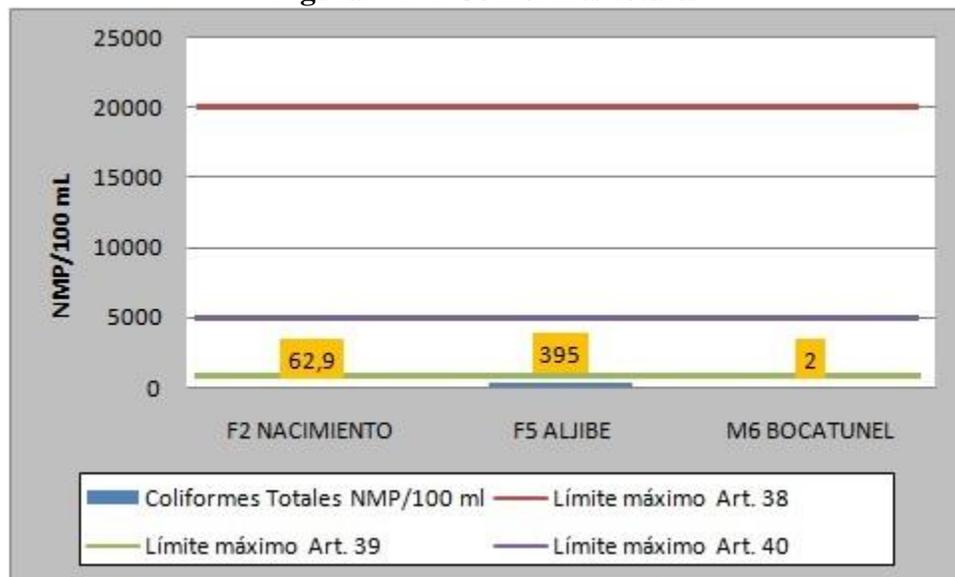
- Coliformes Totales

Los coliformes totales, son bacilos Gram negativos, que crecen entre los 35 y 37°C presencia de sales biliares y en 24 horas fermentan lactosa produciendo ácido y gas. En este grupo se incluyen *Escherichia coli* y miembros de los géneros *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. Sin embargo, bajo estas condiciones pueden aislarse especies de estos géneros no relacionados con materia fecal, por lo que se requiere otros indicadores más específicos. (Hernández, 2002).

En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como un alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución.

Con referencia a los resultados obtenidos (ver Figura 5-152) se evidencia un comportamiento heterogéneo de este parámetro donde las concentraciones mas altas se encuentran en el punto identificado como “F5” (395 NMP/100ml), el punto que le sigue en escala decedente es el identificado como “F2” (62,9 NMP/100ml) y por ultimo el punto “M6 Bocatunel” (2 NMP/100ml). Es importante decir que teniendo en cuenta los datos de Coliformes Fecales se infiere que la totalidad de las Coliformes proviene del suelo y no por origen fecal. En lo que respecta a la normativa se registra cumplimiento a cabalidad de los artículos 38,39 y 40 del Decreto 1594 de 1984.

Figura 5-152 Coliformes totales



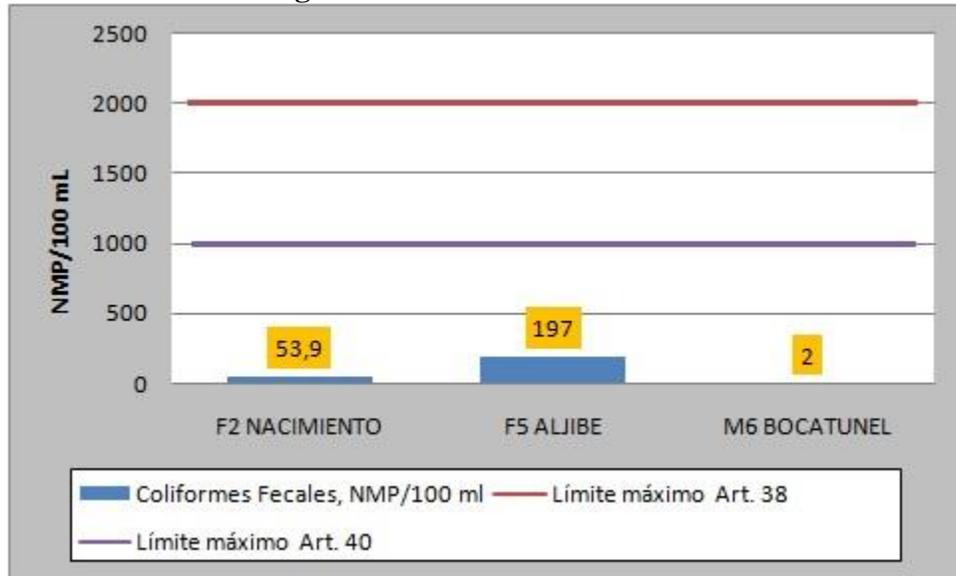
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

– Coliformes Fecales

Las Coliformes fecales o Coliformes termotolerantes presentan las mismas características anteriores, sin embargo son capaces de reproducirse a temperaturas entre 44°C y 44.5°C. En este grupo la principal bacteria que representa la meta de identificación es *Escherichia coli*, sin embargo bajo estas condiciones también se pueden cultivar algunas especies de los géneros indicados previamente (*Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*) (Hernández, 2002).

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5-153, en donde se identifica que los puntos con mas altas concentraciones de coliformes fecales son los del punto identificado como “F5” seguido por el punto “F2” y “M6 Bocatunel, con el nivel mas bajo de coliformes fecales detectados. Es importante decir que aunque el punto “F5” tiene el nivel mas alto de coliformes fecales los resultados infieren que la totalidad de los Coliformes proviene del suelo y no por origen fecal. En lo que respecta a la normativa se registra cumplimiento a cabalidad de los artículos 38 y 40 del Decreto 1594 de 1984.

Figura 5-153 Coliformes Fecales



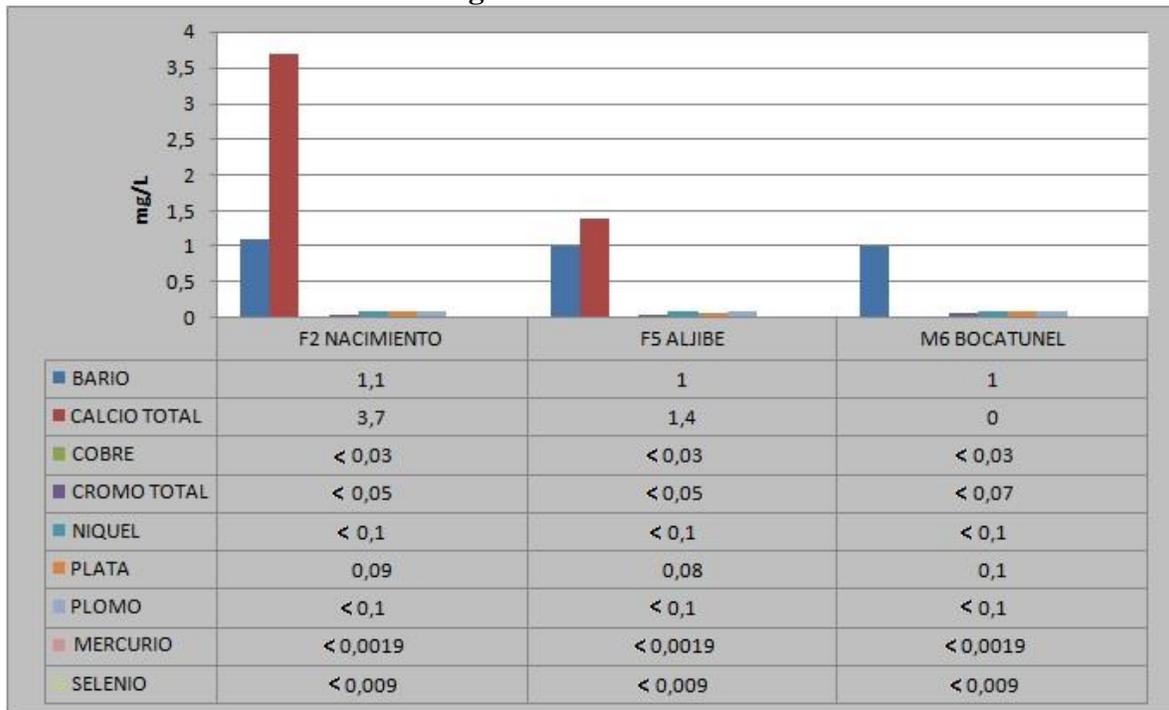
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

- Metales

Las concentraciones de cobre, cromo níquel, plomo mercurio y selenio reportaron el límite de detección o cuantificación de la técnica analítica empleada por el laboratorio en los tres puntos de muestreo, se identifican concentraciones altas de Calcio en el punto identificado como “F2” y valores promedio en Bario.

En cuanto al cumplimiento normativo los valores son sobrepasados en el parámetro de concentración de Plata en los tres puntos monitoreados y los límites también son sobrepasados en el parámetro de concentración de Bario en los tres puntos monitoreados específicamente en los límites dados en el artículo 40 el cual trata de “los criterios admisibles para la destinación del recurso agrícola”, en cuanto a los demás valores se cumplen los límites estipulados en los artículos 38, 39, 40 y 41 establecidos en el Decreto 1594 de 1984.

Figura 5-154 Metales.



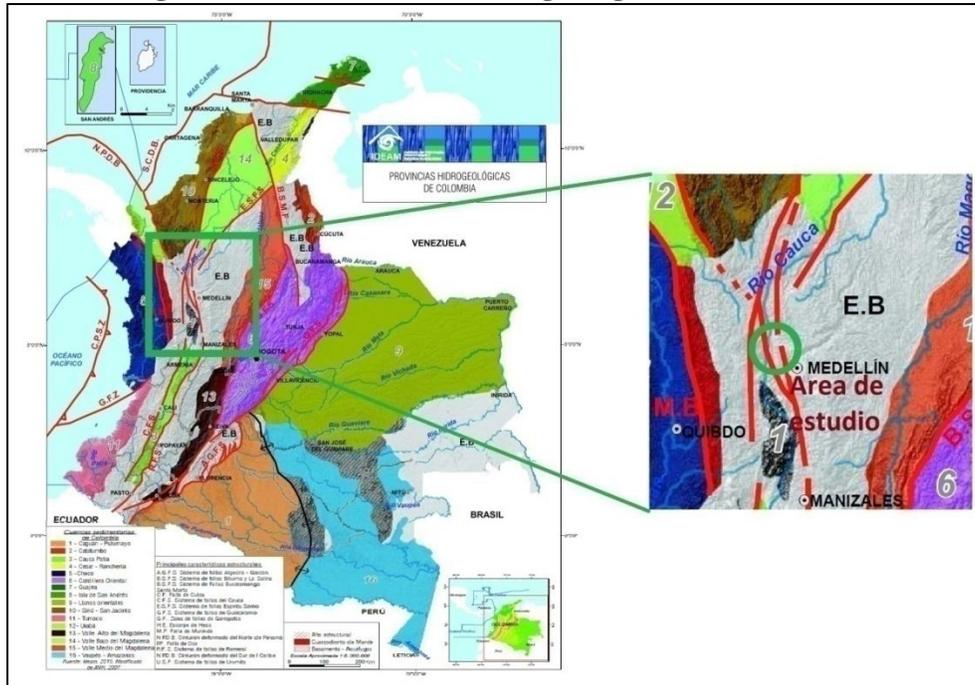
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Se intentaron generar diagramas de Piper y Stiff, pero no se obtuvieron parámetros de Na, K, HCO₃, CO₂, confiables de donde se pudieran generar interpretaciones confiables, sin embargo se plantea como medida de seguimiento y monitoreo realizar análisis fisicoquímicos que involucren porcentajes de Na, K, HCO₃, CO₂, F, Cl, BR, SO₄, PO₄, NO₃, NO₂, SiO₂, Fe, Mn, Sr, Li, Al y NH₄.

5.1.8.3 Unidades Hidrogeológicas

El país se encuentra subdividido por provincias hidrogeológicas las cuales corresponden a unidades mayores referidas a escalas menores las cuales fueron definidas con base en las unidades tectonoestratigráficas separadas entre sí por rasgos estructurales regionales como fallas y altos estructurales, en su división también se tiene en cuenta la homogeneidad geomorfológica, en este sentido el área de estudio se encuentra localizada en una área descrita por el “estudio Nacional del Agua” realizado por el IDEAM como barreras impermeables ya que se trata de macizos de rocas cristalinas a altos estructurales que afectan la continuidad de las unidades regionales ubicadas en las cuencas sedimentarias del país las cuales tienen unidades con porosidad primaria y conductividad intergranular principalmente donde se encuentran rocas sedimentarias, característica que no se encuentra en las rocas ígneas y metamórficas. (Ver Figura 5-155)

Figura 5-155 Provincias Hidrogeológicas de Colombia.



Fuente: Modificado de IDEAM (2010). Estudio Nacional de Agua.

Para la elaboración de la cartografía hidrogeológica, caracterización de las unidades, y valoración del potencial hidrogeológico de las unidades geológicas se siguieron los lineamientos propuestos en los estándares internacionales, en este sentido se adopta la nomenclatura de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) “Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos” (UNESCO, International Legend for Hydrogeological Maps, 1983). La leyenda se basa en la asignación de categorías hidrogeológicas con base en el potencial de rocas y sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea, en función de la composición, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad litológica evaluada.

En el área de influencia de las unidades funcionales 1 y 3 se encuentran depósitos edad Cuaternario y Complejos Ígneo-metamórficos con edades que van desde el Paleozoico hasta el Cretácico, y la Formación Amagá (miembro superior) unidad sedimentaria de edad Neógeno, de las unidades litológicas presentes se encuentran aflorando en mayor extensión las rocas asociadas a los complejos Ígneo-metamórficos. Estas rocas y sedimentos con diferentes propiedades litológicas, pueden conformar acuíferos por porosidad primaria (Depósitos de edad Cuaternario) y acuitardos con limitados recursos de agua subterránea (Complejos Ígneo-metamórficos).

Teniendo en cuenta las unidades litológicas identificadas en este estudio se realizó la correlación teniendo en cuenta su permeabilidad y capacidad específica promedio, e este sentido se presentan las unidades hidrogeológicas para el área de influencia de las unidades

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

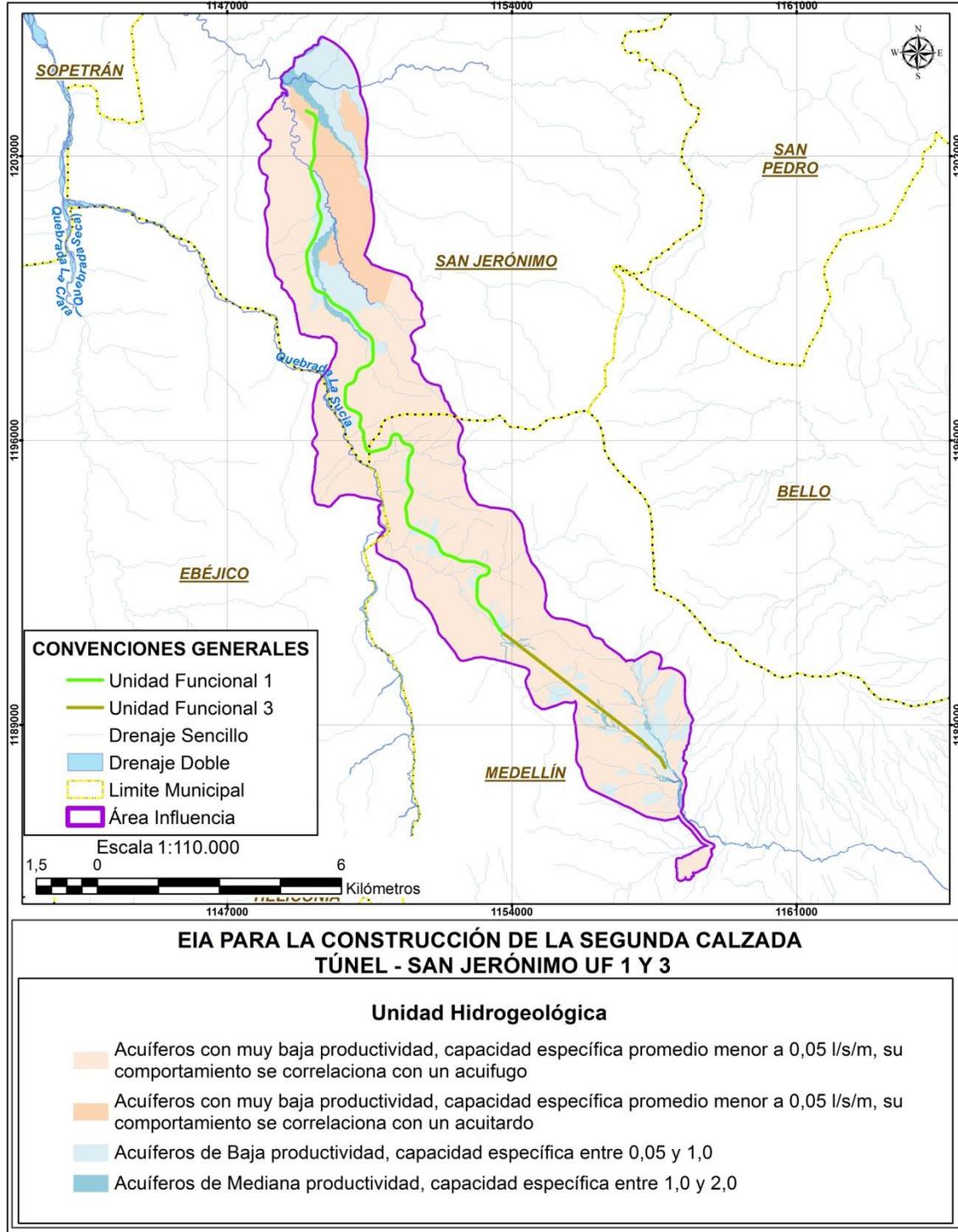
funcionales 1 y 3 (Tabla 5-93).

Tabla 5-93 Unidades Hidrogeológicas presentes en el área de influencia

Sistemas acuíferos presentes en el área de influencia		
Sistema de Acuífero	Características de los Acuíferos	Unidades Hidrogeológicas
Sedimentos y rocas con flujo intergranular		
Acuíferos de Mediana productividad, capacidad específica entre 1,0 y 2,0 l/s/m	Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, conformados por sedimentos Cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial y aluvial, acuíferos de tipo libre y confinado con aguas recomendables para cualquier uso.	Depósitos aluviales (Qal)
Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Sistemas de acuíferos discontinuos de extensión semiregional a local, conformados por sedimentos Cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial, continental y litoral, son acuíferos de tipo libre a semiconfinado. Almacena aguas dulces que requieren tratamientos para algunos usos.	Lleno antrópico (Qll)
		Depósitos Coluvioaluviales (Qcal)
		Depósitos de derrubio (Qd)
Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea (basamento hidrogeológico)		
Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona con un acuitardo	Rocas conformadas por Areniscas bien cementadas, color crema arcillas pizarrosas gris verdosas y ocre. Localmente bancos delgados de conglomerados y carbón. Oligoceno tardío – Mioceno Temprano; se comportan como acuitardos.	Miembro Superior, Formación Amaga (Ngas)
Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona con un acuífugo	Complejo de rocas ígneas, metamórficas y volcánicas de edad Cretácica, Jurásica, Paleozoica y Proterozoica son rocas con limitados recursos hídricos, muy compactas y en ocasiones fracturadas; se comportan principalmente como acuífugos.	Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica (Kdha-Kdhh)
		Diorita de Altavista (Kida)
		Formación Qebradagrande Miembro volcánico (KvQG)
		Gabros de Romeral (Jgr)
		Grupo Ayurá Montebello (Pes- Pev)
		Granito néisico de Palmitas (Pgnp)

A continuación se describen las principales características de los sistemas acuíferos identificados en el área de influencia, siguiendo la valoración de las unidades desde su capacidad para almacenar agua subterránea, según la metodología desarrollada por AIH (Asociación Internacional de Hidrogeólogos). Las rocas de origen metamórfico e ígneo, tanto plutónico como volcánico, se agruparon en macizos hidrogeológicos, cuya permeabilidad secundaria está determinada por procesos de fracturación. (Ver Figura 5-156)

Figura 5-156 Distribución espacial de las unidades hidrogeológicas en el área de influencia



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.1		

De acuerdo con la clasificación de las unidades roca frente al comportamiento hidrogeológico, se consideran los siguientes tipos:

5.1.8.3.1 Acuíferos

Unidad hidrogeológica que permite el almacenamiento y circulación del agua dadas sus condiciones de permeabilidad suficientes para generar acumulaciones significativas del recurso hídrico, los acuíferos más comunes son las arenas y gravas (materiales no consolidados), pero rocas sedimentarias permeables tales como las Areniscas, Calizas, rocas cristalinas áltamente fracturadas y volcánicas intensamente meteorizadas o fracturadas también pueden ser clasificadas como acuíferos, en el área de estudio se presentan unidades acuíferas en los depósitos Cuaternarios, representan el 16,4% del área de estudio. Se encuentra en las unidades; Depósitos aluviales (Qal), Lleno antrópico (Qll), Depósitos Coluvioaluviales (Qcal) y Depósitos de derrubio (Qd).

5.1.8.3.2 Acuicludos

Unidad geológica que conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos arcillosos de cualquier origen. En el área de influencia no se encontró unidades con estas características pero algunas intercalaciones arcillosas de las unidades cartografiadas deben constituir acuicludos locales.

5.1.8.3.3 Acuitardos

Unidad geológica que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante. En el área de influencia estos están constituidos por el Miembro Superior de la Formación Amaga (Ngas), representan el 6% con 158,33 ha.

5.1.8.3.4 Acuífugos

Son aquellas unidades geológicas que no contienen o contienen cantidades irrelevantes del recurso hídrico en sus fracturas, no la pueden transmitir o la transmiten muy lentamente, como por ejemplo un macizo granítico o rocas metamórficas sin meteorización ni y con fracturación muy leve, estas se consideran unidades impermeables. Con un 77,8% ocupa la mayor proporción de área en el área de influencia, constituido por las unidades Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica (Kdha-Kdhb), Diorita de Altavista (Kida), Formación Quebradagrande -Miembro volcánico (KvQG), Gabros de Romeral (Jgr), Grupo Ayurá Montebello (Pes- Pev) y Granito néisico de Palmitas (Pgnp).

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

A continuación se relacionan las áreas y los porcentajes de ocupación en el Área de Influencia. (Ver Tabla 5-94)

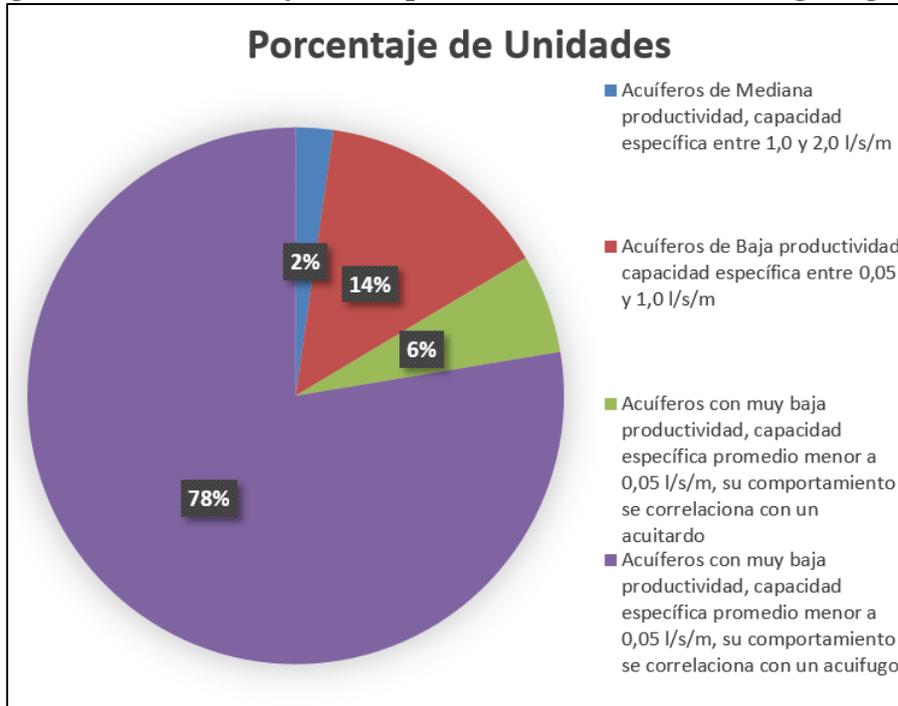
Tabla 5-94 Relación de áreas de las unidades hidrogeológicas para el área de influencia

Sistema de Acuífero	Unidades Hidrogeológicas	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Sedimentos y rocas con flujo intergranular					
Acuíferos de Mediana productividad, capacidad específica entre 1,0 y 2,0 l/s/m	Depósitos aluviales (Qal)	161,63	2,3%	161,63	2,3%
Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Lleno antrópico (Qll)	30,43	0,73%	738,25	14,1%
	Depósitos Coluvioaluviales (Qcal)	453,06	8,5%		
	Depósitos de derrubio (Qd)	284,76	4,9%		
Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea (basamento hidrogeológico)					
Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona con un acuitardo	Miembro Superior, Formación Amaga (Ngas)	482,89	6,0%	482,89	6,0%
Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona con un acuífugo	Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica (Kdha-Kdhb)	102,65	1,2%	3973,42	77,8%
	Diorita de Altavista (Kida)	731,67	14,0%		
	Formación Qebradagrande Miembro volcánico (KvQG)	1069,30	24,0%		
	Gabros de Romeral (Jgr)	394,20	7,3%		
	Grupo Ayurá Montebello (Pes- Pev)	1122,66	21,1%		
	Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	552,91	10,0%		
Totales		5356,19	100%	5356,19	100%

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En resumen el basamento hidrogeológico son las unidades que ocupan la mayor proporción de área (83.8%); el 6% se correlaciona con los acuitardos y 77,8% con los acuífugos. Las unidades de sedimentos y flujos intergranular son el 16,4% del área, 2,3 % de los acuíferos de mediana productividad y 14,1% de los acuíferos de baja productividad. (Ver Figura 5-157)

Figura 5-157 Porcentaje de ocupación de las unidades hidrogeológicas.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Para el área del túnel (Unidad funcional 3), se realizó una caracterización hidrogeológica de mayor detalle teniendo en cuenta las actividades asociadas a la construcción del túnel, en este sentido se presenta la relación de áreas en superficie para el área de influencia del túnel. En la Tabla 5-95 se relacionan las áreas y los porcentajes de ocupación de las unidades hidrogeológicas en el Área de Influencia de la unidad funcional 3.

Tabla 5-95 Relación de áreas de las unidades hidrogeológicas para el área de influencia

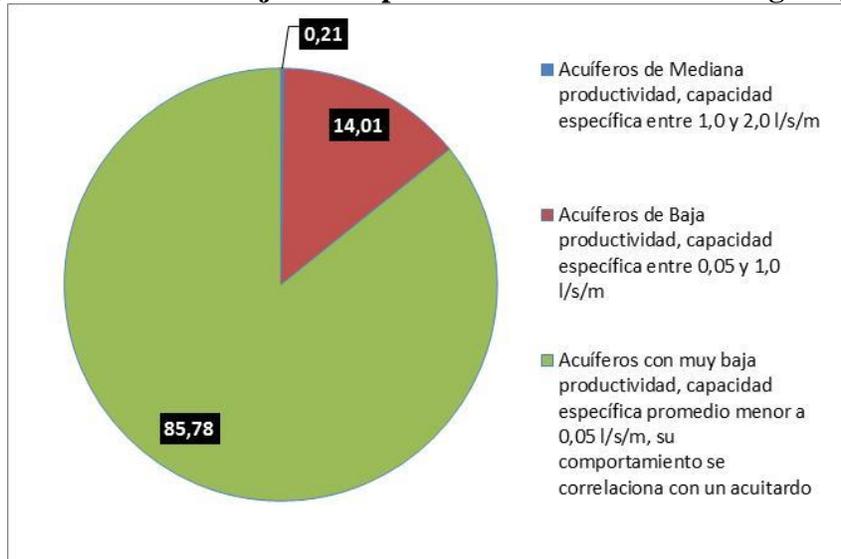
Sistema de Acuífero	Unidades Hidrogeológicas	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Sedimentos y rocas con flujo intergranular					
Acuíferos de Mediana productividad, capacidad específica promedio entre 1,0 y 2,0 l/s/m	Depósitos aluviales (Qal)	2,35	0,21	2,35	0,21
	Lleno antropico (Qll)	16,38	1,46		
Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica promedio entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Depósitos Coluvialuviales (Qcal)	31,29	2,78	157,46	14,01
	Depósitos de derrubio (Qd)	109,79	9,77		
Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea					

Sistema de Acuífero	Unidades Hidrogeológicas	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona con un acuitardo	Diorita de Altavista (Kida)	402,69	35,83	964,01	85,78
	Grupo Ayurá Montebello (Pes-Pev)	490,02	43,60		
	Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	71,30	6,34		
Totales				1123,82	100

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En resumen los acuíferos con muy baja productividad que se encuentran con una capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m en donde se encuentra la Diorita de Altavista (Kida), el Grupo Ayura Montebello (Pes-Pev) y el Granito néisico de Palmitas (Pgnp) que representan rocas con limitados recursos de agua subterránea por no poseer porosidad primaria pero poseen una porosidad secundaria, este sistema ocupa un 85,78% del total del área de sustracción, siendo el de mayor representatividad y que se puede correlacionar con acuitardos, le sigue el sistema de de acuíferos de baja productividad en donde se encuentran las unidades llamadas Lleno antrópico (Qll), Depositos Coluvioaluviales (Qcal) y los depósitos de derrubio (Qd) con un 14,01% del total del área y finalmente y con muy baja proporción las áreas de mediana productividad de depósitos aluviales (Qal) con un 0,21% del total del área (Ver Figura 5-158).

Figura 5-158 Porcentaje de ocupación de las unidades hidrogeológicas



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Se puede generar una clasificación de los sistemas acuíferos anteriormente descritos teniendo en cuenta su productividad, y capacidad específica promedio, esta clasificación se asocia a las características de permeabilidad para cada unidad litológica así:

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

- **Sedimentos y rocas con flujo intergranular**

Se definen como sedimentos y rocas con flujo intergranular a los sistemas con una porosidad que permite el flujo del recurso, por lo general se debe a su bajo grado de consolidación y el tamaño de grano.

Sistemas de acuíferos de Mediana productividad, capacidad específica entre 1,0 y 2,0 l/s/m

Estos acuíferos se encuentran representados por depósitos sedimentarios no consolidados de arenas, gravas, limos, de poco espesor, de edad Cuaternario, Pertenecientes a los Depósitos aluviales (Qal). Estos representan el 2,3% del área de influencia de la unidad Funcional 1 y 3.

El acuífero de los Depósitos aluviales (Qal) se encuentran en los valles de todos los ríos y de algunas quebradas que por su morfología permiten la acumulación de estos sedimentos, donde las pendientes de las corrientes disminuyen y contribuyen a la formación y preservación de amplias llanuras aluviales. Compuesto por gravas gruesas con intercalaciones ocasionales de grava guijosa en matriz arenosa, son acuíferos libres a semiconfinados, de extensión semiregional a regional, con capacidad específica de 1,0 a 2,0 l/s/m.

Sistemas de acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0.05 y 1,0 l/s/m

Corresponde a sistemas acuíferos discontinuos de extensión local a semiregional, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados, de ambiente fluvial, aluvial, litoral, que generalmente conforman acuíferos de tipo libre. Almacenan aguas que requiere tratamiento para algunos usos. Dentro de esta unidad acuífera se encuentran el Lleno antrópico (Qll), los Depósitos Coluvioaluviales (Qcal) y los Depósitos de derrubio (Qd). Conforman el 14.1% del área influencia de la unidad Funcional 1 y 3.

El lleno antrópico son depósitos resultantes principalmente de sobrantes de excavaciones de la construcción de la vía actual Medellín – Santa Fe de Antioquia. Son materiales de composición heterométrica y dimensiones variables, estos depósitos se localizan en un paisaje de montañas, con pendientes medias a fuertemente.

Los Depósitos Coluvio aluviales son producto de los abanicos aluviales y abanicos de terraza, los cuales conforman el piedemonte de la Cordillera Occidental, compuestos por arena gruesa, gris clara, con 10% de bloques angulares de composición de esquistos, granitos y cuarzo.

Los Depósitos de Derrubio son depósitos de ladera de dimensiones variables asociados a movimientos en masa antiguos y recientes, principalmente sobre rocas ígneas y metamórficas y sobre la zona de alta influencia estructural del sistema de fallas San

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

Jerónimo – La Sucia.

- **Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea**

Son acuíferos con muy baja productividad, comportamiento se correlaciona al de acuitardos y acuífugos, por lo general son unidades sedimentarias de grano muy fino o complejos ígneo-metamórficos que no permiten la conductividad y carecen de propiedades permeables por su alta compactación.

Sistemas de Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor de 0,05 l/s/m, que se comportan como acuitardos

Corresponde a un complejo de rocas y sedimentos de baja permeabilidad, compuesto principalmente por arcillolitas pizarrosas, lodolitas carbonosas, arenitas muy bien cementadas, algunas capas de conglomerado del Neógeno, de ambientes fluviolacustres; se comportan como acuitardos. Está representado por los acuíferos del miembro Superior de la Formación Amaga ocupando 6% del área influencia de la unidad Funcional 1 y 3.

Sistemas de acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona con un acuífugo

Complejo de rocas ígneas, metamórficas y volcánicas de edad Cretácica, Jurásica, Paleozoica y Proterozoica son rocas con limitados recursos hídricos, muy compactas y en ocasiones fracturadas, compuesto por Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica (Kdha-Kdhb). Diorita de Altavista (Kida), Formación Qebradagrande Miembro volcánico (KvQG), Gabros de Romeral (Jgr), Grupo Ayurá Montebello (Pes- Pev) y Granito néisico de Palmitas (Pgnp).

Este sistema acuífero presenta una capacidad específica menor de 0,05 l/s/m, abarcan la mayor parte de la zona de estudio, correspondiente al 77,6% del área de influencia de la unidad Funcional 1 y 3; sus posibilidades acuíferas son muy limitadas dependen del grado de meteorización y/o fracturamiento que sufra la roca, generalmente forman parte del basamento hidrogeológico.

Para el área del túnel se generó una cartografía geológica de mayor detalle (escala 1:2000), en este sentido se realizó la asociación de unidades litológicas a unidades hidrogeológicas las cuales se relacionan a continuación, en la Tabla 5-96

Tabla 5-96 Unidades Hidrogeológicas en el área del túnel

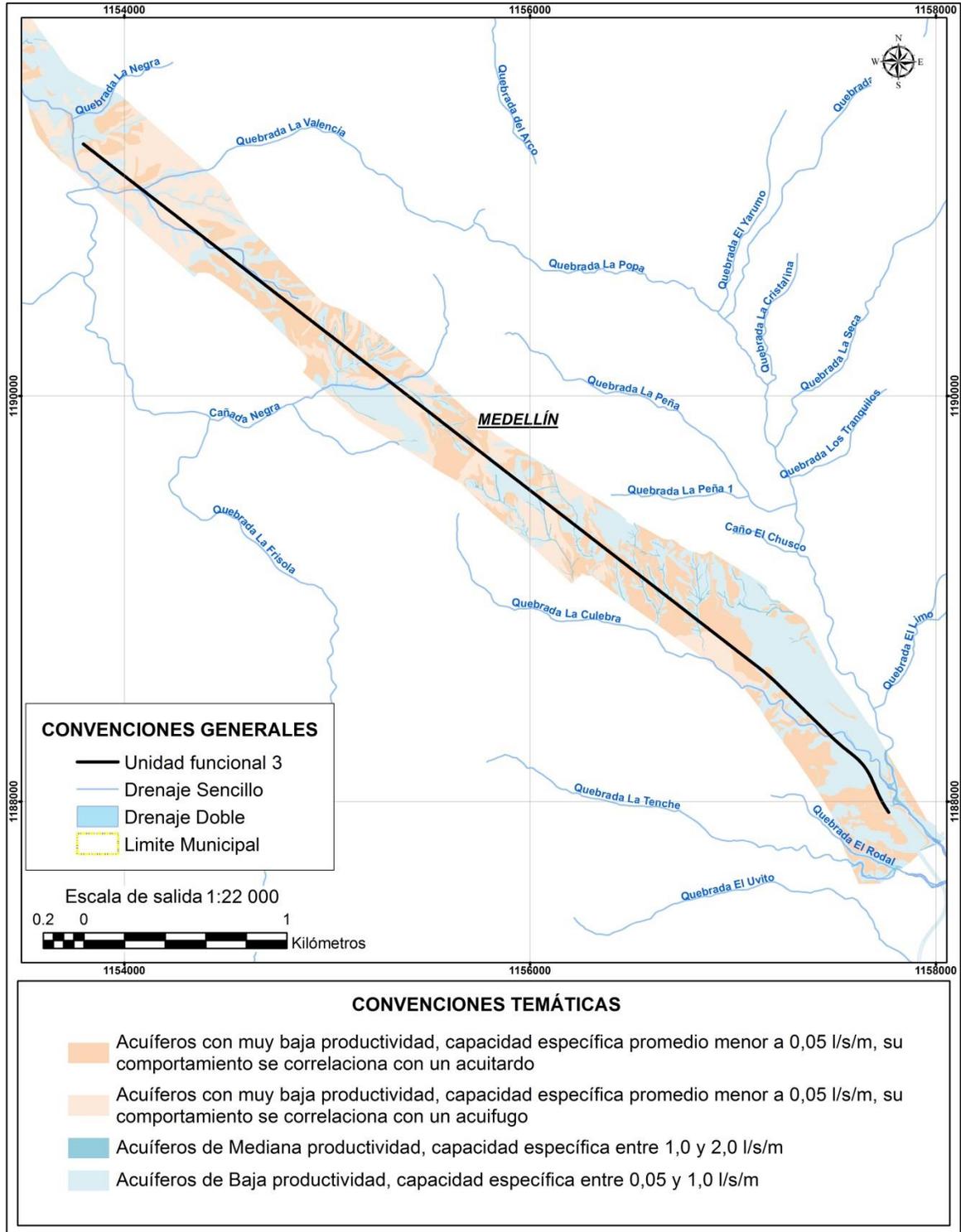
Sistemas acuíferos presentes en el área del túnel			
Sistema de Acuífero	Características de los Acuíferos	Unidades Hidrogeológicas	
A. Sedimentos y rocas con flujo intergranular			
A1	Acuíferos de Mediana productividad, capacidad específica entre 1,0 y 2,0 l/s/m	Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, conformados por sedimentos Cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial y aluvial, acuíferos de tipo libre y confinado con aguas recomendables para cualquier uso. Depósitos aluviales (Qal)	
A2	Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Lleno antropico (Qll)	
		Depósitos Coluvioaluviales (Qcal)	
		Terrazas aluviales (Qt0, Qt1)	
		Depósitos de derrubio (Qd)	
B. Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (Rocas fracturadas y/o Carstificadas)			
B1	Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Sistemas de acuíferos discontinuos, de extensión regional y local, de baja productividad, conformados por rocas asociadas a complejos ígneo metamórficos fracturados, confinados	
		Stock de Altavista (Kida MA) Complejo Cajamarca (Pzes MA)	
C. Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea (basamento hidrogeológico)			
C1	Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona con un acuitardo	Complejo de rocas de arenitas conglomeráticas del Neógeno, de ambientes fluviolacustres; se comportan como acuitardos.	Miembro Superior, Formación Amaga (Ngas)
			Miembro Medio, Formación Amaga (Pgam)
			Miembro Inferior, Formación Amaga (Pgai)
C2	Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona con un acuífugo	Complejo de rocas ígneas, metamórficas y volcánicas de edad Cretácica, Jurásica, Paleozoica y Proterozoica son rocas con limitados recursos hídricos, muy compactas y en ocasiones fracturadas; se comportan principalmente como acuífugos.	Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica (Kdhb)
			Batolito de Altavista (Kida)
			Formación Qegradagrande Miembro volcánico (KvQG)
			Gabros de Romeral (Jgr)
			Grupo Ayurá Montebello (Pzes- Pev)
		Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En esta caracterización de detalle se evidencia que para la zona del túnel el Stock de Altavista y el Complejo Cajamarca, estos se encuentran fracturados, lo que genera un flujo de agua a través de las fracturas generando otra unidad hidrogeológica constituida por rocas y sedimentos con flujo esencialmente a través de fracturas, teniendo en cuenta la productividad y capacidad específica promedio, esta unidad corresponde a una unidad de baja productividad con una capacidad específica promedio entre 0,05 y 1,0 l/m/s, esta cartografía de detalle sólo se realizó para el área del túnel así como la caracterización estructural del área del túnel, este detalle se incluyó como insumo en la generación de los modelos hidrogeológicos conceptual y numérico.

Figura 5-159 Distribución espacial de las Unidades Hidrogeológicas identificadas en el área del túnel



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.8.4 Zonas de recarga y descarga.

La recarga del agua subterránea se realiza principalmente desde el agua lluvia, la condensación generada de las nubes cargadas de humedad recargan los depósitos del subsuelo. La principal descarga del agua subterránea es natural, y esta fluye a través del subsuelo hacia niveles bases, como el mar (nivel más bajo en la tierra) o hacia el nivel de ríos, arroyos, etc.; también se presenta descarga en los afloramientos del agua, llamados manantiales o nacederos, y en los pozos o aljibes de explotación del agua subterránea.

Regionalmente las zonas de recarga se sitúan en las partes altas (altos topográficos), se infiltran en el subsuelo y generan direcciones de flujo regionales, cuya dinámica se restringe a la disposición espacial de las estructuras geológicas presentes (fallas, diaclasas, pliegues, foliación), se ha podido evidenciar que existe una zona de recarga al Oriente del área de influencia, al otro lado de la Serranía de Valdivias se identifica un altiplano a 2500 m.s.n.m denominado el Pantano, del cual se generan flujos regionales y se pueden evidenciar direcciones de flujo regionales que en el modelo propuesto convergen al túnel existente, esta afirmación se evidencia teniendo en cuenta las características estructurales del macizo rocoso relacionado en el numeral 5.1.1 de geología del presente estudio, y también la modelación de las direcciones de flujo del macizo rocoso incluidas en la elaboración del modelo hidrogeológico incluido mas adelante. Esta zona de recarga situada en el sitio denominado El Pantano por ser de carácter regional y estar ubicada a aproximadamente 7 km al Oriente del área de influencia no se incluye dentro de la caracterización, sin embargo en el Plan de Manejo Ambiental se propone el seguimiento y monitoreo para alimentar y mejorar el modelo presentado en este estudio.

El agua subterránea se encuentra en el subsuelo en las unidades litológicas, donde algunas permiten el almacenamiento y transmisión del recurso hídrico, mientras que otras almacenan el agua, pero la transmiten con dificultad, o no la transmiten, estos se conocen como sistemas acuíferos (acuíferos, acuitardos, acuícludos, acuífugos), los sitios de afloramiento del agua subterránea se conocen como manantiales comúnmente también llamados nacimientos o nacederos y estos se dividen principalmente en permanentes y temporales.

Para determinar las zonas de recarga en el área de influencia se realizó el método Matus, 2007⁶⁷, que se aplica con base en ponderaciones de 1 a 5 para los siguientes parámetros: Pendiente (Pend), Tipo de suelo (Ts), tipo de roca (Tr), cobertura vegetal permanente (Cve) y se evaluó el uso del suelo (Us); con base en estas ponderaciones se obtuvo el mapa de zonas de recarga potenciales para el área de influencia (verTabla 5-97).

Las áreas de recarga se pueden categorizar considerando básicamente los siguientes

⁶⁷Matus, O.. (2007). Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. Costa Rica: CATIE.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

aspectos:

- **Pendiente:**

La pendiente es un factor importante pues determina el momento de la escorrentía y sus efectos en el suelo, de tal forma que con relieves mas planos no se favorece la escorrentía del agua lo cual permite un mayor contacto del agua con el suelo favoreciendo la infiltración, pero en suelos de altas pendientes aumenta la velocidad de la escorrentía en donde se considera como crítica por el grado de degradación que puede causar al alterar las condiciones de recarga por movimiento rápido de las aguas de escorrentía, este aspecto se le dio una ponderación teniendo en cuenta el porcentaje (%) de pendiente Tabla 5-97.

- **Tipo de Suelo:**

Este criterio es incluido ya que la textura del suelo refleja la permeabilidad del suelo en donde los suelos arcillosos impiden la recarga; al contrario los suelos recientes no compactados y arenosos facilitan la percolación del agua, para el área de influencia la textura presenta un predominio arcilloso debido a la alteración de las plagioclasas presentes en el complejo ígneo, alterando estas en minerales de arcilla, en este sentido la ponderación se representa en la Tabla 5-97.

- **Tipo de Roca:**

El material geológico es clasificado de tal forma que se le asigna una ponderación teniendo en cuenta su permeabilidad, si tenemos rocas ígneas o metamórficas no fracturadas poseen una permeabilidad baja lo cual dificulta la recarga la cual aumenta dependiendo de su diaclasamiento, en el otro extremo tenemos las Arenitas gruesas y gravas que poseen alto porcentaje de porosidad y permeabilidad alta, en donde sus espacios intersticiales permiten la trasmisidad del agua y la circulación con gran facilidad, esto permite que sean unidades adecuadas para la recarga de acuíferos, la ponderación asignada se presenta en la Tabla 5-97.

- **Cobertura vegetal permanente:**

Este índice se introdujo con el fin de ser coherentes con la capacidad del suelo de infiltrar el agua de escorrentía, teniendo en cuenta las implicaciones que tiene la presencia de una cobertura vegetal permanente en el balance hídrico y disminuyendo la velocidad del agua escorrentía lo cual permite una mayor percolación en los suelos presentes, además se ha evidenciado que es una de las características que pueden ser mas influenciadas por acciones antrópicas ya que en los demás criterios (sin contar el uso del suelo) la influencia esta dada por la naturaleza en áreas que no han sido intervenidas por el ser humano Tabla 5-97.

- **Uso de Suelo:**

El uso del suelo es el elemento mas variable e influenciado por la actividad antrópica, el uso inadecuado del suelo contribuye a la disminución de la recarga del acuífero hasta en un 50% aumentando la pérdida del suelo por erosión hídrica o eólica y los riesgos naturales⁶⁸.

⁶⁸ FORGAES (Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador). sf. Método RAS para determinar la recarga de

Stadmuller (1994)⁶⁹ señala que el problema de las consecuencias de la deforestación para el régimen hídrico no es la remoción de los árboles cosa que el uso inadecuado (sobreuso) que sigue después si representa incidencia en el problema, este uso inadecuado no corresponde al uso potencial del suelo y no incluye las medidas necesarias e indicadas para la conservación de suelos y aguas, el uso del suelo es un elemento que establece el grado de cómo una determinada actividad o cambio de uso, influye tanto en el deterioro de sus características como en la erosión y la compactación, así como en la reducción de la infiltración y/o recarga hídrica Tabla 5-97.

Tabla 5-97 Variables y evaluación de zonas de recarga

Pendiente (Pend)			
Descripción	%	Ponderación	Posibilidad de recarga
Planos a casi planos	0-6	5	Muy Alta
Moderadamente ondulados	6-15.	4	Alta
Ondulados/cóncavos	15-45	3	Moderada
Escarpados	45-65	2	Baja
Fuertemente escarpados	>65	1	Muy Baja
Tipo de Suelo (Ts)			
Textura			Posibilidad de recarga
Suelos franco arenosos a arenosos.	5		Muy Alta
Suelos francos	4		Alta
Suelos franco limosos	3		Moderada
Suelos Franco arcillosos	2		Baja
Suelos arcillosos	1		Muy Baja
Tipo de roca (Tr)			
Textura			Posibilidad de recarga
Rocas muy permeables, muy suaves constituidas por agregados gruesos, con macro poros interconectados	5		Muy Alta
Rocas permeables constituidas por agregados medianos con poros conectados entre si, ej arenas finas.	4		Alta
Rocas moderadamente permeables, con regular conexión de poros entre si	3		Moderada
Rocas poco permeables un poco duras, moderadamente compactas, constituidas por partículas finas, una combinación de gravas con arcillas, con presencia de fracturas conectadas entre si	2		Baja
Rocas impermeables	1		Muy Baja
Cobertura vegetal permanente (Cve)			
Porcentaje			Posibilidad de recarga
>80%	5		Muy Alta

aguas subterráneas. San Salvador, SV. 40 p

⁶⁹ Stadtmuller. (1994). Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo. Colección Silvicultura y manejo, 10, pp. 1-61.

70-80%	4	Alta
50-70%	3	Moderada
30-50%	2	Baja
<30%	1	Muy Baja
Uso de suelo (Us)		
Uso de suelo	Ponderación	Posibilidad de recarga
Bosque que presentan los tres estratos con árboles, arbustos y hierbas	5	Muy Alta
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	4	Alta
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo	3	Moderada
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	2	Baja
Terrenos agropecuarios, con manejo intensivo	1	Muy Baja

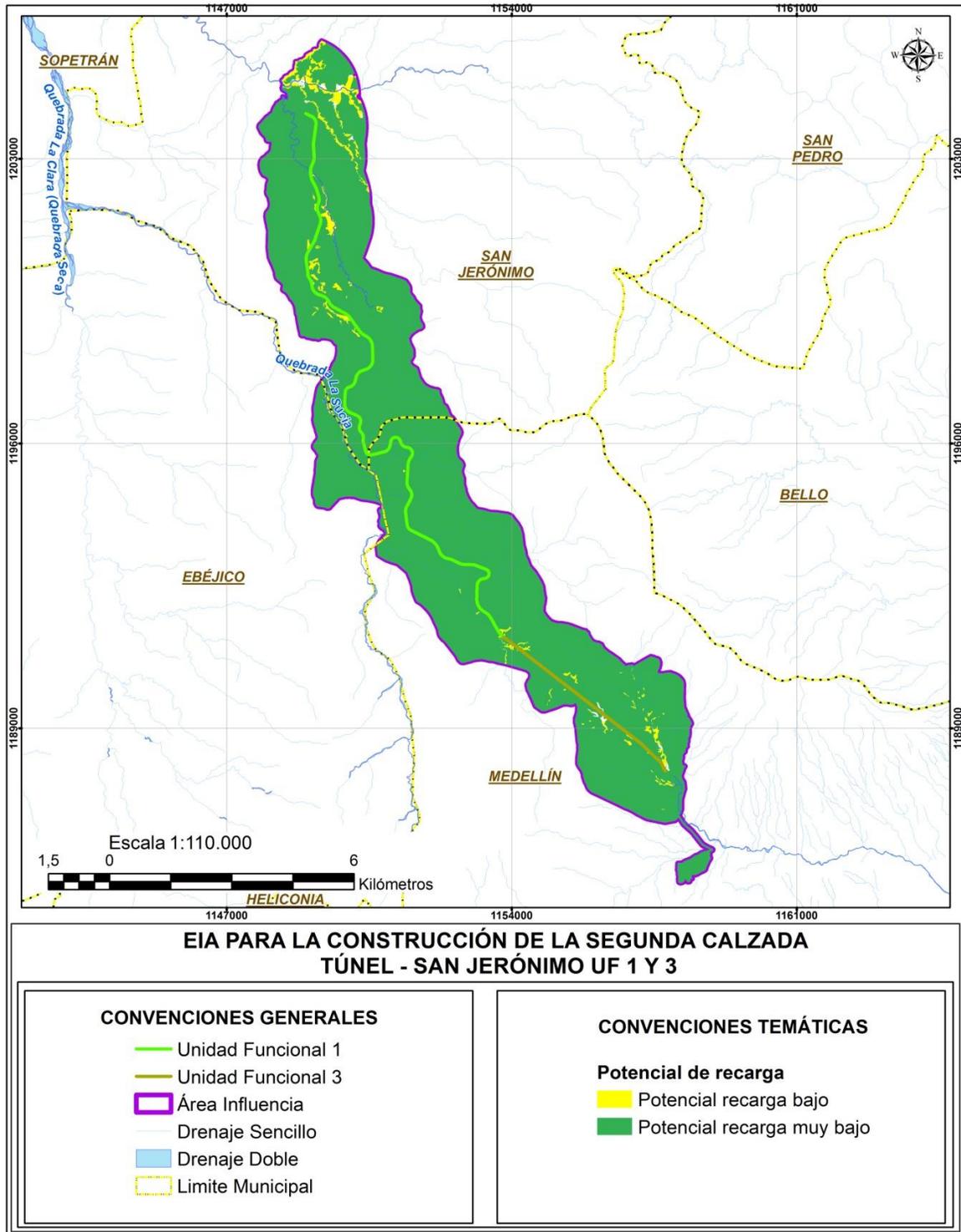
Modificado de: (Matus, 2007)

Luego de realizar la calificación y la ponderación a cada una de estas variables se aplica la siguiente relación para obtener la zona potencial de recarga:

$$ZR = (0.27 * Pend) (0.23 * TS)(0.12 * Tr)(0.25 * Cve)(0.13 * Us)$$

Como resultado final obtenemos una escala entre 0 y 1 con valores de posibilidad de recarga desde muy baja hasta muy alta, la Figura 5-160 muestra las zonas de recarga potencial para el área de influencia de las unidades funcionales 1 y 3 donde se observa que la totalidad del área corresponde a zonas de recarga baja y muy baja, dadas las características de suelos, uso del suelo, cobertura vegetal, tipo de suelo, pendiente y tipo de roca.

Figura 5-160 Potencialidad de las zonas de recarga para el área de influencia de las unidades funcionales 1 y 3

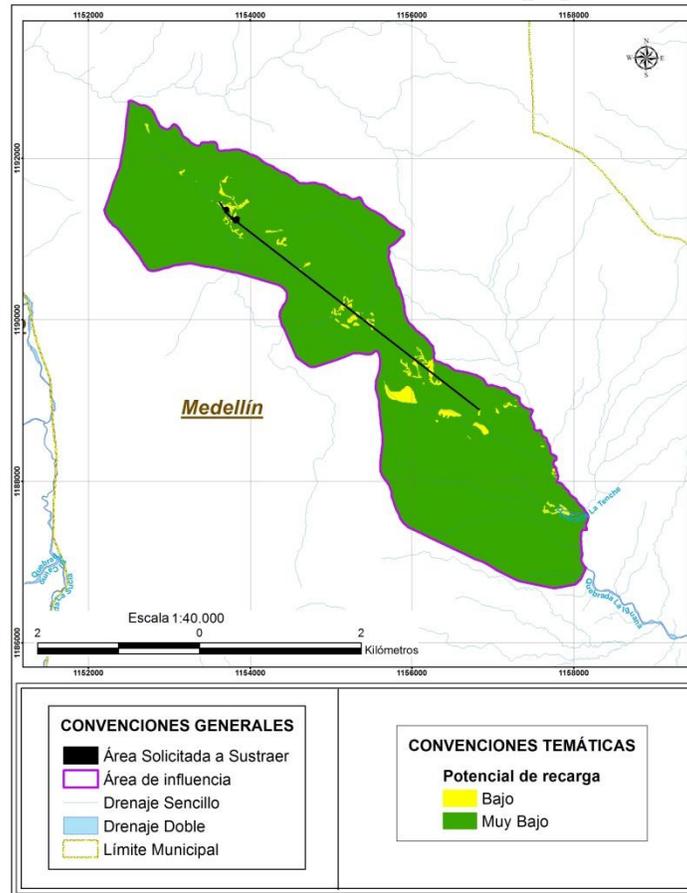


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

Para el área del túnel se han identificado en la zona de influencia como principales mecanismos de recarga la infiltración del agua de escorrentía subsuperficial, y la precipitación, en el Atlas de aguas subterráneas de Colombia se delimitan las áreas de recarga a partir de los afloramientos de los mismos correlacionando estos datos con la topografía, donde las zonas más altas tienen mayor potencial de recarga (generando flujos regionales), asociando esto con la porosidad y permeabilidad de las unidades litológicas, en el área de influencia se han definido las zonas de recarga teniendo en cuenta la metodología utilizada para la elaboración del Atlas de aguas subterráneas de Colombia y apoyando este concepto en la metodología de Matus, 2007, se evidencia una tendencia en las zonas de recarga de tipo bajo a muy bajo que obedece a las características físicas de la superficie, algunas de las características físicas se reflejan en la productividad de los sistemas acuíferos identificados, los depósitos de edad Cuaternario por ser depósitos no consolidados se clasifican como unidades de mediana y baja productividad, en donde se encuentran los depósitos aluviales (Qal), lleno antrópico (Qll), depósitos coluvioaluviales (Qcal) y los depósitos de derrubio (Qd), dadas las características de permeabilidad que poseen los depósitos de edad Cuaternario hay que tener en cuenta que estos relictos son de muy poco espesor y son depósitos que se encuentran sobre las unidades de porosidad secundaria como la Diorita de Altavista (Kida), el Grupo Ayura Montebello (Pes-Pev) y el Granito Neisico de Palmitas (Pgnp), estas últimas unidades correspondientes a un complejo ígneo-metamórfico a pesar de tener una porosidad secundaria derivada del fracturamiento en superficie se encuentra meteorizada, esta meteorización se evidencia en el estudio geofísico que se realizó (Tomografías eléctricas, incluidas mas adelante), el cuál sugiere una meteorización que involucra horizontes arcillosos correlacionable con la alteración de las plagioclasas presentes en el cuerpo ígneo a minerales de arcillas, dado el análisis y luego de ponderar cada una de las temáticas involucradas obtenemos la potencialidad de recarga del área de influencia del túnel (unidad funcional 3) (ver Figura 5-161).

Figura 5-161 Potencialidad de las zonas de recarga para el área del túnel



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.8.5 Direcciones de Flujo

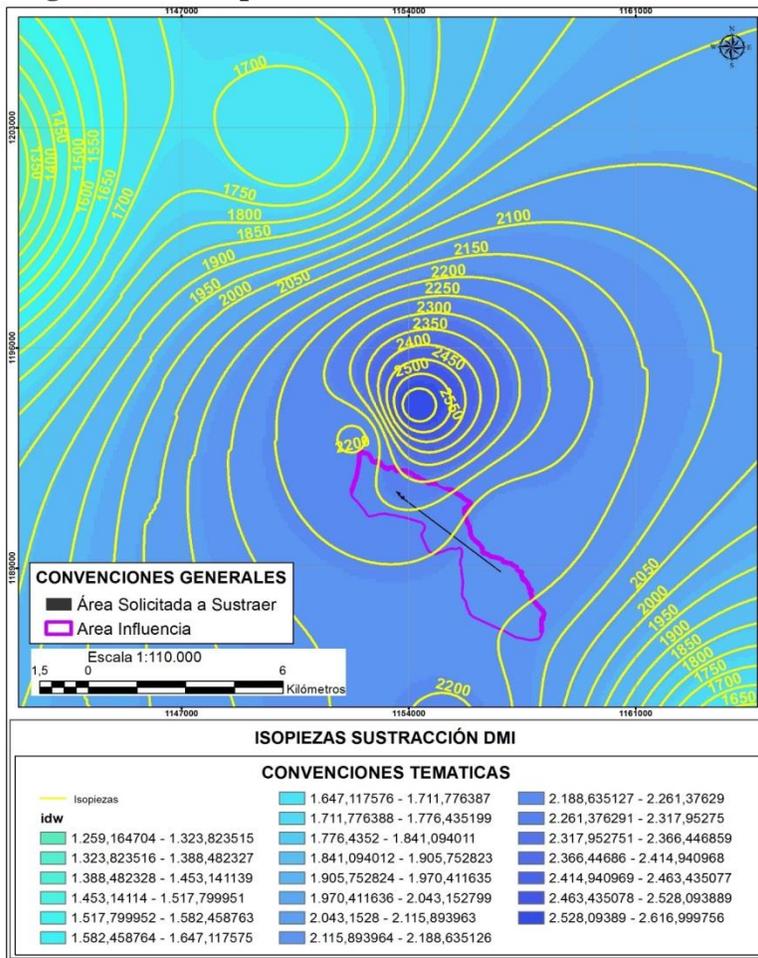
La definición de las direcciones de flujo de los sistemas acuíferos más someros, consiste en representar la dirección y el sentido del flujo de aguas subterráneas y su interconexión hidráulica con sistemas acuíferos adyacentes. En este sentido la construcción de las direcciones de flujo se realiza teniendo en cuenta los datos de nivel freático estático del inventario de puntos de agua subterránea, junto con las condiciones litológicas, estructurales y topográficas del área de influencia.

Para definir el nivel freático se realizó un mapa piezométrico que define las superficies de este y permite obtener información básica sobre el movimiento y comportamiento del agua subterránea para los acuíferos más someros, las superficies piezométricas son representaciones de la geometría de la superficie que señala la altura del agua en un acuífero (o sector de acuífero) referida a una determinada profundidad en el mismo. Se representan mediante líneas equipotenciales de profundidad que indican el nivel de agua subterránea.

En los acuíferos libres, la superficie piezométrica coincide con la superficie freática, es decir, con el límite de saturación. En los acuíferos confinados la superficie piezométrica es más elevada que el techo de los mismos. En los acuíferos permeables por fisuración y, en general, en acuíferos muy heterogéneos, puede ser una superficie discontinua.

En el área de influencia se utilizó la información del inventario de puntos de agua para generar las isopiezas, estos valores de isopiezas varían entre 1350 - 2550 m, presentando los valores de mayor profundidad hacia la parte norte del área, dicha profundidad representa el plano del nivel freático a nivel del subsuelo (ver Figura 5-162), la densidad de puntos de agua subterránea no evidenció la existencia de puntos de captación a acuíferos profundos, todas las captaciones se realizan sobre unidades acuíferas someras, estas isopiezas se incluyen en el modelo hidrogeológico conceptual.

Figura 5-162 Isopiezas del área de sustracion del DMI.

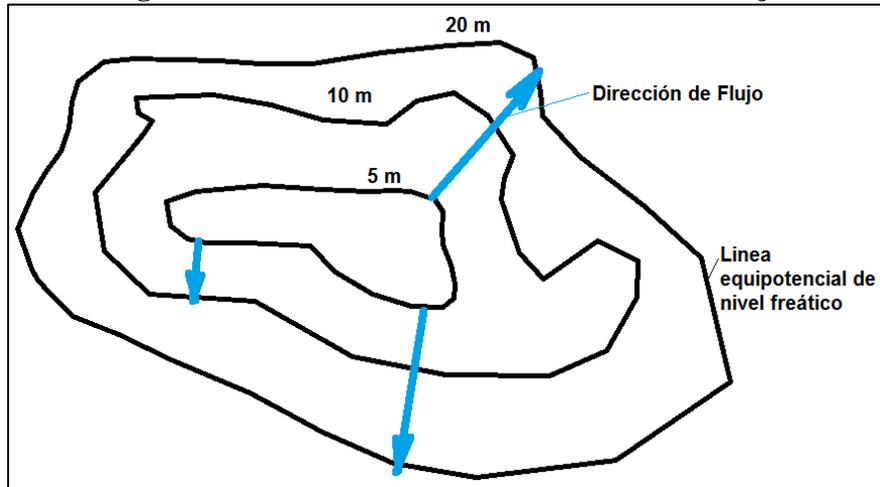


Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

A estos datos (profundidad de nivel freático) se les realiza un ajuste, una corrección de

línea base (topografía), para luego realizar la interpolación de líneas equipotenciales de nivel freático, estas líneas equipotenciales indican implícitamente la dirección de flujo, ya que en el sentido en el que su valor aumenta (aumento de profundidad), este sugiere la dirección de flujo, esto quiere decir que la dirección de flujo es perpendicular a las líneas equipotenciales del nivel freático. (Ver Figura 5-163).

Figura 5-163 Definición de las direcciones de flujo

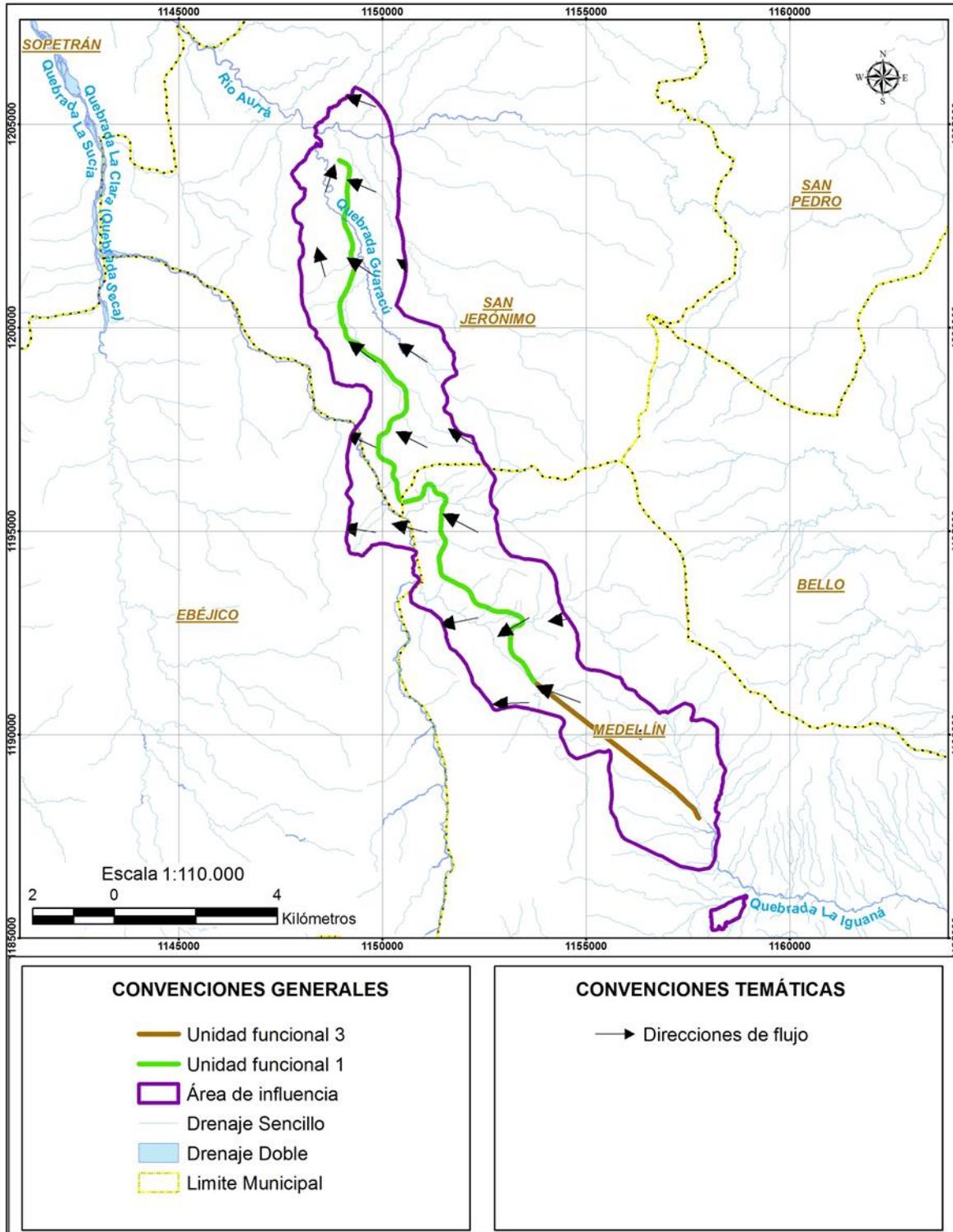


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Las direcciones de flujo son diferentes para cada tipo de acuífero, en el área de estudio una gran parte está constituida por rocas ígneas y metamórficas con limitados recursos de aguas subterráneas debido a su poca permeabilidad.

En el área de estudio las direcciones de flujo, presentan una dirección preferencial hacia el Este, principalmente hacia el NE; esto debido principalmente a que los afluentes principales de los drenajes mayores van en este sentido. (Ver Figura 3-6)

Figura 5-164 Direcciones de Flujo en el Área de estudio



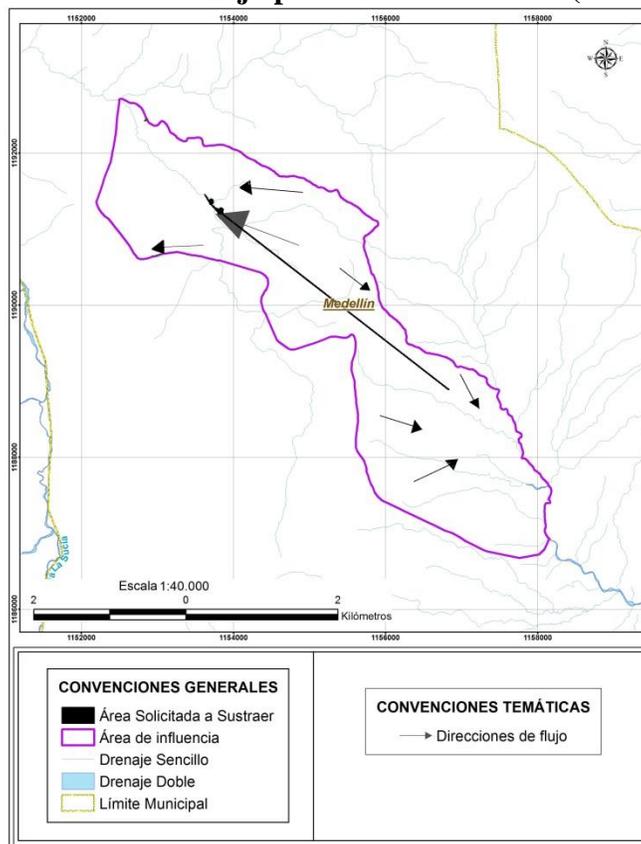
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

En el área del túnel las direcciones de flujo convergen en dirección Suroriente-Noroccidente al Norte, y Noroccidente – Suroriente al Sur, siempre convergiendo en el túnel existente, dadas las condiciones litológicas, y topográficas del área de influencia, la escorrentía que se infiltra en la superficie del terreno sobre la zona no saturada comienza a desplazarse como un flujo subsuperficial, este flujo subsuperficial proviene de las zonas de recarga ubicadas en la zona de contacto entre las rocas metamórficas e ígneas (altos topográficos locales), el flujo de las corrientes subterráneas en la Figura 5-165 representan las direcciones de flujo predominantes para el área de influencia que sugiere el análisis en donde se tuvieron en cuenta los datos del inventario de puntos de agua subterránea (manantiales), estas direcciones de flujo se incluyen en el modelo hidrogeológico conceptual.

Adicional a estas direcciones de flujo en el modelo hidrogeológico numérico se realiza una modelación de las direcciones de flujo en el macizo rocoso (mayor profundidad), direcciones de flujo regional, esta modelación se realizó teniendo en cuenta los rasgos estructurales descritos en las secciones estructurales obtenidas de la galería piloto descritas anteriormente, estas direcciones de flujo en el macizo rocoso se presentan en la sección del modelo hidrogeológico numérico y corresponden a direcciones de flujo regionales que provienen de zonas de recarga regionales al Oriente del área de influencia, las tomografías eléctricas sugieren una capa de suelo residual asociado a la meteorización del complejo ígneo–metamórfico, este suelo residual se compone en su mayoría de minerales de arcilla asociados a la meteorización de las plagioclasas que componen estas unidades, esto genera una capa impermeable discontinua que se interpone entre los flujos de los acuíferos superficiales y los flujos de agua del macizo rocoso.

Figura 5-165 Direcciones de flujo para el área del túnel (Unidad funcional 3)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.8.6 Modelo Hidrogeológico Conceptual

Un modelo hidrogeológico conceptual es una representación gráfica del sistema de flujo del agua subterránea que se realiza incorporando toda la información geológica e hidrogeológica disponible en un simple esquema del modelo a realizar (Anderson y Woessner, 1972). La primera fase consiste en elaborar un modelo conceptual definiendo la litología dominante, espesores, continuidades y estructuras de los acuíferos y de las unidades confinantes de manera que se puedan identificar los límites, las características y el comportamiento del acuífero a estudiar.

El conocimiento de las características fisiográficas, hidrográficas, climatológicas y geológicas de una región representa una condición indispensable para la construcción de un modelo hidrogeológico que involucre como elementos básicos la definición de la geometría de las unidades hidrogeológicas y de sus propiedades hidráulicas, la determinación de las redes de flujo, la estimación de la recarga y la evaluación de las condiciones de calidad de las aguas subterráneas. Los datos de que se disponga y la información que de ellos pueda extraerse representan los insumos para llevar a cabo un procedimiento de análisis que permita como resultado obtener el modelo deseado.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Datos e información Institutos como el Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, el de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, y el de Geología Minería y Química, INGEOMINAS, registran dentro de sus centros de documentación información fundamental para la exploración hidrogeológica.

Con esta pre-visualización se logra identificar el sistema de flujo característico, el cual es esencial para entender el movimiento del agua a través del sistema hidrogeológico. Para realizar el modelo hidrogeológico conceptual es necesario obtener los siguientes insumos:

1. Cartografía geológica de superficie digitalizada y georeferenciada.
2. Modelo digital de Terreno para el polígono a modelar.
3. Datos estructurales de las unidades litológicas presentes en el área
4. Datos geofísicos que se puedan correlacionar con la litología (SEV's, Tomografías geoelectricas).
5. Datos de apiques perforaciones, y/o perfiles geotécnicos.
6. Información de estaciones Climáticas, pluviométricas y limnigráficas
7. Inventario de puntos de agua subterránea que incluya datos de profundidad del nivel freático y un muestreo y análisis fisicoquímico.
8. Direcciones de flujo del agua subterránea.
9. Definición de Zonas de recarga.

En el área se encuentran cuerpos litológicos de origen ígneo y metamórfico, las principales estructuras presentes en el area son diaclasamientos por esfuerzos tectónicos, la actividad tectónica en el área de la que hace parte la zona del túnel se manifiesta por el complejo diaclasamiento de las formaciones rocosas, la presencia de algunas fallas y la disposición variable de los planos de foliación como estructuras dominantes en los esquistos.

Se obtuvieron los levantamientos geológicos estructurales del túnel que ya está construido estos diaclasamientos se pueden extrapolar ya que tectónicamente el área está expuesta a los mismos esfuerzos confinantes, esto es una ventaja para la caracterización estructural del túnel proyectado, en este sentido el túnel existente sirve como galería piloto para la caracterización estructural del macizo rocoso, estos levantamientos geológicos fueron ejecutados a medida que se avanzaba con la excavación del túnel (galería piloto) y permitieron llevar a cabo una clasificación detallada del macizo rocoso, que fue la base para la definición del soporte requerido.

A continuación se hace una descripción general de las principales estructuras cruzadas por la excavación. Cuatro fueron las fallas más importantes cruzadas por la excavación del túnel, tres en las dioritas de la Diorita de Altavista y la otra correspondiente a la zona de contacto del cuerpo ígneo con el metamórfico.

En orden de abscisado estas se presentaron en el km 1+120, km 1+535, km 2+000 y km 3+010. La primera correspondió a una zona de esfuerzos caracterizados por trazas de falla

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

delgadas N70°E/45°-60°SE que junto con los otros sistemas de fracturas, principalmente el subparalelo al túnel y el subhorizontal, creó un intenso fracturamiento con rellenos de roca descompuesta y goteos rápidos abundantes.

El diaclasamiento se presentó muy denso afectando más intensamente a las rocas ígneas de la Diorita de Altavista que a las rocas metamórficas.

El análisis de orientación de discontinuidades realizado con la información obtenida en los levantamientos geológicos, permitió identificar los sistemas principales y secundarios de fracturamiento de la roca, tanto en la diorita asociada a la Diorita, como en los esquistos.

En la formación ígnea se identificaron un sistema principal de discontinuidades y 3 secundarios, a saber:

- Principal: Diaclasas y fallas menores asociadas N40°-65°W/>40° al norte principalmente.
- Secundarios: Diaclasas y fallas menores asociadas N70°W a N70°E/>65° al norte y al sur. Diaclasas y fallas menores asociadas N30°-60°E/>65° al norte principalmente. Fallas delgadas y diaclasas de bajo buzamiento con cualquier dirección. La mayoría de las diaclasas son cerradas, planas a onduladas y ligeramente rugosas a lisas. El espaciamiento dominante es de 20 a 60 cm y de persistencia media a alta entre 3 y 20 m.

En la formación metamórfica el principal sistema de discontinuidades lo constituye la foliación con sus diaclasas y fallas asociadas. El rumbo de ésta varió entre N10°W y N30°E y buzamientos de 0° a 90° debido a su replegamiento.

Los sistemas secundarios lo constituyeron las familias de discontinuidades mencionadas para la unidad ígnea, como son N40°-65°W, N70°W a N70°E; N30°-60°E y el sistema de bajo buzamiento. Este último se presenta de manera eventual.

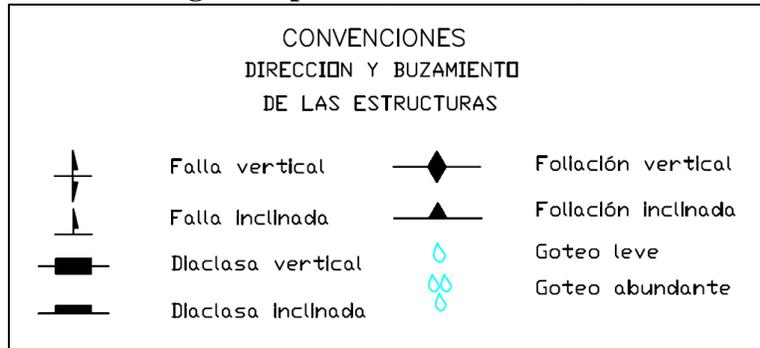
En general, tanto la foliación como los demás sistemas de diaclasas se presentaron cerradas, onduladas, rugosas y de baja persistencia.

Teniendo en cuenta que se utilizó el túnel existente como una galería piloto para caracterizar el macizo rocoso y correlacionar estos datos estructurales con la dinámica del agua subterránea, en las siguientes figuras se reproducen los levantamientos geológicos estructurales realizados en el túnel construido (galería piloto), en cada una de las 9 secciones, estas secciones a pesar de que se levantaron en el túnel existente (galería piloto) se extrapolaron al túnel proyectado por esto se presentan en las figuras la abscisa en la que se levantó en el túnel ya construido (galería piloto), sin embargo en la Tabla 5-98 se asocia la abscisa correspondiente al túnel proyectado.

Para el levantamiento geológico estructural en la galería piloto (túnel existente), se adopta

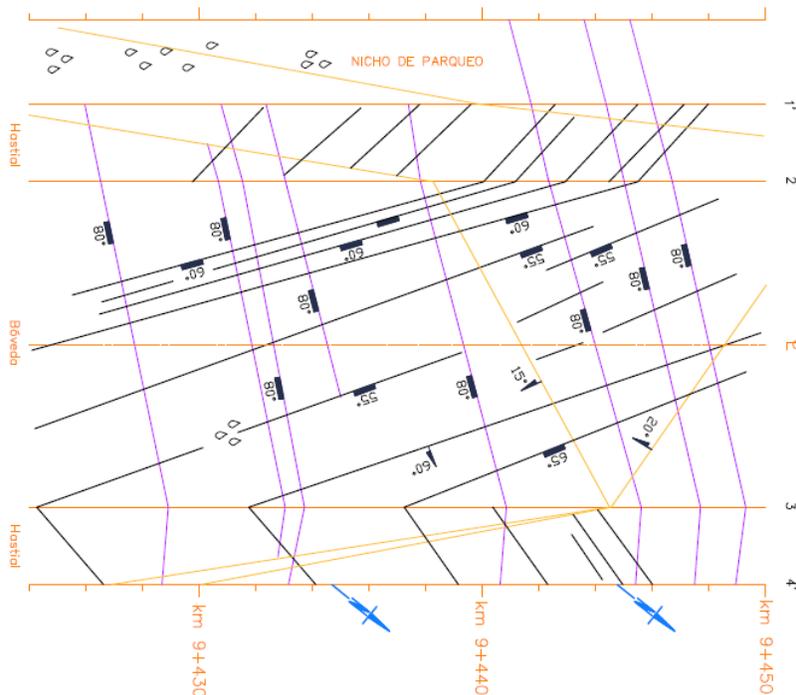
una nomenclatura para diferenciar el tipo de falla y diaclasa, esta nomenclatura se presenta en la Figura 5-166. De la Figura 5-167 a la Figura 5-175, se presentan las secciones levantadas descritas anteriormente.

Figura 5-166 Nomenclatura adoptada en el levantamiento geológico estructural en la galería piloto (túnel existente)



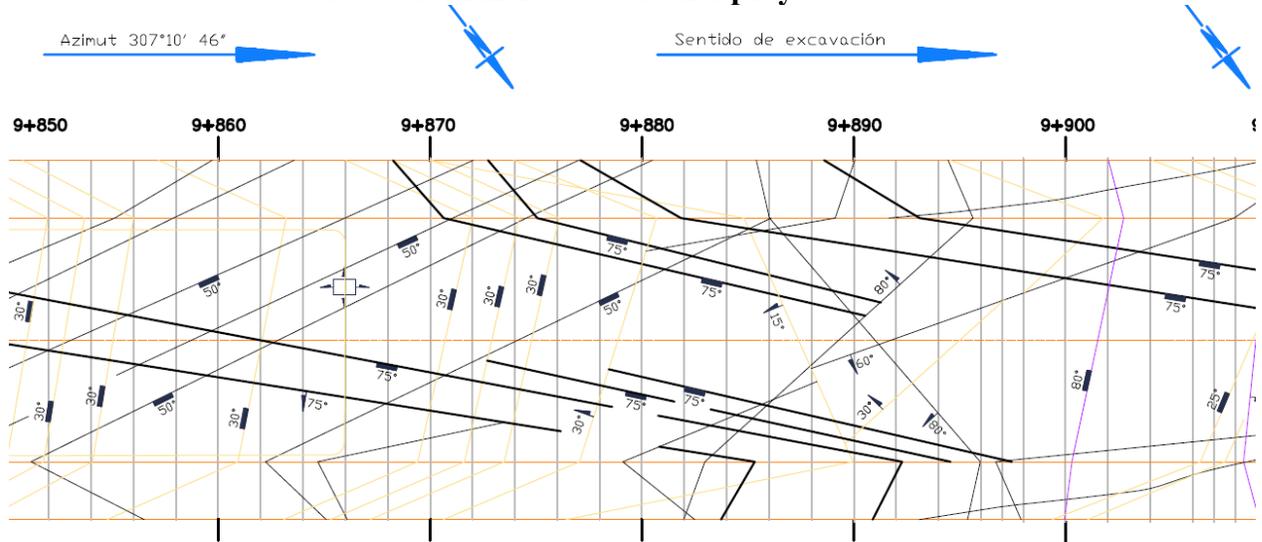
Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

Figura 5-167 Sección No 1 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 1+050 del túnel proyectado



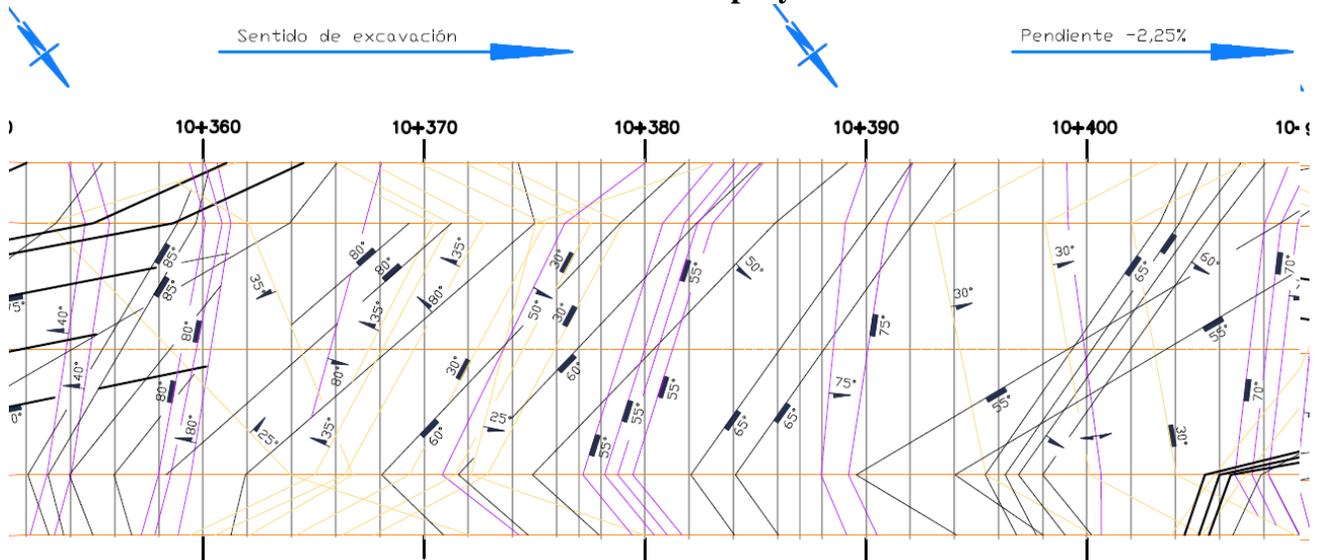
Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

Figura 5-168 Sección No 2 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 1+500 del túnel proyectado



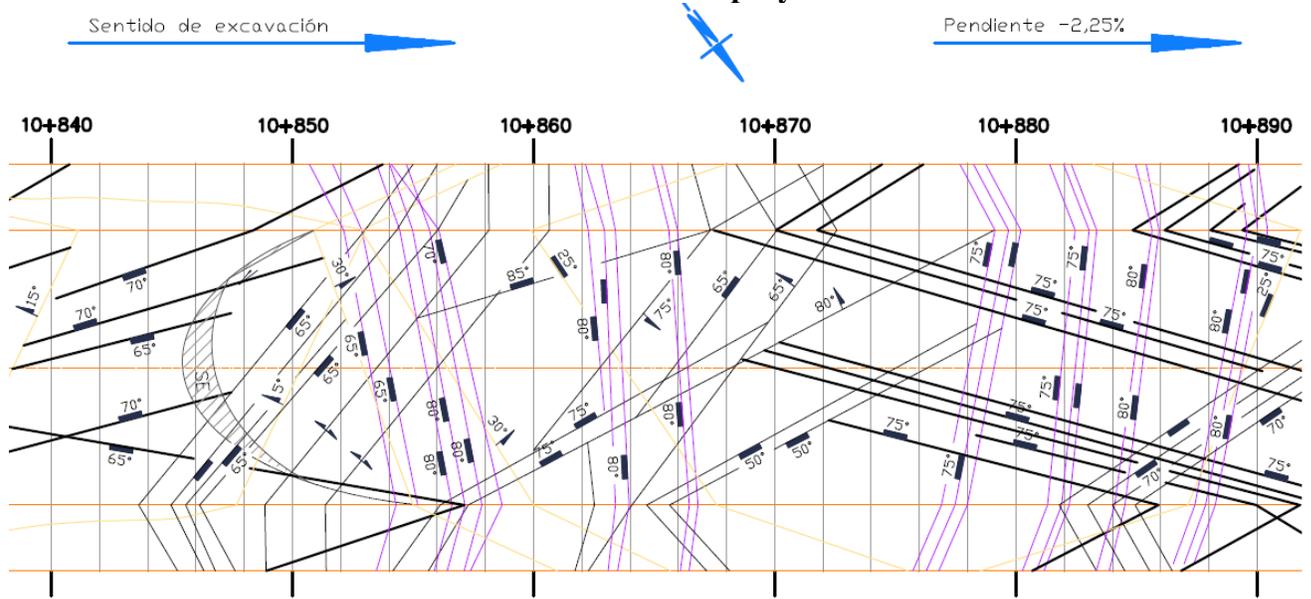
Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

Figura 5-169 Sección No 3 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 2+000 del túnel proyectado



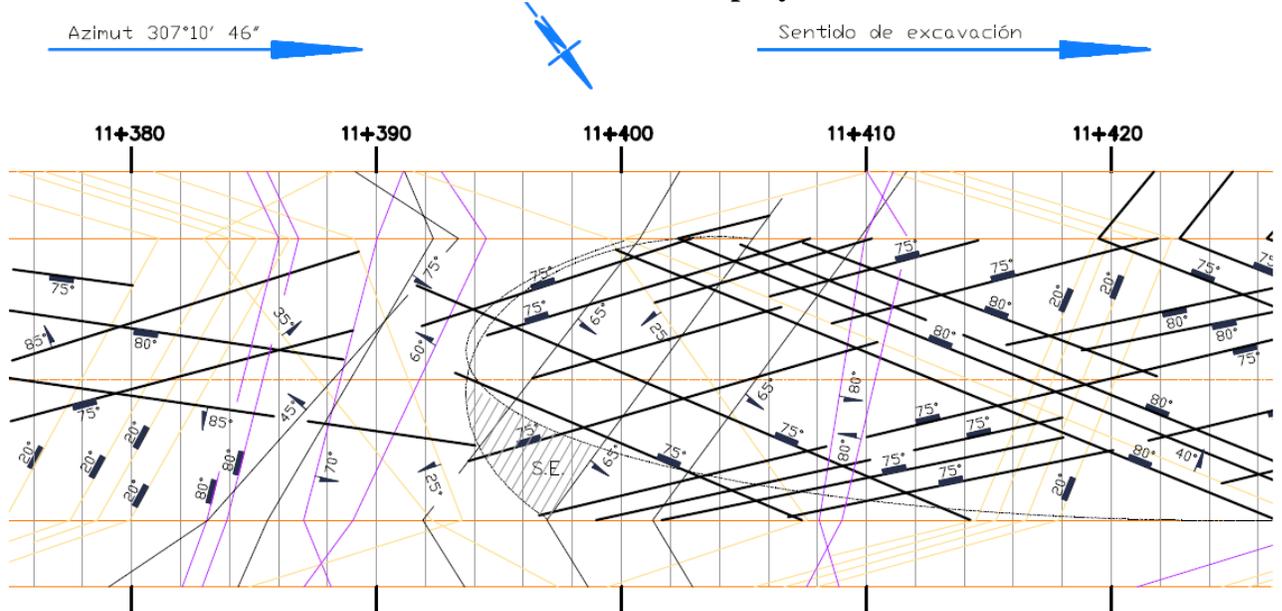
Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

Figura 5-170 Sección No 4 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 2+500 del túnel proyectado



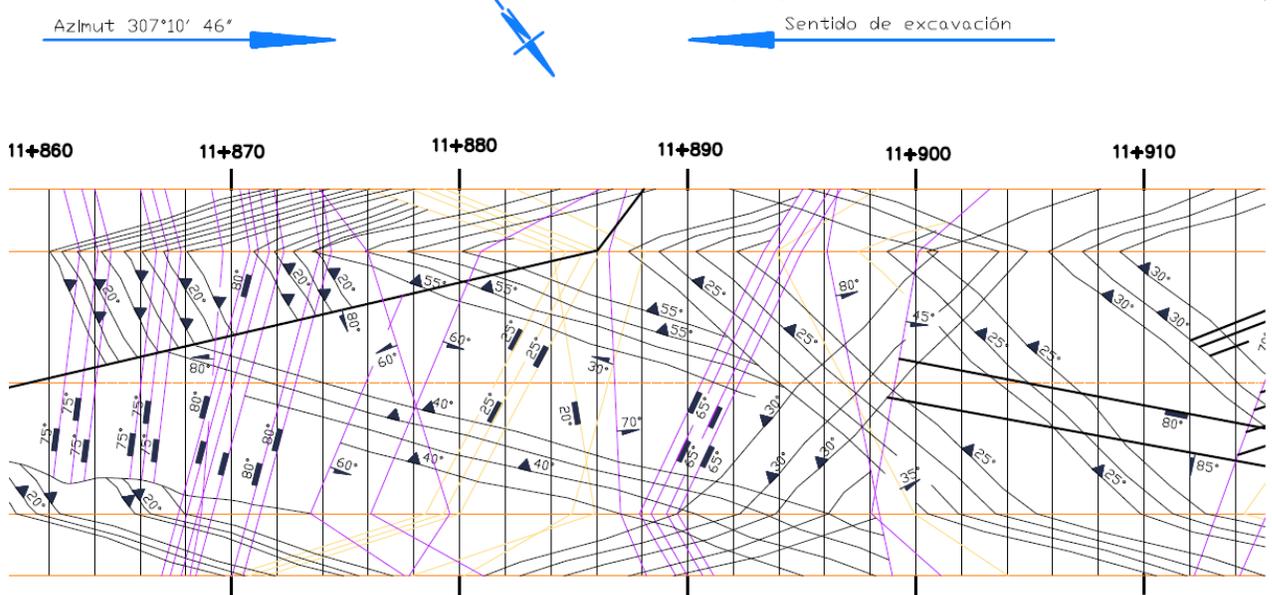
Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

Figura 5-171 Sección No 5 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 3+000 del túnel proyectado



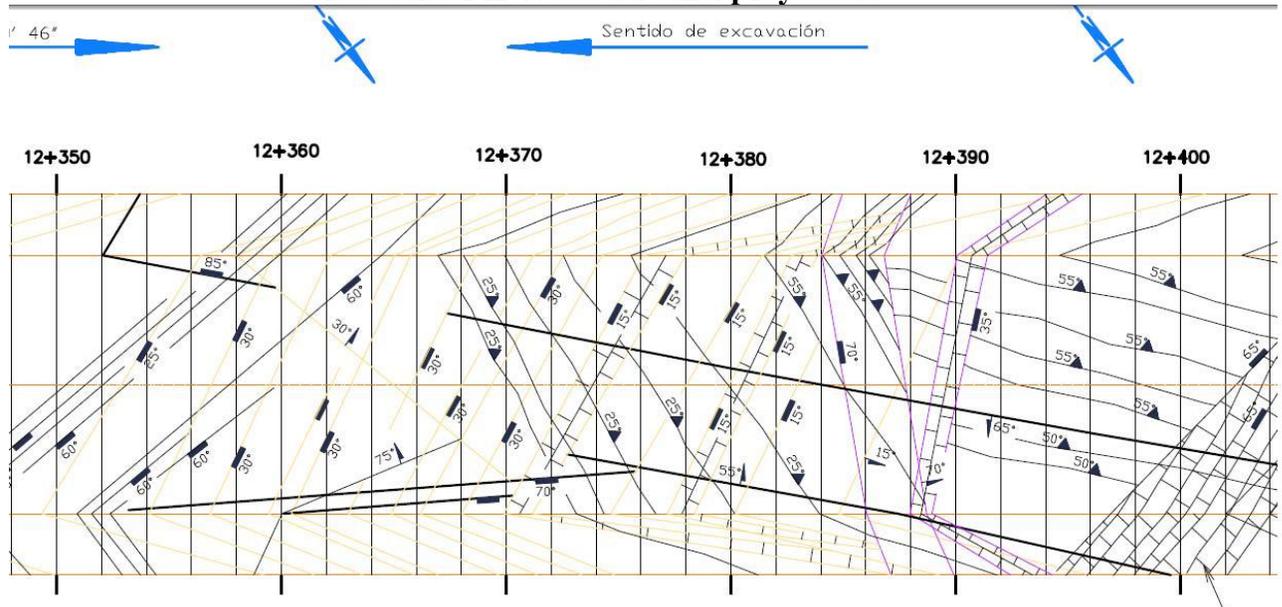
Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

Figura 5-172 Sección No 6 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 3+500 del túnel proyectado



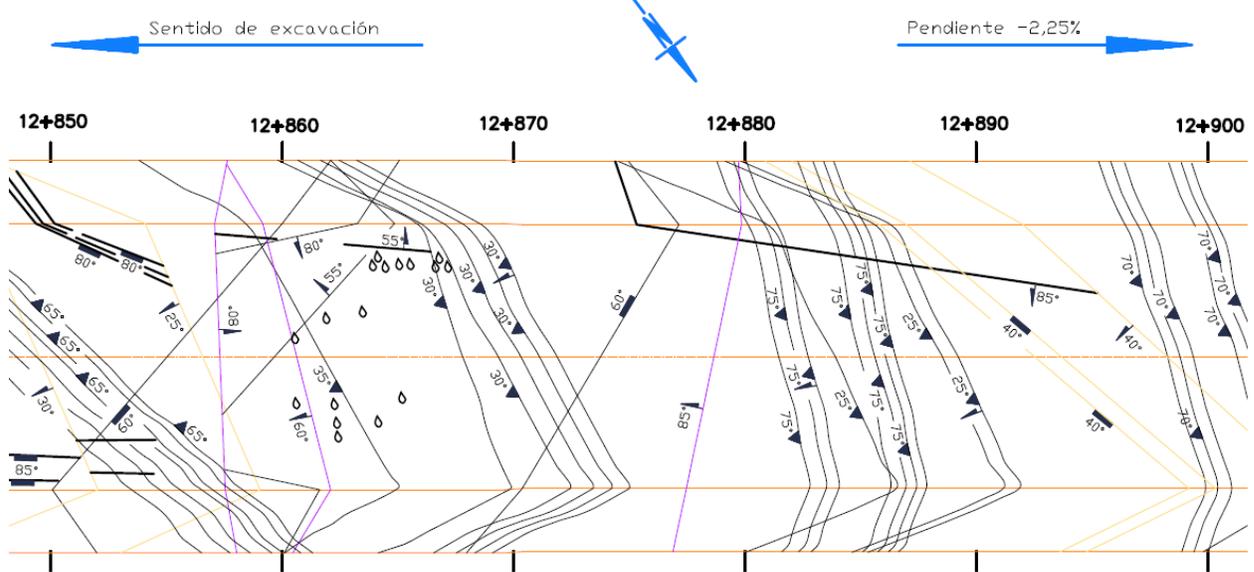
Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

Figura 5-173 Sección No 7 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 4+000 del túnel proyectado



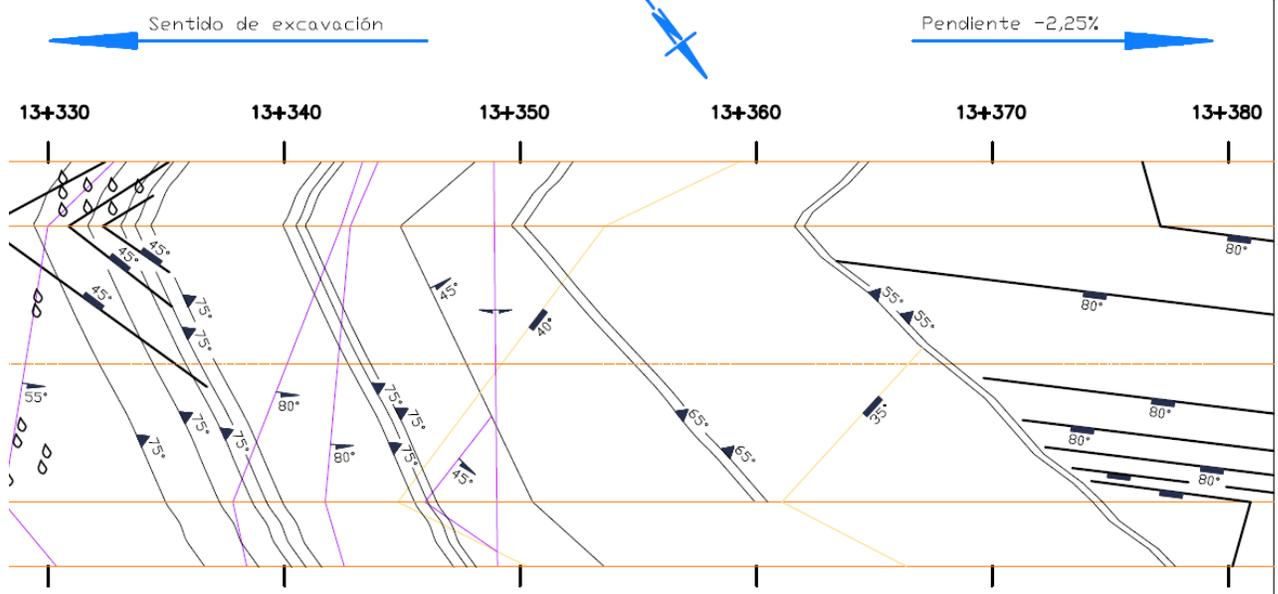
Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

Figura 5-174 Sección No 8 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 4+500 del túnel proyectado



Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

Figura 5-175 Sección No 9 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 4+990 del túnel proyectado



Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

Este régimen estructural se tuvo en cuenta para realizar el modelo hidrogeológico conceptual expuesto mas adelante en donde sólo se representan las direcciones

preferenciales y diaclasas representativas para no saturar el modelo, sin embargo en el modelo numérico adelantado presentado en este capítulo se incluyen la totalidad de los rasgos estructurales levantados en la galería piloto.

En la Tabla 5-98, se relaciona la equivalencia de abscisas de la galería piloto (túnel piloto), y las abscisas del túnel proyectado, adicional a esto se presentan los datos estructurales de cada una de las familias de fallas y diaclasas.

Tabla 5-98 Datos estructurales de las principales fallas y diaclasas identificadas en la galería piloto utilizada para la caracterización estructural del área de influencia

Sección N°	Situación en el túnel proyectado	Situación en la galería piloto (túnel ya construido)	Orientaciones
1	PK 1+050	PK 9+430	<ul style="list-style-type: none"> • J1: 035°/60° • J2: 129°/80° • J3: 113°/15°
2	PK 1+500	PK 9+880	<ul style="list-style-type: none"> • J1: 050°/75° • J2: 145°/30° • J3: 011°/50°
3	PK 2+000	PK 10+380	<ul style="list-style-type: none"> • J1: 325°/55° • J2: 351°/60° • J3: 155°/30°
4	PK 2+500	PK 10+880	<ul style="list-style-type: none"> • J1: 231°/75° • J2: 138°/75° • J3: 009°/50°
5	PK 3+000	PK 11+380	<ul style="list-style-type: none"> • J1: 157°/20° • J2: 161°/80° • J3: 046°/80°
6	PK 3+500	PK 11+880	<ul style="list-style-type: none"> • S: 234°/40° • J1: 330°/60° • J2: 155°/25°
7	PK 4+000	PK 12+380	<ul style="list-style-type: none"> • S: 270°/25° • J1: 338°/15° • J2: 048°/65°
8	PK 4+500	PK 12+880	<ul style="list-style-type: none"> • S: 095°/75° • J1: 105°/25° • J2: 046°/85°
9	PK 4+990	PK 13+370	<ul style="list-style-type: none"> • S: 260°/55° • J1: 350°/35° • J2: 044°/80°

Modificado de: Integral Ingenieros Consultores, 1999

5.1.8.6.1 Prospección Geoeléctrica

Se realizó un estudio Geofísico – Geoeléctrico en el área de influencia, se realizaron cinco tomografías geoeléctricas, dos en cada portal y una paralela a la línea del túnel en la parte alta; algunas de estas zonas presentaron características topográficas complejas para llevar a

cabo la realización de los estudios geoelectricos de superficie, sin embargo se realizó la adquisición de las cinco tomografías satisfactoriamente.

El principal objetivo de realizar las tomografías fue determinar la profundidad del contacto suelo – roca y la profundidad del nivel freático, las capas litológicas presentes están asociadas a la meteorización de complejos ígneo-metamórficos y a los afloramientos de estos complejos en superficie (roca fresca).

- **Localización**

Las cinco (5) Tomografías eléctricas para caracterizar el componente hidrogeológico en la en el túnel, dos en cada portal a una profundidad de 80 m, y una en la parte superior del túnel a 160 m de profundidad. (Ver Figura 5-176)

Figura 5-176 Localización de las tomografías geoelectricas.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la Tabla 5-99 se muestran las coordenadas, junto al rumbo y la altura elipsoidal de cada tomografía.

Tabla 5-99 Coordenadas de los puntos centrales de las Tomografías.

ID	Coordenadas				Rumbo	Altura Elipsoidal (m)
	Magna -Gauss West		Geográficas			
	Este	Norte	Latitud	Longitud		

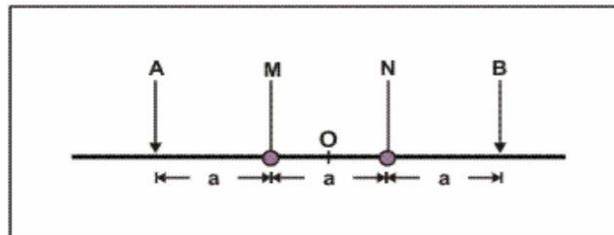
ID	Coordenadas				Rumbo	Altura
Tomo 1	1155685	1189777	06° 18' 37" N	-75° 40' 14" W	S52E-N52W	2614,2
Tomo2	1153800	1191240	06° 19' 25" N	-75° 41' 15" W	N38E-S38W	1939,7
Tomo3	1153799	1191245	06° 19' 25" N	-75° 41' 15" W	S52E-N52W	1938,1
Tomo4	1157373	1188404	06° 17' 52" N	-75° 39' 19" W	S44W-N44E	2072,0
Tomo5	1157381	1188409	06° 17' 52" N	-75° 39' 19" W	S36E-N36W	2071,7

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- **Metodología**

El método para la ejecución de las Tomografías Geoeléctricas se basó en la configuración Wenner, el cual consiste en hacer circular en el terreno una corriente (que en este caso es continua) para medir los valores de voltaje (V) y corriente (I) respectivos; los contrastes que se presentan están de acuerdo con las características geoeléctricas de los materiales encontrados en el subsuelo. Se utilizan para ello sesenta (60) electrodos alineados, equidistanciados uno del otro para este caso de cinco (5) metros, en los cuales se forman arreglos wenner simples con dos electrodos de corriente A - B y dos de voltaje M - N.

Figura 5-177 Dispositivo Wenner



Fuente: Krishnamurthy, N. S., Chandra, S. & Kumar, D., 2008.

A través de los electrodos A-B se inyecta corriente al terreno, produciéndose un campo eléctrico, cuya diferencia de potencial se mide por medio de dos electrodos impolarizables M - N, localizados sobre la línea.

Con los datos obtenidos de cada perfil en profundidad (En este caso 60 puntos de evaluación o 60 sondeos – equiespaciados cada 5 metros) se grafican las curvas donde se presentan los valores de resistividades aparentes contra la profundidad; posterior a esto los valores de dichas curvas son interpoladas para obtener una imagen de resistividades aparentes del subsuelo a lo largo de la longitud del perfil; posterior a ello se realiza un procesamiento de inversión matemática donde se pretende lograr obtener la distribución de resistividades reales en profundidad y espesores de cada capas geoeléctrica.

Lo ideal que se pretende obtener son capas del subsuelo saturadas o no saturadas a través de cambios litológicos obtenidos a partir de la correlación de la propiedad eléctrica del

subsuelo denominada ‘Resistividad’ y la geología local.

- **Adquisición.**

Las Tomografías Eléctricas, se efectuaron con equipo DUK-2ª Multi-electrode Electrical Resistivity Tomography – 60 Channel, utilizando el arreglo de electrodos simétrico tipo Wenner con profundidad de investigación de 80 m y 160m aproximadamente. La interpretación se realizó mediante el programa Geogiga (Canada) que permite realizar inversiones del modelo en 2D. En la Tabla 5-100 se presenta los principales parámetros de adquisición por tomografía.

Tabla 5-100 Parámetros de adquisición por tomografía.

Tomografía	Longitud de Exploración (m)	Espaciamiento entre Electrodo s o Receptores (m)	Tipo de arreglo:	Profundidad de Exploración alcanzada (m)
Tomo 1	600	10	Simétrica Wenner	160
Tomo 2	300	5	Simétrica Wenner	160
Tomo 3	300	5	Simétrica Wenner	85-90
Tomo 4	300	5	Simétrica Wenner	85-90
Tomo 5	300	5	Simétrica Wenner	85-90

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Las cinco (5) tomografías geoelectricas fueron interpretadas mediante el software CANVAS X 16 GIS y ARCGIS 10.2, el procesamiento de inversión matemática se realizó mediante el software Cadaniense GEOGIGARIMAGER que permite realizar inversiones del modelo en 2D.

El principio matemático de la tomografía geoelectrica es igual a la realización de los conocidos Sondeos Eléctricos Verticales (S.E.V.) el cual es averiguar la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado; con ese resultado se pueden interpretar cada una de las capas geoelectricas de subsuelo y la presencia de niveles acuíferos; se pueden estimar además, según los valores de resistividad la calidad del agua, es decir la proporción de iones disueltos en ella y la permeabilidad de la roca. (Si la tomografía geoelectrica fue realizada con 60 canales se entiende que fueron tomados 60 SEV’S sobre una línea o perfil).

Los métodos geofísicos se basan en la medición de algunas propiedades físicas de los materiales de la corteza terrestre: la densidad, el campo magnético, la conductividad eléctrica, velocidad de transmisión de ondas elásticas, etc. La interpretación de dichas mediciones con base en los contrastes entre ellas y las anomalías observadas, permite preparar modelos de las características del subsuelo y de su distribución espacial. La interpretación de los datos geofísicos tiene dos niveles: uno, el modelamiento matemático en el que se definen las combinaciones de valores de la propiedad que se mide y de la

geometría de las masas de suelo o de roca, coherentes con las mediciones hechas en el terreno, y dos, la interpretación de los modelos en términos geológicos, hidrogeológicos.

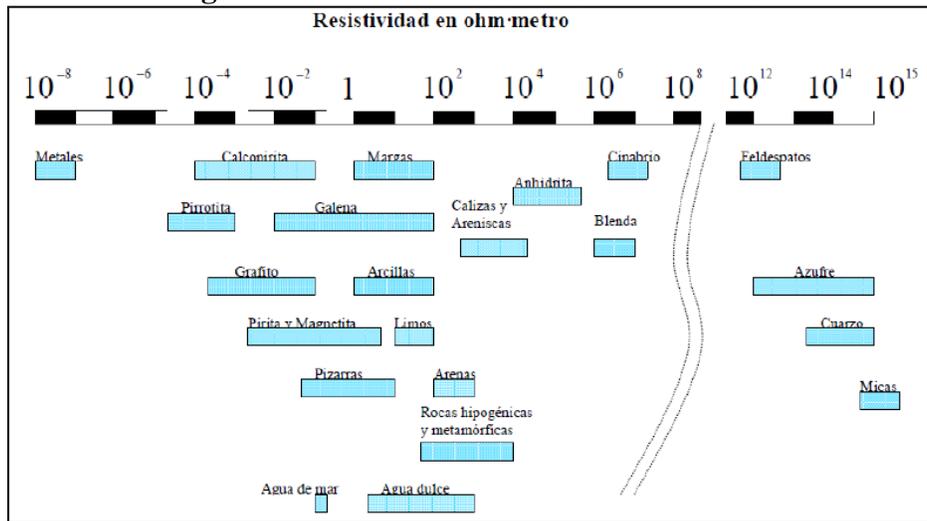
- **Interpretación Geológica – Geofísica.**

El suelo es una mezcla de partículas sólidas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos.

Esta mezcla hace que la resistividad del suelo aparte de depender de su composición intrínseca, dependa de otros factores externos como la temperatura, la humedad, presión, etc. que pueden provocar que un mismo suelo presente resistividades diferentes con el tiempo. De entre todos los factores, la humedad es el más importante; además, es el que se puede alterar más fácilmente mediante la lluvia o el riego del suelo.

Diferentes contenidos de humedad en un mismo terreno darían lugar a resistividades diferentes que podrían llevarnos a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes del suelo. (Ver Figura 5-178)

Figura 5-178 Resistividad de Geomateriales.



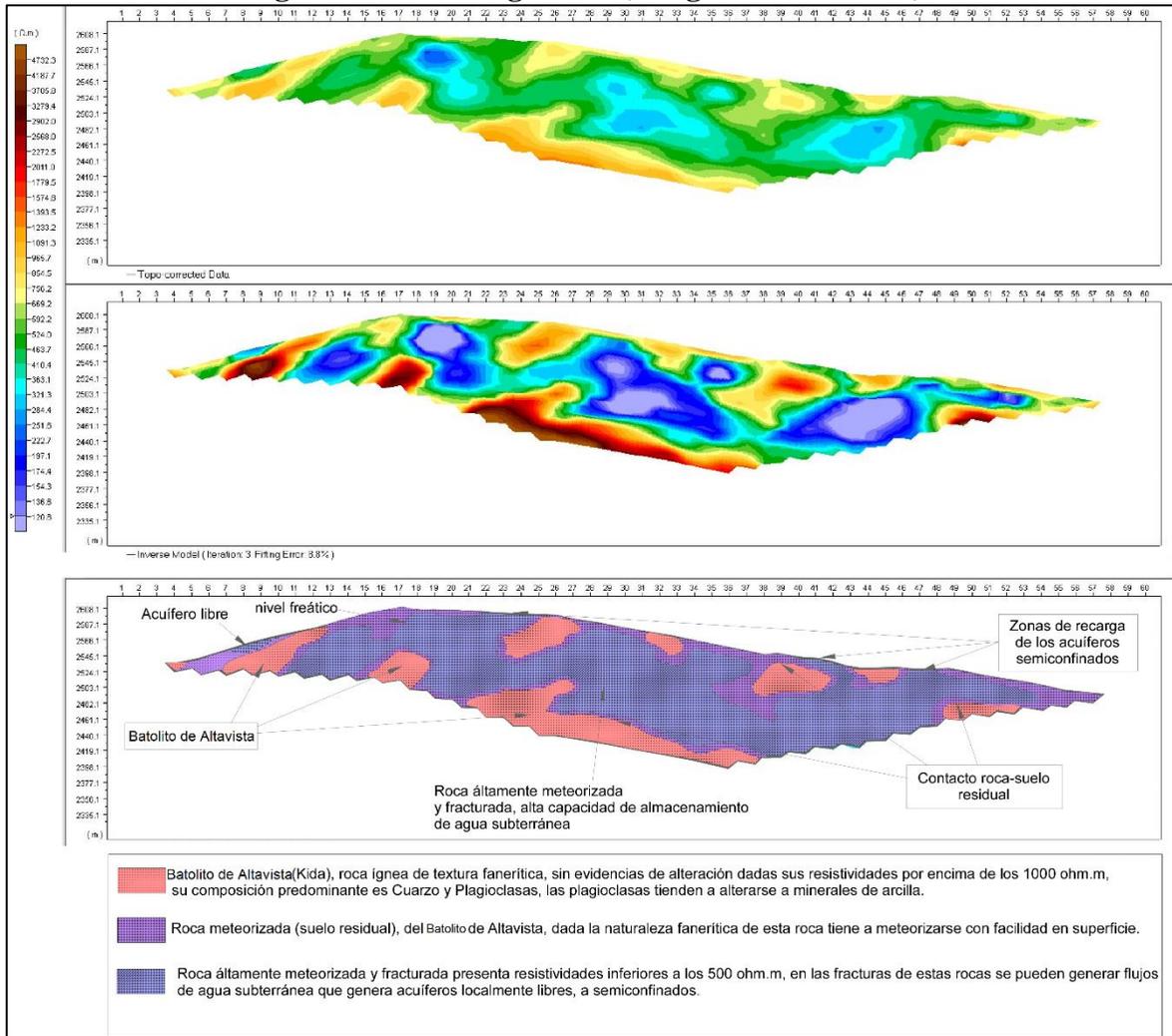
Fuente: Krishnamurthy, N. S., Chandra, S. & Kumar, D., 2008.

- **Resultados obtenidos y discusión de resultados.**

Los datos obtenidos en la tomografía 1, Figura 5-179, sugieren la presencia de acuíferos libres y semiconfinados, localmente se evidencia la presencia de la Diorita de Altavista sin ningún tipo de alteración, pero la tendencia es una franja altamente meteorizada y fracturada la cual tiene altas posibilidades de contener cantidades relevantes del recurso hídrico, también se evidencia una franja de alteración de la Diorita, que posiblemente también contenga agua, el nivel freático sugerido por las tomografías se encuentra a 0 m (entre los electrodos 7-10, 22-25, 40-42), y experimenta variaciones desde los 5 m

(electrodos 18-21), hasta los 45m (entre los electrodos 37 y 38), el contacto suelo – roca meteorizada muestra contrastes a lo largo de la Tomografía con variaciones que oscilan desde los 5 m hasta los 20 m.

Figura 5-179 Tomografía 1 (Longitud 600 metros).

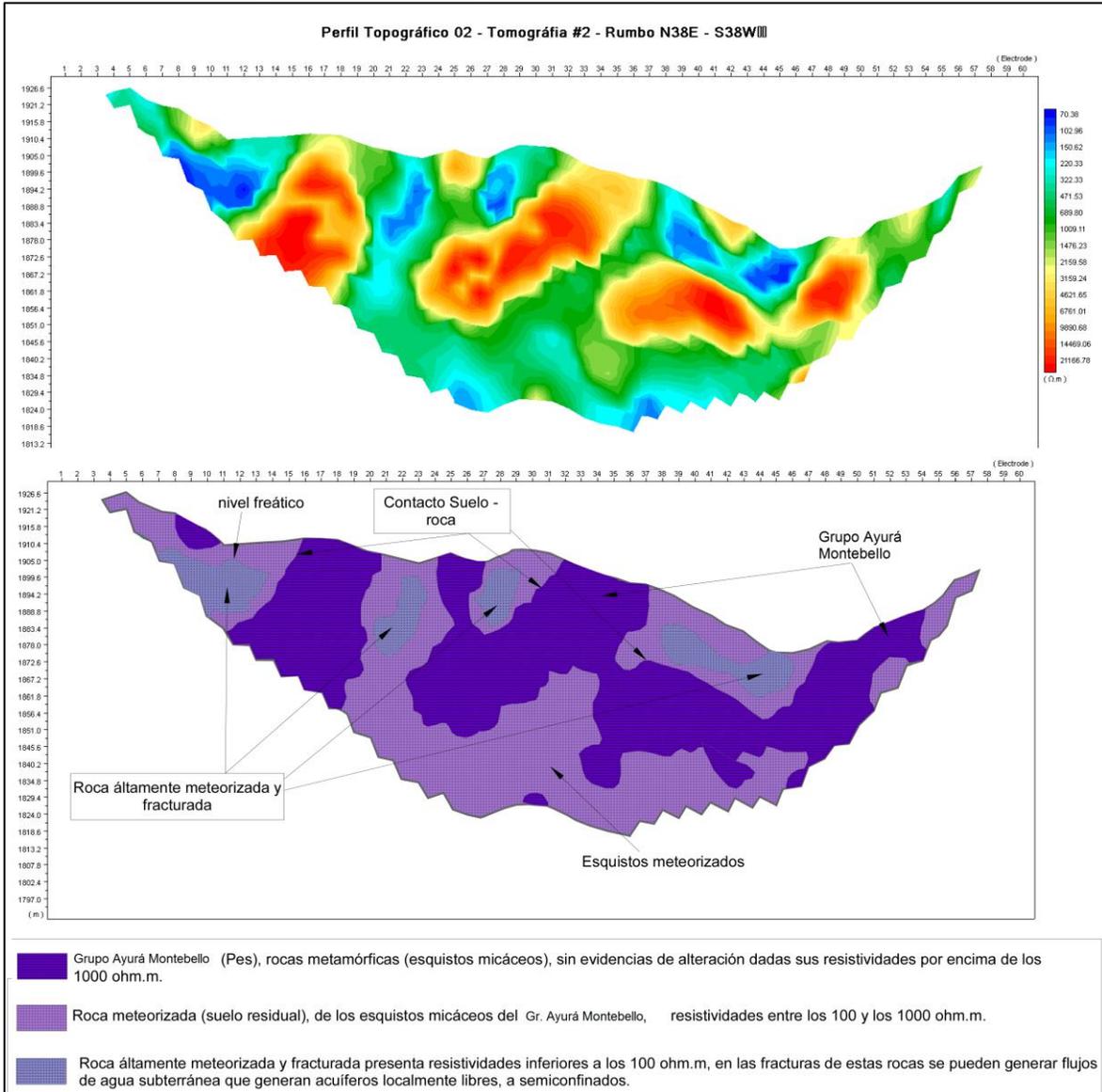


Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la tomografía 2, Figura 5-180, se evidencian tres contrastes en las resistividades unas resistividades asociadas al Grupo Ayurá - Montebello sin evidencias de meteorización o alteración resistividades superiores a los 1000 ohm.m, en algunos tramos la roca fresca aflora en superficie (electrodos 8-11, 16-21, 25-27, 32-37, 49-54), se evidencia la formación de acuíferos libres y semiconfinados localmente, no muy extensos donde el nivel freático presenta variaciones que oscilan entre los 0 m (electrodos 45-46), 5 m (electrodo 12, 22-23, 28-29), y 7 a 10 m (electrodos 39-43), el contacto suelo residual roca presenta una geometría compleja atribuible a la foliación y bandeamiento de los esquistos, formando

espesores de roca meteorizada des hasta 40m.

Figura 5-180 Tomografía 2 (Longitud 300 metros).

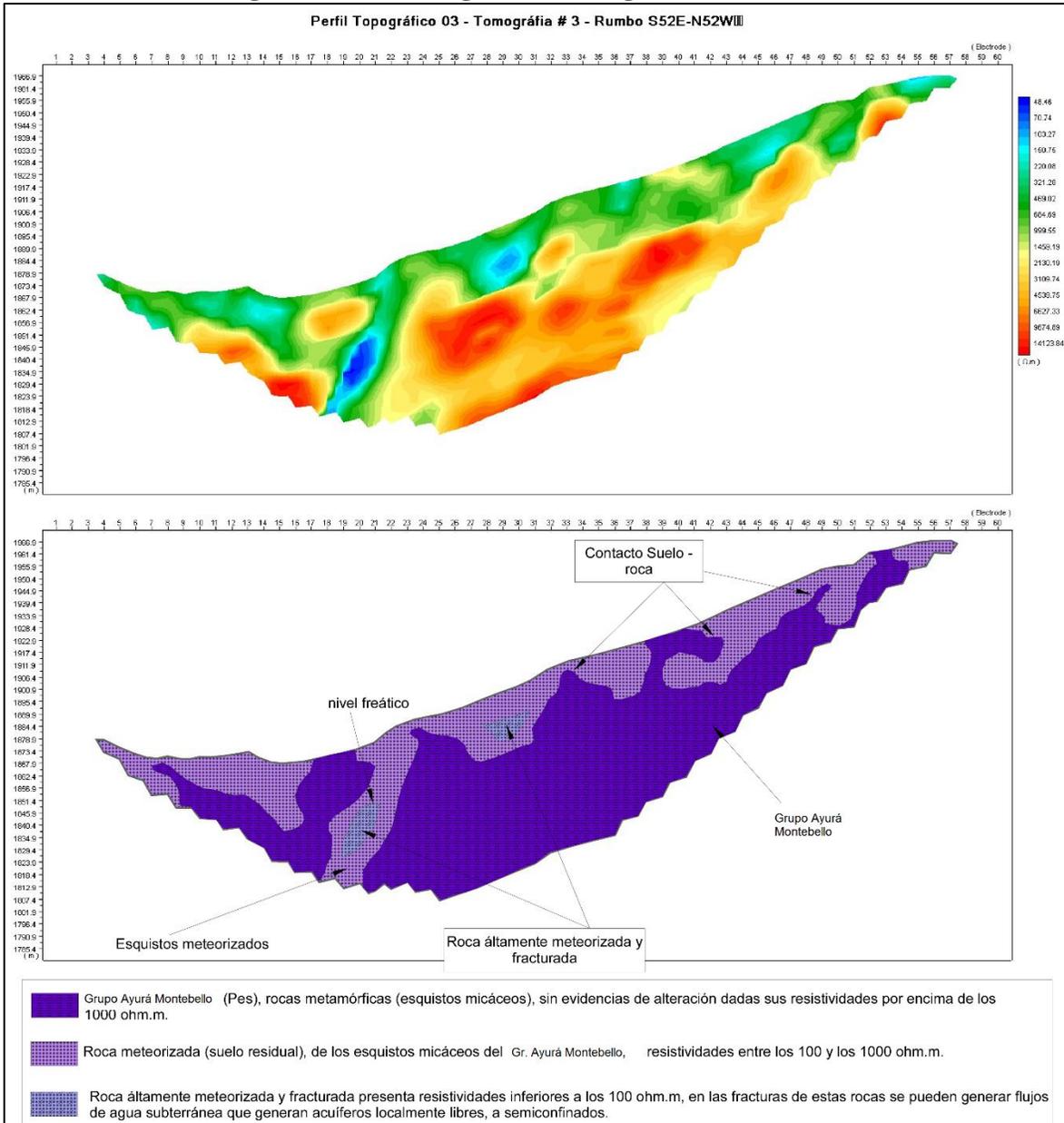


Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para la tomografía 3, Figura 5-181, se puede evidenciar una posible zona de falla en los electrodos 22 y 23, con un rumbo NE buzando al NW, se presentan bajas resistividades como evidencia de un alto grado de meteorización y fracturamiento, es posible que asociado a este fracturamiento se encuentren acumulaciones y flujos de agua subterránea a 27 m de profundidad (electrodo 21-22), en el electrodo 30 también se evidencia la acumulación de agua subterránea a aproximadamente 20 m (electrodos 29-30). En este perfil de resistividad se observa la generación de suelo residual asociado a la meteorización

del Grupo Ayurá - Montebello, el contacto suelo – roca es irregular, asociado al grado de exposición de la roca dependiente de su ubicación, pendiente, diaclasamiento, este contacto presenta variaciones en profundidad que van desde los 5m (electrodos 7-8, 23-24, 32-33), y alcanzar profundidades de hasta 29 m (electrodos 15-16).

Figura 5-181 Tomografía 3 (Longitud 300 metros).



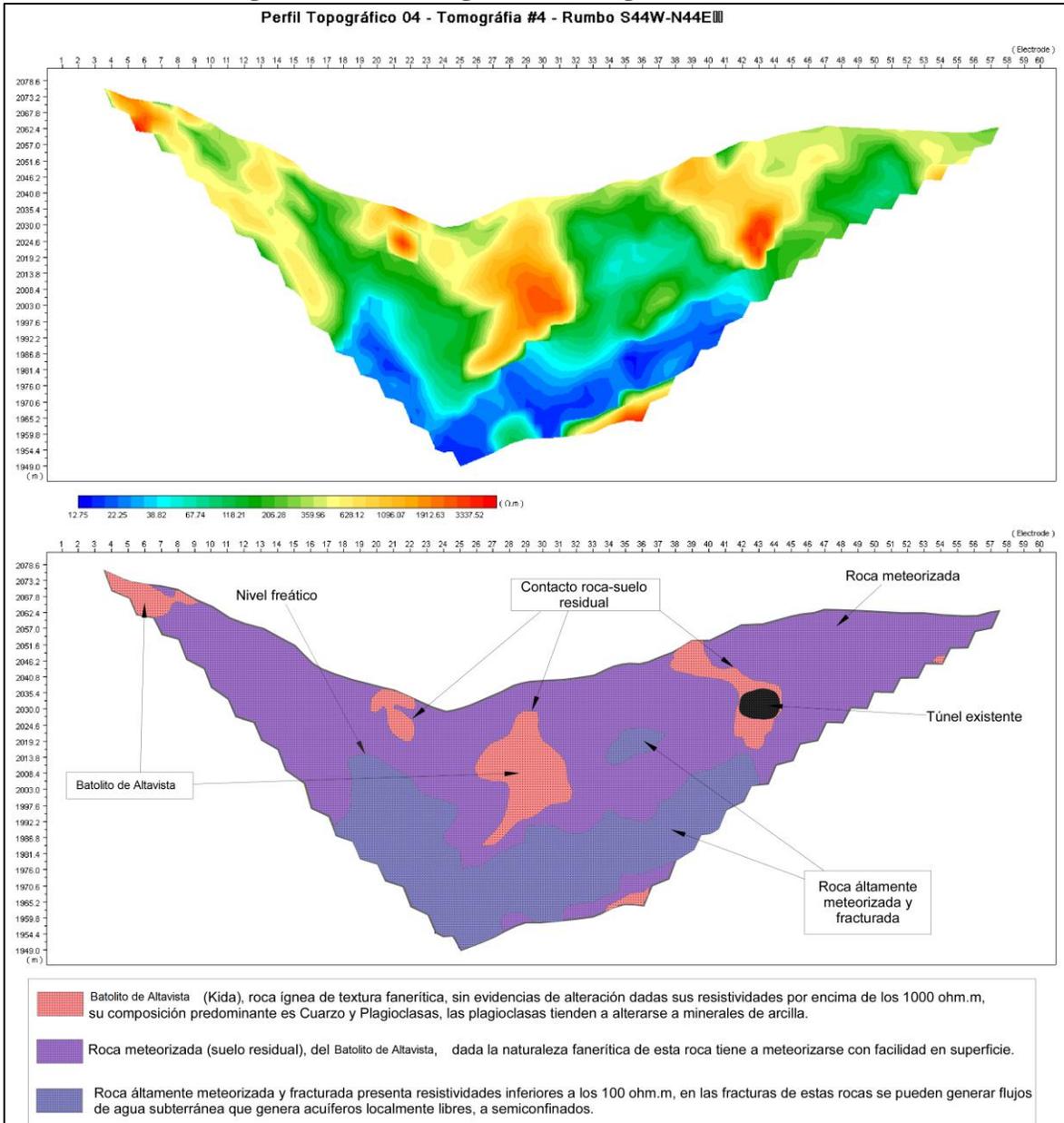
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

La tomografía 4, Figura 5-182, se realizó perpendicular al eje del trazado lo que posibilitó la observación del túnel existente (electrodos 42-44), en esta tomografía se observan 3

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

contrastes de resistividades un contraste correspondiente a roca sin alteración ni fractura asociada a la Diorita de Altavista con resistividades que superan los 1000 ohm.m; rocas meteorizadas que presentan variaciones de resistividad de 100 a 1000 ohm.m, y rocas altamente meteorizadas y fracturadas con resistividades inferiores a 100 ohm.m, a estas últimas también se les puede asociar acumulaciones de agua subterránea a lo que el contraste entre resistividades nos permite asociar una profundidad del nivel freático, en este sentido se han encontrado profundidades del nivel freático que oscilan entre los 27 m (electrodos 18-19), 25 m (electrodos 35-36), 55m (electrodo 26), la roca sin alteración aflora en varios tramos del corte (electrodos 4-9, 21-22, 38-40), la Diorita de Altavista en este tramo presenta una fuerte y constante meteorización, asociado a esto puede estar su alto contenido de plagioclasas lo que genera la alteración de estas a minerales de arcilla, el contacto roca - suelo se puede evidenciar en el electrodo 7 a 4m de profundidad, al igual que en los electrodos 29 y 30 a 12 m de profundidad.

Figura 5-182 Tomografía 4 (Longitud 300 metros).

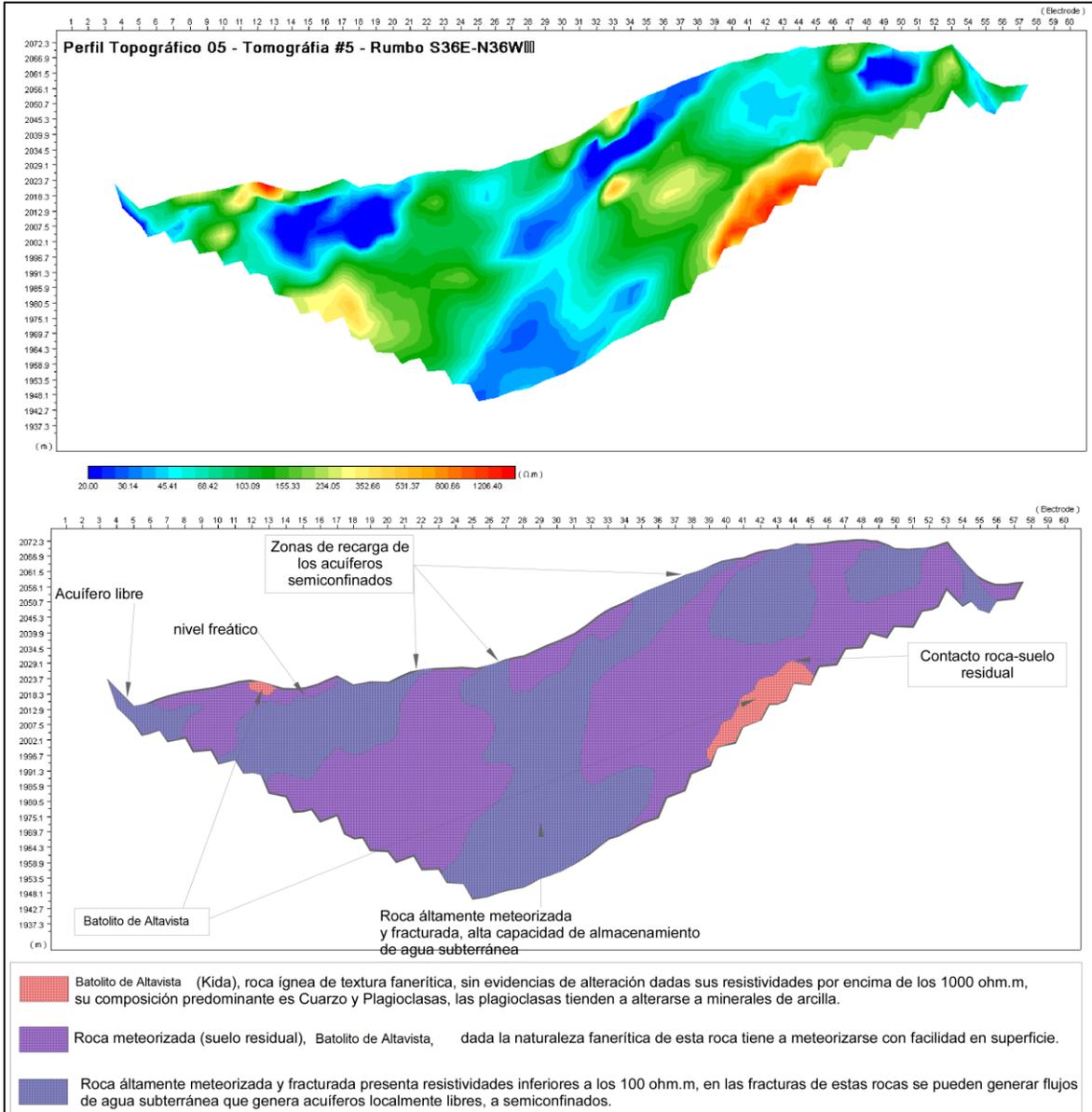


Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para la tomografía 5, Figura 5-183, se han observado tres contrastes de resistividades, en menor proporción se encuentra roca fresca asociada a la Diorita de Altavista, en superficie lo que mas abunda es la generación de suelo residual asociado a la meteorización y alteración de la Diorita, se evidencia también la generación de acuíferos libres y semiconfinados localmente distribuidos en rocas altamente meteorizadas y fracturadas de la Diorita de Altavista, también se evidencian posibles zonas de recarga (electrodos 4-6, 18-22, 34-40, 43-45, 49-52), en esta tomografía se evidencia la magnitud de meteorización y

alteración que tiene la Diorita de Altavista en el área de estudio, donde en la zona mas profunda (80 m) no se evidencia roca fresca a esa profundidad, la roca inalterada se observa en superficie en los electrodos 12 y 13, entre los sitios de ubicación de los electrodos 39 a 45 a 35 m de profundidad, se observan resistividades superiores a los 1000 ohm.m que se asocian a la Diorita.

Figura 5-183 Tomografía 5 (Longitud 300 metros).



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

La información tomada de los archivos de las Tomografías geoelectricas, permite extraer a partir de la litología la base de datos, que se emplea en el programa computacional Surfer

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

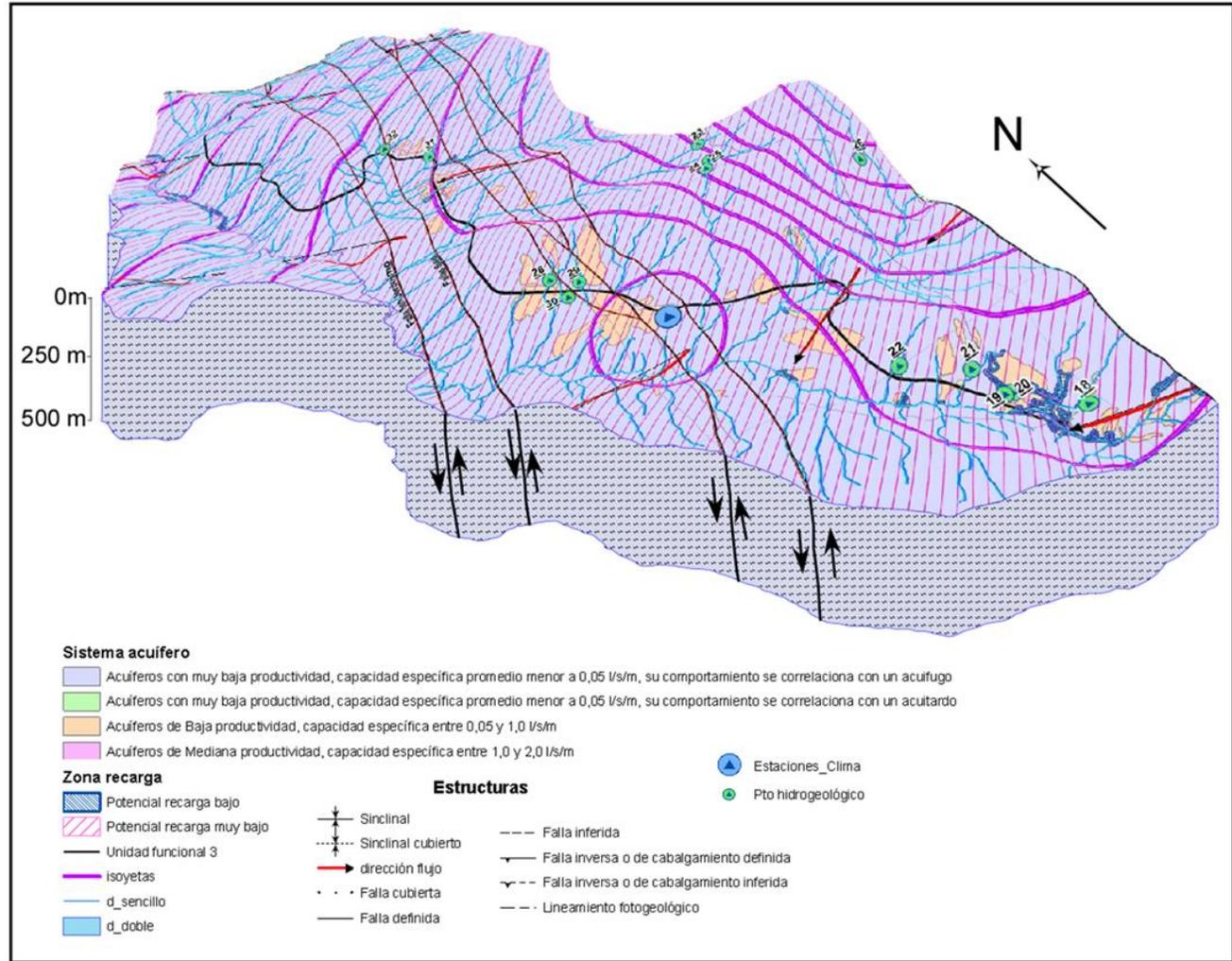
(Marca registrada de Golden Software), para la creación de las diferentes capas e isolíneas, como también del gráfico tridimensional en sus respectivos cortes.

Teniendo en cuenta esta información se procede a generar las capas superiores e inferiores de los acuíferos identificados, asociando esto con las principales estructuras geológicas identificadas y geo-referenciadas generadas de las 9 secciones levantadas en la galería piloto, las zonas de flujo preferente del agua subterránea incluidas en el modelo hidrogeológico conceptual obedecen a las direcciones de flujo de los acuíferos someros teniendo en cuenta que se utilizaron los datos obtenidos a partir del inventario de puntos de agua subterránea los cuales en su mayoría son manantiales, los perfiles de meteorización de las tomografías eléctricas así como los datos de nivel freático no se incluyen dentro de la figura del modelo hidrogeológico conceptual ya que por la escala estos no son visibles, el contacto suelo – roca que sugiere la prospección geofísica oscila entre los 0 y los 80m, y la variación del nivel freático que sugiere la prospección geofísica sugiere variaciones que oscilan entre los 0 y los 45 m, los análisis fisicoquímicos se asocian a la litología de cada unidad y permite definir límites litológicos e hidrogeológicos.

Se generaron secciones que representan los modelos hidrogeológicos conceptuales para cada unidad funcional, en este sentido para la unidad funcional 1 se generaron dos (2) modelos hidrogeológicos (Ver Figura 5-184 y Figura 5-185), y para la unidad funcional (3) un modelo hidrogeológico el cual corresponde al área del túnel. (VerFigura 5-186).

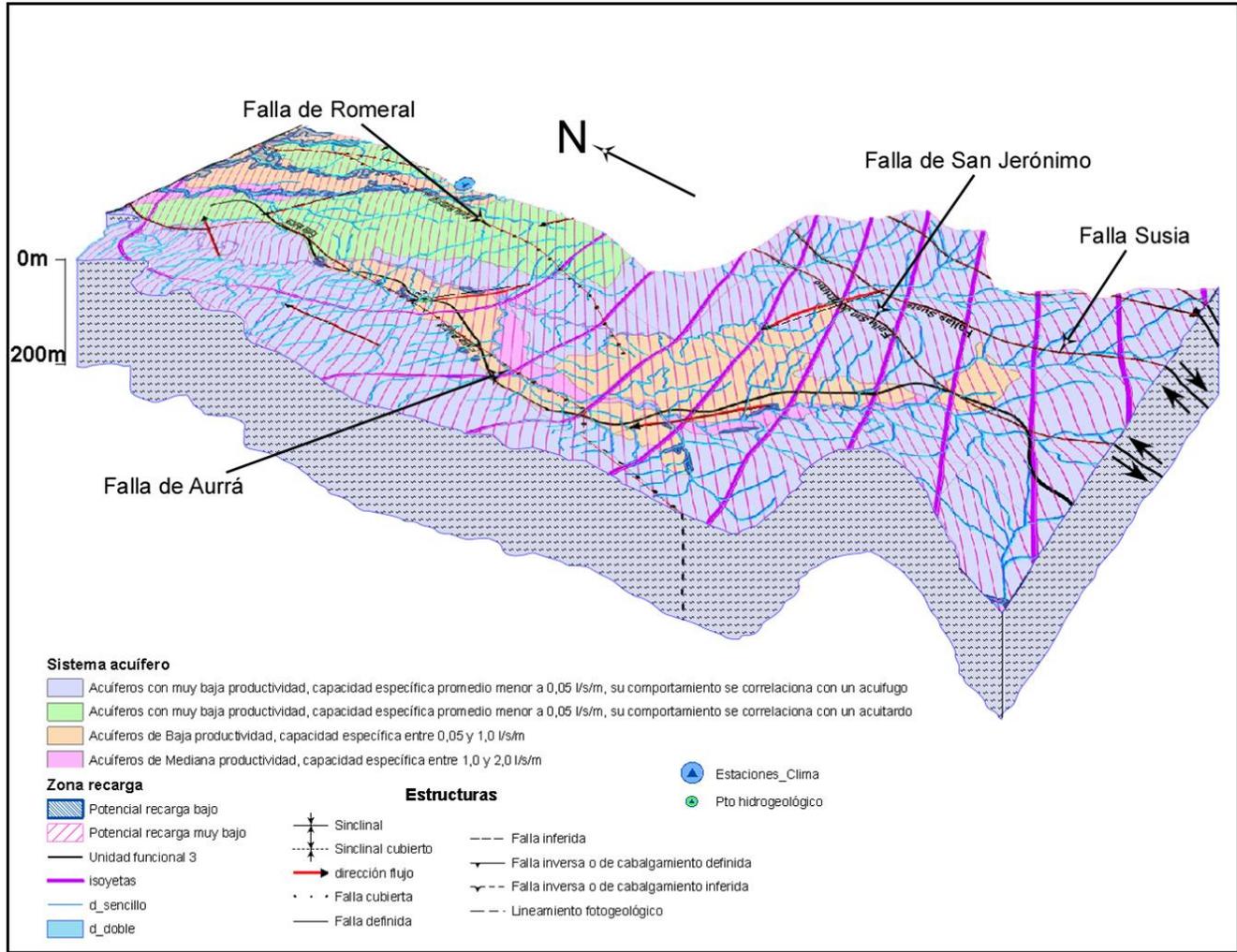
Para el modelo hidrogeológico conceptual para el área del túnel (ver Figura 5-186), se evidencia por la litología en superficie el área de potencial de recarga baja, que se encuentra asociado a los depósitos de edad Cuaternario, los cuales tienen poco espesor, también se obtiene un área de potencial de recarga muy bajo asociado a los suelos producto de la meteorización de los complejos ígneo metamórficos, y el macizo rocoso.

Figura 5-184 Modelo Hidrogeológico conceptual Unidad funcional 1 (parte 1)



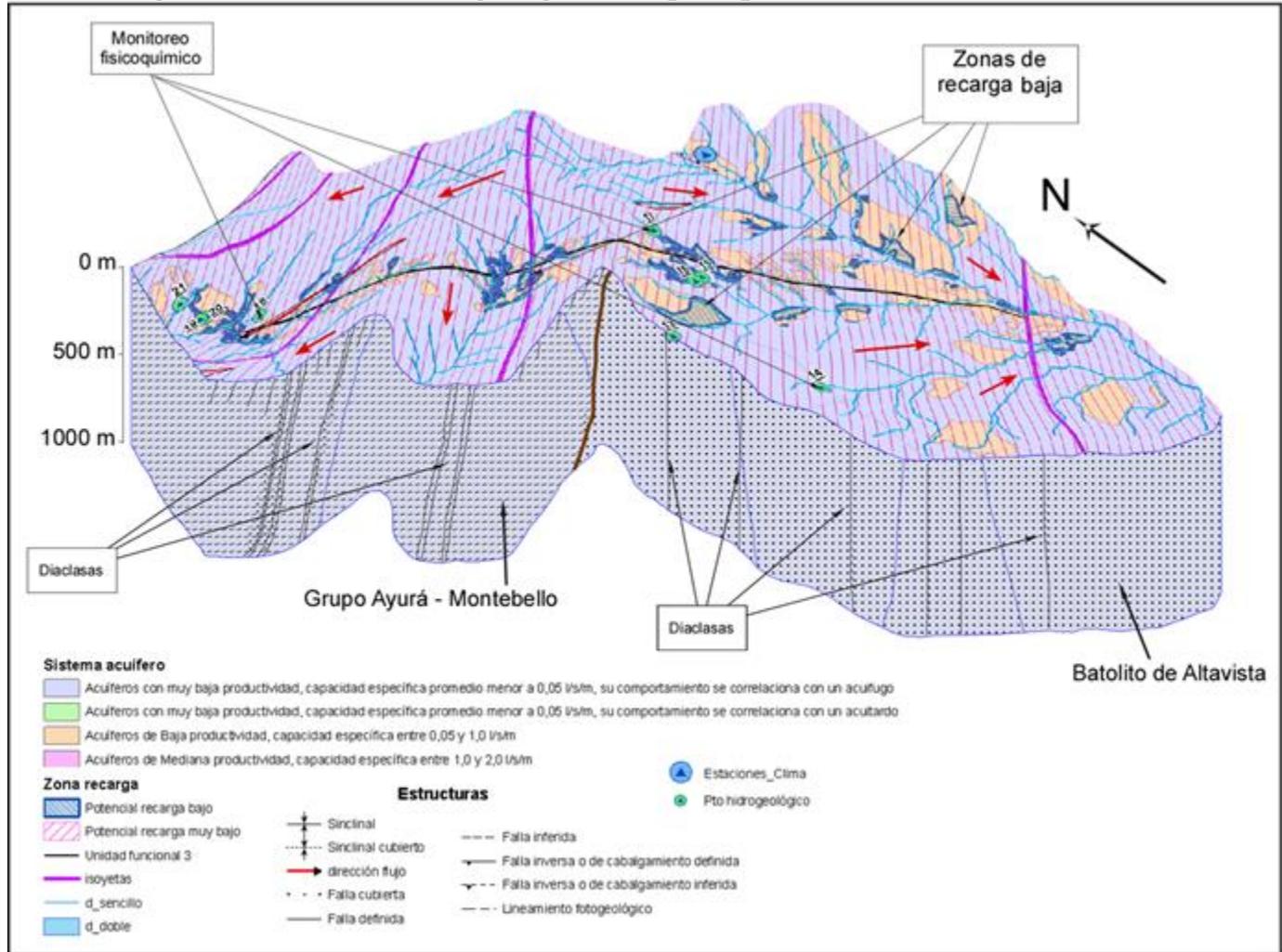
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Figura 5-185 Modelo Hidrogeológico conceptual Unidad funcional 1 (parte 2)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Figura 5-186 Modelo Hidrogeológico conceptual para la Unidad funcional 3 (túnel)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.8.7 Modelo matemático del flujo de agua subterránea para el tramo del túnel

El modelo matemático de flujo de aguas subterráneas fue generado a partir de los datos estructurales obtenidos de la galería piloto (túnel existente) los cuales fueron el insumo para generar las direcciones de flujo preferente del macizo rocoso, también se dispuso de los datos del inventario de puntos de agua subterránea, prospección geofísica y geotécnica y unas perforaciones auxiliares realizadas. Este es un modelo que funciona para el área del túnel propuesto, puesto que se encuentran en la misma dirección, con las mismas unidades geológicas y la separación entre túnel y túnel no es mayor a 30 m. medida no significativa para la escala geológica e hidrogeológica, en este sentido se considera el túnel existente como una galería piloto que ha servido de herramienta para la caracterización geológica e hidrogeológica del maciso rocoso del área de influencia.

- **Metodología.**

El objetivo de la modelización es estimar, a partir de los datos con los que se cuenta en la actualidad, la afección que la construcción del túnel puede suponer al régimen de los acuíferos que atraviesa, y en consecuencia la incidencia que ello puede suponer sobre las captaciones y aprovechamientos existentes. Se han estimado también las filtraciones que se van a producir en los túneles en fase de construcción y de explotación.

La información de entrada en muchos casos se ha tomado teniendo en cuenta el escenario más crítico, es decir se plantea una profundidad de nivel freático muy somera, un basamento hidrogeológico muy fracturado que pueda actuar como medio de porosidad secundaria, entre otras condiciones.

- **Validez de la modelización matemática MODFLOW.**

El modelo a gran escala del túnel, con el que se analiza el comportamiento y funcionamiento en condiciones naturales de los acuíferos afectados, se ha realizado por medio del código MODFLOW, empleando el programa Visual MODFLOW.

El MODFLOW es un código abierto desarrollado por el USGS (United States Geological Survey), del que se han ido realizando varias versiones. La versión MODFLOW-2000 es la utilizada para los cálculos realizados en este documento.

El MODFLOW se utiliza para la modelización del movimiento del agua a través de un medio poroso que cumple unas ciertas condiciones de homogeneidad y ortotropía. En este caso, la elaboración del modelo numérico del sistema macizo-túnel mediante el programa MODFLOW cumple las condiciones necesarias para que el flujo del agua pueda ser asimilado como un flujo en un medio poroso.

Esta equivalencia, si bien no es exacta, se puede considerar suficientemente aproximada en estos tipos de macizos rocosos fracturados. Ello se debe a que las dimensiones de la sección

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

del túnel son pequeñas en comparación con las dimensiones del macizo, y por otra parte, la distancia media entre diaclasas, tal como se ha señalado en apartados anteriores, es pequeña en comparación con las dimensiones de la sección del túnel. Por otro lado, el flujo en el sistema puede ser considerado como estacionario, donde hay un equilibrio entre el caudal drenado por el túnel y la recarga proveniente del exterior.

El túnel se considera como una galería de drenaje donde la presión es la atmosférica, lo que produce cambios en los gradientes hidráulicos del macizo, reorientando el flujo hacia el túnel. En estas condiciones, existe la posibilidad de que descienda el nivel freático si el caudal drenado por el túnel es mayor que el aporte de la recarga. En este tipo de acuíferos que se consideran libres, los efectos en el sistema hidrogeológico se reflejan en la magnitud de dichos cambios en el nivel freático.

- Validez de los datos climatológicos.

Los datos climatológicos utilizados en los análisis han sido datos generales a gran escala publicados por IDEAM para el conjunto de Colombia. Si bien existen datos de precipitaciones más pormenorizados de múltiples estaciones meteorológicas repartidas por todo el país, de cara al estudio de las aguas subterráneas se trabaja preferiblemente con valores de lluvias medios en zonas geográficamente amplias. De este modo se evitan las variaciones locales y temporales de las variables climáticas (precipitación, fundamentalmente), que no se transmiten en la realidad al sistema acuífero.

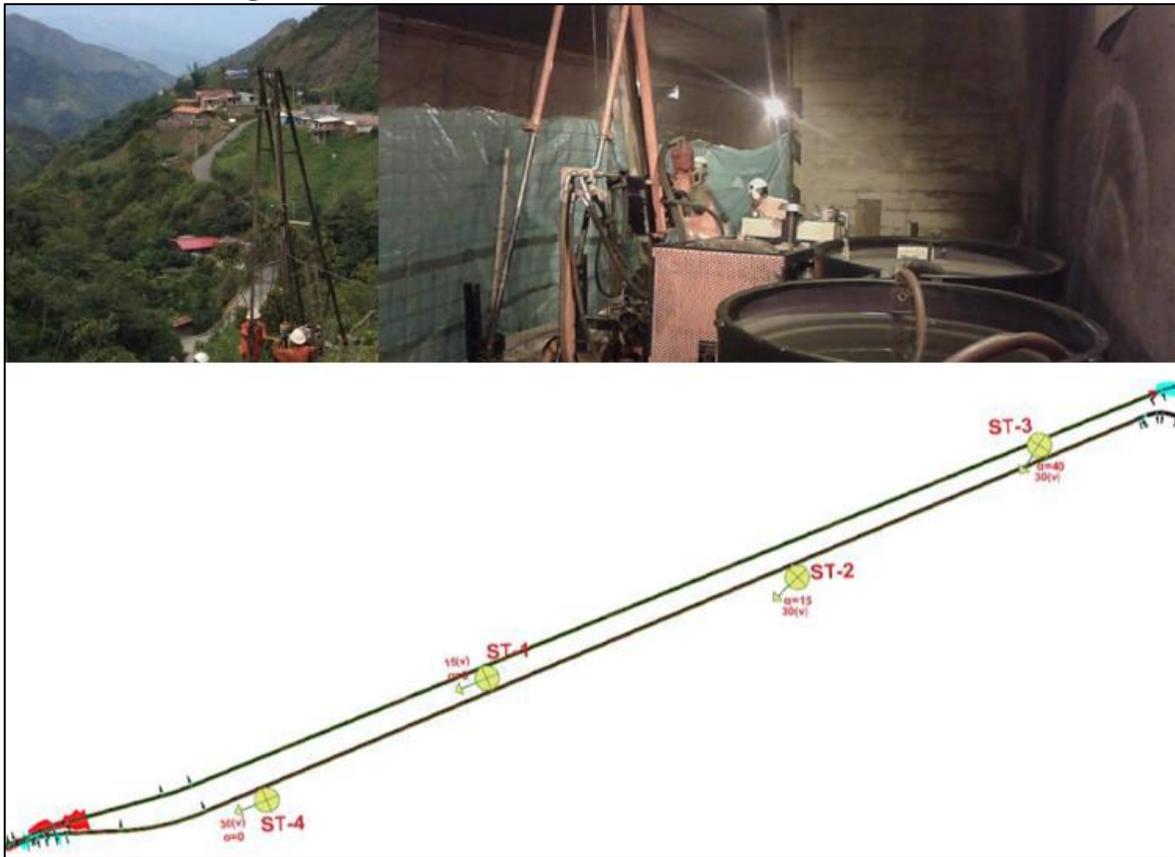
Adicionalmente, cabe decir que los parámetros de entrada a los modelos son principalmente los niveles freáticos deducidos de la configuración topográfica, teniendo la infiltración una influencia muy menor en los resultados.

- Validez de los datos hidrogeológicos.

El modelo se realiza en régimen permanente, por la longitud del túnel, se ha utilizado para analizar las variaciones estacionales de los niveles freáticos y de los caudales de infiltración. No obstante, dado que no se dispone de suficientes datos de niveles freáticos medidos a lo largo de un año completo, estos análisis se han tenido que basar en una estimación desde un escenario muy crítico de la variabilidad de los niveles freáticos naturales en función de la variación estacional de precipitaciones.

A partir de siete (7) perforaciones realizadas en el área de influencia, se pudo determinar que no hay nivel freático y que efectivamente los niveles estimados para el modelo fueron muy pesimistas y representan el escenario más crítico posible. (Ver Figura 5-187)

Figura 5-187 Perforaciones asociadas al área del túnel.



Fuente: Modificado de TYPESA, 2013.

- **Datos Climatológicos.**

Según los datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), los principales indicadores climáticos de la zona del Túnel de Occidente se resumen a continuación:

Precipitación: Se sitúa en torno a los 2000 mm/año, con un máximo de 2500 mm/año en las zonas más altas.

Número de días con lluvia: Alrededor de los 200 días al año.

Temperatura media: La temperatura media de la zona está en los 16° a 18°, menor en las zonas altas y mayor en las laderas.

Evapotranspiración: Los estudios de IDEAM muestran una evapotranspiración potencial en el orden de los 1250 mm/año en la zona. No obstante, la evapotranspiración real ETR se ha calculado por medio de la expresión de Turc, que es la siguiente:

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$\text{Siendo } L = 300 + 25t + 0.05t^2$$

En esta expresión P es la precipitación total anual y t es la temperatura media anual. Sobre esta expresión (válida en principio para todos los climas) se prefiere aplicar un coeficiente corrector de 1.15, para tener en cuenta que la zona de estudio está en la zona tropical, en la que la vegetación es más densa que el promedio global, y por lo tanto también la evapotranspiración.

Con esta corrección se ha calculado la ETR en las áreas de distintas características que se indican más adelante, resultando valores alrededor de los 1000 mm/año, siendo algo inferior a los datos de IDEAM.

Escorrentía: La escorrentía promedio anual del área de estudio, evaluada de forma global (caudal que conducen los ríos), está situada alrededor de los 1000 mm/año (datos de IDEAM, 2010). La escorrentía sobre el terreno será menor, ya que la cifra anterior incluye también la parte que se infiltra y posteriormente termina saliendo a la superficie en manantiales. La escorrentía depende del relieve, de la permeabilidad del suelo y de la presencia de vegetación. Las áreas más pendientes, que coinciden con las zonas más altas topográficamente y con mayor precipitación, son consecuentemente las que tienen una mayor escorrentía. El coeficiente de escorrentía (fracción de la precipitación que escurre) se ha podido evaluar mediante la tabla de Razuri, 1984.

En el área de estudio el terreno está ocupado por bosques en las zonas más altas y lluviosas, mientras que en el resto se alternan prados y matorrales con bosques dispersos. Aparece en todo caso un relieve bastante escarpado, aflorando las rocas con capas de suelos residuales arcillosos de cierta importancia, que tienden a ser impermeables. Se han considerado tres zonas dentro del área de estudio a efectos de calcular la escorrentía, tal y como se explica en el siguiente apartado.

Recarga natural: La recarga puede calcularse como la diferencia entre la precipitación y la suma de evapotranspiración y escorrentía. Se ha considerado una única zona dentro del área de estudio:

- ✓ Zonas bajas de valle, de relieves algo más suaves y abundancia de pastos y matorrales.
- ✓ Zonas de ladera de fuerte relieve y vegetación alterna de bosques y prados.
- ✓ Zonas altas y relativamente llanas, con coberturas de bosques.

En la Tabla 5-101 se calcula la infiltración o recarga de cada zona. Se observa que la infiltración es muy pequeña en la mayor parte del área, prácticamente nula. Sin embargo, en las zonas de altiplano la recarga sí es significativa y alcanza un valor del orden de los 500 mm/año, que será el valor utilizado en los modelos. La causa es la fuerte precipitación

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

y baja evapotranspiración por la baja temperatura, unido a una escorrentía reducida por las pendientes suaves.

Tabla 5-101 Cálculo de la recarga (infiltración) anual en el área del túnel

Zona Topográfica	Zonas de Valle	Zonas de ladera	Altiplanos
P (mm/año)	2000	2200	2500
T media (°C)	18	17	16
Coefficiente L (Turc)	1041,6	970,7	904,8
ETR (mm/año) – Turc	933,8	895,4	855,8
ETR (mm/año)	1073,9	1029,7	984,1
Coef. E	50,0%	55,0%	40,0%
Escorr. (mm/año)	1000	1210	1000
Infiltr (mm/año)	0,0	0,0	515,9

Fuente: Modificado de TYPSA, 2013.

- **Tipos de terreno y permeabilidades.**

Para modelizar el comportamiento del acuífero del túnel de Occidente, se han diferenciado cuatro tipos de terreno con permeabilidades distintas, que se indican a continuación:

- ✓ Suelos residuales y Saprolito, que se ha tomado como un mismo material. Se ha considerado un espesor mínimo de 25 m.
- ✓ Roca superficial, hasta 100 m de profundidad, con las juntas relativamente abiertas. Se considera que, a efectos de permeabilidad, en el modelo se puede considerar el mismo material para las dos formaciones de roca identificadas.
- ✓ Formación KidA, Diorita de Altavista, macizo rocoso sano formado por dioritas y granodioritas. Se considera a partir de 100 m de profundidad, coherente con la cartografía geológica.
- ✓ Formación Pzes, Grupo Ayurá Montebello, macizo rocoso sano formado por esquistos y filitas. Se considera a partir de 100 m de profundidad, coherente con la cartografía geológica.

En todos los casos se ha partido de los valores generales mostrados por la bibliografía y los estudios previos, que se han modificado a la vista de los resultados de la campaña efectuada y de la mayor o menor presencia de fallas importantes.

Los coeficientes de permeabilidad (conductividades) generales están referidos al plano XY, es decir, son conductividades horizontales. En la dirección Z se ha considerado que el terreno es más impermeable en todos los tipos de terreno, ya que el agua tiene más dificultad para desplazarse en la dirección vertical. Esta suposición es habitual en numerosos modelos hidrogeológicos.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

En general, se ha considerado que la permeabilidad en dirección vertical es un orden de magnitud inferior que en dirección horizontal.

En este caso, gracias al conocimiento adquirido durante la excavación del primer tubo, se tiene un conocimiento general de la permeabilidad del macizo. Entre otras cosas, se ha podido determinar que el contacto entre las dos formaciones de roca no supone una vía preferente de agua.

La empresa concesionaria del túnel de Occidente ha facilitado al equipo del Consorcio T&C acceso a aforos realizados en el túnel. Estos datos han permitido analizar y realizar cálculos iterativos, que han permitido ajustar la conductividad de cada uno de los macizos rocosos. En este caso, también se ha tenido en cuenta el factor de escala del área de trabajo de un análisis de estas características, a escala regional, frente a análisis más localizados. En general, se acepta que a mayor área analizada, mayor es la conductividad de un macizo rocoso. (Ver Tabla 5-102)

Tabla 5-102 Tipos de terreno considerados en el modelo.

Tipo de terreno	Descripción	Conductividad XY	Conductividad Z
Formaciones superficiales	Suelos residuales arcillosos y saprolito de granitos/gneises	$K = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s	$K = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s
Roca superficial (< 100 m)	Granodioritas (Kida) hasta el K 3+000, Grupo Ayurá Montebello (Pzes) en adelante	$K = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s	$K = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s
Roca sana (> 100 m)	Diorita de Altavista. Granodioritas y dioritas (Kida) hasta la K 3+000	$K = 5 \cdot 10^{-7}$ m/s	$K = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s
Grupo Ayurá Montebello (Pzes) (> 100 m)	Esquistos y Filitas (Pzes) desde la K3+000 hasta final del tramo	$K = 2,5 \cdot 10^{-7}$ m/s	$K = 2,5 \cdot 10^{-8}$ m/s

Fuente: Modificado de TYPASA, 2013.

- **Observaciones sobre el terreno.**

La calibración del modelo se ha realizado ajustando los resultados a las observaciones realizadas sobre el terreno. En los siguientes puntos se resumen estas observaciones:

- ✓ Aforo de los caudales reales infiltrados en el tubo existente. El valor medio del caudal registrado es de unos 15-16 l/s. (Ver Tabla 5-103)

Tabla 5-103 Lectura de caudales infiltrados en el Túnel de Occidente.

Fecha	Punto de Lectura	Caudal (l/s)
Septiembre - 2011	Puente La Negra	13
Diciembre - 2011	Puente La Negra	21
Enero - 2011	Puente La Negra	14,84

Fecha	Punto de Lectura	Caudal (l/s)
Abril - 2012	Puente La Negra	17,5
Mayo - 2012	Puente La Negra	18
Septiembre - 2012	Puente La Negra	11,32
Octubre - 2012	Puente La Negra	14,65
Enero - 2013	Puente La Negra	15
Febrero - 2013	Puente La Negra	16,5

Fuente: Modificado de TYPASA, 2013.

- ✓ Caudales constantes a lo largo del año en ríos y quebradas importantes, que fijan la posición del nivel freático en la superficie.
- ✓ Situación de los principales manantiales y quebradas del área.
- ✓ Niveles en los bordes del modelo, deducidos a partir de las condiciones hidrogeológicas generales de la zona estudiada.
 - **Modelo de cálculo.**

En función de los datos anteriores, se ha generado un modelo de cálculo con las siguientes características. Este modelo se ha calculado por medio del programa Visual MODFLOW, de SchlumbergerWaterServices.

Dimensiones: Modelo de 10 km de anchura por 8 km de altura, que tiene su origen en las coordenadas UTM siguientes: X= 426 531.7 Y= 691 311.0. En altitud, el punto más alto del modelo está en torno a la cota 3070 m, mientras que el más bajo topográficamente está en la cota 1740 m. La base del modelo se ha colocado en la cota 1500 m.

Capas: Se han considerado 3 capas, que se definen del siguiente modo: suelos superficiales y saprolitos (25 m de espesor medio), roca más superficial (entre 25 y 100 m de profundidad), y roca sana profunda (a partir de 100 m de profundidad). A su vez, el sustrato rocoso consta de dos formaciones rocosas: granodioritas hasta la abscisa K 3+000, y esquistos hasta el final del tramo. Estas capas se han subdividido posteriormente para mejorar la convergencia del modelo.

Discretización: Se han considerado elementos en planta de 100 m de lado (80 filas y 100 columnas).

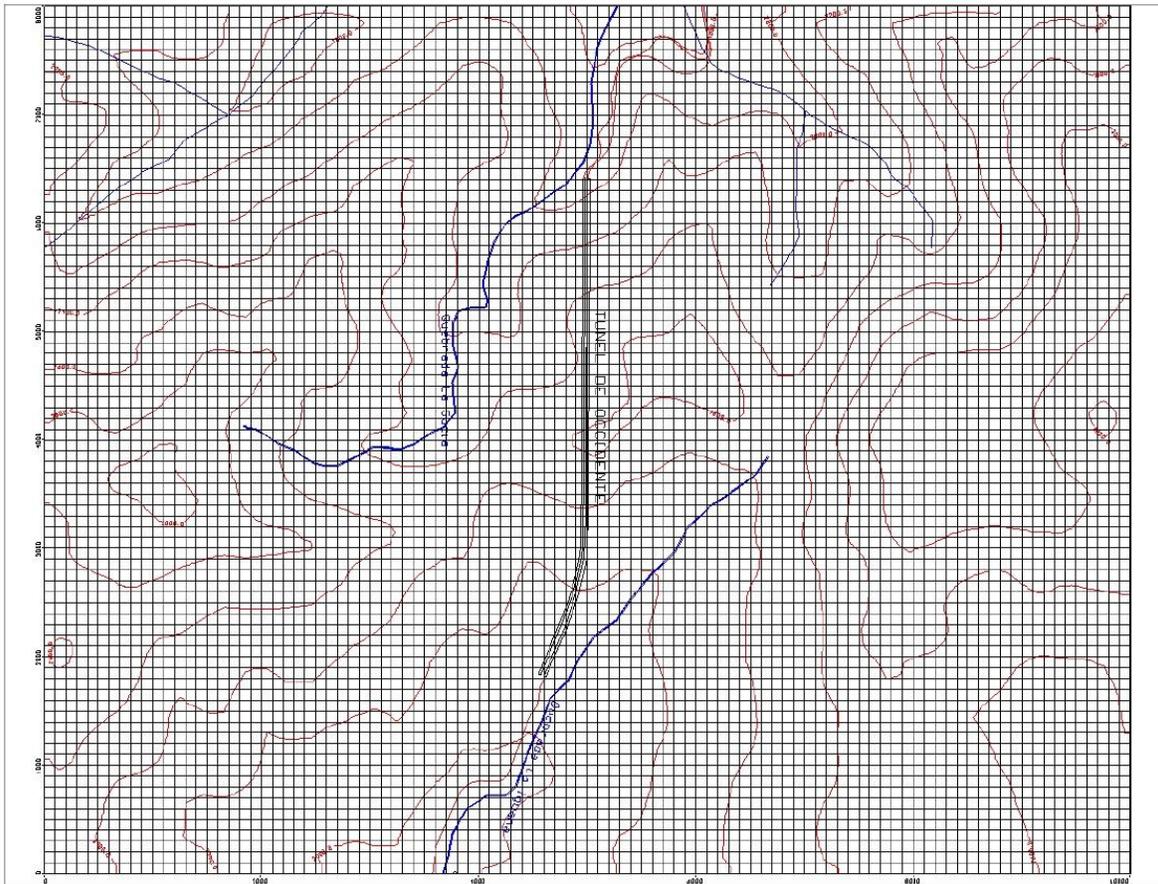
Régimen: Se considera régimen permanente, sin incorporar el tiempo al modelo.

Propiedades del terreno: Se han utilizado las conductividades indicadas en la tabla anterior, que se han ido modificando y tanteando hasta lograr reproducir las condiciones de contorno.

Condiciones de contorno: Las condiciones de contorno introducidas al modelo son las indicadas en los apartados anteriores. En este caso la recarga es nula.

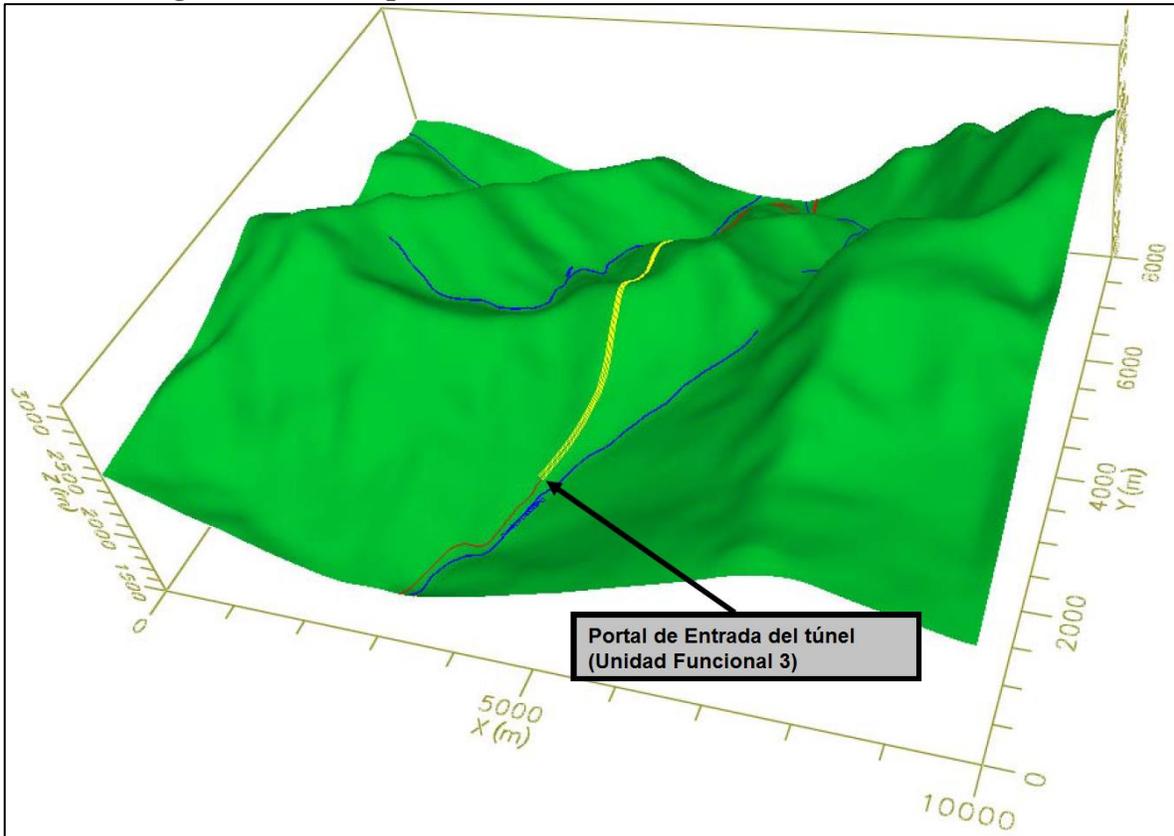
Geometría y modelo geológico: La Figura 5-188 y Figura 5-189 muestran una planta del modelo, una perspectiva tridimensional del modelo de cálculo y un mapa de contornos.

Figura 5-188 Planta del modelo de cálculo del área de influencia mostrando la discretización



Fuente: Modificado de TYP SA, 2013.

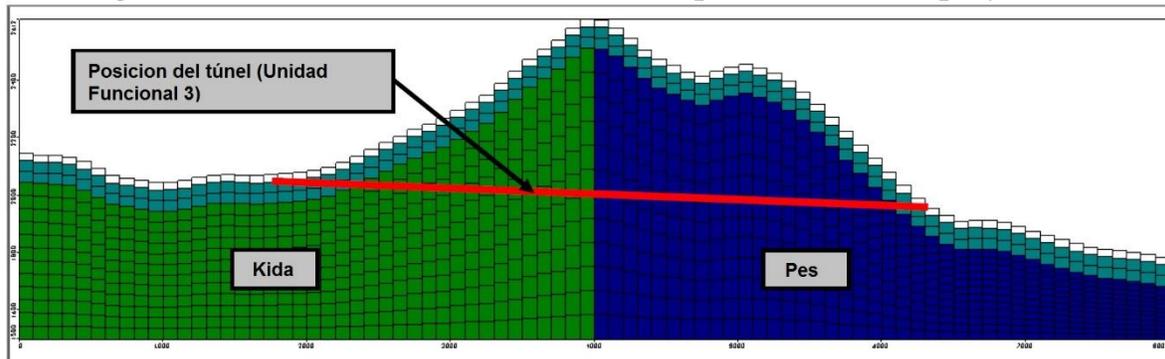
Figura 5-189 Perspectiva del modelo de cálculo del área del túnel.



Fuente: Modificado de TYP SA, 2013.

En la Figura 5-190, hay que tener en cuenta que el trazado del túnel no es una alineación recta, sino que el primer tramo del túnel, situado a la izquierda de la imagen, es en curva. Otro comentario a tener en cuenta es que las coordenadas reflejadas en dicho gráfico son relativas al propio modelo, y no corresponden ni a las abscisas del eje de trazado, ni a las coordenadas UTM.

Figura 5-190 Perfil del modelo mostrando la posición del túnel proyectado.

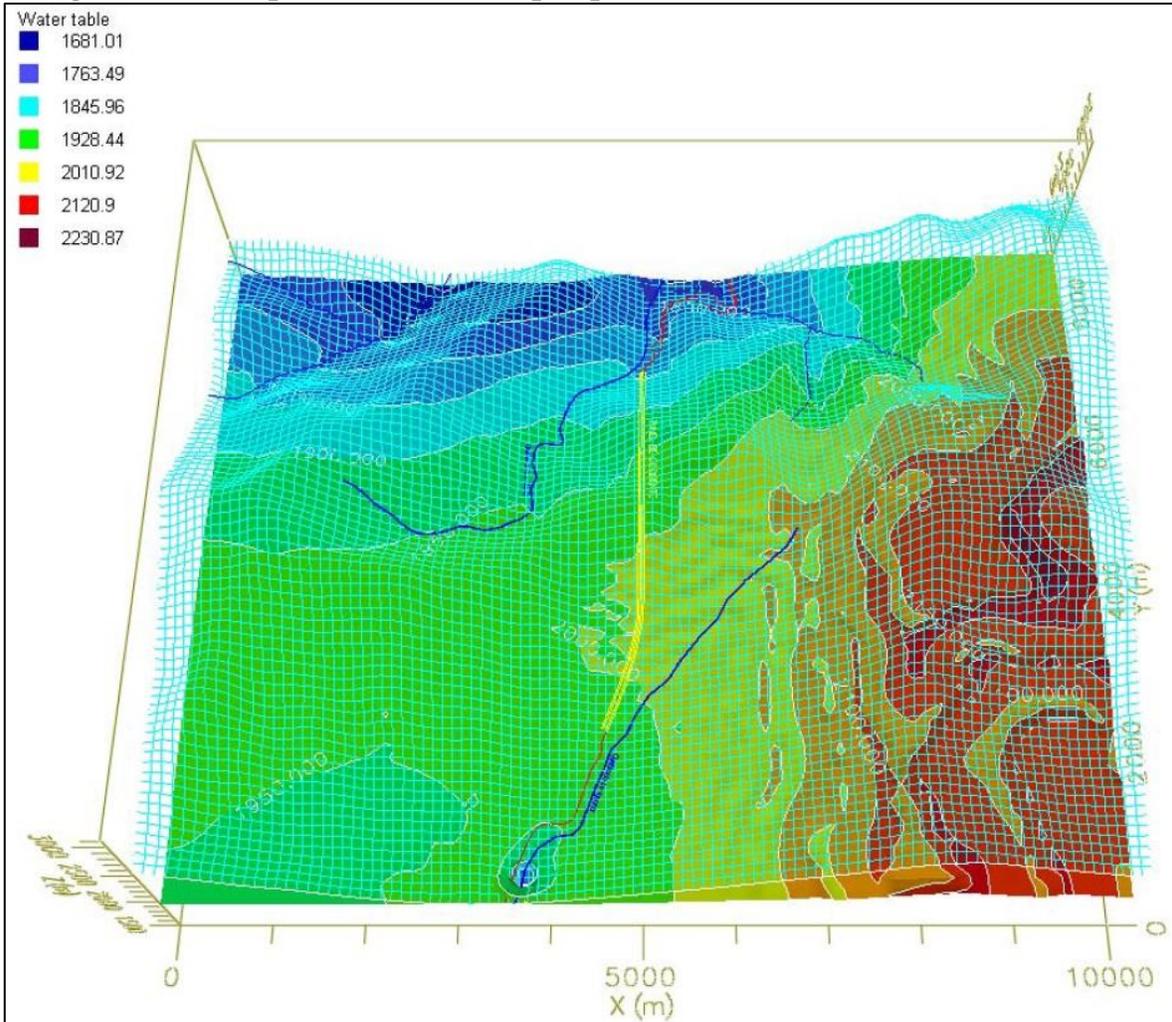


Fuente: Modificado de TYP SA, 2013.

- **Resultados del Cálculo.**

Los resultados del cálculo realizado pueden verse en las figuras que se incluyen a continuación. El cálculo ha podido establecer con bastante precisión el funcionamiento del acuífero, y como conclusiones más importantes de cara a la construcción del túnel se pueden señalar los siguientes puntos. (Ver Figura 5-191)

Figura 5-191 Mapa de contornos en perspectiva de la elevación del nivel freático.



Fuente: Modificado de TYPESA, 2013.

El túnel se aloja en un macizo de menor cota máxima que los colindantes. Este macizo presenta una cota máxima de 2550 m, frente a la cota máxima de 3000 m de las montañas adyacentes. La cota media del túnel es de 2000 m. Tanto a la entrada como a la salida del túnel, aparecen sendas quebradas, que conducen el agua de escorrentía de los macizos adyacentes hacia los valles del río Medellín y del Aburrá por el lado Oriental, y al valle del Cauca por el lado Occidental. En general, la recarga de estos macizos es muy baja, dadas

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

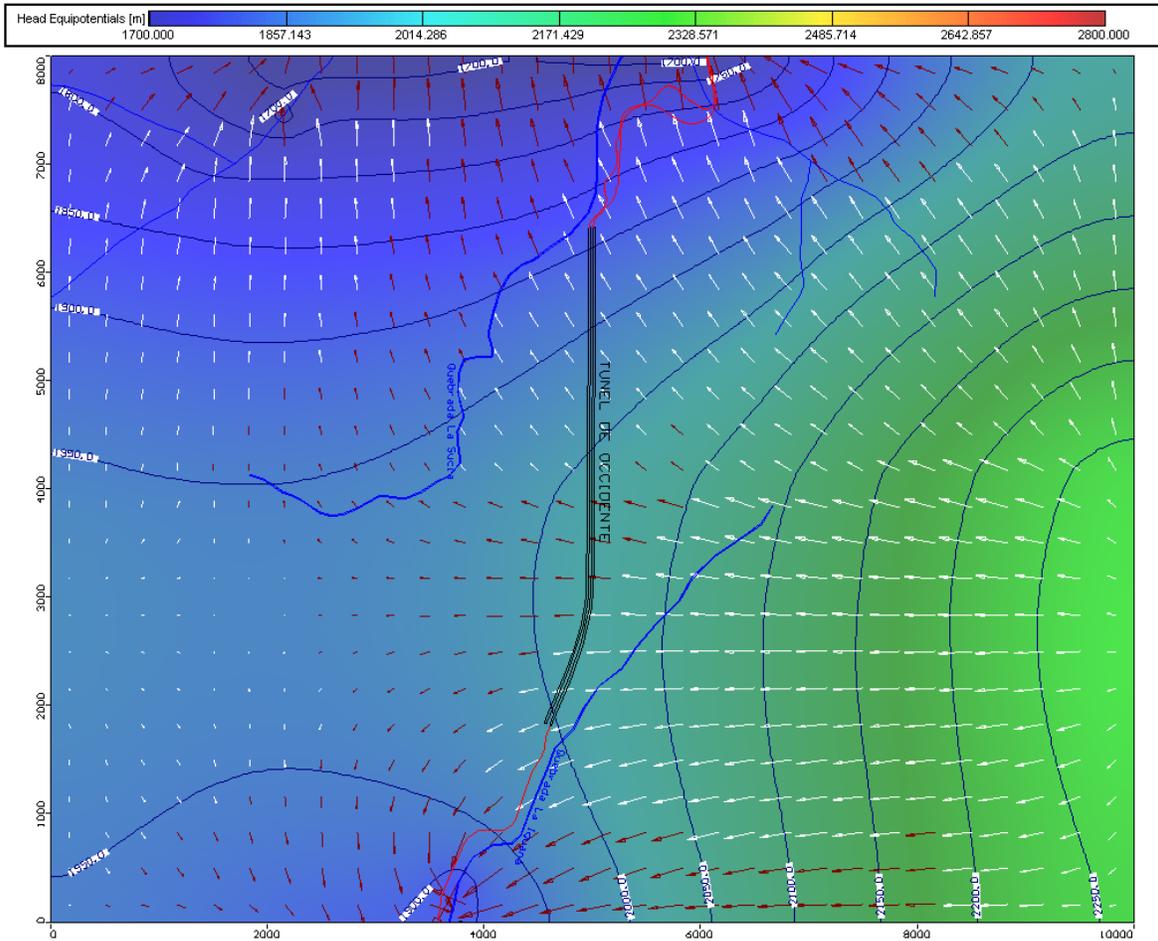
las fuertes pendientes.

El macizo rocoso en ambas formaciones diferenciadas es bastante impermeable, tal y como se ha calibrado con el aforo en el tubo existente. Esta características geológicas, junto con la recarga procedente del altiplano de Pantano, origina un nivel freático que queda por encima del túnel. Se considera que este nivel freático tiene una geometría muy estable. El túnel parece quedar por debajo del nivel freático hasta algo más de 40 m.

Es poco probable que la ejecución del túnel pueda influir de manera significativa en la profundidad del nivel de agua, pues la recarga es muy superior al caudal drenado. En este caso, el primer tubo del túnel continua drenando el macizo rocoso años después de su construcción, sin que se haya producido un rebajamiento significativo del nivel freático.

La excavación de un segundo tubo en el túnel de Occidente no se prevé que altere prácticamente la distribución hidrogeológica del sistema hidrológico existente, máxime cuando se ha previsto revestir el túnel con un anillo de concreto y colocar lámina de impermeabilización por motivos de explotación.

Figura 5-192 Mapa de direcciones de flujo en profundidad (macizo rocoso), producto del cálculo para el área del túnel.



Fuente: Modificado de TYPASA, 2013.

- **Estimación de Caudales de infiltración en el túnel.**

Una vez presentados los resultados de los modelos hidrogeológicos regionales disponibles, partiendo tanto de los parámetros y condicionantes expuestos en el apartado previo, como de los nuevos datos obtenidos a partir de la campaña de investigación geotécnica complementaria desarrollada, se han desarrollado una serie de modelos numéricos que representan las redes de filtración al interior de los túneles objeto de estudio con el fin de evaluar y cuantificar las infiltraciones que previsiblemente se producirán en el Nuevo Túnel de Occidente tanto durante la fase de construcción como durante la fase de explotación del mismo.

A partir de los resultados obtenidos a partir de la modelización numérica se ha podido establecer el caudal que a evacuar en el interior del túnel, que servirá de base para el dimensionamiento del sistema de drenaje a implementar como parte del diseño.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

○ **Conceptos previos**

Para facilitar la comprensión de las hipótesis consideradas a la hora de analizar la interacción hidráulica entre los túneles, y explicar los motivos que determinan la necesidad de los cálculos que se han desarrollado, a continuación se introduce una serie de conceptos básicos relacionados con los caudales y redes de filtración en un medio permeable, que resultan de aplicación directa para el caso que nos ocupa.

Carga Hidráulica: En el terreno, el agua sólo se mueve cuando existen diferencias de carga hidráulica entre unas zonas y otras, dirigiéndose el flujo hacia las zonas de menor carga. La magnitud que determina el flujo de agua a través del terreno es pues la carga hidráulica (h), que representa la energía mecánica total del fluido.

La ley que rige con carácter general el movimiento del agua es la conocida como ecuación de Bernoulli, según la cual la carga hidráulica (h) se expresa como:

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Siendo:

h : Carga hidráulica o energía del agua por unidad de masa (tanto potencial como cinética) en un determinado punto

z : Carga geométrica

ρ : Densidad del terreno

$\Psi = u/\gamma_w$: Carga de presión

$v^2/2 \cdot g$: Carga de velocidad (en el terreno el flujo de agua suele producirse a velocidades pequeñas)

Despreciando el término de carga de velocidad en el movimiento del agua en el terreno, la ley de Bernoulli queda reducida a la siguiente expresión:

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w} = z + \Psi$$

Permeabilidad: Tal y como se ha descrito anteriormente, el flujo de agua se produce entre puntos con diferente carga hidráulica, dirigiéndose hacia las zonas de menor carga.

Esta pérdida de carga que se da entre ambos puntos, expresada por unidad de longitud, se denomina gradiente hidráulico (i), y se define por la ecuación:

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

$$i = \text{grad}(h) = \frac{dh}{dl} \approx \frac{\Delta h}{L}$$

Considerando un régimen de flujo laminar, a partir de la Ley de Darcy se puede relacionar la velocidad de flujo (v) con este gradiente hidráulico (i) mediante el coeficiente de permeabilidad (k):

$$v = -k \cdot i \approx -k \frac{\Delta h}{L}$$

Por otro lado, teniendo en cuenta la ecuación de la continuidad y sin considerar fuentes ni sumideros:

$$M_{\text{salida}} - M_{\text{entrada}} = \rho \left[\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right] \cdot dx \cdot dy \cdot dz = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

Si se sustituyen ahora las expresiones correspondientes de la velocidad según la ley de Darcy resultará:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Y asumiendo un medio isótropo ($k_x=k_y=k_z$), nos queda la ecuación de Laplace:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \nabla^2 h = 0$$

Cualquiera de los programas de filtración que se empleen se basa en estas ecuaciones.

Variables de que depende el caudal de agua infiltrada: En definitiva, para cualquier tipo de terreno y problema a resolver, el caudal que se obtiene del cálculo de una red de filtración responde siempre a la siguiente ecuación general:

$$Q = k \cdot \Delta h \cdot C$$

Siendo:

Q : Caudal

k : Permeabilidad

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Δh : Incremento de carga hidráulica

C : Constante geométrica

En base a ello, se puede establecer que el caudal de agua que se infiltrará al túnel será:

Proporcional a la permeabilidad del medio, por lo que a mayor permeabilidad mayor será la infiltración en el túnel.

Proporcional a la diferencia de carga hidráulica, de modo que a mayor altura de agua sobre la clave del túnel, mayor será la infiltración en el mismo.

Dependiente de la geometría del caso analizado, según sea un único túnel o dos paralelos y su situación en la zona de estudio.

Por ello, en el caso de estudio del Túnel de Occidente se hace fundamental considerar la existencia del túnel paralelo para los cálculos, así como tener en cuenta el nivel freático existente en el terreno del entorno y emplear unos valores adecuados de coeficientes de permeabilidad para las unidades hidrológicas atravesadas con la ejecución del túnel.

Régimen transitorio y estacionario: De forma general, en la mayoría de problemas geotécnicos la diferenciación entre régimen transitorio y estacionario no suele ser muy relevante, y el análisis suele centrarse en el estudio de la situación estacionaria a largo plazo cuando ya se ha alcanzado el equilibrio en la red de filtración.

Sin embargo, en el caso de estudio de filtraciones en túneles, esta diferenciación es relevante, puesto que una parte muy importante de los caudales de infiltración que se producen en el túnel tienen una magnitud inicial (transitoria) notablemente mayor que la que se mantiene posteriormente en el tiempo (estacionaria).

○ **Calculo Empírico – Analíticos.**

En la bibliografía existen diferentes soluciones analíticas para valorar la presencia de agua de infiltración en túneles, que permiten obtener el valor de las filtraciones iniciales en los mismos (régimen transitorio), y tras una serie de correcciones calcular asimismo las filtraciones durante la fase de construcción (régimen estacionario).

El mayor inconveniente que presentan estas formulaciones de cara al estudio de filtraciones del Nuevo Túnel de Occidente es que son de aplicación para el análisis de túneles aislados en medios homogéneos. Por ello, el cálculo de caudales en base a estos métodos no tiene en consideración la presencia del túnel paralelo y su afección al régimen hidráulico del entorno, lo que deriva en valores de filtración conservadores (toda el agua del macizo será drenada únicamente por el nuevo túnel a excavar).

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

No obstante lo anteriormente indicado, para el caso de estudio del Túnel de Occidente, se ha realizado una estimación de caudales infiltrados en los túneles a partir de la expresión de Goodman (1965):

$$Q_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot H_0}{2,3 \cdot \ln \frac{2 \cdot H_0}{r}}$$

Siendo:

Q_0 : Caudal en $m^3/s/m$

k : Permeabilidad

H_0 : Carga hidráulica

r : radio equivalente de excavación

A la hora de aplicar esta formulación, se asume un medio homogéneo e isótropo con una permeabilidad constante en el mismo.

A este respecto cabe indicar que los caudales que se presenten en el túnel vendrán condicionados por la red de diaclasas del macizo, su fracturación y la conexión de las fracturas, aspectos éstos que pueden llegar a ser muy variables. De este modo, el nivel freático del terreno puede no coincidir con la carga hidráulica real si el macizo está sano, sus juntas cerradas y no interconectadas. Esa representación puede ser más próxima a la real en las zonas fracturadas, donde se pueda poner en contacto el nivel superficial con el del túnel a favor de la roca fracturada.

Para el caso del Nuevo Túnel de Occidente el radio equivalente de excavación (r) es de aproximadamente 5,4 m, se ha asignado una carga hidráulica (H_0) de 50 m sobre la clave del túnel (lo que corresponde a 60 m medidos desde el centro de la sección) y la permeabilidad del medio quedó definida en la Tabla 5-104 (valor de k_h).

Cabe apuntar, al respecto de lo anteriormente inidcado, que el valor de la carga hidráulica considerado resulta conservador a la vista de los resultados de los sondeos realizados en el interior del túnel paralelo, para los que no se ha observado afluencia de agua significativa, ni mucho menos la existencia de presiones de agua emergentes (presión artesiana), lo que conjuntamente con las observaciones realizadas en la zona de clave de dicho túnel dificultan la posibilidad de entender la existencia de niveles freáticos situados por encima de la cota del mismo.

No obstante, a nivel del estudio realizado, y en lo sucesivo, se opta por considerar esta

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

hipótesis, por entender que resultará conservadora de cara al dimensionamiento de las redes de drenaje y evacuación de agua a prever para la excavación del túnel.

Así pues, según la formulación de Goodman las filtraciones iniciales en régimen transitorio previstas para el Nuevo Túnel de Occidente alcanzarán un valor de $6,07 \cdot 10^{-2}$ l/s por metro lineal de túnel para las secciones excavadas en la unidad litológica Diorita de Altavista, y de $3,04 \cdot 10^{-2}$ l/s por metro lineal de túnel en el Grupo Ayura - Montebello, por lo que considerando la longitud total del túnel se obtiene un caudal de infiltración total igual a 207,88 l/s.

Cabe señalar que este método sobreestima en cierto modo el caudal, ya que normalmente los túneles se excavan en macizos finitos en los que el nivel piezométrico habitualmente se rebaja con el tiempo debido precisamente al drenaje inducido por la excavación y, una vez drenado el medio, la pérdida de presión de agua permite el cierre parcial de las juntas y la disminución por ello de la permeabilidad.

Por este motivo, Goodman desarrolló una ley parabólica que permite minorar el caudal anteriormente obtenido, para adaptarlo a la realidad que previsiblemente se presentará a lo largo del tiempo, debido a las variaciones por drenaje del acuífero.

Esta ley decreciente estima una reducción de los caudales de acuerdo a las siguientes pautas:

- En el momento inicial de excavación, el flujo resulta igual al caudal obtenido anteriormente.
- Una vez transcurridos 6 meses el flujo se habrá reducido hasta convertirse en un 20% del inicial.
- A los 12 meses de la excavación, el flujo se habrá reducido hasta convertirse en un 15% del inicial.
- A los 24 meses de la excavación, el flujo se habrá reducido hasta convertirse en un 10% del inicial.

En base a estas indicaciones, se ha calculado el caudal de filtración durante la construcción considerando los siguientes parámetros:

- Se supone la excavación del túnel con dos frentes de trabajo, situados en cada uno de los emboquilles, por lo que se excavará desde cada uno de ellos una longitud aproximada de 2280 m.
- La longitud de túnel emplazada en granodioritas y esquistos es prácticamente la misma, por lo que se asume que cada frente de ataque se excava íntegramente en cada una de estas unidades litológicas.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

- El rendimiento diario medio considerado es de 4,5 m (valor aproximado), lo que equivale a una longitud de excavación de 99 m por mes si se consideran 22 días hábiles de trabajo por mes (hipótesis conservadora).
- El máximo caudal de filtración durante la construcción se dará al término de la excavación por cada uno de los frentes de ataque, por contar el túnel con una mayor longitud excavada.
- Para facilitar los cálculos, se ha linealizado la ley parabólica de disminución de caudales de Goodman.

De este modo, el caudal de filtración máximo estimado durante la construcción del Nuevo Túnel de Occidente para cada frente de ataque sería de 38,08 l/s en el tramo ejecutado en granodioritas y de 19,04 l/s en el tramo excavado en esquistos, teniendo en cuenta los tiempos de construcción anteriormente indicados.

Por otra parte, a largo plazo (tiempo superior a 24 meses) y en base a las hipótesis antes indicadas, el régimen de filtraciones estimado supondría un caudal total a lo largo de la longitud del túnel igual a 20,79 l/s (un 10% del caudal inicialmente calculado para cada sección, según la formulación de Goodman).

Tal y como se ha determinado anteriormente, este análisis únicamente contempla la excavación de un túnel en el macizo (sin considerar la existencia previa de otro túnel paralelo), por lo que los resultados corresponderían a la situación del túnel existente, que se excavó en el macizo sin la afección de otra excavación próxima.

En el caso del Nuevo Túnel de Occidente los resultados reales que se obtendrán en obra serán previsiblemente menores a los determinados en este apartado, por los motivos anteriormente indicados.

Adicionalmente cabe indicar que este último valor es similar al obtenido del aforo de caudales del túnel existente, de lo que se puede deducir asimismo que los parámetros hidráulicos adoptados podrían resultar representativos de los terrenos modelizados.

○ **Cálculos Numéricos.**

Adicionalmente a los cálculos analíticos descritos en el apartado anterior, dada la existencia del túnel paralelo se hace necesaria la comprobación mediante métodos numéricos del caudal de filtración al interior del túnel, que posibilita la reproducción de las condiciones de contorno que nos ocupan, y por tanto arrojará valores más próximos a la realidad que se presente en el Nuevo Túnel de Occidente.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Los cálculos se han realizado mediante el programa SLIDE, de la empresa Rocscience, que permite resolver redes de filtración en 2 dimensiones (gobernadas por las ecuaciones de Darcy y de Laplace), aplicando un método numérico basado en elementos finitos.

En particular, en el caso que nos ocupa se han modelizado dos secciones diferenciadas, cada una de ellas correspondiente al tramo de túnel situado en cada una de las unidades litológicas que se atravesarán durante la excavación (Kda y Pzes)

Este programa discretiza el modelo (compuesto por los diferentes tipos de terreno y sostenimiento del túnel), en una malla irregular de elementos triangulares, asignándole a cada uno de los terrenos atravesados una permeabilidad, que en este caso se ha considerado constante y homogénea para el terreno.

Pese a tratarse de un terreno en el que la permeabilidad del mismo viene gobernada por la existencia de juntas y fisuras que permiten la circulación por permeabilidad secundaria del agua, dada la escala del modelo a analizar frente a la de las juntas en el terreno se puede considerar la hipótesis de un comportamiento homogéneo en el macizo.

Así, y partiendo de los datos ya expuestos con anterioridad, las propiedades hidráulicas asignadas a los diferentes materiales que conforman los modelos de cálculo son las que se indican en la ontorno que nos ocupan, y por tanto arrojará valores más próximos a la realidad que se presente en el Nuevo Túnel de Occidente.

Los cálculos se han realizado mediante el programa SLIDE, de la empresa Rocscience, que permite resolver redes de filtración en 2 dimensiones (gobernadas por las ecuaciones de Darcy y de Laplace), aplicando un método numérico basado en elementos finitos.

En particular, en el caso que nos ocupa se han modelizado dos secciones diferenciadas, cada una de ellas correspondiente al tramo de túnel situado en cada una de las unidades litológicas que se atravesarán durante la excavación (Kda y Pzes)

Este programa discretiza el modelo (compuesto por los diferentes tipos de terreno y sostenimiento del túnel), en una malla irregular de elementos triangulares, asignándole a cada uno de los terrenos atravesados una permeabilidad, que en este caso se ha considerado constante y homogénea para el terreno.

Pese a tratarse de un terreno en el que la permeabilidad del mismo viene gobernada por la existencia de juntas y fisuras que permiten la circulación por permeabilidad secundaria del agua, dada la escala del modelo a analizar frente a la de las juntas en el terreno se puede considerar la hipótesis de un comportamiento homogéneo en el macizo.

Así, y partiendo de los datos ya expuestos con anterioridad, las propiedades hidráulicas asignadas a los diferentes materiales que conforman los modelos de cálculo son las que se indican en la Tabla 5-104.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Tabla 5-104 Permeabilidad de los distintos materiales

MATERIAL	k_v (m/s)	k_h (m/s)
Kda	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Pzes	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
Revestimiento	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$

Fuente: Modificado de TYPESA, 2013.

Adicionalmente se han de fijar unas condiciones de contorno que definan el equilibrio hidráulico de partida. En este caso para representar el nivel freático se han fijado unas cargas hidráulicas fijas en los contornos laterales del modelo, los cuales se han situado lo suficientemente alejados del túnel objeto de estudio (a una distancia superior a 400 m) para que no tengan incidencia sobre el propio proceso de cálculo.

En base al modelo hidrogeológico tridimensional a gran escala descrito en los apartados previos del presente documento, estas cargas hidráulicas producen que sobre la clave del túnel el nivel freático se sitúe a 50 m de altura, siendo la pendiente del mismo igual a un 5% creciente hacia el noreste (el lado derecho en nuestro modelo)

En relación a esta hipótesis, y como ya se mencionó anteriormente, cabe apuntar que el valor de la carga hidráulica considerado resulta conservador a la vista de los resultados de los sondeos realizados en el interior del túnel paralelo, para los que no se ha observado afluencia de agua significativa, ni mucho menos la existencia de presiones de agua emergentes (presión artesiana), lo que conjuntamente con las observaciones realizadas en la zona de clave de dicho túnel dificultan la posibilidad de entender la existencia de niveles freáticos situados por encima de la cota del mismo.

No obstante, a nivel del estudio realizado, y en lo sucesivo, se opta por considerar esta hipótesis, por entender que resultará conservadora de cara al dimensionamiento de las redes de drenaje y evacuación de agua a prever para la excavación del túnel.

Para poder representar la excavación de los túneles, se establecen puntos con presión nula ($u=0$) en el perímetro de los mismos.

La distancia considerada entre ejes de ambos túneles es de 100 m, por considerarse ésta como la situación pésima, dado que a mayor distancia del túnel paralelo aumentará la infiltración en el Túnel de Occidente, puesto que el nivel freático de su entorno estará menos afectado por el primero (y en definitiva menos deprimido).

Una vez descrito el modelo y las condiciones de contorno consideradas para su desarrollo, en los apartados posteriores se describen las distintas fases cálculo consideradas para cada una de las litologías que se atravesarán con la excavación del Nuevo Túnel de Occidente.

Fase 1: Análisis de la situación actual: En primer lugar, con el fin de validar las propiedades asignadas a los materiales con respecto a la información disponible en la

actualidad, se ha llevado a cabo un análisis retrospectivo a partir del cual se ha comprobado que las filtraciones obtenidas para el túnel existente se correspondan con los caudales aforados durante la explotación del mismo, cuyos valores se indicaron en la Tabla 5-105.

Tabla 5-105 Caudales aforados en el túnel existente.

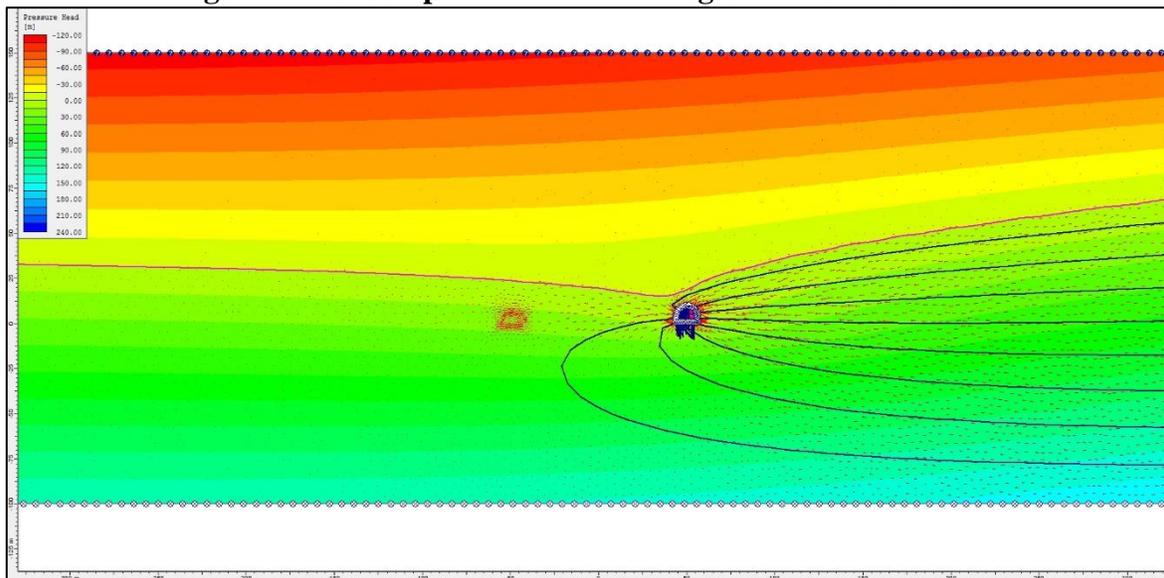
MES	Q ₂₀₁₀ (L/S)	Q ₂₀₁₁ (L/S)	Q ₂₀₁₂ (L/S)	Q ₂₀₁₃ (L/S)	Q ₂₀₁₄ (L/S)	Q ₂₀₁₅ (L/S)
Enero		15.4	14.84	15	17	16.48
Febrero		14.8	11.5	16.5	17.3	17
Marzo		19.8	18.7	19	18.3	18.3
Abril		17.4	17.5	17.25	17.43	17.3
Mayo		18.7	18	17.37	18.6	16.5
Junio		18.4	18.7	18.9	18.26	17
Julio	17.6	17.3	16.7	17.4	17.33	17.6
Agosto	16.2	16.8	16.9	17.1	17.6	17.1
Septiembre	23.4	13	12.5	17.85	17.3	16.7
Octubre	23.9	21.5	11.32	17.4	17.88	
Noviembre	17.3	20.3	14.65	17.3	17.4	
Diciembre	20.0	21	19.6	18.12	17.75	
PROMEDIO	19.7	17.9	16.3	17.4	17.7	17.1

Fuente: Modificado de TYPESA, 2013.

Para ello se ha modelizado únicamente la excavación del túnel existente, asignándole una presión nula ($u=0$) a los puntos de su contorno de excavación (túnel sin revestir en la mayor parte del mismo) y se ha reflejado la situación correspondiente al largo plazo y que simula el régimen actual.

El comportamiento de las presiones y flujos de agua en el entorno del túnel se presenta en la Figura 5-193.

Figura 5-193 Comportamiento hidrológico del túnel existente



 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Fuente: TYPASA, 2013.

Los caudales de filtración en el paramento de excavación (por metro lineal) que se obtienen para cada una de las litologías a atravesar, así como la filtración producida a lo largo de toda la longitud de túnel en cada una de ellas y la suma de ambas (que correspondería al caudal aforado en el túnel) se presentan en la Tabla 5-106 Caudales en el túnel existente **Tabla 5-106**.

Tabla 5-106 Caudales en el túnel existente

MODELO	q (l/s/m)	LONGITUD (m)	Q (l/s)
Kda	$5,31 \cdot 10^{-3}$	2.400	12,78
Pzes	$2,65 \cdot 10^{-3}$	2.200	5,84
TOTAL			18,58

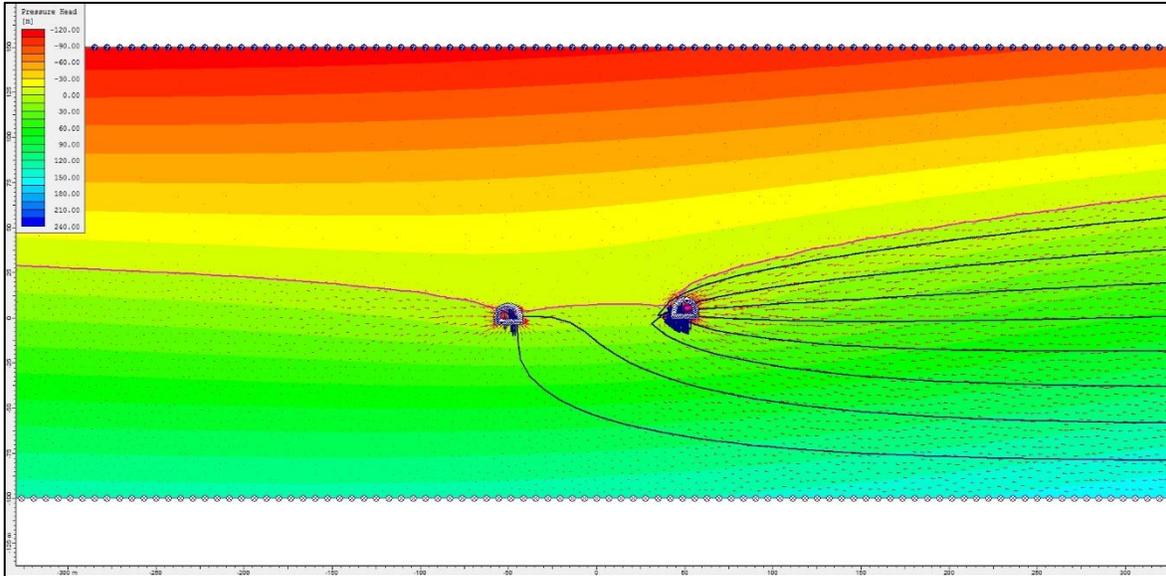
Fuente: Modificado de TYPASA, 2013.

Como se observa, estos valores se encuentran en el entorno de los caudales aforados en el túnel a lo largo de los últimos años, de lo que se confirma la adecuación y representatividad de los parámetros hidrogeológicos asignados a las unidades litológicas que se atravesarán a lo largo de la traza del túnel.

Una vez validados dichos parámetros, se procede al análisis de filtraciones estimadas durante la ejecución y vida útil del Nuevo Túnel de Occidente.

Fase 2. Análisis del túnel de Occidente en fase de construcción: Para simular las filtraciones que se producirán en el túnel durante su construcción, se ha supuesto la excavación del mismo asignándole una presión nula ($u=0$) a lo largo de su contorno, quedando el flujo hidráulico como se muestra en la Figura 5-194.

Figura 5-194 Comportamiento hidrológico del Túnel de Occidente en fase de construcción



Fuente: Modificado de TYPASA, 2013.

En este caso los caudales de filtración obtenidos a partir del cálculo en el paramento de excavación para el Túnel de Occidente se presentan en la Tabla 5-107

Tabla 5-107 Caudales de infiltración en el Túnel de Occidente durante la fase de Construcción

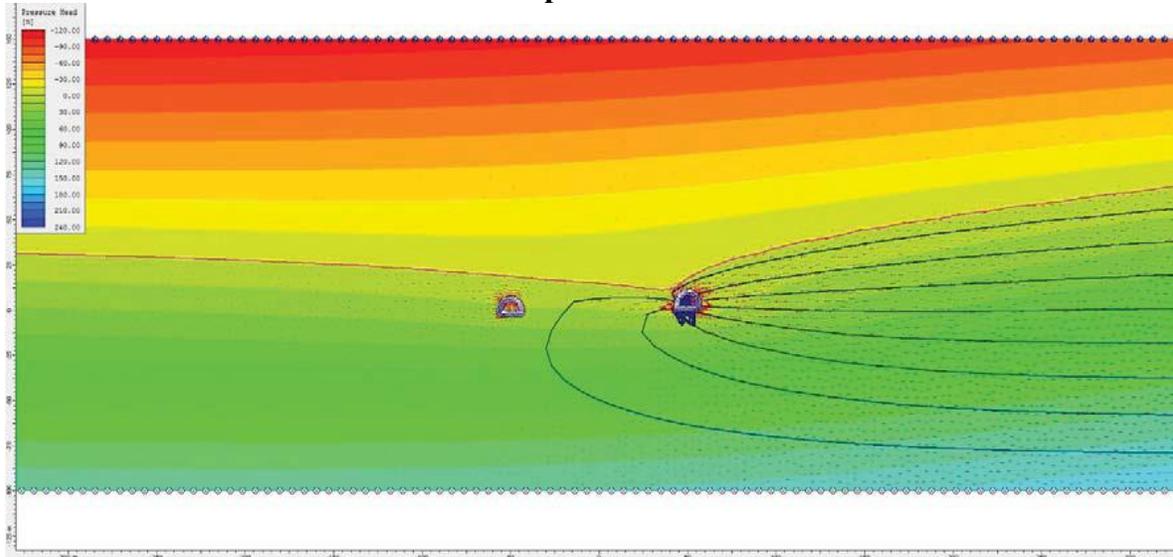
MODELO	q (l/s/m)	LONGITUD (m)	Q (l/s)
Kda	$2,97 \cdot 10^{-3}$	2.280	6,77
Pzes	$1,48 \cdot 10^{-3}$	2.280	3,39
TOTAL			10,16

Fuente: Modificado de TYPASA, 2013.

A partir de estos datos, y considerando nuevamente la ejecución del túnel por ambas bocas, en las que se ejecutará aproximadamente la mitad de la longitud del túnel (excavación completa de cada una de las unidades litológicas desde cada frente de ataque), el máximo caudal procedente de filtración a través del terreno que se deberá evacuar durante la etapa construcción adoptaría un valor igual a 6,77 l/s.

Fase 3. Análisis del túnel de Occidente en fase de explotación: En esta última fase se ha modelizado la puesta en obra de un revestimiento de hormigón de 30 cm de espesor alrededor del paramento de excavación del Túnel de Occidente, con el fin de simular la etapa final tras la ejecución del revestimiento de hormigón en el mismo. La condición de presión nula ($u=0$) se ha establecido en la cara interior del revestimiento de hormigón. Así, la distribución de presiones y flujo hidráulico en el medio será como el mostrado en la Figura 5-195

Figura 5-195 Comportamiento hidrológico del Túnel de Occidente en fase de explotación



Fuente: Modificado de TYPASA, 2013.

Los caudales determinados para esta fase son los que se presentan en la Tabla 108.

Tabla 108 Caudales de infiltración en el Túnel de Occidente durante la fase de explotación

MODELO	q (l/s/m)	LONGITUD (m)	Q (l/s)
Kda	$1,78 \cdot 10^{-3}$	2.280	4,05
Pzes	$1,33 \cdot 10^{-3}$	2.280	3,04
TOTAL			7,09

Fuente: Modificado de TYPASA, 2013.

A partir de los resultados anteriormente indicados se concluye la recuperación parcial del nivel freático sobre el Nuevo Túnel de Occidente a largo plazo, y se deduce un valor igual a 7,09 l/s para los caudales de infiltración previstos para la fase de explotación del Nuevo Túnel de Occidente, una vez completada la excavación del mismo.

La existencia del primer tubo ya excavado desde hace años, permite estimar razonablemente las condiciones hidrogeológicas del macizo excavado. En este sentido, destacar que el túnel existente no tiene un revestimiento sistemático ni medidas de impermeabilización. Las mediciones obtenidas mediante aforos realizados por la empresa concesionaria, y que han sido facilitados al equipo redactor del Consorcio T&C, indican caudales de infiltración comprendidos entre 1,40 2,70 l/min cada 10 m de túnel.

Durante la excavación del nuevo tubo, es de esperar que no haya presencia importante de agua, ni en el contacto entre las formaciones Kda y Pzes. En general, se trata de un macizo impermeable, con pocas zonas de fracturación alta. Asimismo, el nivel freático del túnel

	<p style="text-align: center;">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p style="text-align: center;">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p style="text-align: center;">VERSIÓN 0.1</p>	

estará a unos 40 m sobre clave, por lo que se espera cierta fluencia de agua en las zonas de mayor fracturación. En cualquier caso, esta fluencia no parece que pueda influir en la estabilidad de la excavación del macizo y la disponibilidad del recurso en superficie.

Se recomienda aplicar las medidas convencionales de impermeabilización y drenaje, no siendo necesario adoptar medidas especiales, tales como impermeabilización completa o tratamientos del terreno.

Las tomografías eléctricas realizadas, algunos parámetros fisicoquímicos así como la diferencia en la dirección y sentido de las direcciones de flujo de los acuíferos mas superficiales y las direcciones de flujo en el macizo rocoso (direcciones de flujo a mayor profundidad), sugieren una discontinuidad hidráulica entre los acuíferos superficiales y el macizo rocoso.

La existencia del primer tubo ha drenado el macizo durante años, hasta alcanzar la situación hidrológica estable actual. La fuerte recarga del acuífero procedente del altiplano situado al Nororiente del túnel de Occidente, junto con la impermeabilidad del macizo excavado y las medidas de impermeabilización recomendadas para el segundo tubo, reducen el riesgo de un abatimiento del nivel freático. Las escasas fuentes o circulaciones ocasionales de agua por las quebradas no se verán afectadas por el túnel.

5.1.8.8 Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, se define como la facilidad con la cual ingresan sustancias que puedan afectar la calidad de agua subterránea siendo penetradas por una carga contaminante mediante infiltración a través del suelo y/o la zona no saturada.

Para realizar la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos, se valoró cuantitativamente cada uno de los siguientes parámetros: naturaleza litológica de la zona no saturada, condición de confinamiento y profundidad de la tabla de agua, calificando cada uno de estos parámetros utilizando el sistema de indexación GOD, propuesto por Foster (1987). (Ver Tabla 5-109)

Parámetro “G”: Se refiere a la condición de confinamiento del acuífero más superficial, y establece las siguientes categorías: no confinado, no confinado-cubierto, semiconfinado, confinado, surgente sin presencia de acuífero.

Parámetro “O”: Este parámetro incluye una caracterización global de la zona saturada para acuíferos libres, o del estado confinante, para acuíferos confinados. Se valora la naturaleza litológica, el grado de consolidación y el fracturamiento de la roca.

Parámetro “D”: Profundidad del nivel freático para los acuíferos libres, o el techo para los acuíferos de tipo semiconfinado o confinado.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Tabla 5-109 Valoraciones parámetros método GOD

Ocurrencia del agua subterránea "G"					
Ninguno					0
Surgente					0.1
Confinado					0.2
Semiconfinado					0.3
No Confinado (cubierto)					0.5
Libre					1
Litología predominante sobre el acuífero "O"					
No Consolidados	Consolidados (Rocas porosas)	Consolidados (Rocas masivas)			Ponderación
Arcillas		Complejos ígneos, metamórficos, volcánicos antiguos			0.4
Limosa	Arcillolitas				0.5
	Lutitas				
Gravas con matriz arcillosa	Limolitas	Lavas volcánicas recientes			0.6
Arcilla/Grava y/o Arena (intercalaciones)	Areniscas				0.7
	Tobas volcánicas				
Arenas	Litoarenitas	Caliche			0.8
Gravas	Calcarenitas				0.9
	Calizas Blandas				
		Otras calizas duras			1.0
Profundidad del agua "D"					
>100m					0.4
50 – 100m					0.5
20 – 50m					0.6
10 – 20m					0.7
5 – 10m					0.8
2 – 5m					0.9
0 – 2m					1.0
Grado de vulnerabilidad a la contaminación "GOD"	Despreciable	Baja	Moderada	Alta	Extrema
	0 – 0.1	0.1 – 0.3	0.3 – 0.5	0.5 – 0.7	0.7 – 1

Fuente: Adaptado de Ingeominas, 2003 en Foster (1987)

El método "GOD" establece escalas de valores para cada parámetro de acuerdo con su contribución en la defensa de los acuíferos a la contaminación. Estas tienen valores entre cero (0) y uno (1), siendo los valores más bajos los que más retienen o atenúan el transporte de contaminantes. La evaluación de la vulnerabilidad se determina multiplicando los valores dados a cada parámetro obteniendo valores entre cero (0) y uno (1), donde cero (0) significa vulnerabilidad nula y uno (1) vulnerabilidad extrema a la contaminación.

Cabe aclarar que la metodología "GOD" se encamina a estudiar los acuíferos más someros o la parte más superficial de los acuíferos de interés, ya que se considera que las características de la zona no saturada, son las que finalmente determinan el grado de protección, porque son las más susceptibles a ser afectadas adversamente por una carga

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

contaminante y una vez contaminadas, este fenómeno se puede inducir fácilmente a los horizontes profundos (INGEOMINAS, 2003).

- **Determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación**

Las ponderaciones para cada parámetro con las que se determinó la vulnerabilidad de los acuíferos a ser contaminados esto se resumen a continuación:

- **Ocurrencia del agua subterránea “G”**

El parámetro “G” analiza el acuífero más somero a partir de la información de litología de pozos, aljibes someros, y manantiales realizados en el estudio y soportado con el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, que delimita las zonas de recarga, asumiendo estas áreas como acuíferos libres; estableciendo de esta manera la categorización del acuífero de acuerdo con su condición de confinamiento. Esta metodología establece que cuando no existe certeza sobre la continuidad lateral de los acuíferos o no están conectados hidráulicamente estos deben asumirse como acuíferos libres.

En la Tabla 5-110 se presenta la ponderación del parámetro y la distribución del área en hectáreas y porcentajes.

Tabla 5-110 Distribución del Parámetro “G” en el área de estudio

Confinamiento del acuífero	Valor “G”	Área de Estudio (HA)	Área de estudio (%)
Depósitos aluviales (Qal)	1	119,77	2,3%
Lleno antrópico (Qll), Depósitos Coluvioaluviales (Qcal), Depósitos de derrubio (Qd)	0,5	752,58	14,1%
Miembro Superior, Formación Amaga (Ngas),	0,3	316,66	6,0%
Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica (Kdha-Kdhb), Diorita de Altavista (Kida), Formación Qebradagrande Miembro volcánico (KvQG), Gabros de Romeral (Jgr), Grupo Ayurá Montebello (Pzes-Pev), Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	0,1	4123,26	77,6%

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

- **Litología predominante sobre el acuífero “O”**

El parámetro “O” se obtiene a partir de las descripciones de las unidades litoestratigráficas y de la cartografía geológica realizada para el presente estudio; en donde predominan en superficie rocas pertenecientes a complejos Ígneo metamórficos.

A continuación Tabla 5-111 se presenta la ponderación del parámetro, con sus áreas y porcentajes, unidades geológicas y su respectiva descripción.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Tabla 5-111 Valor de parámetro “O” asignado

Unidad Geológica	Litología del acuífero	Valor Parámetro “O”	Área de Estudio (ha)	Área de estudio (%)
Depósitos aluviales (Qal)	Gravas gruesas con intercalaciones ocasionales de grava guijosa en matriz arenosa.	0,6	119,77	2,3%
Lleno antrópico (QII)	Bloques y cantos en matriz arenosa	0,6	39,07	0,7%
Depósitos Coluvioaluviales (Qcal)	Arena gruesa, gris clara, 10% de bloques angulares de composición de esquistos, granitos y cuarzo	0,6	453,37	8,5%
Depósitos de derrubio (Qd)	Matriz en un 80%, areno gravosa, suelta, color gris medio, clastos (20%) de diámetro promedio 1-7cm, angulares, de composición esquistos, moderada a altamente meteorizados	0,6	260,13	4,9%
Miembro Superior, Formación Amaga (Ngas)	Arcillas pizarrosas gris verdosas y ocreas. Localmente bancos delgados de conglomerados y carbón	0,7	316,66	6,0%
Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica (Kdha-Kdhb)	Diorita cuarzosa de grano medio, textura granular, hipidiomórfica granular, ocasionalmente ofítica con cataclasis y dioritas hornbléndicas.	0,7	64,24	1,2%
Diorita de Altavista (Kida)	Rocas porfíricas de matriz afaníticas y composición intermedia a dioritas, cuarzodioritas y granitos. La roca predominante es félsica, de color gris, cremas hasta verdes en las rocas porfíricas.	0,7	696,39	13,1%
Formación Qebradagrande Miembro volcánico (KvQG)	Capas delgadas estratificadas formando bancos mayores de 2 metros de liditas, lodolitas, grauvacas, intercaladas ocasionalmente por bancos de tobas silicificadas y conglomerados finos, localmente es bastante rica en materia orgánica.	0,7	1280,81	24,1%
Gabros de Romeral (Jgr)	Gabros de grano fino a pegmatíticos	0,7	392,48	7,4%
Grupo Ayurá Montebello (Pzes-Pev)	Pzes. Filitas, esquistos cuarzo sericíticos y esquistos aluminicos. Metamorfismo regional de grado bajo a medio. Pev. Esquistos verdes compuestos por calcita, epidota, clorita y actinolita. Metamorfismo regional de grado bajo a medio.	0,7	1137,21	21,4%
Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	Esquistos cuarzo-sericíticos cataclásticos, xenolitos del granito néisico en este. Tiene la apariencia de una roca de alto grado de metamorfismo, facies granulita, debido a la alteración superficial de gran parte de los componentes.	0,7	552,14	10,4%

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2015

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

- **Profundidad de la tabla de agua “D”**

Para la determinación del parámetro se utilizó la información de los niveles de agua subterránea de captaciones más someras correspondientes al inventario de puntos, entre ellos aljibes donde sus niveles varían entre 0 y 10 m.

En la

Tabla 5-112 se presentan la distribución por área de la profundidad de la tabla de agua encontradas en la zona.

Tabla 5-112 Valor del Parámetro “D” asignados

Unidad Hidrogeológica	Profundidad (m)	Ponderación	Área de estudio (ha)	Área de estudio (%)
Depósitos aluviales (Qal)	5-10 m	0,8	119,77	2,3%
Lleno antrópico (Qll)	0-2 m	1	39,07	0,7%
Depósitos Coluvioaluviales (Qcal)	0-2 m	1	453,37	8,5%
Depósitos de derrubio (Qd)	0-2 m	1	260,13	4,9%
Miembro Superior, Formación Amaga (Ngas)	2-5 m	0,9	316,66	6,0%
Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica (Kdha-Kdhb)	0-2 m	1	64,24	1,2%
Diorita de Altavista (Kida)	0-2 m	1	696,39	13,1%
Formación Qebradagrande Miembro volcánico (KvQG)	0-2 m	1	1280,81	24,1%
Gabros de Romeral (Jgr)	0-2 m	1	392,48	7,4%
Grupo Ayurá Montebello (Pzes-Pev)	0-2 m	1	1137,21	21,4%
Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	0-2 m	1	552,14	10,4%

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2015

Finalmente se obtiene el resultado final del análisis de vulnerabilidad a la contaminación de los sistemas acuíferos por las actividades del proyecto donde se prevé haya lugar a actividades que generen la probabilidad de afectación teniendo en cuenta los términos de referencia del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible por medio de la resolución N° 0751 del 26 de marzo de 2015.

En la Tabla 5-113 se presentan los resultados del análisis de vulnerabilidad utilizando el método GOD, los acuíferos con mayor susceptibilidad son los compuestos por los

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Depósitos aluviales de edad Cuaternario, en el cual el análisis sugiere un nivel moderado de vulnerabilidad a la contaminación; el miembro superior de la Formación Amaga y las unidades Cuaternarias, Lleno Antrópico, Depósitos Coluvialuviales, y Depósitos de Derrubio sugieren una vulnerabilidad baja dentro del área de influencia.

Por ultimo ígneas y metamórficas sugieren un nivel despreciable en la vulnerabilidad a la contaminación debido a características litológicas y la ocurrencia de esta en el contexto hidrogeológico.

Tabla 5-113 Vulnerabilidad a la Contaminación de sistemas acuíferos “GOD”

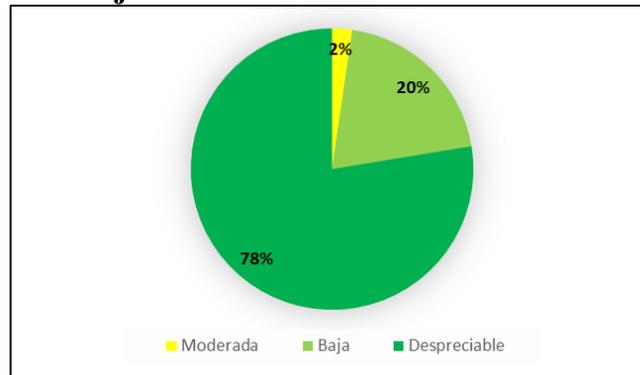
Acuífero	G	O	D	GOD	Área (ha)	Área %	Vulnerabilidad
Depósitos aluviales (Qal)	1	0,6	0,8	0,48	119,77	2,3%	Moderada
Lleno antrópico (QII)	0,5	0,6	1	0,3	39,07	0,7%	Baja
Depósitos Coluvialuviales (Qcal)	0,5	0,6	1	0,3	453,37	8,5%	Baja
Depósitos de derrubio (Qd)	0,5	0,6	1	0,3	260,13	4,9%	Baja
Miembro Superior, Formación Amaga (Ngas)	0,3	0,7	0,9	0,189	316,66	6,0%	Baja
Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica (Kdha-Kdhb)	0,1	0,7	1	0,07	64,24	1,2%	Despreciable
Diorita de Altavista (Kida)	0,1	0,7	1	0,07	696,39	13,1%	Despreciable
Formación Qebradagrande Miembro volcánico (KvQG)	0,1	0,7	1	0,07	1280,81	24,1%	Despreciable
Gabros de Romeral (Jgr)	0,1	0,7	1	0,07	392,48	7,4%	Despreciable
Grupo Ayurá Montebello (Pzes-Pev)	0,1	0,7	1	0,07	1137,21	21,4%	Despreciable

Acuífero	G	O	D	GOD	Área (ha)	Área %	Vulnerabilidad
Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	0,1	0,7	1	0,07	552,14	10,4%	Despreciable

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

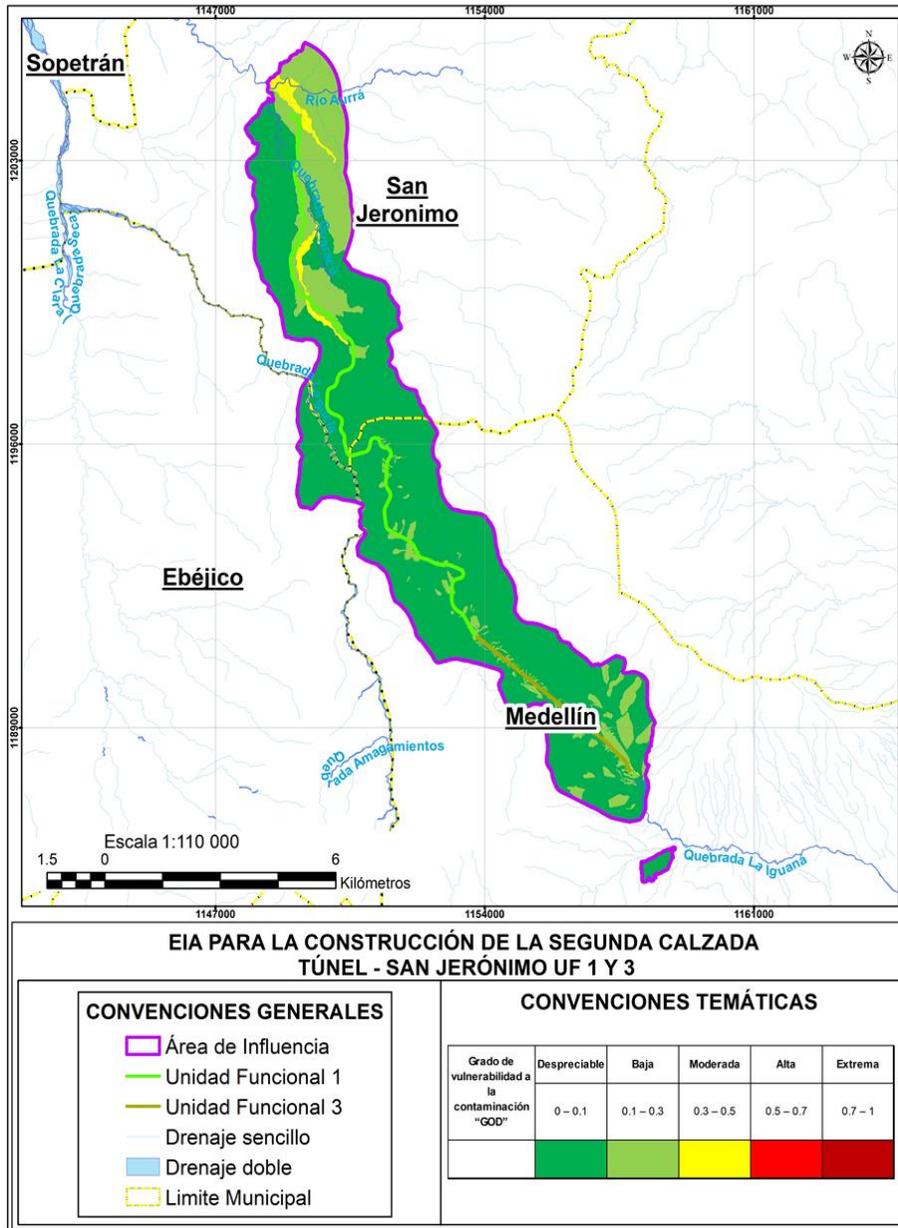
Teniendo en cuenta el análisis de vulnerabilidad se tiene que el 77,6% del área de influencia tiene una vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos despreciable, un 20.1% sugiere una vulnerabilidad baja a la contaminación y un 2,3% una vulnerabilidad Moderada. (Ver Figura 5-196 y Figura 5-197).

Figura 5-196 Porcentajes de Vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Figura 5-197 Mapa de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

5.1.8.9 Análisis de Riesgo a la contaminación del Acuífero por obras planteadas.

La evaluación de Riesgos es un instrumento para estimar la probabilidad de que ocurra algún daño causado por la presencia de condiciones peligrosas en alguna parte del proyecto. El riesgo representa la probabilidad e importancia de que un posible peligro se haga realidad.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

El objetivo del proceso para identificar y evaluar riesgos es obtener un conocimiento detallado acerca de los tipos de sustancias y productos transportados, así como de las principales fuentes de potencial contaminación. El requisito principal de una identificación y evaluación de riesgos es adquirir un entendimiento del modelo físico del sitio, la vulnerabilidad de los acuíferos, la localización de las aguas subterráneas amenazadas para la contaminación y los tiempos de exposición a una contaminación.

- **Metodología aplicada**

El análisis de Riesgo se realiza a partir de un análisis crítico de los procedimientos y ecuaciones propuestas por las principales líneas de normas y directrices nacionales e internacionales sobre la aplicación del análisis de riesgos. En particular, se han considerado como referencia los documentos emitidos por la ASTM, EPA, UNICHIM, CONCAWE. Estos documentos son el punto de referencia para el estudio del riesgo, ya que proporcionan la información necesaria para la elección de los parámetros, las ecuaciones para la descripción del transporte de contaminantes y para el cálculo de los límites de riesgo. Por lo general son el resultado del trabajo realizado por las agencias gubernamentales (por ejemplo, la EPA "*Environmental Protection Agency*" Estados Unidos.) o grupos de investigación que combinan diferentes competencias (por ejemplo UNICHIM "*Associazione per l'Unificazione nel Settore dell'Industria Chimica*", asociación italiana federada al UNI) con el objetivo de crear una guía de referencia técnica para la aplicación del análisis de los criterios de riesgo.

La reconstrucción del medio real (natural y antropogénico), de sus elementos y de las interacciones entre ellos, por medio de herramientas cualitativas o matemáticas lleva el nombre de "Modelo". Esta abstracción permite, a partir de una geometría real y por lo tanto compleja, dar vida a un esquema físico teórico simplificado. Como parte del análisis de riesgo relacionado con la contaminación de un acuífero, es necesario identificar el Modelo Conceptual del Sitio. Este proceso es el resultado de las investigaciones y análisis del sitio y su definición comprende esencialmente la reconstrucción de los tres componentes principales de los caracteres que constituyen el modelo:

Fuente ⇒ Transporte ⇒ Objetivo

Para lo cual se definen:

- 1) las fuentes de peligro de contaminación, o fuentes de amenaza
- 2) La vulnerabilidad del acuífero desde la superficie
- 3) La localización de los acuíferos

El riesgo (R), como definición originalmente derivada de los procedimientos de seguridad industrial, es la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento dañoso, o vulnerabilidad (V) con la entidad de los daños causados por el mismo evento (D):

$$R = V \times D$$

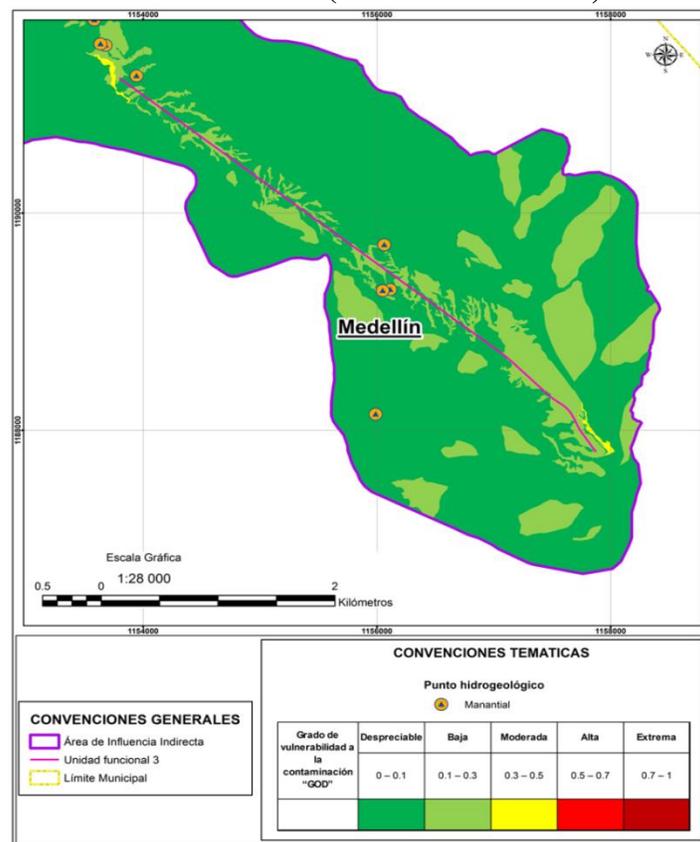
El daño resultante de un evento incidental (D), a su vez, puede ser dado por el producto de un factor de peligrosidad (Fp), dependiente de la entidad del daño teóricamente posible, y un factor de contacto (Fc), dependiente de la duración de la exposición:

$$D = Fp \times Fc$$

La Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación se encuentra en el numeral 5.1.8.8, donde se presenta toda la metodología, desarrollo y resultados de este ítem a partir del método GOD, sin embargo en la Figura 5-198 se observa el análisis solamente para el área del túnel (unidad funcional 3).

El valor del índice (V) varía entre 0 (vulnerabilidad despreciable) y 1 (vulnerabilidad extrema). El método prevé 5 (cinco) clases de vulnerabilidad, a las cuales se ha aplicado un puntaje de 1 a 5, necesario para calcular el riesgo de contaminación de los acuíferos.

Figura 5-198 Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos para el para el área el túnel (unidad funcional 3)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- **Factores de peligrosidad de las fuentes de amenaza.**

El daño resultante de un hipotético evento incidental, es el producto de un factor de peligrosidad (Fp), dependiente de la entidad del daño teóricamente posible, y un factor de contacto (Fc), dependiente de la duración de la exposición:

- **Factor de peligrosidad (Fp).**

Para la identificación, descripción y análisis de amenazas se debe identificar y ordenar el tipo de fuente de amenaza de infiltración de sustancias peligrosas que podrían contaminar los acuíferos y el medio ambiente, esto con el propósito de facilitar una priorización de riesgos, el cual puede consistir en una simple categorización. Para este fin se utilizó la Tabla 5-114.

En la primera columna se describen todas las posibles fuentes de amenazas. En las columnas siguientes se describen las características que contribuyen a definir la peligrosidad. En las últimas dos columnas se coloca el puntaje, de 1 a 5, y la calificación que corresponde. Como se ve, el puntaje de Fp varía de 1 a 9 y sugiere prioridades donde 1 representa el de menor importancia y 9 el de mayor riesgo de contaminación.

Tabla 5-114 Clasificación adoptada por la evaluación del Factor de peligrosidad (Fp)

Fuente de amenaza	Geometría			Fenómeno			Puntaje Fp	Peligrosidad
	Puntual	Lineal	Área	Materia orgánico	Aceites y grasas	Metales pesados, pH ácido		
Nueva carretera cielo abierto	0	2	0	0	2	0	4	MEDIA
Nueva carretera en túnel	0	2	0	0	2	0	4	MEDIA
Vía acceso provisoria	0	2	0	0	2	0	4	MEDIA
Fuentes de Material	0	0	3	0	2	0	5	MEDIA
Zodmes	0	0	3	0	2	0	5	MEDIA
Chafflan	1	0	0	0	2	3	6	MEDIA
Portales	0	0	3	0	2	0	5	MEDIA
Campamento	0	0	3	1	0	0	4	MEDIA
Planta	0	0	3	0	2	3	8	ALTA
Áreas de Servicio	0	0	3	1	2	0	6	MEDIA
Áreas de Captación	0	0	3	1	2	3	9	ALTO

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- **Factor de contacto (Fc)**

El factor de contacto (Fc), o duración de la exposición, se calcula asignando los puntajes de 0, 1 o 2 a los tiempos de duración de la fuente de contaminación, dependiendo si la fuente es temporal (puntaje 1) o permanente (puntaje 2). En el cuadro siguiente se describen las clasificaciones adoptadas. (Ver Tabla 5-115)

Tabla 5-115 Clasificación adoptada por la evaluación del Factor de contacto (Fc).

Fuente de amenaza	Duración		Puntaje Fp	Peligrosidad
	Temporales	Permanente		
Nueva carretera cielo abierto	0	2	2	ALTA
Nueva carretera en túnel	0	2	2	ALTA
Vía acceso provisoria	1	0	1	BAJA
Fuentes de Material	1	0	1	BAJA
Zodmes	0	2	2	ALTA
Chafan	0	2	2	ALTA
Portales	0	2	2	ALTA
Campamento	1	0	1	BAJA
Planta	0	2	2	ALTA
Áreas de Servicio	1		1	BAJA
Áreas de Captación		2	2	ALTA

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

El factor Fc varia de 1 a 2 y sugiere prioridades donde 1 representa el riesgo de menor importancia y 2 el de mayor riesgo de contaminación. La peligrosidad en este caso puede variar de baja (puntaje 1) a alta (puntaje 2).

- **Evaluación del Riesgo.**

Esta etapa cumple para la evaluación y valoración del riesgo basada en la mencionada metodología de calificación. El fundamento básico de la metodología es asignar puntajes a la vulnerabilidad de los acuíferos y a los factores de amenaza y de exposición, con ello valorar el riesgo. Esta metodología permite desarrollar de forma general y cualitativa el análisis de amenaza y vulnerabilidad con el fin de determinar el nivel de riesgo a través de la combinación de diversas variables. Asimismo, aporta elementos de prevención y mitigación de los riesgos, los cuales constituirán la base para formular los planes de acción.

Una vez identificadas, descritas y analizadas las amenazas y desarrollado el análisis de vulnerabilidad, se procede a determinar el nivel de riesgo combinando la calificación de la amenaza y la vulnerabilidad. (Ver Tabla 5-116)

Tabla 5-116 Cálculo del riesgo (R) mínimo y máximo posibles y del riesgo normalizado (Rn), entre 0 y 1

Vulnerabilidad (V)	Factor de peligrosidad (Fp)	Factor de contacto (Fc)	Riesgo (R)	Riesgo Normalizado (Rn)
1	1	1	1 (mínimo)	0,00
5	9	2	90 (máximo)	1,00

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- **Resultados.**

A partir de la ponderación acorde al peso de la vulnerabilidad, al factor de peligrosidad y al factor de contacto, se determina el valor del riesgo, luego se hace una normalización y finalmente categorizar los diferentes niveles de riesgo como se muestra en la Tabla 5-117.

Tabla 5-117 Clasificación del riesgo para la zona de estudio.

Análisis de Riesgo		
	Riesgo Muy bajo	0-0,2
	Riesgo Bajo	0,21-0,4
	Riesgo Medio	0,41-0,6
	Riesgo Alto	0,61-0,8
	Riesgo Muy Alto	0,81-1

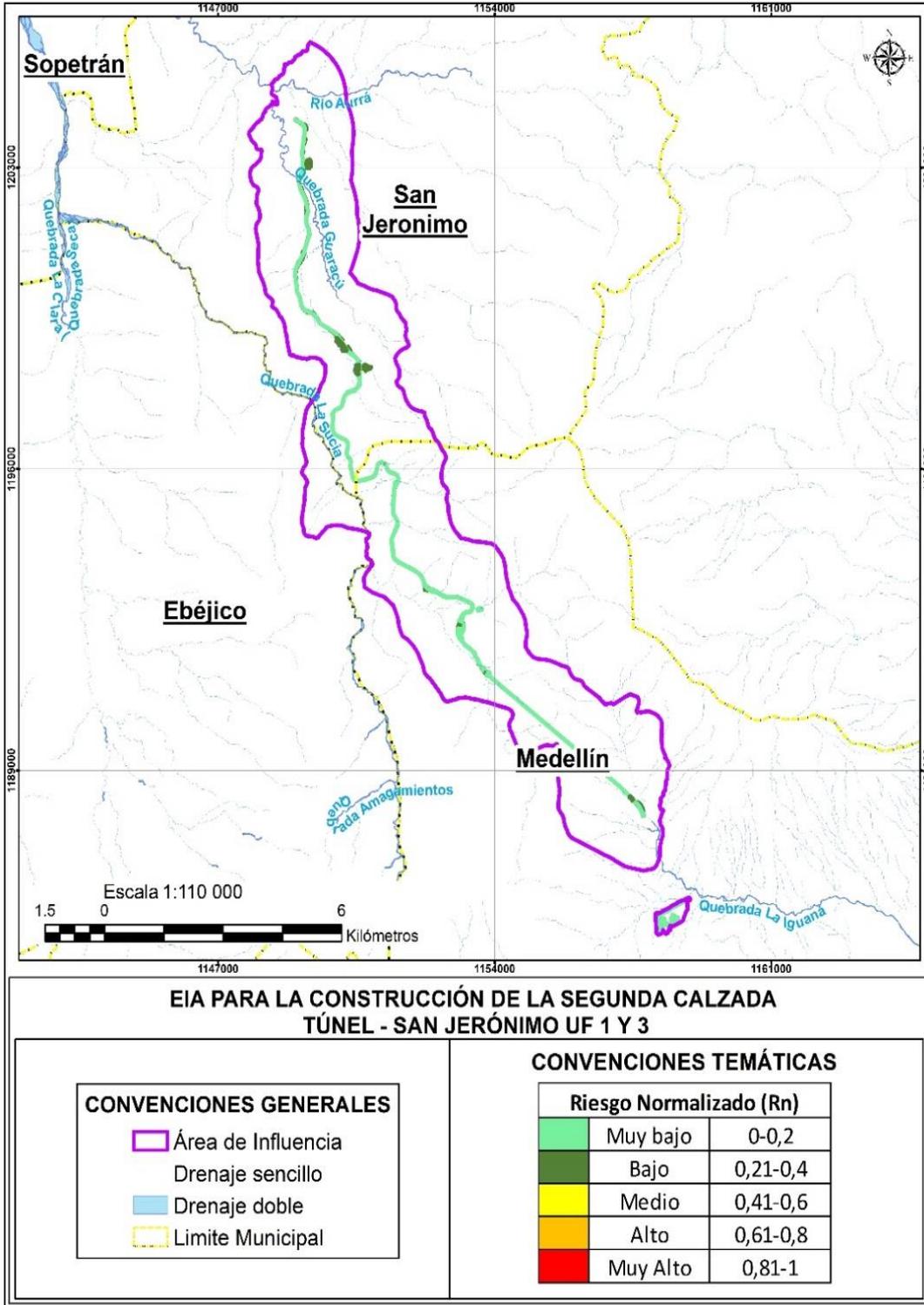
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En general se tiene que en toda la zona de estudio se encontró que el riesgo por contaminación se ubica entre muy bajo y bajo, lo que es concordante con el análisis de vulnerabilidad del GOD y modelo hidrogeológico conceptual. En este caso el nivel de valores con un riesgo muy bajo es del 99,7% de toda la zona de estudio, mientras que el 0.32% restante corresponde a un nivel de riesgo bajo.

La mayor proporción de este 0,32% se ubica a lo largo del trazado vial (vía a cielo abierto, puentes y túneles), sin embargo, la composición geológica de las unidades aflorantes, así como las características intrínsecas de los acuíferos y/o unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio, limita el nivel de riesgo. Al efectuar el respectivo análisis de riesgo, se consideraron también aquellas zonas que podrían actuar como aportantes de residuos contaminantes en la zona (en particular los campamentos y plantas de tratamiento), encontrándose que su exposición en el tiempo es poca pese a representar una mayor peligrosidad respecto a las demás obras que integran el proyecto vial.

Los resultados del análisis de riesgo se muestran en el mapa de riesgos de contaminación del acuífero por las actividades y obras planeadas (Ver Figura 5-199)

Figura 5-199 Mapa de Riesgo a la contaminación del Acuífero por obras planteadas.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

5.1.9 Geotecnia

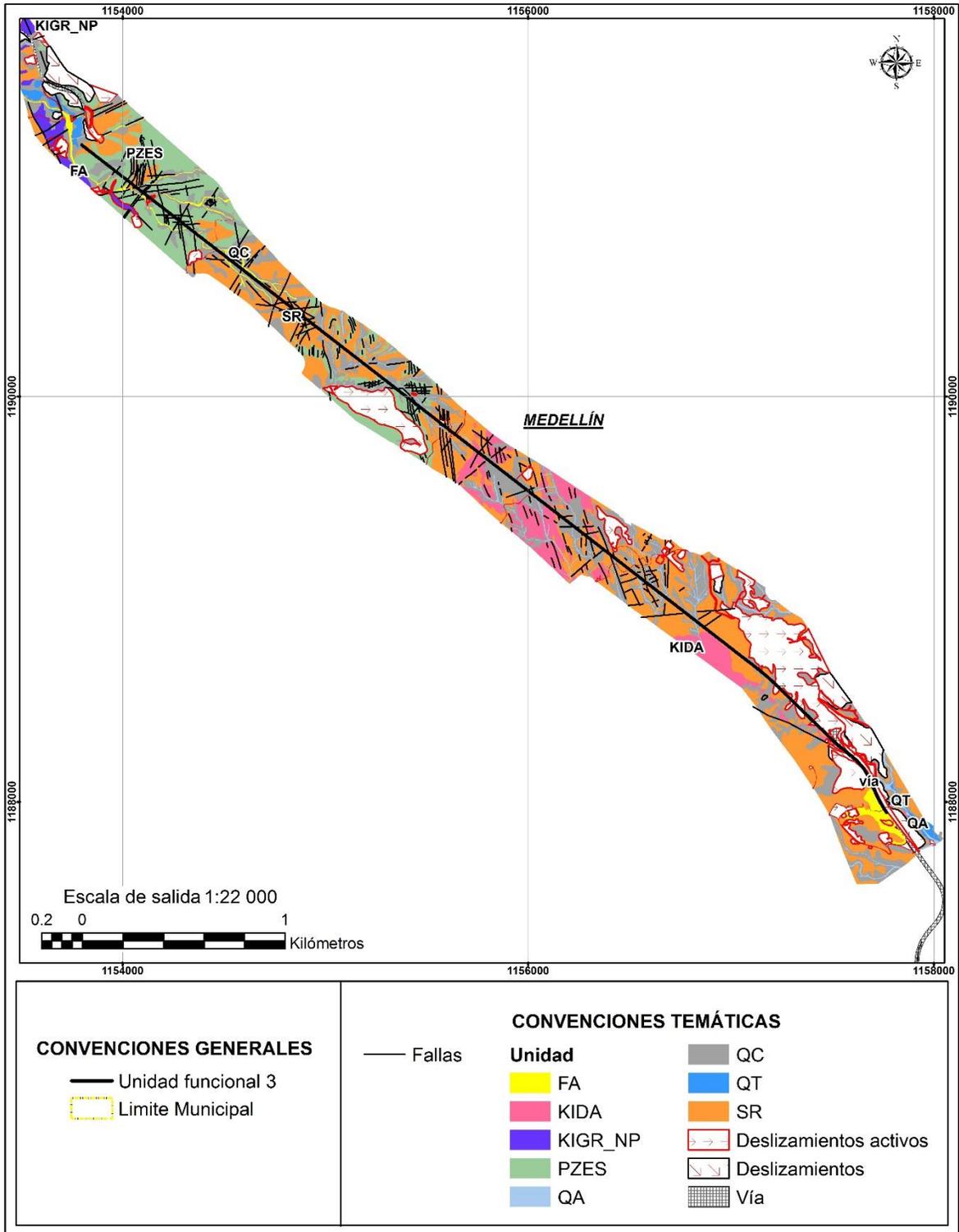
Atendiendo los requerimientos de los términos de referencia, este capítulo se divide en la zonificación geotécnica del tramo del túnel (Unidad Funcional 3) y zonificación geotécnica para la Unidad Funcional 1.

5.1.9.1 Geotecnia para tramo túnel (Unidad Funcional 3)

Como se ha mencionado antes, en la Unidad Funcional 3 (UF3), se tiene contemplada la construcción de un túnel paralelo al existente. La información geológica y geotécnica asociada al tramo del túnel es bastante detallada, porque se ha tomado como referencia la información obtenida durante la construcción del actual túnel de occidente.

Este túnel inicia en la abscisa K00+797 y finaliza en el K05+366. En la zona del túnel se cruzan dos unidades litológicas, la Diorita de Altavista (Kida) y Esquistos Cuarzo sericíticos del Grupo Ayurá Montebello (Pes), Figura 5-200.

Figura 5-200 Unidades litológicas en Unidad Funcional 3, tramo túnel



 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Para la elaboración de la zonificación geotécnica para el nuevo túnel, se partió de la información existente de la zona, en especial, de la relacionada con la construcción del túnel para la primera calzada, plasmado en el Informe de Interventoría:

“Interventoría y apoyo Gerencial de la Construcción y Pavimentación de la Carretera Medellín – Santafé de Antioquia” de Febrero de 2002.

Anexo Geológico – Geotécnico Túnel de Occidente. Clasificación Macizo Rocoso Túneles

De este informe se obtuvo la zonificación geológica y geotécnica altamente detallada del túnel construido, que se tomó como base y referencia para la elaboración del estudio del segundo túnel.

Luego se realizaron los estudios y diseños para la construcción del nuevo túnel:

Concesión Mar 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016

Geología Final – Volumen III – Geología para Ingeniería. Numeral 7.8 Caracterización Geotécnica.

Dentro de estos estudios, se realizó la geología de detalle de la zona del túnel de la nueva calzada, precisando las formaciones, los contactos entre ellas, la presencia de fallas, llegando al detalle de fracturas, confrontando y precisando la información con la relación y las condiciones del túnel existente.

Para el estudio geotécnico detallado del nuevo túnel de la segunda calzada, se realizaron siete (7) sondeos, cuatro (4) a lo largo del nuevo túnel, en especial en las zonas de los extremos en donde el espesor de roca es menor, y tres (3) dentro de la zona del túnel existente, (ver Tabla 5-118), perforaciones que permitieron precisar las condiciones del nuevo túnel y su relación con las condiciones del túnel existente, ya que ambos se ubican dentro de las mismas formaciones geológicas.

Tabla 5-118 Perforaciones realizadas durante el estudio de la segunda calzada del túnel de Occidente

TUNEL	SONDEO	ABSCISA	PROFUNDIDAD (m)	COORDENADAS		ROCA
				ESTE	NORTE	
Nuevo	S1	K00+740	35	1.157.441	1.188.378	Granodiorita
Nuevo	S2	K00+860	60,4	1.157.327	1.188.438	Granodiorita
Nuevo	S3	K05+320	45	1.153.844	1.191.222	Esquisto
Nuevo	S4	K00+010	45	1.153.825	1.191.234	Esquisto
Existente	ST1		65,5	1.115.613	1.118.955	

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

TUNEL	SONDEO	ABSCISA	PROFUNDIDAD (m)	COORDENADAS		ROCA
Existente	ST2		5,5	1.115.510	1.119.035	
Existente	ST5	K05+300	80	1.153.950	1.191.125	

Nota: El sondeo S4 se ubicó a 25 m del sondeo S3 - cerca del Portal Norte del nuevo Túnel - UF3

Con base en un estudio geológico y geotécnico de detalle, se encontraron varias zonas de pequeñas fallas y fracturas que cruzan áreas del trazado del nuevo túnel de las que sobresalen la falla El Matorral K1+600, La Frigua (K3+960), Cajetilla (K4) y La Negra (K4+260, que llegan muy cerca de la superficie (ver Figura 5-154)..

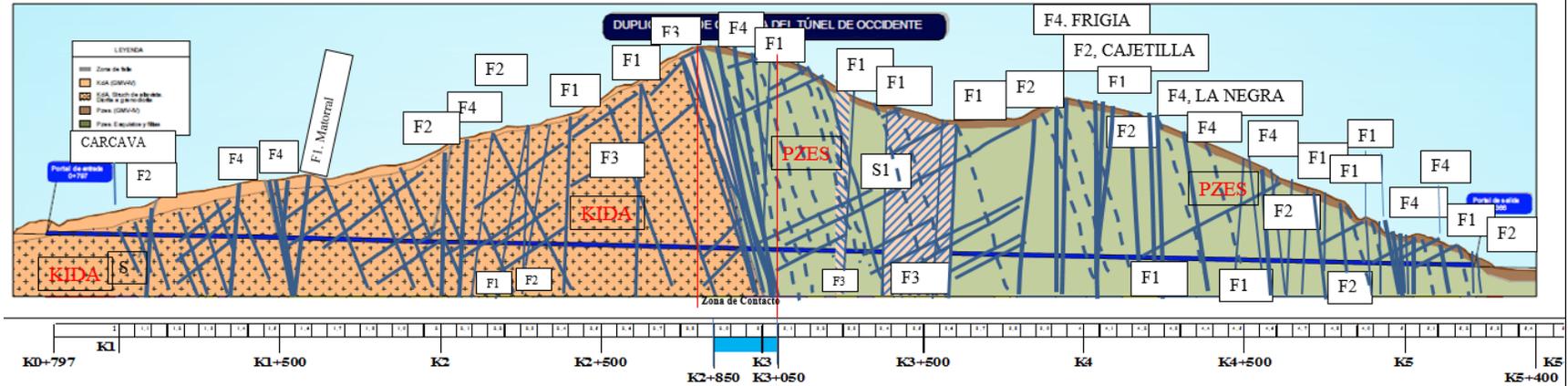
De igual manera se encontraron dos zonas, al inicio (K0+797 a K1+020) y al final del túnel (K5+273 a K5+366), cuyo espesor de roca es muy pequeño y presentan una cobertura de suelo producto de la meteorización de las rocas y acumulación de materiales de derrubio, generados por erosión de las zonas altas de montaña. El resto de la zona se ubica en roca en diferentes estados de la Diorita de Altavista y los Esquistos Cuarzo sericíticos. Como resultado del estudio geológico – geotécnico de detalle, se elaboró el perfil que se presenta en la Figura 5-201

Con el objeto de conocer las condiciones de la zona por donde pasará el túnel, adicional al estudio geológico de la zona, se realizó la exploración geotécnica de detalle para el área del túnel. Como resultado de esta exploración geotécnica, se determinaron los siguientes parámetros geológicos - geotécnicos:

- RQD: Índice de calidad de las rocas ("Rock quality designation" Deree et al. (1967).
- Q de Barton: Índice de calidad de la masa rocosa, (Rock Mass Quality)
- RMR: Clasificación de Bieniawski
- Características Geológico – Geotécnicas de la roca e infiltraciones en la masa rocosa.

Con base en las clasificaciones geotécnicas de Deere, Barton y Bieniawski, para la zona de proyecto, se definieron seis categorías, como se presentan en la Tabla 5-104.

Figura 5-201 Perfil Geológico de la zona de influencia del túnel de Occidente Unidad Funcional 3



CONVENCIONES			
FALLAS Y FRACTURAS	RUMBO	UBICACIÓN	BUZAMIENTO
F1	Norte - Sur	Segadas al eje del Túnel	Subvertical
F2	Este -Oeste	Segadas al eje del Túnel	Subvertical
F3	Nor Este - Sud Oeste	Al hilo del eje del Túnel	Subvertical
F4	Nor Oeste - Sud Este	Perpendiculares al eje del Túnel.	Buzamiento Subvertical
FA	Bajo Buzamiento	F2 a F4	30-45º Contra Buzamiento >PP.KK
S1	Foliación Vertical	F2/F3	40-65º Con Buzamiento >PP.KK

UBICACIÓN DE ESTRUCTURAS (FALLAS Y FRACTURAS)										
PP.KK	ACCIDENTE	NOTAS	PP.KK	ACCIDENTE	NOTAS	PP.KK	ACCIDENTE	NOTAS	PP.KK	ACCIDENTE
0+960	CÁRCAVA		2+640	S1		3+410	F1		4+600	F2
1+100	F2		2+770	FA	E-O	3+600	F1		4+610	F4
1+380	F4		2+790	S1	Contacto KIDA-PZES	3+910	F2		4+660 - 4+720	F1
1+480	F4		2+880	F4		3+960	F4	Falla Frigia	4+750	F2
1+500	F4		2+930	F4		4+000	F2	Falla Cajetilla	4+800	F1
1+600	F4		2+960	F4		4+080	F1		4+850	F2
1+600	F1	Falla Matorral	3+000	F4		4+100	F2		4+920	F2
2+020	F2		3+040	F1		4+130	F2		4+970	F1
2+100	F4		3+040	FA	NE-SO	4+180	F1		4+990	F4
2+200	F2		3+100	F1		4+240	F1		5+020	F4
2+300	F2		3+160	FA	E-O	4+260	F4	Falla La Negra	5+040	F1
2+300	F1		3+200	S1	E-O	4+340	F4		5+060	F4
2+380	F1		3+260 - 3+300	F3		4+490	F1		5+160	F4
2+420	F1		3+400 - 3+600	F3		4+540	F4		5+280	F1
2+500	FA	E-O				4+540	F1			

NOTA: PP KK REFERIDOS A LA SUPERFICIE DEL TERRENO

Fuente: CONCESIONARIO MAR 1- DEVIMAR, Estudios y diseños definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016 - - Geología Final – Volumen III – Geología para Ingeniería. Numeral 7.8 Caracterización Geotécnica. Adaptado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

Tabla 5-119 Clasificación Geotécnica para la Zona del Túnel de Occidente

RQD (%)	Q (Barton)	RMR	Zona Geotécnica (ZG)	Calidad de la roca
	0,01 - 0,1		6	Extremadamente Mala
<25	0,1 - 1	0 - 20	5	Muy mala
25 - 50	1, - 4	21 - 40	4	Mala
50 - 75	4, - 10	41 - 60	3	regular
75 - 90	10, - 40	61 - 80	2	Buena
90 - 100	40, - 100	81 - 100	1	Muy buena o excelente

RQD Rock Quality Designation (Índice de calidad de las rocas) - Deree et al 1967
Q Rock Mass Quality (Índice de calidad de la masa rocosa) - Barton
RMR Rock Mass Rating (Valoración de la masa rocosa) - Bieniawski

Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016 - - Geología Final – Volumen III – Geología para Ingeniería. Numeral 7.8 Caracterización Geotécnica.

Adaptado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Tabla 5-120 y Figura 5-202 se presenta el resultado de la zonificación geotécnica para el Túnel de Occidente, que permite la siguiente sectorización del túnel:

- Sector 1: K0+797 (Portal de Entrada) – K2+500, Figura 5-203
- Sector 2: K2+500 – K3+700 (Zona de contacto entre formaciones), Figura 5-204
- Sector 3: K3+700 – K5+366 (Portal de Salida), Figura 5-205.

Tabla 5-120 Resumen de la zonificación geotécnica del túnel, Unidad Funcional 3 (UF3)

PK		L	% R.Q.D. Q. R.M.R.	Calificación			Características Geológico - Geotécnicas	Infiltraciones	Condición Geotéc. Roca	Clasificación geotécnica		
Inicial	Final	(m)		RQD	Q	RMR				Zona Geotéc.	Abscisa	L (m)
797	807	10	No aplica				Muy poco espesor de Diorita muy meteorizada IC -IIA, rellenos arcillosos hasta de 10 cm en las fracturas. Depósito de derrubios.	Humedades y goteos moderados que decrecieron con el tiempo (≈ 0,15 lts/seg)	Extremad. Mala	6	K0+797	223
807	1020	213	20- 40 <0,1 <20	Mala	Extremad. Mala	Muy mala	Poco espesor de Diorita fracturada y meteorizada en partes hasta IC. Encima depósitos de derrubios.	Goteos moderados y abundantes localizados que decrecieron con el tiempo. (≈ 0,35 lts/seg)	Extremad. Mala		K1+020	
1020	1091	71	45- 70 1-2,5 39	Regular	Mala	Mala	Diorita muy fracturada y en partes meteorizada en las fracturas (IIB). Sobre-excavaciones en bóveda por sistema de fracturas de bajo buzamiento (zona de falla).	Goteos leves y moderados estacionarios. (≈ 0,5 l ts/seg)	Muy mala Zona de falla	5	K1+020	170
1091	1128	37	45-65 1-2 42	Regular	Mala	Regular	Diorita muy fracturada y levemente oxidada. Sobre-excavaciones en bóveda por sistema subparalelo y de bajo buzamiento (zona de falla).	Excavación seca (Humedades)	Muy mala Zona de Falla			
1128	1144	16	65-85 3-6 52	Buena	Mala	Regular	Diorita medianamente esquistosa y oxidada, en fracturas (IIB), Zona de falla.	Excavación seca.	Muy mala Zona de falla			
1144	1157	13	40-55 1-2 40	Mala	Mala	Buena	Diorita muy esquistosa y oxidada en las discontinuidades. Sobre-excavación en bóveda por caída de bloques, zona de falla.	Excavación seca	Muy mala Zona de falla			
1157	1190	33	30 - 50 0,2 - 0,7 34	Mala	Muy mala	Mala	Diorita muy fracturada y alterada. Zona de esfuerzos con trazas de falla N70°E. (Zona de falla)	Excavación seca	Muy mala Zona de falla			
1190	1276	86	50 - 75 1 - 3 44	Regular	Mala	Regular	Diorita muy fracturada y levemente oxidada. Sobre-excavaciones en bóveda por sistema de bajo buzamiento.	Goteo leve puntual (≈ 0,5 l ts/seg)	Regular	3	K1+190	147
1276	1337	61	65 - 80 4 - 8 57	Buena	Regular	Regular	Diorita medianamente fracturada con esquistos y levemente oxidada en las fracturas. Bloques potencialmente inestables en bóveda por sistema de bajo buzamiento.	Goteo abundante y chor ros localizados (≈ 6,5 l ts/seg)	Regular		K1+337	
1337	1363	26	55 - 65 1 - 2 35	Regular	Mala	Mala	Diorita muy fracturada. Cuñas potencialmente inestables por sistemas, sub-paralelo y sub-horizontal.	Excavación seca (Humedades)	Mala	4	K1+337	26
1363	1435	72	70 - 90 12 - 15 68	Buena	Buena	Buena	Diorita medianamente esquistosa. Diaclasamiento cerrado que favorece un corte ajustado a la barrenación.	Goteo leve a moderado (≈ 2φ5 lts/seg)	Buena		2	

PK		L (m)	% R.Q.D. Q. R.M.R.	Calificación			Características Geológico - Geotécnicas	Infiltraciones	Condición Geotéc. Roca	Clasificación geotécnica		
Inicial	Final			RQD	Q	RMR				Zona Geotéc.	Abscisa	L (m)
1435	1447	12	75 - 95 25 - 32 74	Buena	Buena	Buena	Diorita poco fracturada, diaclasamiento cerrado que favorece un corte ajustado a la barrenación.	Goteo leve a moderado (≈ 1,5 lts/seg)	Buena			
1447	1460	13	65 - 80 7 - 13 66	Buena	Buena	Buena	Diorita medianamente fracturada. Diaclasamiento cerrado que favorece un corte ajustado a la barrenación.	Goteo leve a moderado (≈ 2φ0 lts/seg)	Buena			
1460	1580	120	20 - 40 0,075- 0,175 28	Mala	Muy mala	Mala	Diorita cataclástica. Zona de falla de 5 m de espesor con zona de influencia en roca muy fracturada.	Excavación seca (Humedades)	Muy mala Zona de Falla	5	K1+460 K1+580	120
1580	1680	100	60 - 80 6 - 9 60	Regular	Regular	Regular	Diorita muy fracturada. El diaclasamiento, aunque muy poco espaciado, se presenta cerrado.	Excavación seca	Regular	3	K1+580	285
1680	1865	185	65 - 85 7 - 9 60	Regular	Regular	Regular	Diorita medianamente esquistosa. Corte ajustado a la barrenación por diaclasamiento cerrado.	Goteo moderado (≈ 4,0 l ts/seg)	Regular			
1865	1932	67	70 - 90 17 - 23 74	Buena	Buena	Buena	Diorita poco fracturada. Corte ajustado a la barrenación por diaclasamiento cerrado.	Excavación seca	Buena	2	K1+865 K1+932	67
1932	2000	68	60 - 80 4 - 13 56	Regular	Regular	Regular	Diorita medianamente esquistosa. Las discontinuidades de bajo buzamiento y el sistema subparalelo crearon cuñas inestables. Zona de falla.	Goteo moderado (≈ 1,5 l ts/seg)	Regular Zona de falla	5	K1+932	138
2000	2019	19	25 - 50 0,4 - 1 22	Mala	Muy mala	Mala	Diorita intensamente fracturada y fallada. Falla de bajo buzamiento de 3 m de espesor. Zona de falla.	Excavación seca	Muy mala Zona de falla			
2019	2070	51	55 - 75 2 - 6 53	Regular	Mala	Regular	Diorita muy fracturada. Cuñas potencialmente inestables por combinación de sistema subnormal y subparalelo (N W). Zona de falla	Excavación seca	Regular Zona de falla	2	K2+070 K2+095	25
2070	2095	25	65 - 85 10 - 14 67	Regular	Buena	Buena	Diorita medianamente esquistosa. Cuñas en bóveda por sistema de bajo buzamiento.	Excavación seca	Buena		3	K2+095
2095	2148	53	60 - 75 2 - 4 49	Regular	Mala	Regular	Diorita muy fracturada. Cuñas en bóveda por sistema de bajo buzamiento.	Excavación seca	Regular	K2+320		
2148	2320	172	65 - 85 4 - 9 54	Regular	Regular	Regular	Diorita medianamente esquistosa. Las principales estructuras (fallas) se cruzaron normales sin afectar la estabilidad general.	Excavación seca	Regular			

PK		L (m)	% R.Q.D. Q. R.M.R.	Calificación			Características Geológico - Geotécnicas	Infiltraciones	Condición Geotéc. Roca	Clasificación geotécnica		
Inicial	Final			RQD	Q	RMR				Zona Geotéc.	Abscisa	L (m)
2320	2405	85	70 - 90 14 - 30 76	Buena	Buena	Buena	Diorita poco fracturada. Excavación ajustada a la barrenación.	Goteo moderado (≈ 2,0 l ts/seg)	Buena	2	K2+320	514
2405	2834	429	65 - 85 7 - 14 67	Buena	Buena	Buena	Diorita medianamente esquistosa. Excavación ajustada a la barrenación.	Goteo abundante y chorros que disminuyen con el tiempo (≈ 15,0 lts/seg)	Buena		K2+834	
2834	2868	34	60 - 75 5 - 9 59	Regular	Regular	Regular	Diorita muy fracturada. Cuñas potencialmente inestables en la bóveda por sistemas de bajo buzamiento encontrados.	Goteo abundante (≈ 1,5 l ts/seg)	Regular	3	K2+834	142
2868	2976	108	65 - 85 5 - 9 59	Regular	Regular	Regular	Diorita medianamente fracturada. Cuñas potencialmente inestables en la bóveda por sistemas de bajo buzamiento encontrados.	Goteo moderado (≈ 1,5 l ts/seg)	Regular		K2+976	
2976	3180	204	50 - 70 0,8 - 2 37	Regular	Muy mala	Mala	Diorita, dunita, cornubiana y esquistos muy fracturados. Cuñas potencialmente inestables en la bóveda por sistemas de bajo buzamiento encontrados.	Goteos moderados y abundantes (≈ 3,0 l ts/seg)	Mala	4	K2+976 K3+180	204
3180	3237	57	65 - 85 3 - 7 56	Regular	Regular	Regular	Esquistos, cuarcitas y cornubianas medianamente fracturados. La foliación se dispone de bajo buzamiento y crea lajas potencialmente inestables.	Goteo moderado (≈ 0,5 l ts/seg)	Regular	3	K3+180 K3+237	57
3237	3268	31	50 - 70 2 - 3 39	Regular	Mala	Mala	Esquistos, cuarcitas y diques ígneos muy fracturados. Discontinuidades de buzamiento bajo crean cuñas inestables.	Goteos leves (≈ 0,5 lts/s eg)	Mala	4	K3+237 K3+268	31
3268	3337	69	65 85 9 - 19 51	Regular	Buena	Regular	Esquistos y cuarcitas medianamente fracturados.	Goteos leves (≈ 0,5 lts/s eg)	Regular	3	K3+268 K3+337	69
3337	3389	52	45 - 65 2 - 6 39	Regular	Mala	Mala	Esquistos, cuarcitas, diques ígneos y cornubianas, muy fracturados. Las discontinuidades con buzamiento medio y bajo encontrados crean bloques potencialmente inestables.	Excavación seca (Humedades)	Mala	4	K3+337 K3+389	52
3389	3454	65	65 - 85 9 - 12 51	Regular	Buena	Regular	Esquistos, cuarcitas y cornubianas medianamente Esquistosas. Foliación con buzamiento bajo que crea lajas y bloques inestables en la bóveda.	Goteo moderado y abundante (≈ 3,0 lts/seg)	Regular	3	K3+389	224

PK		L (m)	% R.Q.D. Q. R.M.R.	Calificación			Características Geológico - Geotécnicas	Infiltraciones	Condición Geotéc. Roca	Clasificación geotécnica		
Inicial	Final			RQD	Q	RMR				Zona Geotéc.	Abscisa	L (m)
3454	3478	24	45 - 65 3 - 7 45	Regular	Regular	Regular	Esquistos, cuarcitas y cornubianas muy fracturados. Foliación con bajo buzamiento que crea lascas y bloques inestables en la bóveda.	Goteo abundante (≈ 2,0 lts/seg)	Regular			
3478	3613	135	65 - 85 9 - 14 59	Regular	Buena	Regular	Esquistos, cuarcitas y cornubianas medianamente Esquistosas. Foliación con buzamiento bajo que crea lascas y bloques inestables en la bóveda.	Goteos moderados (≈ 0,5 lts/seg)	Regular			
3613	3768	155	85 - 95 28 - 64 77	Buena	Buena	Buena	Esquistos y cuarcitas poco fracturados. Diaclasamiento y foliación cerrados, excavación ajustada a la barrenación.	Goteos abundantes y chorros moderados localizados (≈ 2,0 lts/seg)	Buena	2	K3+613 K3+768	155
3768	3818	50	65 - 85 7 - 9 60	Buena	Regular	Regular	Esquistos y cuarcitas medianamente fracturados. Algunas discontinuidades de bajo buzamiento crean cuñas potencialmente inestables.	Goteo abundante y chorros localizados (≈ 4,0 lts/seg)	Regular	3	K3+768	70
3818	3838	20	65 - 75 2 - 4 45	Regular	Mala	Regular	Esquisto filítico muy fracturado, foliación formando arco en la bóveda creando lascas inestables.	Goteo abundante (≈ 0,5 lts/seg)	Regular		K3+838	
3838	4057	219	65 - 85 10 - 14 84	Regular	Buena	Muy buena	Esquistos y cuarcitas medianamente fracturados. Foliación y otras discontinuidades cerradas.	Goteo abundante y chorros moderados localizados (≈ 5,0 lts/seg)	Buena	2	K3+838 K4+057	219
4057	4169	112	70 - 90 46 - 60 84	Buena	Muy buena	Muy buena	Esquistos y cuarcitas calcáreas poco fracturados. Excavación ajustada a la barrenación.	Goteo abundante (≈ 1,5 lts/seg)	Muy buena	1	K4+057 K4+169	112
4169	4283	114	60 - 75 7 - 9 57	Regular	Regular	Regular	Esquisto filíticos, grafitosos y cuarcita calcárea medianamente fracturados. Excavación ajustada a la barrenación.	Goteo abundante (≈ 1,5 lts/seg)	Regular	3	K4+169 K4+283	114
4283	4893	610	81 - 90 10 - 40 60 - 80	Buena	Buena	Buena	Esquistos filíticos, grafitosos y cuarcitas calcáreas poco a medianamente fracturadas. Roca foliada que se deja excavar de manera ajustada a la barrenación.	Goteos moderados a leves y chorros localizados (≈ 8,0 lts/seg)	Buena	2	K4+283 K4+893	610
4893	5083	190	60 - 81 10 - 40 60 - 80	Regular	Buena	Regular	Esquistos filíticos, grafitosos y cuarcitas calcáreas poco a medianamente fracturadas. Roca foliada que se deja excavar de manera ajustada a la barrenación.	Goteos moderados a leves y chorros localizados (≈ 8,0 lts/seg)	Regular	3	K4+893	380

PK		L (m)	% R.Q.D. Q. R.M.R.	Calificación			Características Geológico - Geotécnicas	Infiltraciones	Condición Geotéc. Roca	Clasificación geotécnica		
Inicial	Final			RQD	Q	RMR				Zona Geotéc.	Abscisa	L (m)
5083	5220	137	60 - 75 7 - 9 57	Regular	Regular	Regular	Esquistos filíticos, grafitosos con cuarcita calcárea medianamente fracturados. Excavación ajustada a la barrenación.	Goteo abundante (≈ 1,5 lts/seg)	Regular			
5220	5273	53	50 - 70 2 - 4 47	Regular	Mala	Regular	Esquistos filíticos y grafitos s fracturados y foliados. La roca se deja excavar fácilmente. Corte ajustado a la barrenación.	Chorro controlado por estructura N30°W (≈ 0,2 lts/seg)	Regular			
5273	5305	32	40 - 60 1 - 3 39	Mala	Mala	Mala	Esquistos cuarzo-sericíticos y grafitosos muy fracturados y oxidados.	Goteo abundante (≈ 0,2 lts/seg)	Mala	4	K5+273	32
5305	5352	47	< 30% 0,25 20	Muy mala	Muy mala	Muy mala	Esquistos grafitosos blandos y húmedos. Meteorizados hasta IIA. Muy poco espesor de roca. En general son depósitos de derrubio	Goteo moderado (≈ 0,1 lts/seg)	Muy mala	6	K5+305 K5+352	47
TOTAL		4555										4.555

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA DE TUNEL

Bases de la zonificación geotécnica del área del túnel. Se tomaron como base los siguientes criterios:

Índice de calidad de las rocas RQD ("Rock quality designation" Deree et al. (1967)

Índice de calidad de la masa rocosa Q de Barton (Rock Mass Quality)

Clasificación de Bieniawski (R.M.R.)

Ubicación del túnel respecto a zonas de falla.

Geología de la zona del túnel.

Geología de la zona del túnel. Al inicio del túnel, (Qd) - Depósitos de Derrubio, con influencia desde el K0+797 hasta el K1+020 y desde el K5+320 a K5+352. (Depósitos coluviales con presencia de bloques y cantos gruesos de roca meteorizada en matriz arcillo arenosa, con presencia de agua).

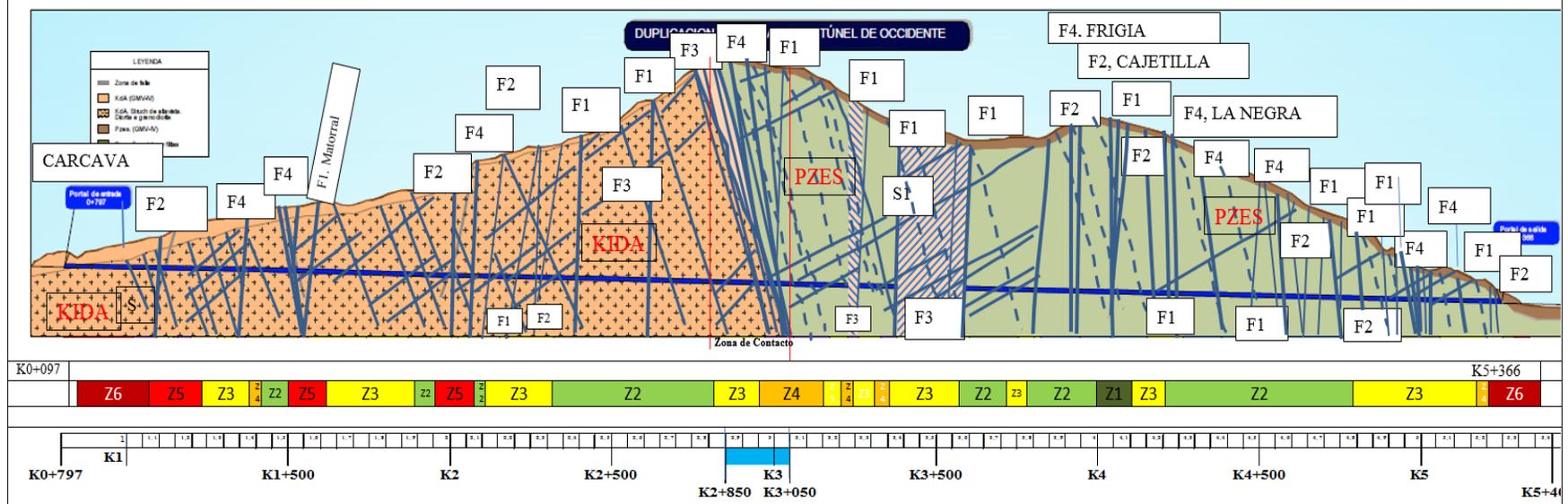
K1+020 a K3+180. Batolito de Altavista (Kida). Cuerpo granítico intrusivo de composición diorítica según Travis (1965), o Monzodiorita según Streckeisen (1974). Se encuentran rocas desde porfíricas de matriz afanítica y composición intermedia a dioritas, cuarzodioritas y granitos. La roca predominante es félsica, de color gris, cremas hasta verdes en las rocas porfíricas.

K3+180 a K5 + 320 (Pes) del grupo Ayurá - Montebello. Rocas Metamórficas compuestas por Filitas, esquistos cuarzo sericíticos y esquistos aluminicos, con Metamorfismo regional de grado bajo a medio.

PK		L (m)	% R.Q.D. Q. R.M.R.	Calificación			Características Geológico - Geotécnicas	Infiltraciones	Condición Geotéc. Roca	Clasificación geotécnica		
Inicial	Final			RQD	Q	RMR				Zona Geotéc.	Abscisa	L (m)
RQD (%)		Q (Barton)		RMR		Zona Geotécnica (ZG)	Calidad de la roca					
		0,01 - 0,1				6	Extremadamente Mala					
	<25	0,1 - 1		0 - 20		5	Muy mala					
	25 - 50	1, - 4		21 - 40		4	Mala					
	50 - 75	4, - 10		41 - 60		3	regular					
	75 - 90	10, - 40		61 - 80		2	Buena					
	90 - 100	40, - 100		81 -100		1	Muy buena o excelente					
RQD	Rock Quality Designation (Índice de calidad de las rocas) - Deree et al 1967											
Q	Rock Mass Quality (Índice de calidad de la masa rocosa) - Barton											
RMR	Rock Mass Rating (Valoración de la masa rocosa) - Bieniawski											

Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016 - - Geología Final – Volumen III – Geología para Ingeniería. Numeral 7.8 Caracterización Geotécnica. Adaptado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

Figura 5-202 Zonificación Geotécnica del túnel UF 3



CONVENCIONES			
FALLAS Y FRACTURAS	RUMBO	UBICACIÓN	BUZAMIENTO
F1	Norte - Sur	Segadas al eje del Túnel	Subvertical
F2	Este -Oeste	Segadas al eje del Túnel	Subvertical
GF3	Nor Este - Sud Oeste	Al hilo del eje del Túnel	Subvertical
F4	Nor Oeste - Sud Este	Perpendiculares al eje del Túnel.	Buzamiento Subvertical
FA	Bajo Buzamiento	F2 a F4	30-45º Contra Buzamiento >PP.KK
S1	Foliación Vertical	F2/F3	40-65º Con Buzamiento >PP.KK

Zona Geotécnica	Calidad Geotécnica del Terreno
Z6	Extremadamente mala
Z5	Muy mala
Z4	Mala
Z3	Regular
Z2	Buena
Z1	Muy buena o excelente

Fuente: Datos Geológicos, Construcción Túnel Paralelo - Interventoría y Apoyo Gerencial de la Construcción de la Carretera Medellín – Santafé de Antioquia – anexo Geológico Geotécnico del Túnel de Occidente. Integral S.A. febrero de 2002. Duplicación del Túnel de Occidente – Diseño Fase II – Diseño del Túnel. TYPSA y CRA, Noviembre de 2013 CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016. Adaptado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

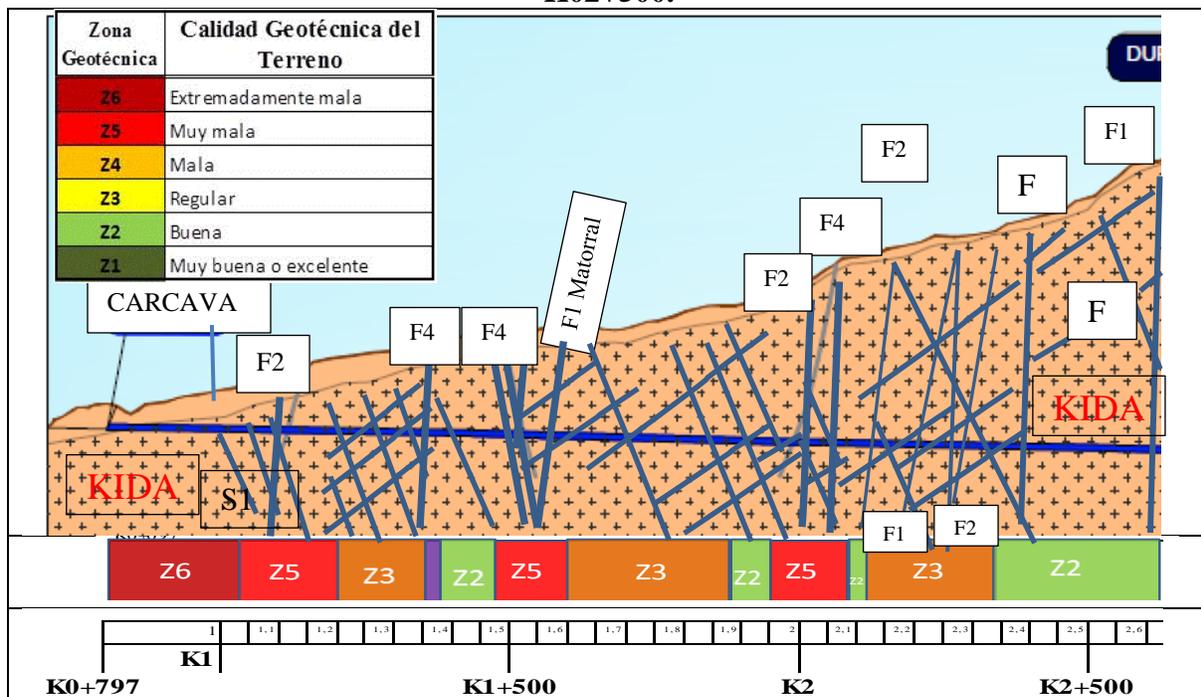
5.1.9.1.1 Sector 1: K0+797 (Portal de Entrada) – K2+500

El túnel inicia en la Diorita de Altavista. Son rocas desde porfiríticas de matriz afanítica y composición intermedia a dioritas, cuarzodioritas y granitos. La roca predominante es félsica, color gris, crema hasta verde en las rocas porfiríticas. Al inicio (K0+797 K1+030) se encuentra una zona Geotécnica Z6 (Extremadamente mala), por el poco espesor de roca y la presencia de materiales de derrubios (Qd).

En este sector se presentan varias zonas de fallas que cruzan el nuevo túnel, en las que sobresale la falla El Matorral (K1+600) que llegan muy cerca de la superficie; estas fallas son cruzadas por el túnel y hacen que la condición geotécnica en sus cruces corresponde a la zona Z5 (condición geotécnica muy mala).

Al inicio del túnel (K0+797 a K1+020), el espesor de roca es muy pequeño y encima se encuentran zonas de depósito de suelo producto de la meteorización de las rocas y de la acumulación de material de derrubios (Qd), que en este sector corresponden a depósitos coluviales con presencia de bloques y cantos gruesos de roca meteorizada en matriz arcillo arenosa, con presencia de agua, generados por erosión de las zonas altas de la montaña (Figura 5-203). Nota: Ver convenciones en la Figura 5-202.

Figura 5-203 Zonificación Geotécnica Túnel de Occidente, Sector 1: K00+797 – K02+500.



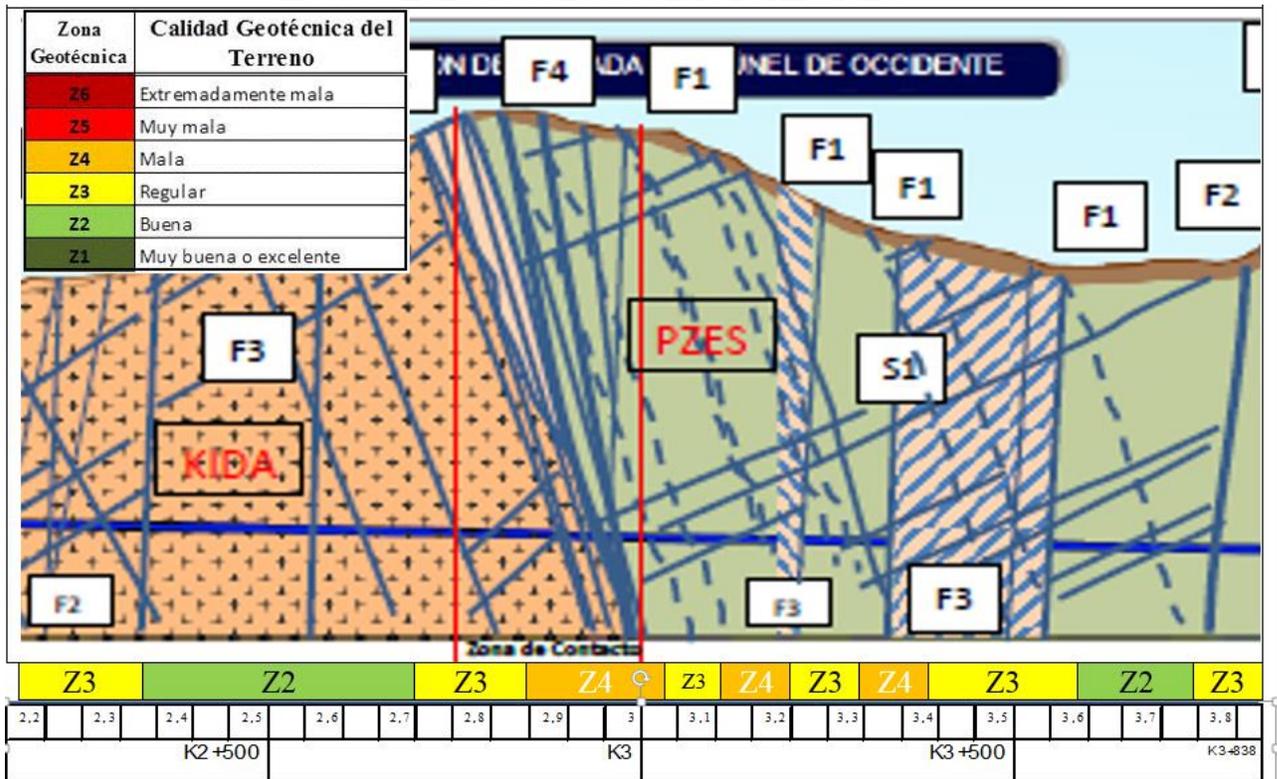
Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016 - Adaptado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.1.2 Sector 2: K2+500 – K3+700

Zona de contacto, ubicada en la zona más alta de la montaña entre la Diorita de Altavista y los Esquistos Cuarzo sericíticos. La zona de contacto es de alta pendiente, casi vertical, con inclinación descendente suroriente/Noroccidente, Figura 5-204. Nota: Ver convenciones en la Figura 5-202.

En este sector, se ubican zonas Z2 a Z4, la roca posee un buen tramo con una zona geotécnica Z2 cuya calidad del terreno se clasifica como buena (K2+500 – K2+700 y K3+580- K3+750). En la categoría Z3, de regular calidad geotécnica existen varios sectores, (K2+700 – K2+840, K3+030 – K3+110, K3+200 – K3+290 y K3+380 – K3+590) (Regular calidad geotécnica) mostrando además, una condición especial de zona Z4 en los tramos (K2+890 – K3+030, K3+120 - K3+200 y K3+290 – K3+380) (Mala calidad geotécnica del corredor, incluyendo la zona de contacto entre las dos formaciones KIDA y PZES.

Figura 5-204 Zonificación Geotécnica Túnel de Occidente, Sector 2: K2+500 – K3+700. Zona de Contacto entre Formaciones



Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016 - Adaptado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

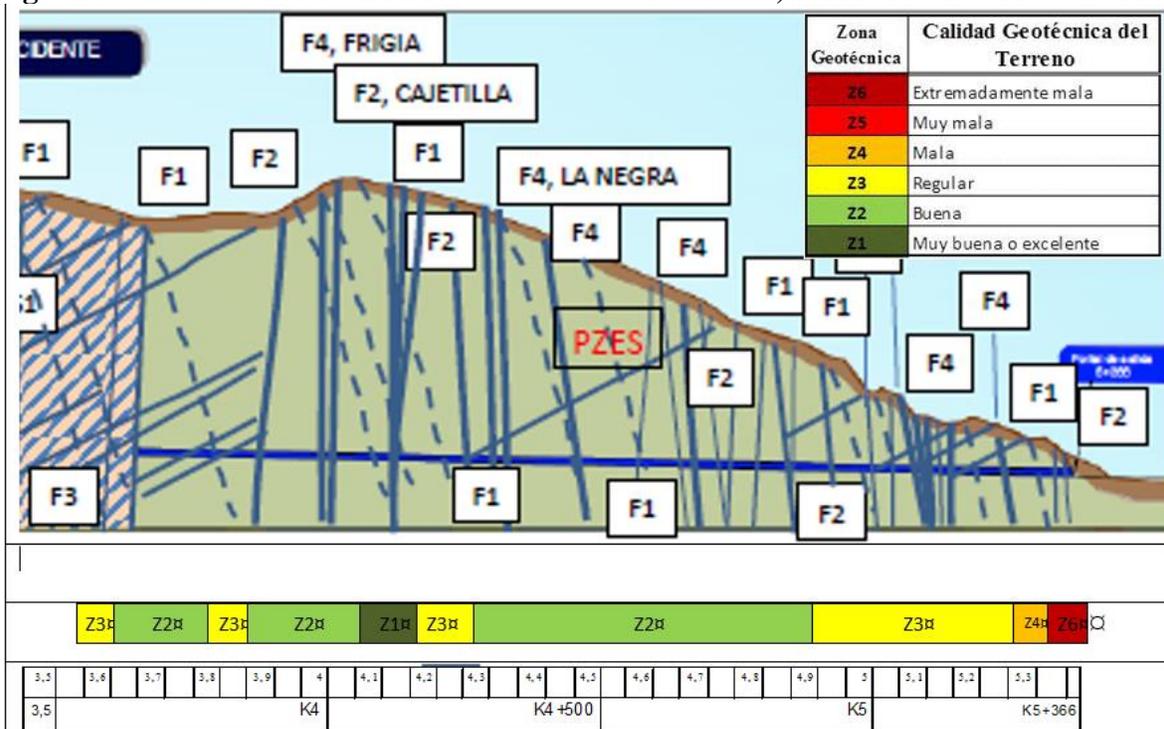
5.1.9.1.3 Sector 3: Zona final del túnel, terminando en el Portal de Salida

Todo el sector se ubica en la unidad de Esquistos cuarzo sericíticos. Geotécnicamente, este sector presenta las mejores características geotécnicas, con largos tramos en zona tipo Z2, de buena calidad geotécnica del terreno (Figura 5-205).

En un pequeño tramo (K04+075 a K04+500), la calidad geotécnica de la roca es Z1 (muy buena o excelente), aunque se evidencia la presencia de varias fracturas y fallas (Frigia K3+960, Cajetilla K4+000 y La Negra K4+260). Se presentan tres pequeños sectores de zona Z3 (terreno de regular calidad Geotécnica), uno de ellos de longitud considerable, entre el K4+900 al K5+300).

Al final, entre el K05+300 al K05+366 (portal de salida) la zona se encuentra entre Z4 (Mala calidad geotécnica) y Z6 (Extremadamente mala); esta última está relacionada con un pequeño espesor de roca y la presencia de material de derrubio muy cerca al túnel.

Figura 5-205 Zonificación Geotécnica Túnel de Occidente, Sector 3: K3+700 – K5+366



Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016 - Adaptado por Consultoría Colombiana S.A., 2016

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.9.1.4 Conclusiones

Como resultado del estudio detallado de las condiciones topográficas, geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de la zona en donde se construirá el nuevo túnel, se puede concluir que las condiciones del terreno son aptas para la construcción, operación y mantenimiento del túnel y de los tramos cortos de calzada al aire libre, con controles técnicos de ingeniería normales para este tipo de proyectos.

La construcción del túnel disminuye de manera significativa el problema existente en las laderas de alta montaña, y se evita el paso por la ladera de muy baja estabilidad presente en la parte más alta del trazado.

Es significativo el conocimiento que se tiene de las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona donde se construirá el nuevo túnel, ya que en todo su recorrido pasará por zonas de los mismos materiales y de las mismas condiciones geológicas y geotécnicas del túnel existente, el cual ha sido buena herramienta para la realización de los estudios y diseños y será un buen punto de partida para la construcción y operación del nuevo túnel.

Como resumen de la zonificación geotécnica, el tramo inicial K00+797 al K02+300 y el final K05+250 al K05+366 son los de mayor cuidado. El principio y el final, por ser los portales, el espesor de roca es muy pequeño y la presencia de materiales de derrubios, hace que estos sitios sean de especial interés geotécnico y requieren las mayores obras de protección y control.

Los tramos en donde se encuentran las fallas identificadas (K1+600, y K3+960 a K4+260), presentan una condición de dificultad geotécnica que deberá atenderse con especial cuidado, para su control geotécnico, al igual que las zonas Z4 en los tramos (K2+890 – K3+030, K3+120 - K3+200 y K3+290 – K3+380), en donde se presenta mala calidad geotécnica del corredor, incluyendo la zona de contacto, casi vertical entre las dos formaciones KIDA (Diorita) y PZES (Altavista), zonas de esquistos Cuarzo sericíticos.

5.1.9.2 Geotecnia para Unidad Funcional 1

Para la Unidad Funcional la metodología de Zonificación Geotécnica utilizada consiste en la división del terreno en zonas geotécnicamente homogéneas, calificadas de acuerdo con las condiciones de estabilidad que pueden afectar la construcción y operación de la vía, para lo cual en un ambiente SIG, se definieron áreas con características similares en cuanto a litología (geología), geomorfología, cobertura de la tierra, densidad de drenajes, densidad de fallas, pendientes y morfodinámica.

Esta metodología incorpora dos factores detonantes, precipitación y amenaza sísmica, y se obtiene la amenaza relativa (zonificación geotécnica) a la ocurrencia de procesos erosivos y de remoción en masa, calificada desde muy baja a muy alta, de acuerdo con el esquema

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

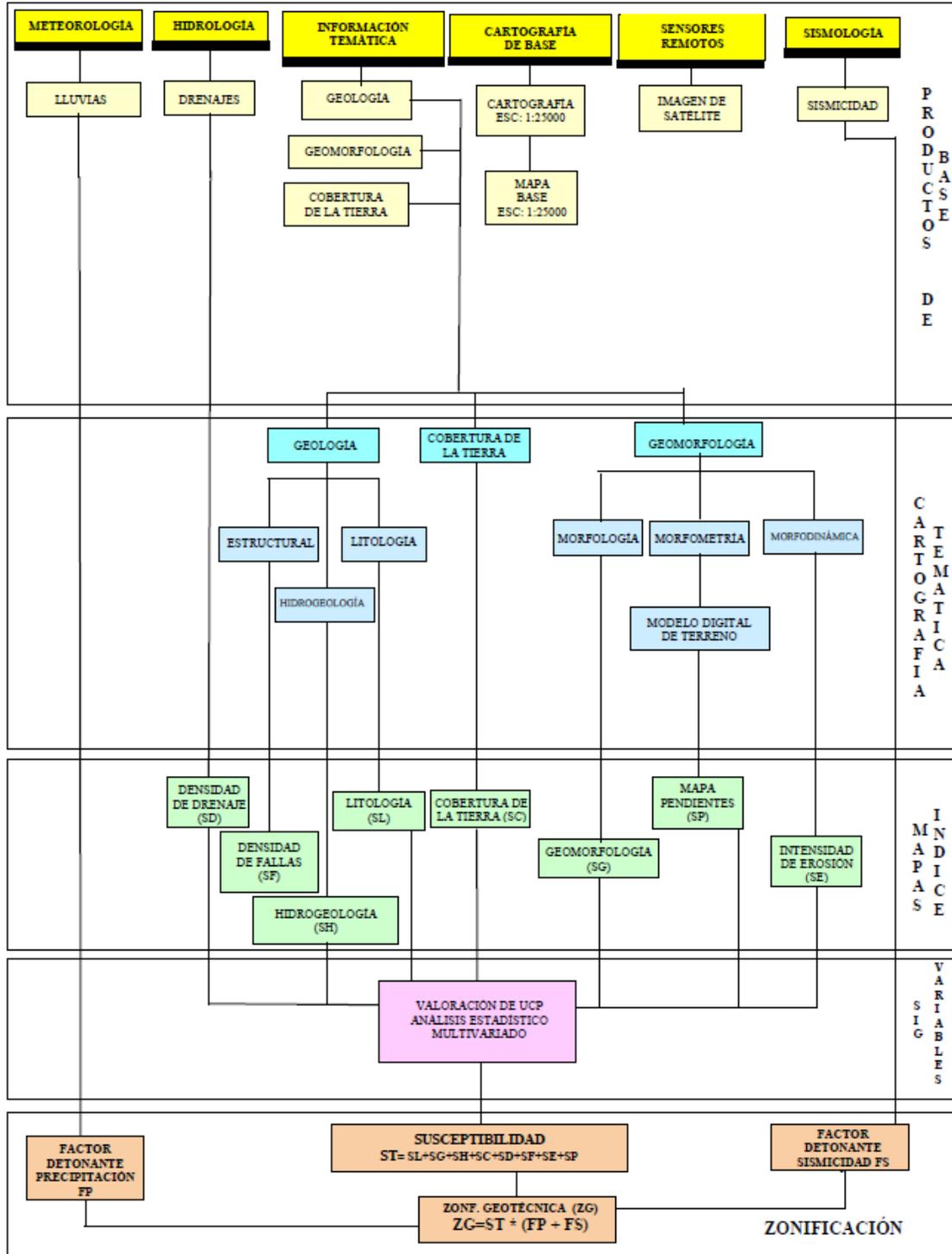
metodológico modificado de VARGAS (1.999)⁷⁰ Figura 5-206.

Para el desarrollo del estudio, se adelantaron las siguientes etapas:

- Recopilación y análisis de información existente. En esta etapa de trabajo se realizó el análisis de la información existente que se incorporó al modelo de análisis (información topográfica e información temática).
- Elaboración del mapa base digital, escala 1:25.000 del IGAC; incluye curvas de nivel, drenajes, vías y zonas urbanas entre otras.
- Estudio de las variables geoambientales o factores del terreno. Análisis y cartografía de variables como geología, geomorfología, fallas, cobertura de la tierra, pendientes, morfodinámica, drenajes, precipitación y sismicidad.
- Implementación del SIG. Sobre el mapa base digital del área de influencia se digitalizó la información temática georreferenciada.
- Evaluación de variables. Se evaluó la información obtenida y se determinaron los pesos de las variables para la determinación de la estabilidad geotécnica.
- Modelación de susceptibilidad. Con base en la calificación semi cuantitativa de las Unidades Cartográficas de Parámetro (UCP), se realizó la modelación multivariada de variables en función de la susceptibilidad, para la obtención de la zonificación geotécnica. La susceptibilidad es el grado de propensión de un terreno a generar uno o varios procesos amenazantes.
- Identificación de factores detonantes. Se consideraron como factores externos que pueden detonar procesos de remoción en masa, las variables de Precipitación y Amenaza Sísmica.

⁷⁰Estudio Geoambiental y Zonificación de Amenazas por Erosión y Remoción en Masa en la Cuenca del Río Teusacá. Sabana de Bogotá. Colombia. X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería. Sociedad Colombiana de Ingenieros, Santa Fe de Bogotá, D.C., Noviembre de 1999.

Figura 5-206 Diagrama metodológico para la obtención de la zonificación geotécnica



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2015

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

La zonificación geotécnica se establece en cinco categorías, las cuales reflejan la conjugación de las variables incorporadas al análisis, incluyendo los factores intrínsecos de precipitación y sismicidad.

Para el análisis de las variables geoambientales, se estableció un criterio semi cuantitativo, donde se asignó a cada unidad de parámetro un valor de susceptibilidad de 1 a 5, como se presenta en la Tabla 5-121.

Tabla 5-121 Categoría y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables

Categoría de susceptibilidad	Peso
Muy baja	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy Alta	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2015

A continuación se presentan los resultados de valoración de Susceptibilidad para cada variable de análisis.

5.1.9.2.1 Modelación de Variables

Una vez establecidos semi cuantitativamente los diferentes valores de susceptibilidad para cada UCP en cada una de las ocho variables que se incorporaron al análisis, se obtuvieron los mapas de susceptibilidad temática. Este proceso se realizó en un formato raster en el cual cada UCP está conformada por un conjunto de pixeles de igual valor.

Este valor asociado a un atributo cartográfico (nombre de la unidad cartográfica de parámetro), se recodificó o se reemplazó en un SIG (ArcGis10), por el valor asignado en las tablas de susceptibilidad, de tal forma que las imágenes mapas de susceptibilidad temática resultantes representan un rango de valores entre 1 y 5. A continuación se presentan los valores de susceptibilidad para cada una de las variables.

5.1.9.2.2 Litología (SL)

Es uno de los principales factores a considerar en la determinación de la estabilidad, debido a que la génesis, composición y estructura de las rocas, incide en la susceptibilidad del terreno a la meteorización y desarrollo de procesos erosivos y/o procesos de remoción en masa.

Para el caso de la zona de estudio, el AI cruza por depósitos cuaternarios, de bajo grado de compactación, susceptibles al desarrollo de erosión en surcos y cárcavas; estos depósitos son considerados de alta susceptibilidad.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Tabla 5-122 Valores de susceptibilidad por litología

Símbolo	Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Descripción	Peso	Justificación
Qll	Lleno antrópico	<p>Depósitos de sobrantes de excavación resultantes principalmente de la anterior construcción del túnel de occidente y actual vía Medellín – Santa Fe de Antioquia.</p> <p>Materiales dispuestos sobre el terreno, composición heterogénea (arcillas, gravas, bloques de roca, etc.), algunos debidamente dispuestos y compactados y otros vertidos en forma directa sin manejo técnico.</p>	4	Depósitos no consolidados, algunos de ellos conformados y compactados, sin embargo en campo pudieron observarse algunos que han sufrido problemas de estabilidad, como el depósito el Galpón ubicado en la ladera de la quebrada Negra, en el costado NE del K00+200 – K0+470 (Abcisado de la vía actual existente) ⁷¹ .
Qal	Depósitos Aluviales	Depósitos aluviales, sueltos, de composición de gravas a arenas.	4	Depósitos no consolidados, sueltos, susceptibles de procesos erosivos como surcos y cárcavas.
Qcal	Depósitos coluvio aluviales	Conformados por bloques angulares de roca, diámetro medio 2-5 cm, roca completamente meteorizada. Matriz arenosa suelta, bloques de roca (70%), color café claro.	4	Depósitos no consolidados de muy baja compactación, de matriz arenosa suelta, susceptibles erosión en surcos y cárcavas.
Qd	Depósitos de derrubio/depósitos de deslizamientos	Materiales de composición heterogénea, dependiendo de las condiciones de humedad y composición de la fuente de aporte de sedimentos.	4	Depósitos no consolidados de baja compactación, susceptibles erosión en surcos y cárcavas.
Ngas Pam Pgai	Formación Amagá	<p>Ngas. Miembro superior. Areniscas bien cementadas, arcillas pizarrosas, localmente bancos delgados de conglomerados y carbón.</p> <p>Tom. Miembro Medio. Arcillas pizarrosas, areniscas localmente conglomeráticas, mantos de carbón hasta 2m de espesor.</p> <p>Toi. Miembro Inferior. Conglomerados, areniscas conglomeráticas, areniscas, arcillolitas arenosas, arcillolitas pizarrosas.</p>	3	Depósitos sedimentarios generalmente bien cementados y compactos que le imprimen estabilidad, sin embargo, son susceptibles de erosión hídrica superficial (surcos, cárcavas).
Kdha -	Diorita de	Diorita cuarzosa de grano medio,	3	Rocas intrusivas de

⁷¹ Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 02 Puente Quebrada La Negra y Depósito El Galpón. Marzo de 2013.

 <p>Agencia Nacional de Infraestructura</p>	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 <p>SOMOS TU VÍA</p>
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

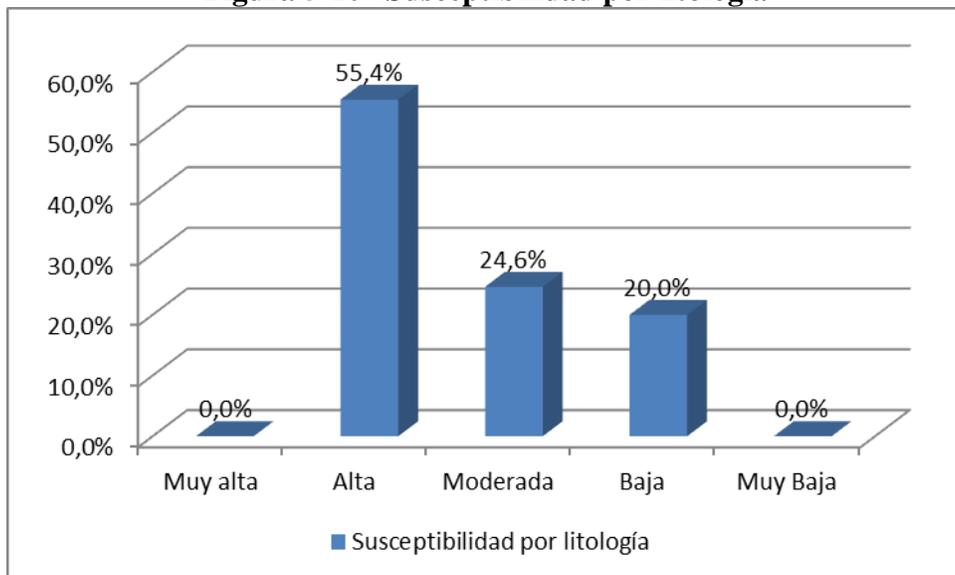
Símbolo	Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Descripción	Peso	Justificación
Kdhb	Heliconia-diorita hornbléndica	textura granular, hipidiomórfica granular, ocasionalmente ofítica con cataclasis y dioritas hornbléndicas.		composición ácida, susceptibles a meteorización química y desarrollo de suelos residuales de espesor variable, que pueden generar zonas susceptibles de deslizamientos.
Kida	Diorita de Altavista	Rocas desde porfiríticas de matriz afanítica y composición intermedia a dioritas, cuarzdioritas y granitos; la roca predominante es félsica. En el área de estudio, esta unidad litológica desarrolla suelos residuales de espesores	3	Rocas intrusivas de composición ácida, susceptibles a meteorización química y desarrollo de suelos residuales de espesor variable, que pueden generar zonas susceptibles de deslizamientos.
KvQG	Complejo Quebradagrande Miembro volcánico	Capas delgadas estratificadas formando bancos mayores de 2 metros de liditas, lodolitas, grauvacas, intercaladas ocasionalmente por bancos de tobas silicificadas y conglomerados finos, localmente es bastante rica en materia orgánica.	2	Son rocas duras, compactas que en campo fueron observadas generalmente como rocas moderada a débilmente meteorizadas.
Jgr	Gabros de Romeral	Gabros de grano fino a pegmatíticos, asociados al sistema de fallas de Romeral	4	Rocas intrusivas máficas, afectadas en el área de estudio por alta influencia estructural que le imprimen alta susceptibilidad a movimientos en masa.
Pzes Pev	Grupo Ayurá Montebello	Pzes. Filitas, esquistos cuarzo sericíticos y esquistos aluminicos. Metamorfismo regional de grado bajo a medio. Pev. Esquistos verdes compuestos por alicita, epidota, clorita y actinolita. Metamorfismo regional de grado bajo a medio	4	Rocas metamórficas de estructura esquistosa principalmente, que le imprimen al terreno alta susceptibilidad a movimientos en masa, a través de planos de debilidad.
Pgnp	Granito néisico de Palmitas	Rocas de apariencia de alto grado de metamorfismo, facies granulita, debido a la alteración superficial de gran parte de los componentes. La estructura néisica es desarrollada gracias a metamorfismo dinamo térmico a partir de una roca granítica.	4	Rocas de alto grado de metamorfismo, y de alteración, con alto grado de meteorización y desarrollo de suelos residuales, susceptibles de movimientos en masa.

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-207 se muestra que el 55,4% del área de influencia se ubica en rocas de alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa y procesos erosivos; estas áreas de alta susceptibilidad se identifican en terrenos con coberturas de depósitos coluviales, coluvio aluviales, aluviales, Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes), Esquistos Verdes (Pev), Granito Néisico de Palmitas (Pgnp) y Gabros de Romeral (Jgr).

El 24,6% es de susceptibilidad moderada, se presenta en rocas sedimentarias de la Formación Amagá y rocas intrusivas como Diorita de Altavista y Diorita de Heliconia. Las rocas de baja susceptibilidad (20,0%) corresponden a rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande.

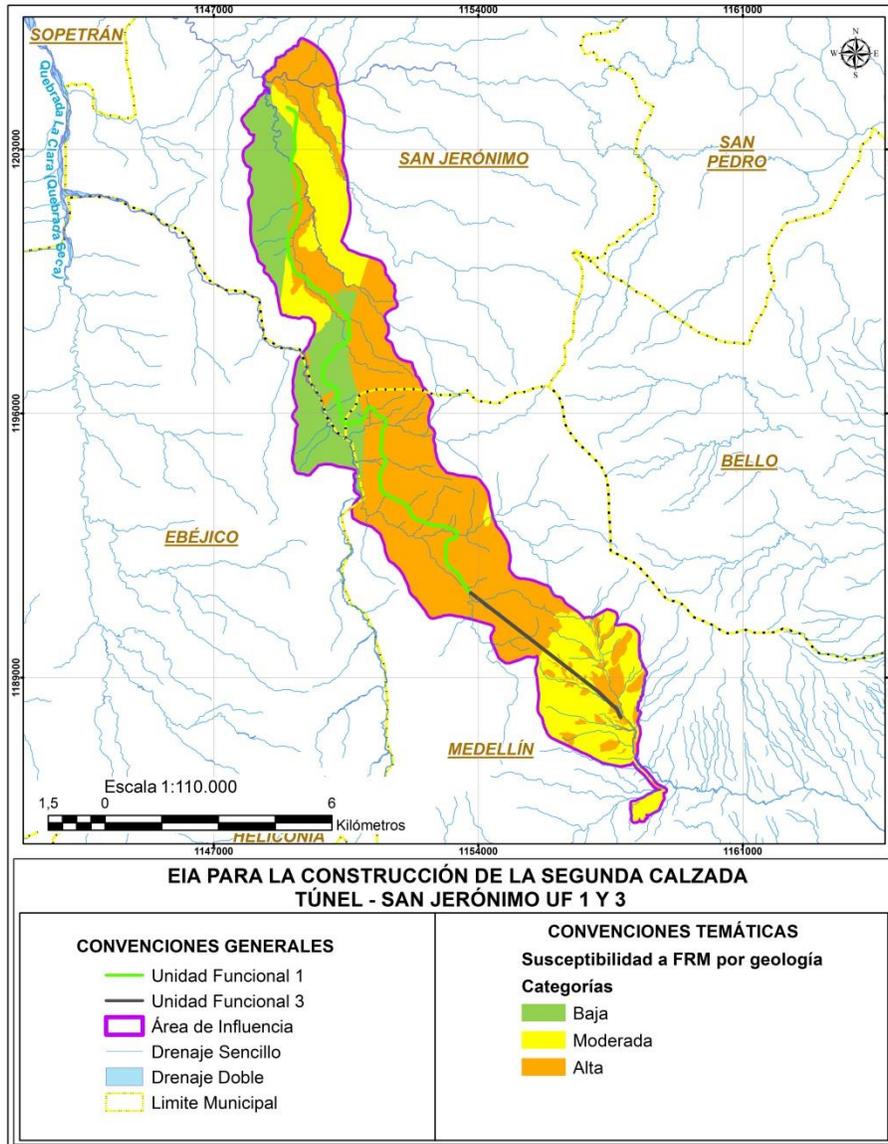
Figura 5-207 Susceptibilidad por litología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-208 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de influencia de acuerdo a la sectorización por litología.

Figura 5-208 Mapa de susceptibilidad por litología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.2.3 Geomorfología (SG)

La calificación de susceptibilidad para las diferentes unidades geomorfológicas, se infiere sobre la base de dos factores que favorecen la remoción, los cuales corresponden a la topografía, entendida como la pendiente del terreno y los aspectos edáficos, representados por los procesos erosivos de los suelos, que se presentan de forma generalizada o focalizada.

La remoción en masa incluye de forma integral un conjunto de factores adicionales que

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

favorecen su generación, los cuales están relacionados con la naturaleza de los materiales, clima y vegetación; no son tenidos en cuenta para esta calificación de susceptibilidad desde esta perspectiva, pero implícitamente son evaluados desde otras temáticas que entran en concurso para la zonificación.

Con base en lo anterior y sobre la base de los dos factores caracterizados en las unidades geomorfológicas (pendiente del terreno y erosión), se estableció la susceptibilidad del área de influencia frente a los procesos de remoción en masa.

Las unidades geomorfológicas calificadas de mayor susceptibilidad a movimientos en masa, corresponden a laderas y coluvios de remoción en paisajes de montañas, asociadas a potenciales deslizamientos. Las unidades geomorfológicas de susceptibilidad moderada están asociadas a paisajes lomeríos y laderas de paisajes de piedemonte, y a vegas inundables de los ríos de piedemonte, asociados a socavación de orillas. Las unidades geomorfológicas de baja a muy baja susceptibilidad son valles estrechos aluviales y coluvio aluviales y niveles de terrazas, en las diferentes unidades de paisaje delimitadas.

En la Tabla 5-123 Valores de susceptibilidad por geomorfología se presenta la calificación de susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa, de acuerdo con las unidades geomorfológicas en el área de influencia.

Tabla 5-123 Valores de susceptibilidad por geomorfología

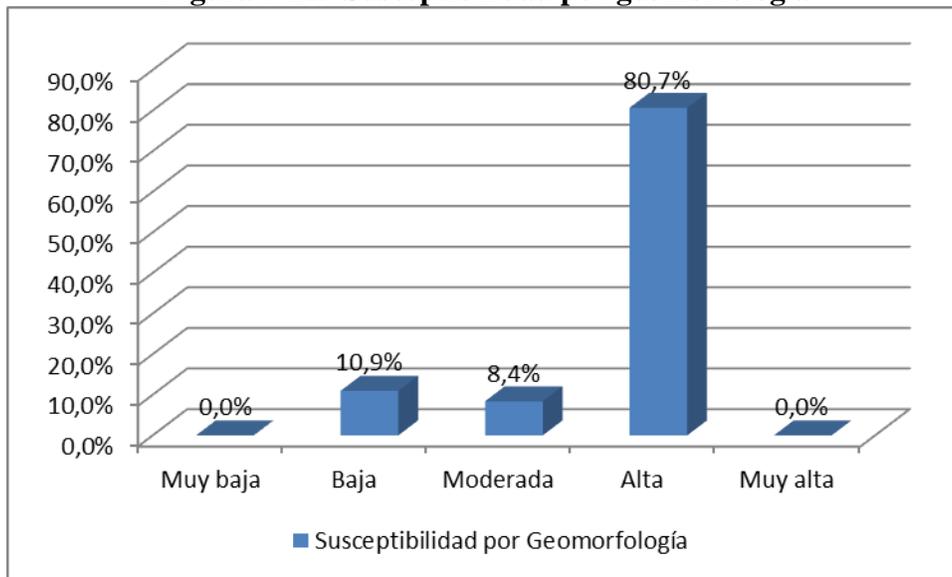
Símbolo	Unidad geomorfológica/ Subunidad geomorfológica	Componente geomorfológico	Peso
DI	Montañas denudativas/Filas y vigas	Laderas	4
Dve		Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales	2
Dcr		Coluvios de remoción	4
DII		Lleno antrópico	4
DSI	Montañas denudativas estructurales/ Filas y vigas	Laderas	4
DSve		Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales	2
DScr		Coluvios de remoción	4
DSII		Lleno antrópico	4
SDcr	Montañas estructurales denudativas/ Espinazos	Coluvios de remoción	4
SDle		Ladera estructural	4
SDve		Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales	2
DSlo	Piedemonte/ Lomas y colinas	Lomerío	3
FAaa	Piedemonte/ Abanicos aluviales	Cuerpo y base de abanico aluvial	2
FAat		Abanico terraza	2
Ccc	Piedemonte/ coluvios de remoción	Cono coluvial	3
Fve	Piedemonte/ Valle aluvial	Valle estrecho aluvial	2

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que el 80,7% del área de influencia se localiza en terrenos de alta susceptibilidad movimientos en masa, por la

variable de Geomorfología, cuyas unidades geomorfológicas son laderas y coluvios de remoción de montañas denudativas (DI, Dcr), laderas y coluvios de remoción de Montañas denudativas estructurales (DSI, DScr), laderas estructurales y coluvios de remoción de Montañas estructurales denudativas (SDIe, SDcr). El 10,9% es de susceptibilidad baja y corresponde a Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales (SDve, Dve, DSve), Valles estrechos aluviales (Fve) y Abanicos aluviales (FAaa, FAat). El 8,4% es de susceptibilidad moderada y corresponde a Coluvios de remoción de Piedemonte (Ccc) y lomas y colinas de Piedemonte (DSlo).

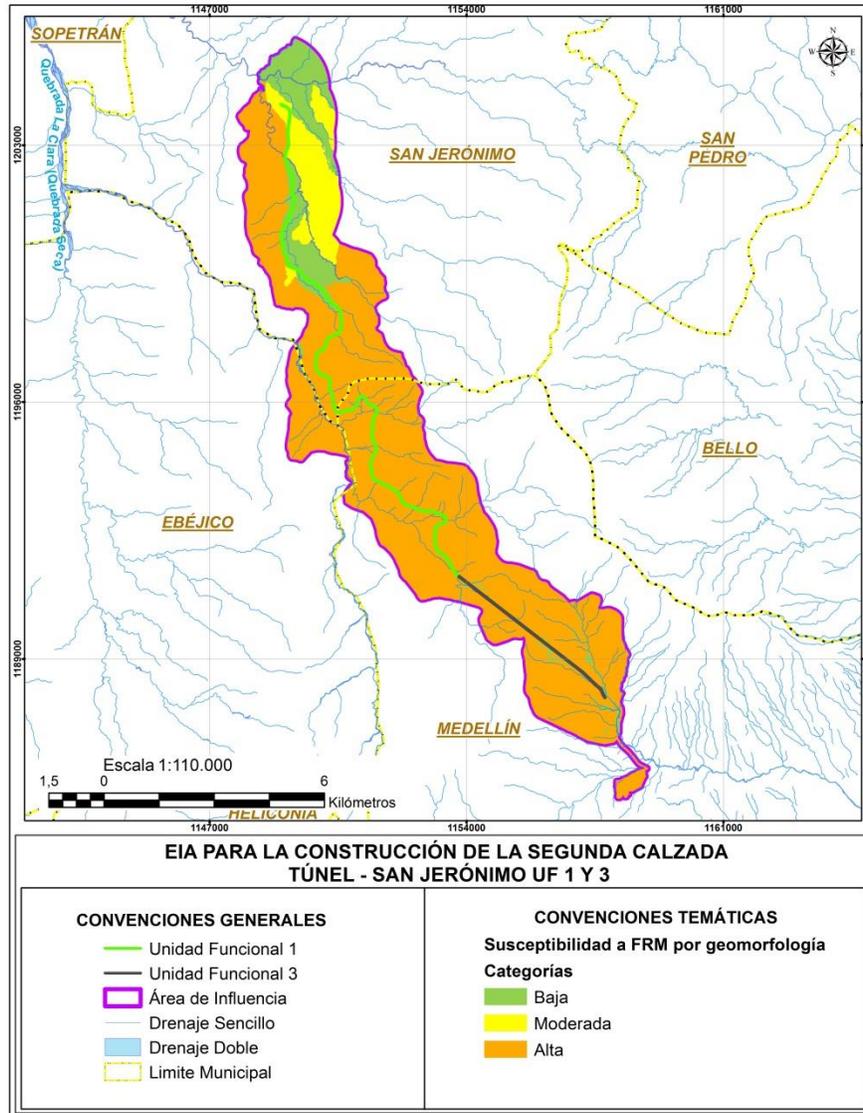
Figura 5-209 Susceptibilidad por geomorfología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-210 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de influencia de acuerdo a la sectorización por geomorfología. En esta figura se identifica las unidades de Montañas son las valoradas de alta susceptibilidad a movimientos en masa, y las unidades de Piedemonte varían entre susceptibilidad moderada y baja.

Figura 5-210 Mapa de susceptibilidad por geomorfología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.2.4 Hidrogeología (SH)

Las diferentes unidades litológicas se agrupan conformando unidades hidrogeológicas de acuerdo con su productividad, capacidad para almacenar y transmitir aguas subterráneas y valorar la posible afectación del recurso hídrico subterráneo, frente a las actividades que se deriven de la construcción y operación de la vía. De acuerdo con la clasificación de las unidades litológicas frente al comportamiento hidrogeológico, se consideran los siguientes tipos:

- Acuíferos: Estrato o formación geológica que permite el almacenamiento y circulación

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

del agua por sus poros y/o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrar materiales muy variados como gravas, calizas fracturadas, areniscas porosas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas. Estas unidades son económicamente explotables.

- **Acuicludos:** Formación geológica que conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos de arcillas de cualquier origen.
- **Acuitardos:** Formación geológica que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, pero sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante en ciertos casos.
- **Acuifugos:** Aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico que no esté fisurado o unas rocas metamórficas sin meteorización ni fracturación, estos se consideran impermeables.

Tabla 5-124 Valores de susceptibilidad por hidrogeología

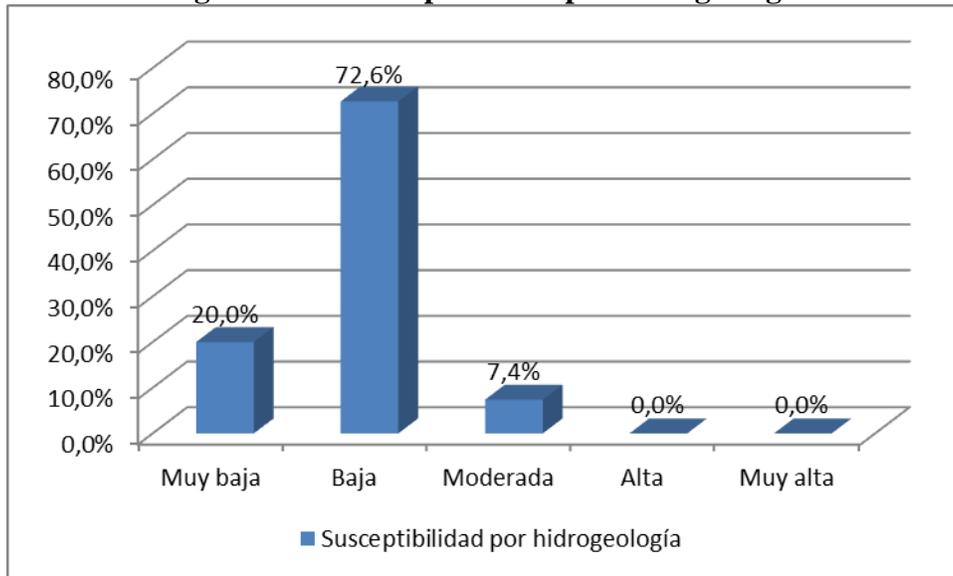
Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)		Peso
Acuíferos con porosidad primaria de Mediana productividad, capacidad específica entre 1,0 y 2,0 l/s/m	Qal (Depósitos Aluviales)	4
Acuíferos con porosidad primaria, Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Lleno antropico (Qll)	3
	Depósitos Coluvioaluviales (Qcal)	
	Terrazas aluviales (Qt0, Qt1)	
	Depósitos de derrubio (Qd)	
Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea, Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona con un Acuitardo	Miembro Superior, Formación Amaga (Ngas)	1
	Miembro Medio, Formación Amaga (Pgam)	
	Miembro Inferior, Formación Amaga (Pgai)	
Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea, Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, su comportamiento se correlaciona con un Acuifugo	Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica (Kdhb)	2
	Batolito de Altavista (Kida)	
	Complejo Quebradagrande, Miembro volcánico (KvQG)	
	Gabros de Romeral (Jgr)	
	Grupo Ayurá Montebello (Pzes- Pev)	
Granito néisico de Palmitas (Pgnp)		

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-211 se muestra que susceptibilidad por movimientos en masa por la variable hidrogeología, tiene baja influencia en el área de estudio. El 72,6% es de baja susceptibilidad y corresponde a acuíferos por fractura y acuíferos por porosidad primaria

con baja productividad; el 20,0% es de muy baja susceptibilidad y corresponde a acuitardos. El 7,4% es de susceptibilidad moderada, corresponde a acuíferos por fractura con zona de recarga.

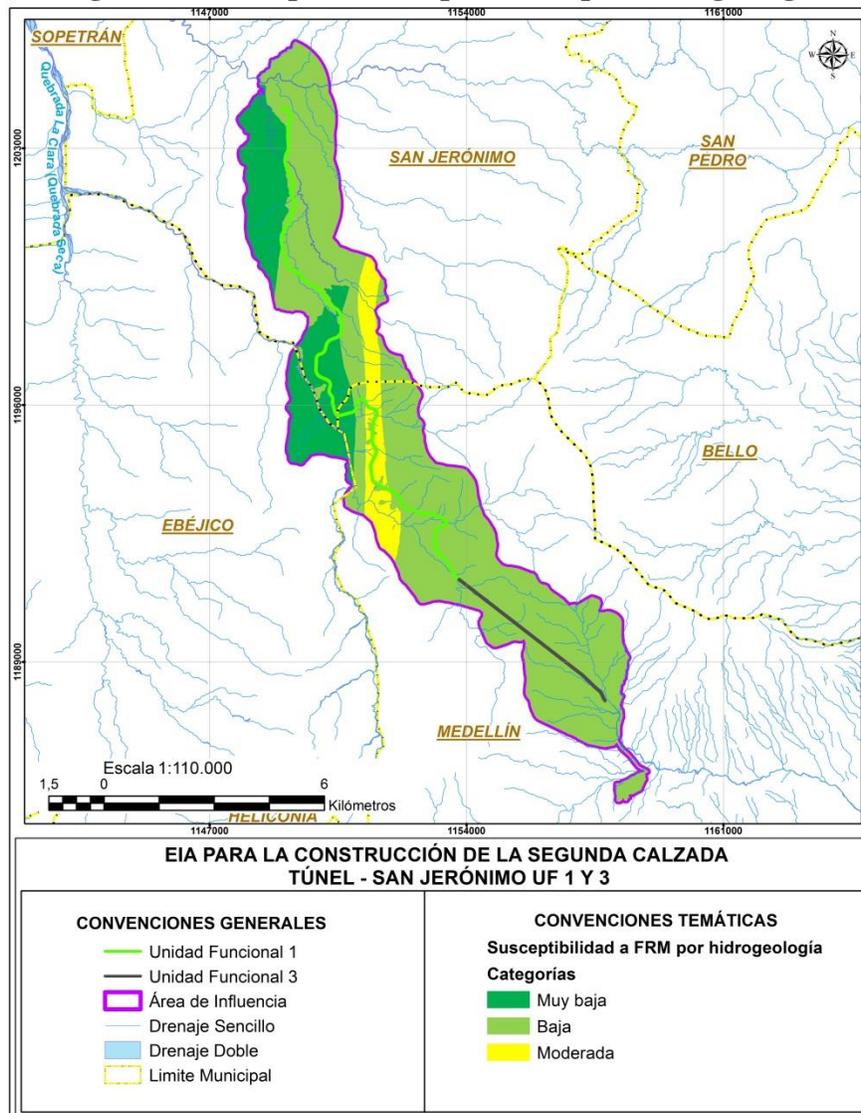
Figura 5-211 Susceptibilidad por hidrogeología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-212 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de influencia de acuerdo con la variable hidrogeología.

Figura 5-212 Mapa de susceptibilidad por hidrogeología



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.2.5 Cobertura de la tierra (SC)

Las coberturas vegetales son elementos naturales de protección del suelo contra la erosión; según Roldan (2.005; citado por Lianes, 2.008), la vegetación juega un papel muy importante en el proceso de erosión hídrica, pues controla la energía de las gotas de lluvia, mejora la capacidad de infiltración del suelo y disminuye la escorrentía. Los componentes aéreos como hojas y tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de esta manera, su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

De igual forma, los componentes subterráneos, como los sistemas radiculares, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan, 1.997; citado por Lianes, 2.008); de este modo, la cantidad y calidad de la cobertura vegetal (protección vertical) disminuye notablemente los procesos erosivos (Marchamalo, 2.004; citado por Lianes, 2.008).

Por lo anterior, zonas que presentan coberturas de bosque, vegetación secundaria alta y baja, arbustal denso, y plantación forestal muestran más estabilidad del relieve y menor susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa, que otras coberturas como pastos, cultivos o mosaicos de cultivos, que dadas las inadecuadas prácticas agropecuarias, dadas por remoción y labranza continua del suelo no cuentan con una vegetación o es muy débil que sirva de capa protectora o amortiguadora entre la atmosfera y el suelo.

Tabla 5-125 Valores de susceptibilidad por cobertura de la tierra

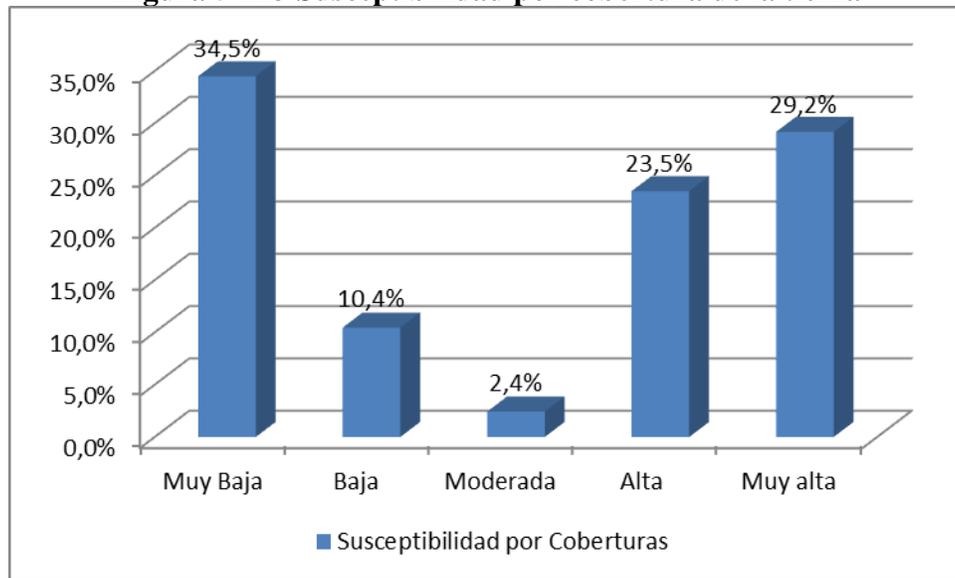
Código	Símbolo	Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso
3132	Bf	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1
314	Bgra	Bosque de galería	1
3231	Vsa	Vegetación secundaria alta	1
3232	Vsb	Vegetación secundaria baja	1
511	Ríos	Ríos	1
514	Caa	Cuerpos de agua artificiales	1
111	Tuc	Tejido urbano continuo	2
112	Tud	Tejido urbano discontinuo	2
1131	Vrd	Vivienda rural dispersa	2
1132	Vrn	Vivienda rural nucleada	2
315	Pf	Plantación forestal	2
32211	Ada	Arbustal denso alto	2
122111	Vía	Vía pavimentada	3
1311	Oem	Otras explotaciones mineras	3
2441	Mpea	Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos	3
2451	Mcea	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos	3
2452	Mcear	Mosaico de cultivos con espacios naturales arbustivos	3
321113	Hd	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	3
232	Pa	Pastos arbolados	4
233	Pe	Pastos enmalezados	4
243	Mcpe	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	4
2442	Mpear	Mosaico de pastos con espacios naturales arbustivos	4
3332	Rm	Remoción en masa	5

Código	Símbolo	Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso
231	Pl	Pastos limpios	5
241	Mc	Mosaico de cultivos	5
242	Mpc	Mosaico de pastos y cultivos	5
214		Hortalizas	4

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

La Figura 5-213 muestra que el 34,5% es de susceptibilidad muy baja y el 10,4% de baja susceptibilidad. El 29,2% y 23,5% son de muy alta y alta susceptibilidad, respectivamente.

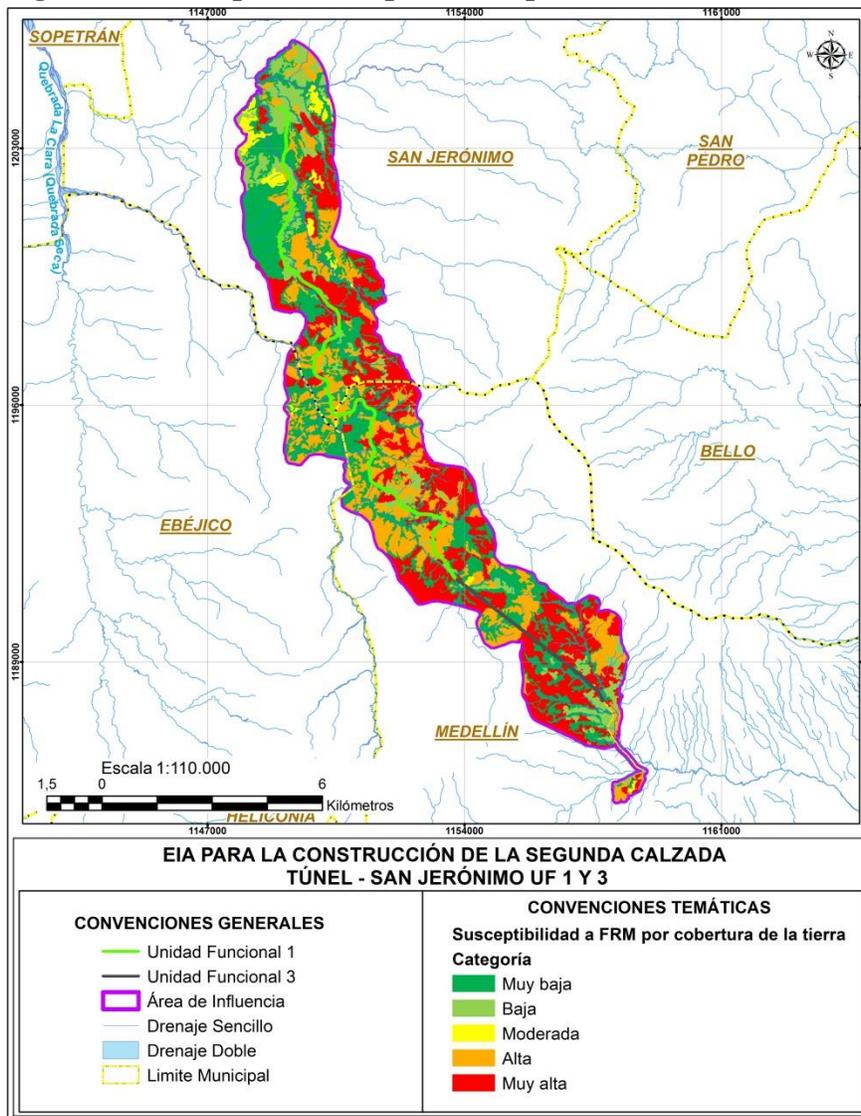
Figura 5-213 Susceptibilidad por cobertura de la tierra



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-214 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y procesos de remoción en masa para el área de influencia de acuerdo a la sectorización por cobertura de la tierra.

Figura 5-214 Mapa de susceptibilidad por cobertura de la tierra



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.2.6 Densidad de drenajes (SD)

El cálculo de densidad de drenaje se realizó mediante el procesamiento de la red de drenaje en SIG; se hizo el cálculo de la densidad de drenajes por unidad de área (m/m²), estableciendo un radio de influencia de 1000m. El resultado de esta operación permitió clasificar cada punto del mapa dentro de cinco categorías de la siguiente manera (ver Tabla 5-126).

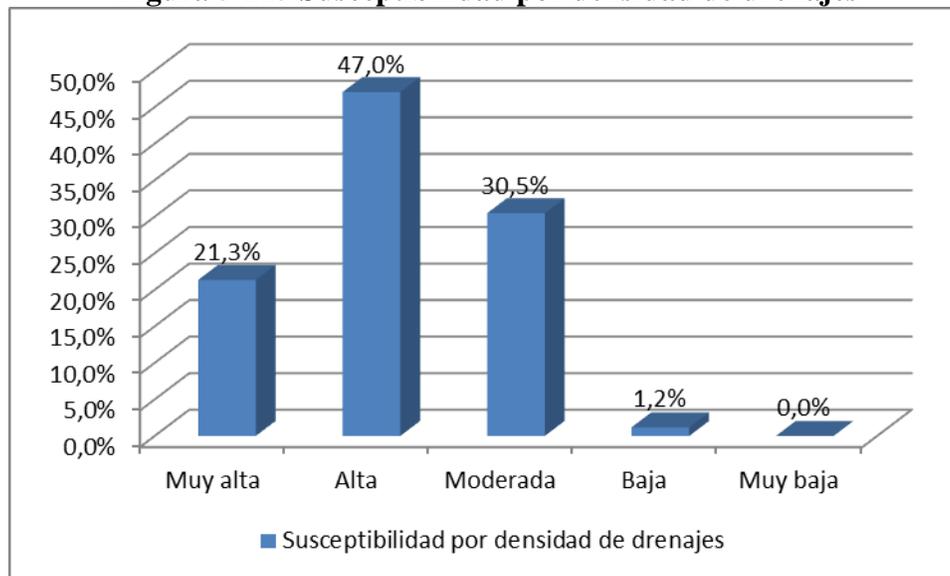
Tabla 5-126 Valores de susceptibilidad por densidad de drenajes

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP) (m/m ²)	Peso
0 – 0,002	1
0,002 – 0,003	2
0,003 – 0,005	3
0,005 – 0,007	4
0,007 – 0,008236	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-215 se muestra que el 31,3% es de muy alta susceptibilidad, 47,0% del área de influencia presenta susceptibilidad alta y el 30,5% es de susceptibilidad moderada.

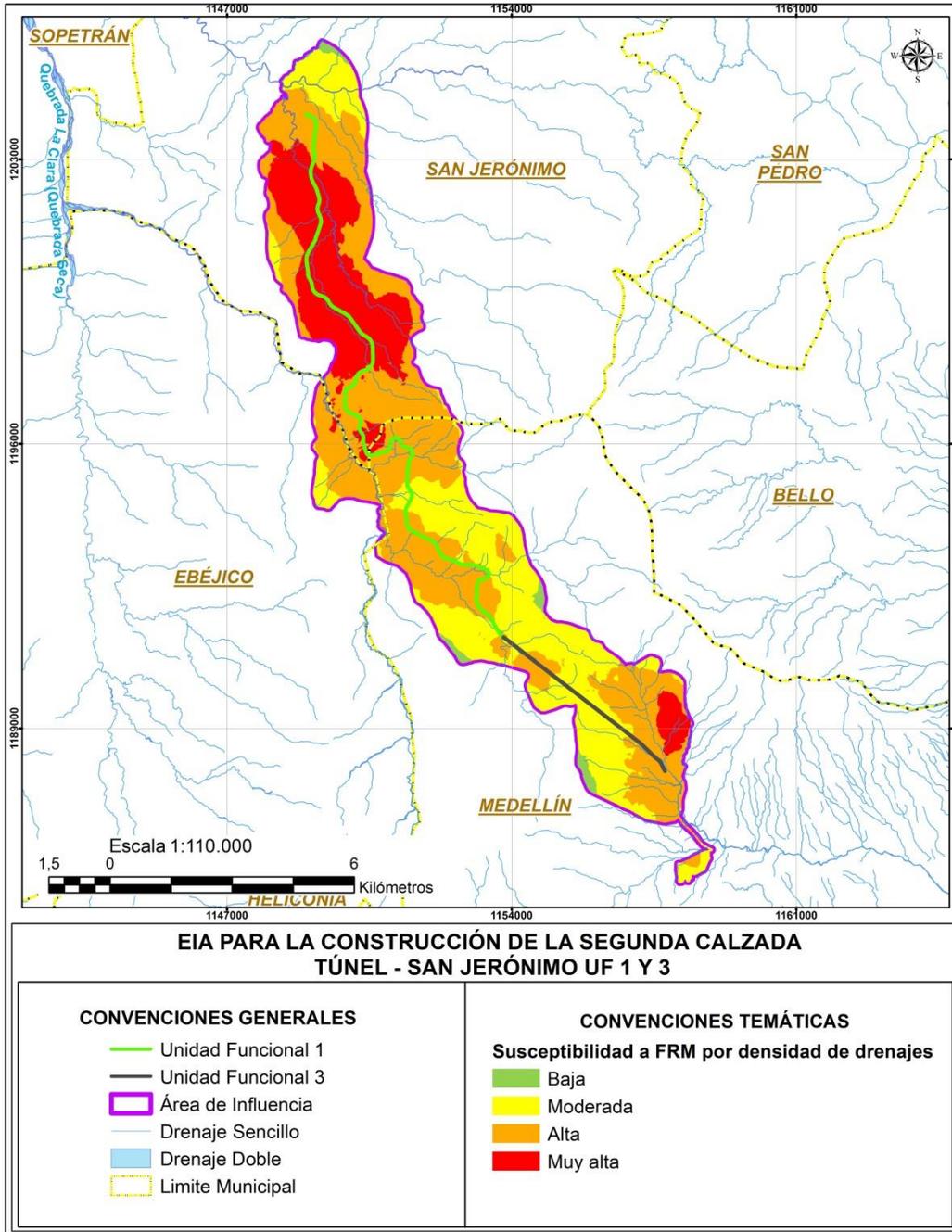
Figura 5-215 Susceptibilidad por densidad de drenajes



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-216 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masas para el área de influencia de acuerdo a la sectorización por densidad de drenajes.

Figura 5-216 Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.2.7 Densidad de Fallas (SF)

El estado de fracturación de las rocas depende de la presencia y magnitud de las fallas geológicas, fracturas y sistemas de diaclasamiento, las cuales permiten en los macizos

rocosos el desarrollo de procesos de meteorización de las rocas, y desarrollo de zonas de debilidad de las mismas, que las hacen más susceptibles a fallamiento e inestabilización del terreno. Para la calificación en el análisis de susceptibilidad se consideraron los rasgos estructurales que afectan la zona de estudio reportados en la cartografía de INGEOMINAS y en la cartografía de U.S. Geological Survey (USGS).

La calificación se estableció dando el valor de baja susceptibilidad a rasgos estructurales identificados como inciertos o cubiertos, susceptibilidad moderada para estructuras inferidas y susceptibilidad alta para las estructuras identificadas como definidas. En la Tabla 5-127 Ponderación de fallas según su tipo se muestra las calificaciones dadas a las respectivas tipos de fallas.

Tabla 5-127 Ponderación de fallas según su tipo

Tipo de fallas	Ponderación
Falla cubierta	2
Falla definida	4
Falla inferida	3
Falla inversa o de cabalgamiento definida	4
Falla inversa o de cabalgamiento inferida	3
Lineamiento fotogeológico	2

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Posteriormente, mediante el procesamiento de la información en SIG se hizo el cálculo de la densidad de fallas por unidad de área (m/m^2), estableciendo un radio de influencia de 1 km. El resultado de esta operación permitió clasificar cada punto del mapa dentro de cinco categorías de la siguiente manera.

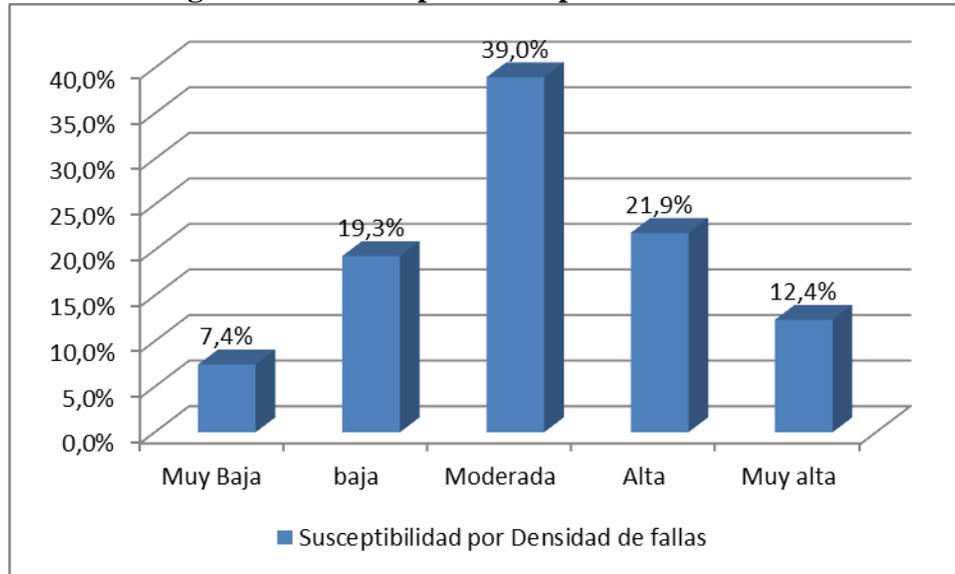
Tabla 5-128 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP) (m/m^2)	Peso
0 - 0,000699	1
0,000699 - 0,002423	2
0,002423 - 0,004799	3
0,004799 - 0,008015	4
0,008015 - 0,011836	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-217 se muestra que el 39,0% del área de influencia se encuentra en áreas de susceptibilidad moderada a fenómenos de remoción en masa por esta variable, 21,9% se ubica en áreas de alta susceptibilidad, el 12,4% es de muy alta susceptibilidad y el 7,4% en áreas de muy baja susceptibilidad.

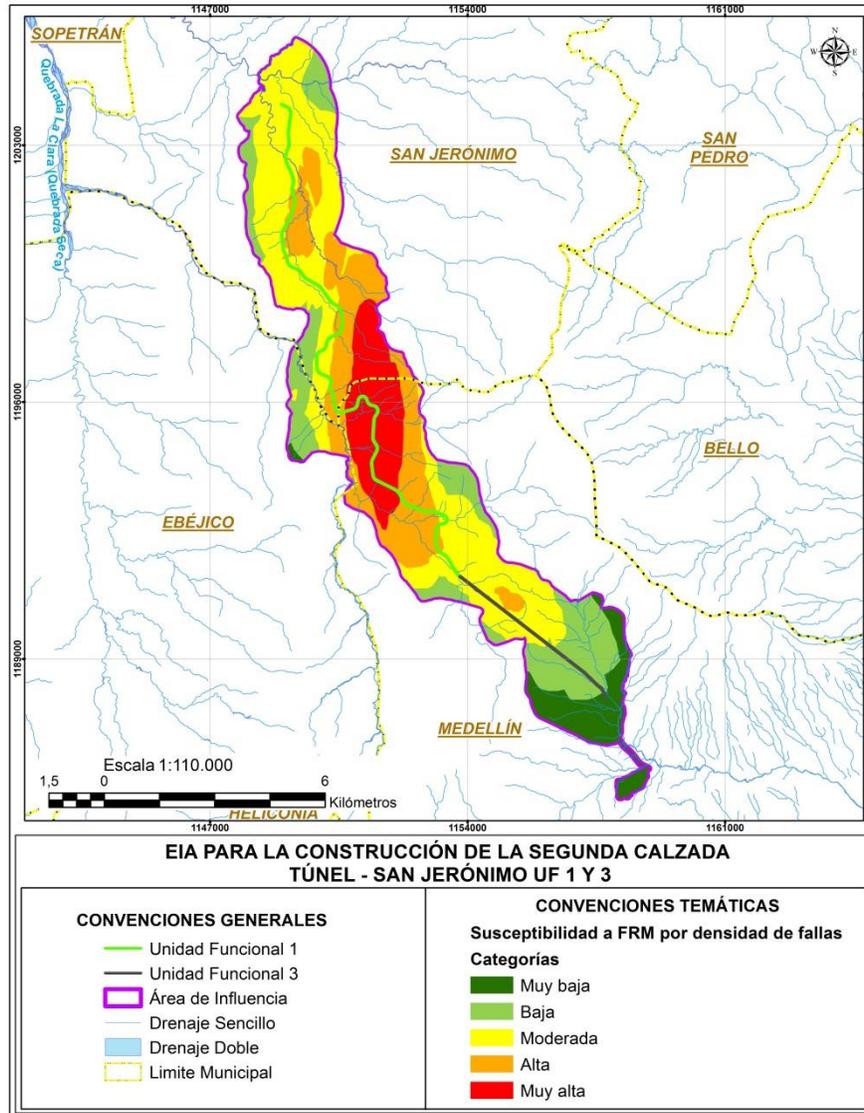
Figura 5-217 Susceptibilidad por densidad fallas



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-218 se presenta el mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa por la variable densidad de fallas; el área de mayor susceptibilidad de esta variable, se concentra en la zona de fallas San Jerónimo – La Sucia.

Figura 5-218 Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016.

5.1.9.2.8 Pendientes (SP)

El grado de inclinación de las laderas naturales, favorece o disminuye la resistencia al corte de los diferentes materiales que conforman los taludes sobre el área de influencia. Se establecieron cinco categorías, donde a las pendientes escarpadas y muy escarpadas se les asignó el peso más alto, mientras que a los terrenos ligeramente planos y planos se les asignó el peso más bajo.

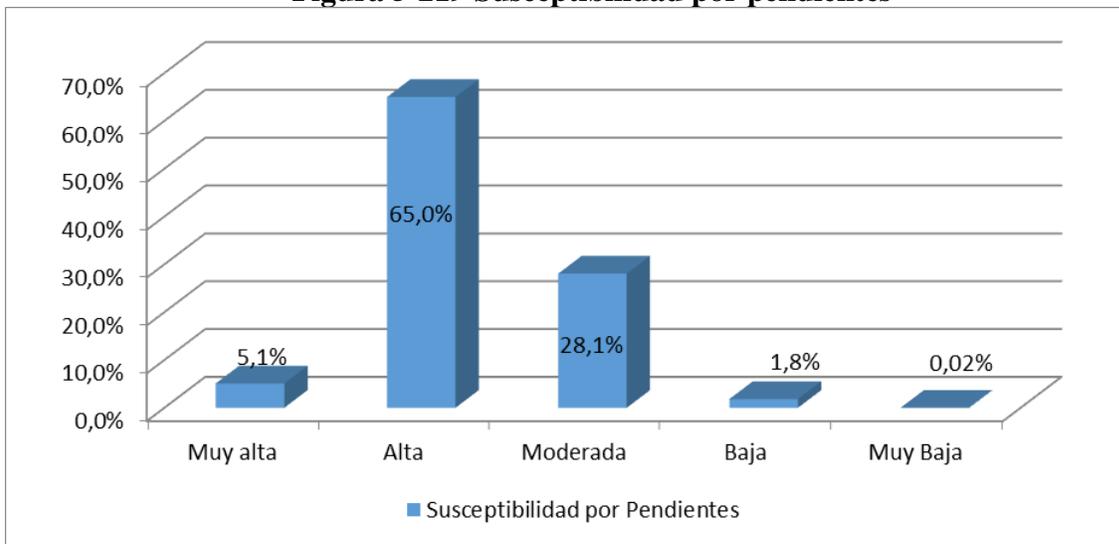
Tabla 5-129 Valores de susceptibilidad por pendientes

Unidad Cartográfica de Parámetro		Peso
0-1%	Plano	1
1-3%	Plano a Ligeramente Plano	1
3-7%	Ligeramente Inclinado	2
7 -12%	Moderadamente Inclinado	3
12 - 25%	Fuertemente Inclinado	3
25 -50%	Ligeramente Escarpado o Ligeramente Empinado	4
50-75%	Moderadamente Escarpado o Moderadamente Empinado	4
75-100%	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2015

En la Figura 5-219 muestra que el 65,0% del AII es de alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa (pendientes entre 25-75%), el 28,1% es de susceptibilidad moderada (pendientes entre 7-25%), el 5,1% es de muy alta susceptibilidad (pendientes >75%) y el 1,82% de baja y muy baja susceptibilidad ((pendientes <7%).

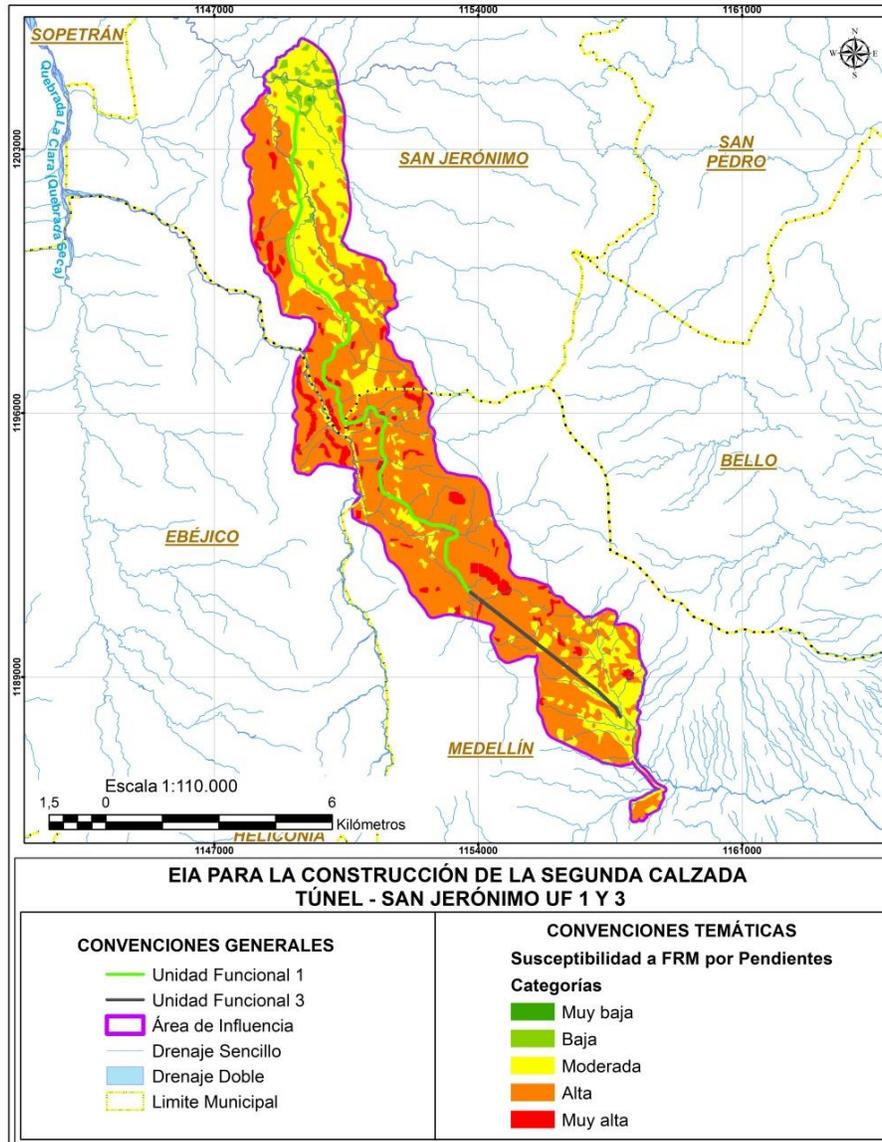
Figura 5-219 Susceptibilidad por pendientes



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-220 se presenta el mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de acuerdo con la sectorización por pendientes.

Figura 5-220 Mapa de susceptibilidad por pendientes



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.2.9 Morfodinámica (SE)

Mediante la interpretación de ortofotomapa (2015) y trabajo de campo, se realizó la cartografía de procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa; esto permitió establecer áreas y tipos de procesos erosivos que caracterizan el área de influencia; la Unidad Funcional 3 se trabajó con imágenes Google earth (2012-2015). Para la evaluación de morfodinámica se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

- Interpretación de ortofotomapa (2015)
- Trabajo de campo. Se hicieron recorridos de campo en el área de influencia y se obtuvo un inventario de procesos morfodinámicos, debidamente georreferenciados.
- Para la cartografía de los procesos erosivos asociados a sobrepastoreo (pisadas de ganado), suelos desnudos, deslizamientos activos y cicatrices de deslizamientos, se obtuvieron unidades de área. A los procesos erosivos cartografiados como surcos y cárcavas, se les aplicó un buffer de 20m, que corresponde a la estimación de áreas potencialmente afectadas por estos procesos morfodinámicos.

Los procesos erosivos de mayor afectación son deslizamientos activos y cicatrices de deslizamientos, en paisajes de montaña y en el piedemonte disminuyen estos fenómenos de remoción en masa y se presentan en mayor proporción la erosión en patas de vaca. Los procesos morfodinámicos cartografiados se evaluaron como se observa en la Tabla 5-130.

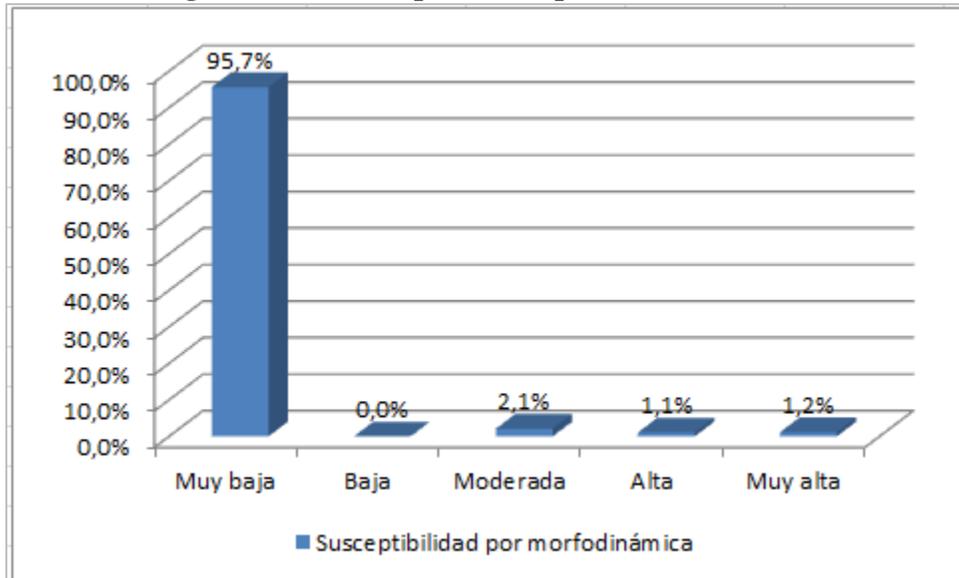
Tabla 5-130 Susceptibilidad de procesos morfodinámicos

Procesos erosivos y/o fenómenos de remoción en masa	Peso
Deslizamiento activo	5
Cicatriz de deslizamiento	4
Erosión en surcos grado moderado	4
Erosión en surcos grado severo	5
Erosión en cárcavas grado moderado	4
Erosión en cárcavas grado severo	5
Sobrepastoreo (patas de vaca) grado moderado	3
Sobrepastoreo (patas de vaca) grado severo	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-221 se muestra que el 95,7% del área de estudio es de muy baja susceptibilidad por influencia de procesos morfodinámicos; el 1,2% es muy alta, el 1,1% alta y el 2,1% moderada.

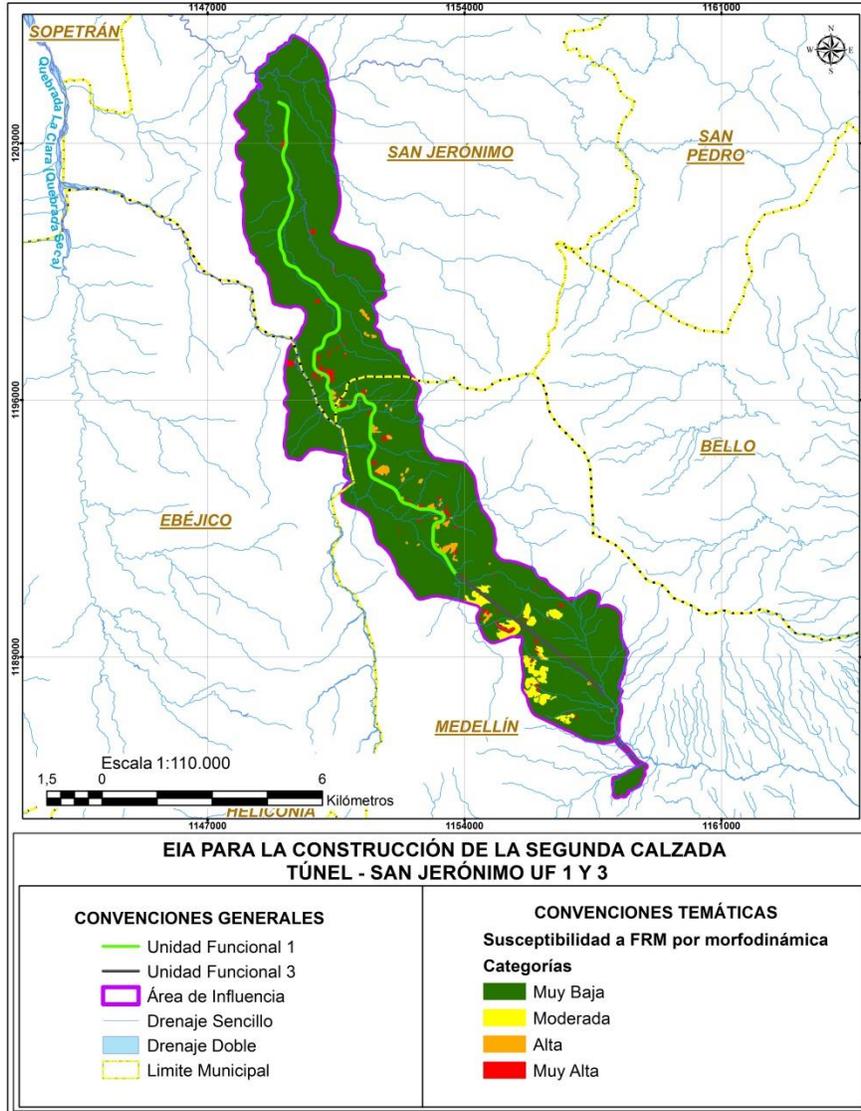
Figura 5-221 Susceptibilidad por Morfodinámica



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-222 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y los procesos de remoción en masa para el área de influencia de acuerdo a la sectorización por morfodinámica.

Figura 5-222 Mapa de susceptibilidad por Morfodinámica



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.2.9.1 Susceptibilidad General del Terreno (ST)

Durante el proceso de evaluación de la amenaza por procesos erosivos y de remoción en masa, se elaboró un mapa de susceptibilidad general del terreno mediante un análisis estadístico multivariado (Sistema de Evaluación Numérica), en el cual son sumados digitalmente los ocho mapas de susceptibilidad (Superposición de Mapas e Integración Espacial de Información), que representan los factores intrínsecos que condicionan la generación y reactivación de estos procesos. Este procedimiento se realizó utilizando el SIG ArcGis10, así:

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

$$ST = SL + SG + SH + SC + SD + SF + SP + SE$$

Dónde:

ST = Susceptibilidad del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa.

SL = Susceptibilidad del parámetro litología.

SG = Susceptibilidad del parámetro geomorfología.

SH = Susceptibilidad del parámetro hidrogeología.

SC = Susceptibilidad del parámetro cobertura de la tierra.

SD = Susceptibilidad del parámetro densidad de drenajes.

SF = Susceptibilidad del parámetro densidad de fallas.

SP = Susceptibilidad del parámetro pendiente.

SE = Susceptibilidad del parámetro morfodinámica.

Teniendo en cuenta que existen ocho variables de análisis, los valores sumatorios varían entre 12 y 28, por lo cual se establecen los siguientes intervalos para la categorización del mapa de susceptibilidad general del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa, como se muestra a continuación en la Tabla 5-131.

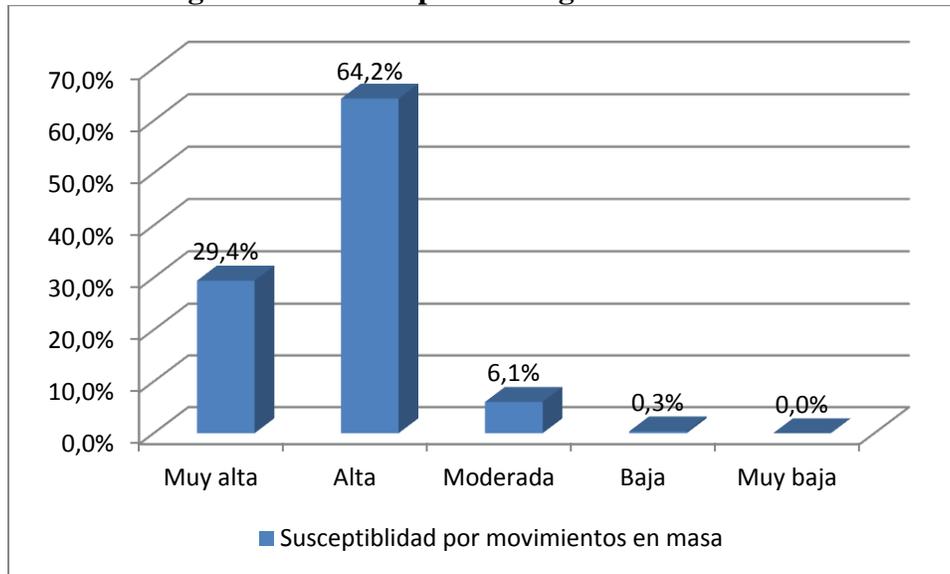
Tabla 5-131 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno

Intervalos	Peso	Categorías de susceptibilidad
11 – 13	1	Muy Baja
14 – 17	2	Baja
18 – 19	3	Moderada
20 – 25	4	Alta
> 25	5	Muy Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-223 se observa la distribución de las categorías de susceptibilidad general del terreno dentro del área de influencia. El 29,4% del área de influencia es de muy alta susceptibilidad a movimientos en masa y corresponde principalmente a las áreas de alta influencia estructural por efecto del paso de la Falla San Jerónimo y Falla Sucia. El 64,2% es de alta susceptibilidad.

Figura 5-223 Susceptibilidad general del terreno

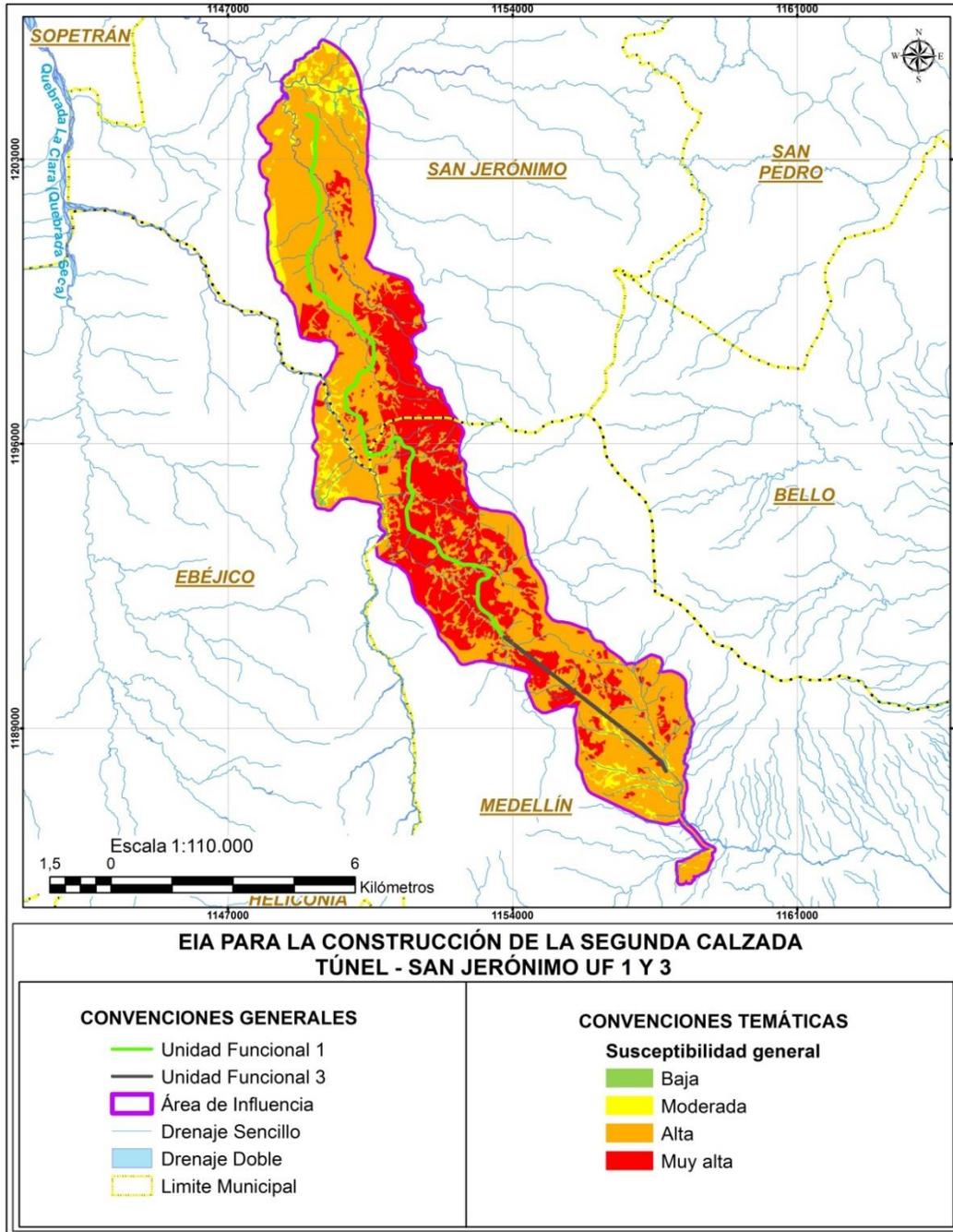


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-224 se presenta el mapa de susceptibilidad general del terreno a procesos erosivos y de remoción en masa. Las áreas de muy alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa se concentran entre las abscisas K02+696 – K07+277 que comprende áreas de alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa por las variables litología, geomorfología, pendientes y alta a muy alta por la variable densidad de fallas.

De otra parte, dentro de categoría de alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, se encuentra el sector de El Galpón (sector en movimiento activo del terreno), en la margen derecha de la quebrada La Negra, entre las abscisas K00+200 – K00+470 en el costado derecho de la vía existente.

Figura 5-224 Mapa de Susceptibilidad General del Terreno



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.2.9.2 Factores detonantes

Los factores desencadenantes o detonantes que se contemplaron en la ejecución del modelo son precipitación y sismicidad.

5.1.9.2.9.3 Precipitación (FP)

La precipitación, principalmente en periodos invernales, se define por su intensidad, duración y distribución espacial. La relación lluvia-deslizamiento varía de un sitio a otro dependiendo de las condiciones locales de la zona, como la humedad, el tipo y uso del suelo, y topografía, entre otros.

El componente de escorrentía de la precipitación, usualmente es considerado un agente de erosión superficial o de erosión lineal con formación de surcos y cárcavas. La escorrentía tiene un efecto importante en la movilización de los materiales arrancados por los deslizamientos someros y profundos y en la generación de deslizamientos en las márgenes de las corrientes, por erosión lateral y socavación de orillas, que aumenta el valor de sus pendientes hasta hacerlas inestables.

Teniendo en cuenta que para la zona de influencia del proyecto no existen datos de deslizamientos naturales relacionados con lluvias, el factor de precipitación se asignó de acuerdo con los valores del mapa de distribución de la precipitación, ver Tabla 5-132.

Tabla 5-132 Intervalos de categoría de precipitación

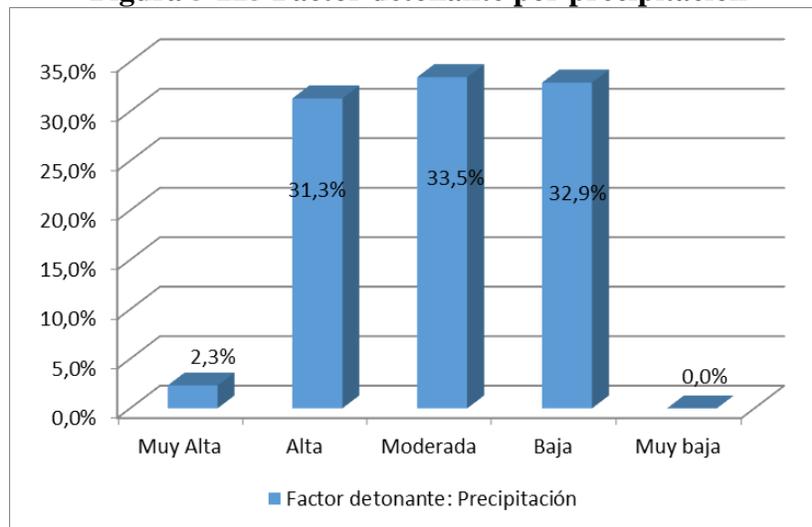
Rango de Precipitación(mm)	Categoría	Calificación
<1600	Muy Baja	1
1600 – 2000	Baja	2
2000 – 2200	Moderada	3
2200 – 2400	Alta	4
> 2400	Muy Alta	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

La Figura 5-225 y Figura 5-226 muestran la influencia de la precipitación con el 33,5% de susceptibilidad moderada, el 32,9% de susceptibilidad baja y el 31,3% de alta susceptibilidad a movimientos en masa.

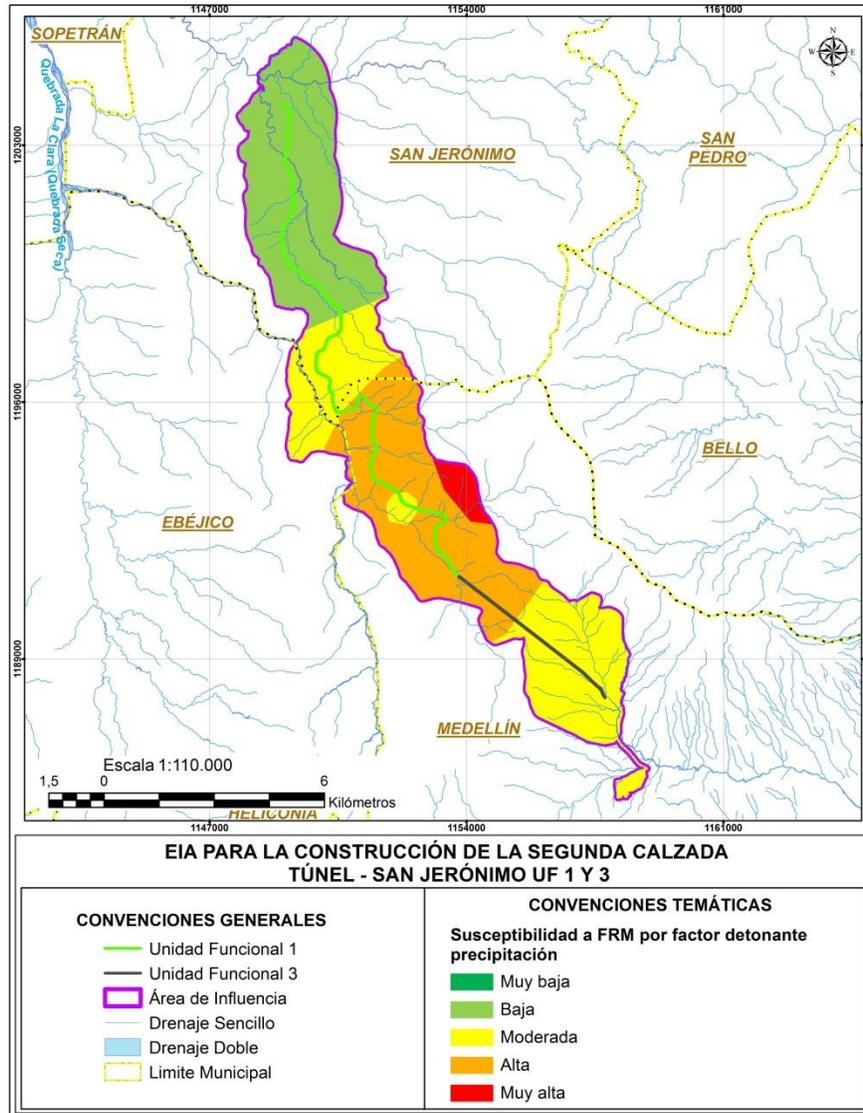
Dentro de categoría de alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa por precipitación, se encuentra el sector de El Galpón (sector en movimiento activo del terreno), en la margen derecha de la quebrada La Negra, entre las abscisas K00+200 – K00+470, en el costado derecho de la vía actual.

Figura 5-225 Factor detonante por precipitación



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Figura 5-226 Factor detonante por precipitación



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.2.9.4 Sismicidad (FS)

El factor detonante por sismicidad se determinó con base en los resultados del Mapa de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & UNAL, 2010), el cual presenta una zonificación de la amenaza sísmica en términos de aceleración horizontal máxima en roca (PGA por sus siglas en ingles), que representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia. El Mapa de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & UNAL, 2010), considera valores de PGA (cm/s²) en un rango desde 50 – 250 PGA.

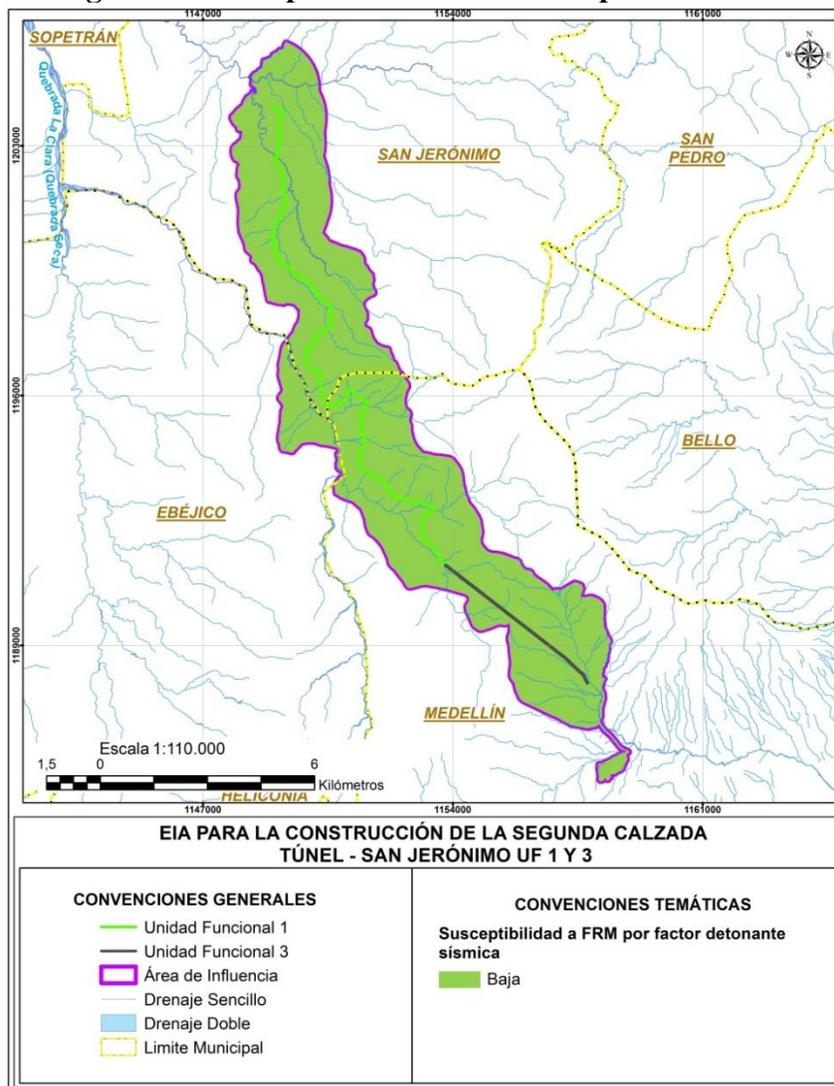
Tabla 5-133 Intervalos de categorías de sismicidad

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso	Susceptibilidad
0 – 50 PGA (cm/s ²)	1	Muy baja
50 – 100 PGA (cm/s ²)	2	Baja
100 – 250 PGA (cm/s ²)	3	Moderada
250 – 350 PGA (cm/s ²)	4	Alta
>350 PGA (cm/s ²)	5	Muy alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2015

En la Figura 5-227 se muestra que la totalidad del área se ubica en el rango de 50-100 PGA, que corresponde a amenaza sísmica debajo grado.

Figura 5-227 Mapa de factor detonante por sismicidad



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.9.2.10 Amenaza geotécnica del terreno (ZG)

Con base en la interacción de los factores intrínsecos y los factores desencadenantes o detonantes que intervienen en la generación de los procesos de remoción en masa y procesos erosivos, se establece la amenaza relativa del terreno. Para la elaboración del mapa de amenaza relativa se emplearon como factores detonantes la precipitación y la amenaza sísmica, empleando el siguiente algoritmo:

$$ZG=ST * (FP + FS)$$

Donde:

ZG = Zonificación Geotécnica (Amenaza relativa del terreno por procesos erosivos y de remoción en masa).

ST = Susceptibilidad total del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa.

FP = Factor detonante por precipitación.

FS = Factor detonante por sismicidad.

La zonificación geotécnica del área de estudio se dividió en cinco categorías de amenaza (Tabla 5-134), que van desde muy alta a muy baja (IA, IB, II, IIIA y IIIB) y corresponden a la agrupación metodológica de zonas homogéneas de los factores de ponderación evaluados.

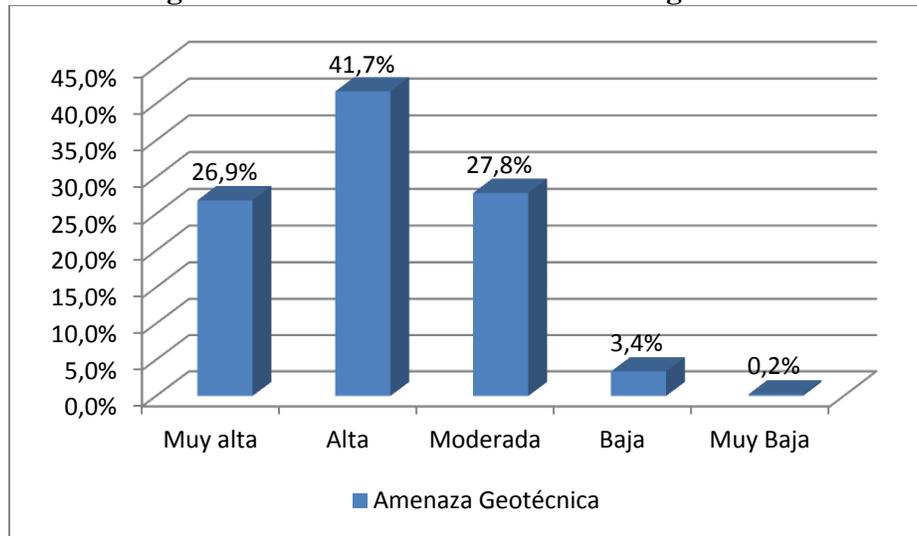
Tabla 5-134 Categorías para la zonificación geotécnica

Rangos de valores	Símbolo	Amenaza Relativa	Estabilidad Geotécnica	Peso
6 – 9	IIIB	Muy Baja	Muy Alta	1
10 – 12	IIIA	Baja	Alta	2
13 – 18	II	Moderada	Moderada	3
19 – 24	IB	Alta	Baja	4
>25	IA	Muy Alta	Muy Baja	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2015

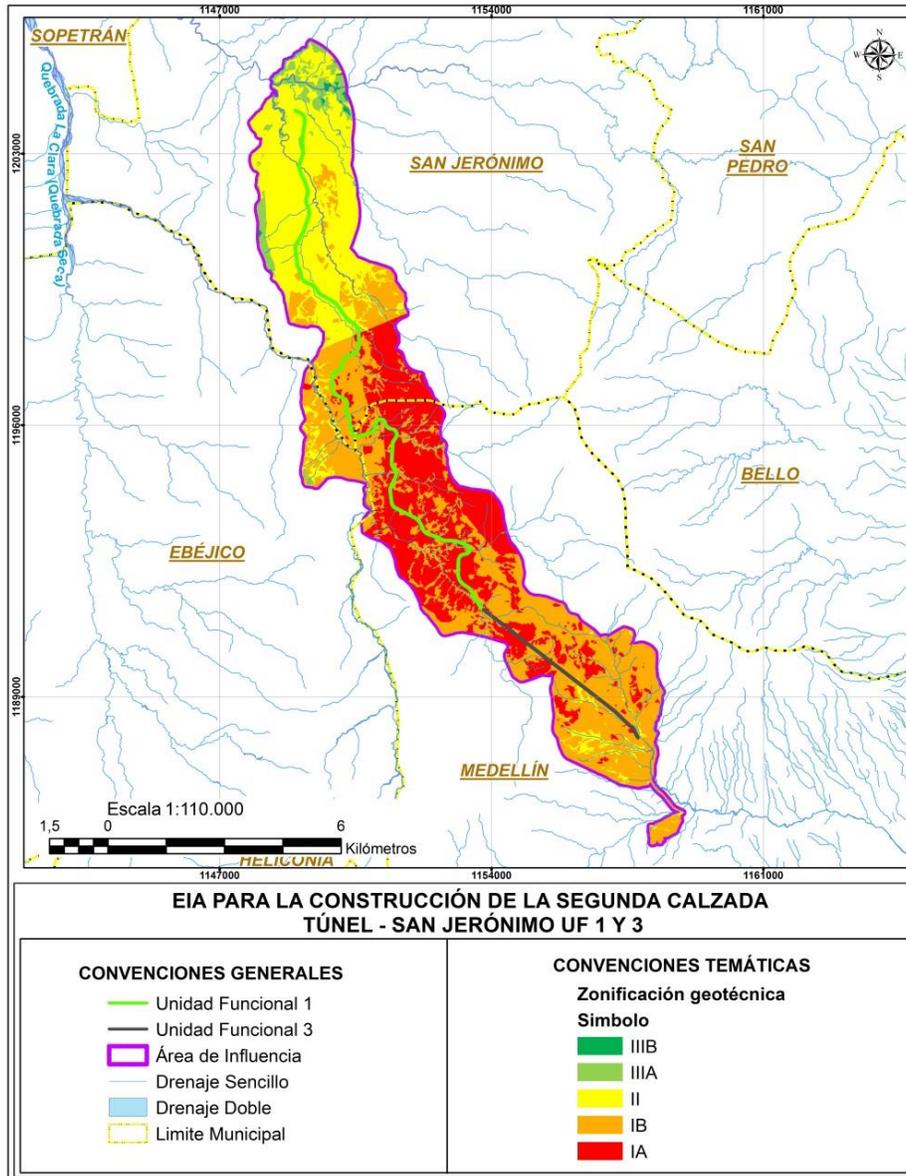
En Figura 5-228 y Figura 5-229 se observa la distribución de las categorías de amenaza geotécnica dentro del área de influencia, donde el 41,7% es de alta susceptibilidad, el 26,9% de muy alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, el 27,8% es moderada y el 3,4% baja susceptibilidad.

Figura 5-228 Distribución de amenaza geotécnica



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Figura 5-229 Mapa amenaza geotecnica



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Tabla 5-135 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los resultados de las características de las áreas resultantes en la clasificación de zonificación geotécnica por procesos erosivos y de remoción en masa.

Tabla 5-135 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica

Símbolo	Amenaza Relativa	Estabilidad geotécnica	Descripción	Área (ha)
III B	Muy Baja	Muy Alta	Se caracteriza por predominio de depósitos coluvio	13,15

Símbolo	Amenaza Relativa	Estabilidad geotécnica	Descripción	Área (ha)
			aluviales, pendientes ligeramente planas a ligeramente inclinadas.	
III A	Baja	Alta	<p>En esta categoría predominan rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande (KvQG), en menor proporción depósitos coluvio aluviales (Qcal) y Diorita de Altavista (Kida). Las unidades geomorfológicas que predominan son laderas estructurales en montañas estructurales denudativas, y en menor proporción lomas y colinas en piedemonte, laderas en montañas denudativas y abanicos aluviales.</p> <p>La cobertura dominante es de Bosque de galería con predominio de árboles y en menor proporción Vegetación secundaria alta.</p> <p>Predomina alta susceptibilidad por densidad de drenaje; los rangos de pendientes que predominan son fuertemente inclinada (12-25%), ligeramente escarpadas o ligeramente empinadas, 25-50%, le sigue Moderadamente escarpada o moderadamente empinada (50-75%).</p>	181,55
II	Moderada	Moderada	<p>En esta categoría predominan rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande, en menor proporción depósitos coluvio aluviales y Diorita de Altavista. Las unidades geomorfológicas que predominan son laderas estructurales en montañas estructurales denudativas y en menor proporción laderas en Montañas denudativas, laderas en Montañas denudativas estructurales, abanicos aluviales y lomas y colinas en piedemonte..</p> <p>En cuanto a las coberturas dominantes son Bosque de galería con predominio de árboles y en menor proporción Vegetación secundaria alta.</p> <p>Predomina alta susceptibilidad a FRM por densidad de drenaje; los rangos de pendientes que predominan son Ligeramente escarpada o ligeramente empinada (25-50%), fuertemente inclinada (12-25%) Moderadamente escarpada o moderadamente empinada (50-75%).</p>	1.491,39
IB	Alta	Baja	<p>En esta categoría predominan Esquistos cuarzo sericíticos, rocas volcánicas del Complejo Quebradagrande, Diorita de Altavista y Granito néisico de Palmitas. Las unidades geomorfológicas que predominan son laderas en montañas denudativas estructurales y laderas estructurales en montañas estructurales denudativas.</p> <p>En cuanto a las coberturas dominantes son pastos limpios y Bosque de galería con predominio de árboles.</p>	2.231,53

Símbolo	Amenaza Relativa	Estabilidad geotécnica	Descripción	Área (ha)
			<p>Los rangos de pendientes que predominan son ligeramente escarpadas o ligeramente empinadas (25-50%), fuertemente inclinada (12-25%) y Moderadamente escarpada o moderadamente empinada (50-75%).</p> <p>En esta categoría, se ubica una zona actualmente inestable en el sector El Galpón, que corresponde a un lleno antrópico ubicado en el costado NE del K00+200 al K00+470 de la vía actual, en la ladera coluvio aluvial de la Quebrada La Negra, que actualmente, genera problemas de inestabilidad a la calzada existente, con acuíferos de mediana productividad, de susceptibilidad muy alta por cobertura de la tierra en pastos limpios, moderada por densidad de drenajes, baja por presencia de fallas, alta por pendientes, alta por morfodinámica (deslizamiento activo).</p>	
IA	Muy Alta	Muy Baja	<p>Las áreas de muy alta amenaza geotécnica se concentran en alrededores del tramo de vía K02+691 – K07+277.</p> <p>En esta categoría predomina rocas de Gabros de Romeral, Granito néisico de Palmitas, Esquistos Cuarzo sericíticos. Las unidades geomorfológicas que predominan son laderas en Montañas denudativas estructurales, laderas en Montañas denudativas y laderas estructurales.</p> <p>En cuanto a las coberturas dominantes son Pastos limpios, le siguen Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales y Mosaico de pastos y cultivos.</p> <p>Predomina alta susceptibilidad a FRM por densidad de drenaje; los rangos de pendientes que predominan son Ligeramente escarpada o ligeramente empinada (25-50%), le sigue Moderadamente escarpada o moderadamente empinada (50-75%) y Fuertemente inclinada (12-25%).</p>	1.438,57

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.10 Atmósfera

La atmósfera se compone de dos grupos de gases: constantes y variables. Los gases constantes se mantienen en una proporción casi permanente. Los más abundantes con su respectiva participación porcentual en la masa total atmosférica son: nitrógeno (78%), oxígeno (20.9%) y argón (0.9%). Los gases variables son los que cambian en mayor proporción y los más importantes son el vapor de agua y el dióxido de carbono; ambos presentan grandes variaciones estacionales y de largo plazo.⁷²

5.1.10.1 Meteorología

Para el análisis climático de la zona de influencia del proyecto, se recopiló la información disponible en las estaciones operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM. En la Tabla 5-136 Estaciones climatológicas seleccionadas en la zona de estudio se presenta el nombre, tipo, código de las estaciones estudiadas y sus características de localización y elevación.

Además de la información meteorológica existente en IDEAM, se tuvo en cuenta la información disponible en los POTs y EOTs de los municipios del área de influencia del proyecto y los POMCAs de las cuencas interceptadas por el proyecto, entre ellas se incluyen el del río Aurrá, quebrada Seca o Clara.

Las estaciones a tener en cuenta en la zona en análisis se definieron de acuerdo al periodo de registro, la continuidad y la localización geográfica, de tal forma que permitieran conocer el comportamiento de las variables climatológicas en la zona. Los datos completos con respecto a todas las estaciones meteorológicas utilizadas se encuentran en el Anexo E1.

Tabla 5-136 Estaciones climatológicas seleccionadas en la zona de estudio

Código	Nombre	Corriente	Municipio	Cat.	Est.	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Este	Norte
26210090	Anza	Cauca	Anza	PM	A	710	1134811,46	1188918,09
27015070	Apto Olaya Herrera	Medellín	Medellín	SP	A	1490	1164752,08	1179866,11
27011110	Astilleros	Quebrada Doña María	Medellín	PM	A	2450	1155122,42	1183898,96
26200130	Bolombolo	Cauca	Venecia	PM	A	604	1136781,52	1151827,47
27010780	Boqueron	Medellín	Medellín	PM	S	2510	1154267,90	1194150,60
26215020	Cañafisto	Cauca	Santafé de Antioquia	CO	S	500	1139493,82	1201487,07
11115020	Cañasgordas	Cañasgorda	Cañasgorda	CO	A	1200	1115840,25	1239194,0

⁷² Red Meteorológica. Atlas Climatológico Nacional. Autores.

Código	Nombre	Corriente	Municipio	Cat.	Est.	Altitud (msnm)	Coordenadas	
							Este	Norte
		s	s					0
26215010	Concordia	Quebrada Magallo	Concordia	CO	A	1904	1128182,04	1159766,51
26205020	El Rosario	Quebrada Mina	Venecia	CP	A	1600	1150695,92	1148050,05
26210130	Guasabra	Tonusco	Santa Fe de Antioquia	PM	A	2128	1124073,88	1211037,40
26205080	La Aldea	La Frisola	Medellín	ME	A	1638	1152330,70	1193149,84
26210080	La Herradura	Cauca	Concordia	PM	A	547	1133233,27	1166358,83
27011120	La Iguana	Quebrada La Iguana	Medellín	PG	A	2300	1157134,10	1190427,97
27011270	Laureles-Medellín	Medellín	Medellín	PM	A	1512	1164513,40	1182720,18
26230180	Llanos de San Juan	Quebrada La Muñoz	San Jerónimo	PM	A	1600	1150436,43	1202658,11
26200120	Otramina	Amaga	Titiribi	PM	A	1375	1142030,04	1163472,41
27010810	Santa Helena	Medellín	Medellín	PM	A	2550	1172755,31	1177264,84

Categoría (Cat):

PM= Pluviométrica
 CO= Climatológica Ordinaria
 ME= Meteorológica

PG= Pluviográfica
 SP= Sinóptica Principal
 CP= Climatológica Principal

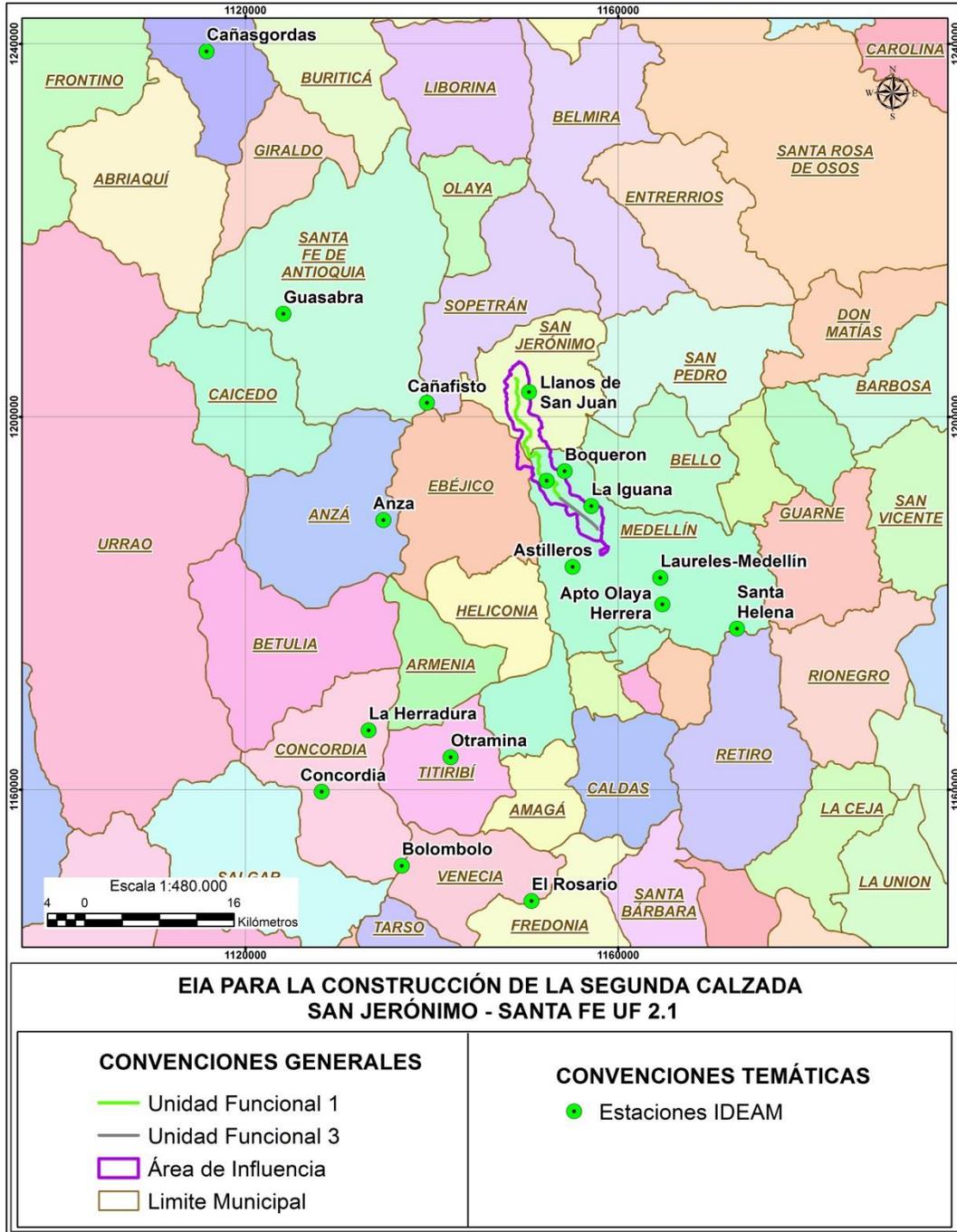
Estado (Est):

A= Activa
 S= Suspendida con registros iguales o superiores a 15 años.

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

En la Figura 5-230 se muestra la representación espacial de las estaciones del IDEAM en relación con el área de influencia del proyecto, se resalta que en la zona de interés se cuenta con registros de precipitación en todas las estaciones listadas, sin embargo, para las demás variables climatológicas solo algunas cuentan con registros históricos, por lo cual, para cada variable que sea analizada se precisará las estaciones tenidas en cuenta y el periodo de información en cada una de ellas.

Figura 5-230. Localización de las estaciones IDEAM con información histórica de variables climatológicas



Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

A continuación se analizan los elementos climáticos básicos, tales como precipitación, temperatura, humedad relativa, vientos, evaporación y brillo solar teniendo en cuenta su temporalidad y magnitud.

5.1.10.1.1 Temperatura

La temperatura es la medida de calentamiento presente en el aire y en la superficie terrestre y sus variaciones se deben a la ganancia o pérdida de la energía radiante, dicha energía se transforma en calor sensible, la cual es medida por medio de termómetros. La importancia del estudio de la temperatura en medio físico, radica en que sus variaciones pueden definir meso a microclimas, además condiciona la distribución de los seres vivos y proporciona características específicas al medio que rodea la fauna y la flora.

La temperatura está determinada por factores como: exposición solar, nubosidad, intensidad y procedencia de los vientos y aspectos locales como relieve, zonas de transición y microclimas.

Para el análisis del comportamiento de esta variable, se tuvo en cuenta la lectura de las estaciones Cañasgordas, Concordia, Aeropuerto Olaya Herrera, El Rosario y Cañafisto las cuales cuentan con los siguientes reportes históricos (Tabla 5-137). Se debe tener presente que como lo dice la resolución 751 de 2015 la información debe ser presentada en máxima diaria registrada y mínima diaria registrada, para este caso en los reportes de las estaciones solicitadas al IDEAM estas no presentaban estos valores, por lo que el análisis se realizó con la media, máxima y mínima mensual multianual.

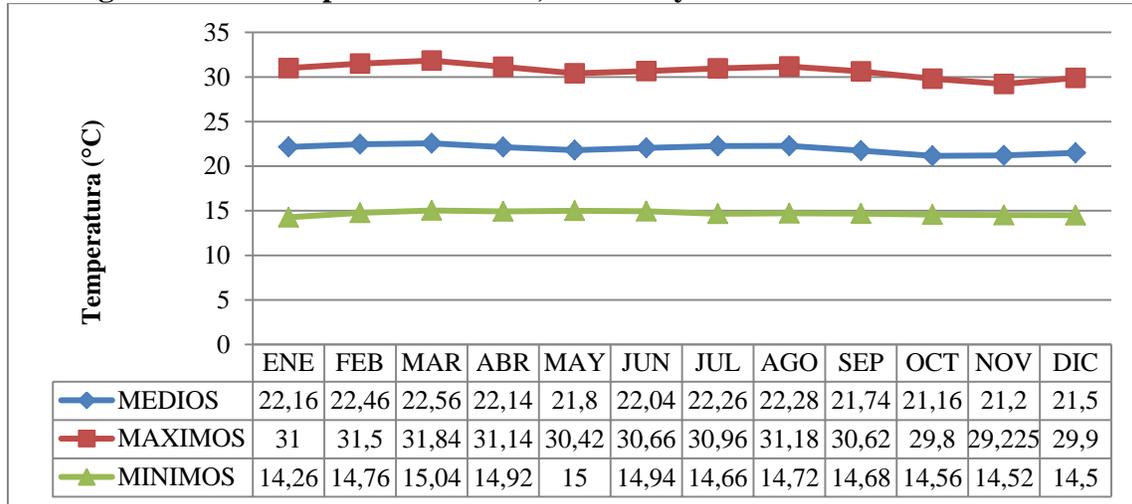
Tabla 5-137. Periodo de reporte de estaciones IDEAM para análisis de temperatura

Código	Nombre	Periodo de reporte
11115020	Cañasgordas	1973-2015
26215010	Concordia	1970-2015
27015070	Apto Olaya Herrera	1941-2015
26205020	El Rosario	1967-1994
26215020	Cañafisto	1987-2002

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Acorde con lo anterior, en la Figura 5-231 se presenta el comportamiento de la temperatura en la zona de interés, con base a los reportes de temperatura media, máxima y mínima mensual multianual.

Figura 5-231. Temperatura Media, Máxima y Mínima mensual multianual



Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

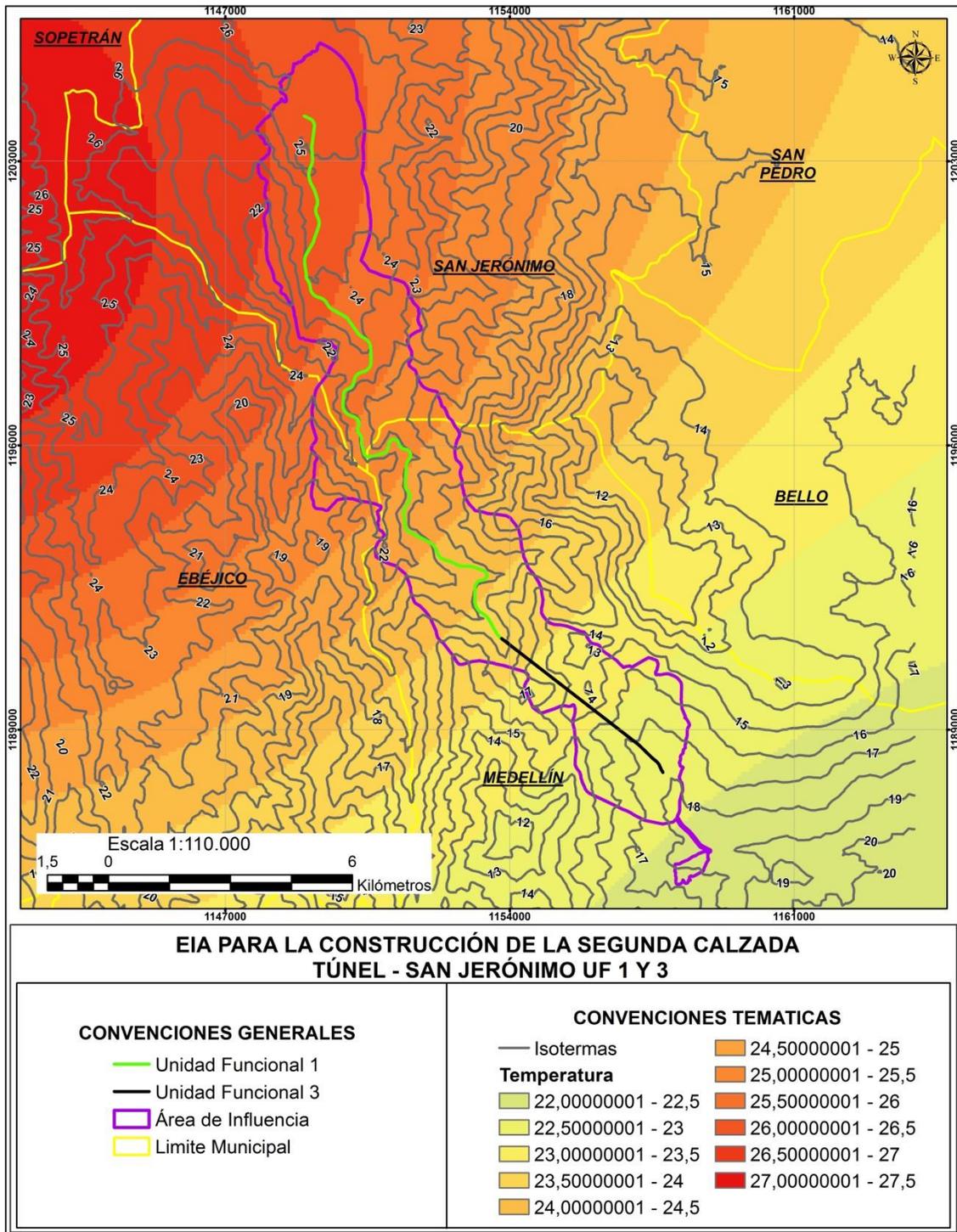
Según la información, se pudo evidenciar que en la zona de estudio se presentan valores de temperatura similares; con un promedio de medias anuales que oscilan entre 21.2°C y 22.56°C, siendo los periodos de febrero - marzo y julio - agosto los más cálidos y entre los meses de octubre y diciembre lo más fríos, manteniéndose así con un promedio anual de 21.92°C.

Del total de datos se resalta que los meses con una mayor temperatura fueron febrero y marzo con valores máximos registrados de 31.5°C y 31.84°C respectivamente, teniendo una temperatura máxima promedio de 30.7°C. Con respecto a los valores mínimos, estos se reportaron en los meses de enero con 14.26°C y diciembre con 14.5°C, con una temperatura promedio de 14.7°C.

Los datos más altos de temperatura media mensual multianual se presentan en la estación Cañafisto con un registro máximo de 28.9°C y una mínima de 17.8°C en la estación Concordia ubicándolas por encima de los promedios anuales. Las variaciones presentadas en las estaciones, se asocian directamente con la diferencia altitudinal, aspecto que igualmente se presenta en el trazado de la vía.

La distribución espacial de la temperatura se presenta en la (isotermas), en la cual se evidencia que la temperatura avanza hacia el nor-oeste, dando un aumento asociado al descenso del río Cauca, teniendo el rango de valores entre 22.24°C y 26°C aproximadamente.

Figura 5-232. Isotermas en el área de estudio



Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.10.1.2 Presión Atmosférica

La presión atmosférica es la presión que ejerce la atmósfera en un punto específico como consecuencia de la acción de la fuerza de gravedad sobre la columna de aire que se encuentra por encima de este punto, por lo cual la presión atmosférica disminuye con la altitud y al mismo tiempo disminuye la cantidad de aire presente en la atmosfera.

Para calcular la Presión Atmosférica del lugar, se baso según lo expuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), a partir de la siguiente ecuación:

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.006z}{293} \right)^{5.26}$$

Dónde:

P = Presión atmosférica [kPa]

z = Elevación sobre el nivel del mar [m.s.n.m]

Teniendo en cuenta la ecuación expuesta anteriormente, en la Tabla 5-138 se muestra el valor de la presión atmosférica en cada una de las estaciones utilizadas, se debe tener en cuenta que no todas las estaciones nombradas en la Tabla 5-136Tabla 5-138 se usaron para todos los parámetros analizados.

Para la zona de estudio, la presión más alta se presentó en la estación Cañafisto con un valor de 959.6 mb ubicada en la parte nor-oeste de la UF 1 y 3 y la presión más baja con un valor de 764.0 mb se obtuvo en la estación Santa Helena la cual se encuentra en la parte sur-este del trazado, resultados que permiten evidenciar la relación inversamente proporcional que existe entre este parámetro y la altura, ubicándose la estación Cañafisto a una menor altura con 500 msnm y la estación Santa Helena a 2550 msnm.

Tabla 5-138 Valores de presión atmosférica

NOMBRE	ALTITUD	PRESION (Kpa)	PRESION (mb)
Boqueron	2510	76,7	767,5
La Aldea	1638	84,7	846,6
Santa Helena	2550	76,4	764,0
La Iguana	2300	78,6	786,0
Apto Olaya Herrera	1490	86,1	860,6
Anza	710	93,8	937,9
Guasabra	2128	80,1	801,4
Laureles-Medellín	1512	85,9	858,5
Llanos de San Juan	1600	85,0	850,2

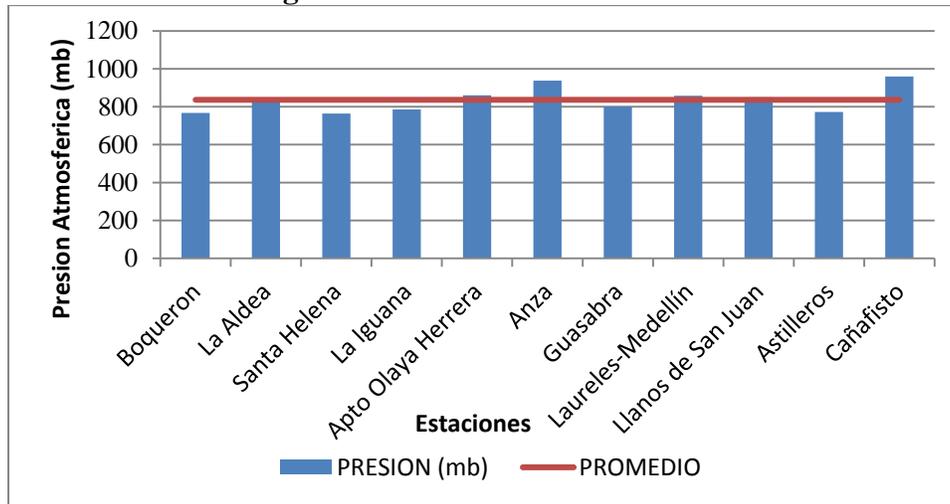
NOMBRE	ALTITUD	PRESION (Kpa)	PRESION (mb)
Astilleros	2450	77,3	772,7
Cañafisto	500	96,0	959,6

Fuente. (IDEAM, Consultoria Colombiana S.A, 2016)

De acuerdo con lo planteado, se tiene que el punto más alto del trazado se localiza en la entrada del túnel sentido Medellín -Santa Fe de Antioquia con una altura aproximada de 2025 msnm además se tiene como referencia a la cabecera del municipio de San Jerónimo, punto final del trazado, donde se estima una altura de 700 msnm.

Por otro lado, se debe desatacar que la presión promedio entre todas las estaciones fue de 836.81 mb (Figura 5-233) siendo este un valor más bajo que el de la mayoría de estaciones analizadas.

Figura 5-233 Presión Atmosférica



Fuente. (IDEAM, Consultoria Colombiana S.A, 2016)

5.1.10.1.3 Precipitación

Las precipitaciones son el mecanismo primario de transporte de agua desde la atmósfera hasta la superficie terrestre.

Para la caracterización de la precipitación en la zona del proyecto, se tuvo en cuenta la información de las estaciones que se listan en la Tabla 5-139, dado el periodo de registro con el que cuentan. Al igual que en el parámetro de temperatura la información debe ser presentada en maxima diaria registrada y minima diaria registrada, para este caso en los reportes de las estaciones solicitadas al IDEAM estas no presentaban estos valores, por lo que el análisis se realizo con la media mensual multianual.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Tabla 5-139. Periodo de reporte de estaciones IDEAM para análisis de precipitación

Código	Nombre	Periodo de Reporte	Código	Nombre	Periodo de Reporte
27010780	Boqueron	1970-1990	26210090	Anza	1970-2015
11115020	Cañasgordas	1973-2015	26210130	Guasabra	1975-2015
26205080	La Aldea	1990-2015	27011270	Laureles-Medellín	2011-2015
26210080	La Herradura	1970-2015	26200130	Bolombolo	1980-2015
26215010	Concordia	1970-2015	26205020	El Rosario	1967-1998
27010810	Santa Helena	1970-2015	26230180	Llanos de San Juan	1990-2015
27011120	La Iguana	1990-2015	27011110	Astilleros	1991-2015
27015070	Apto Olaya Herrera	1941-2015	26215020	Cañafisto	1987-2002
			26200120	Otramina	1970-2015

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

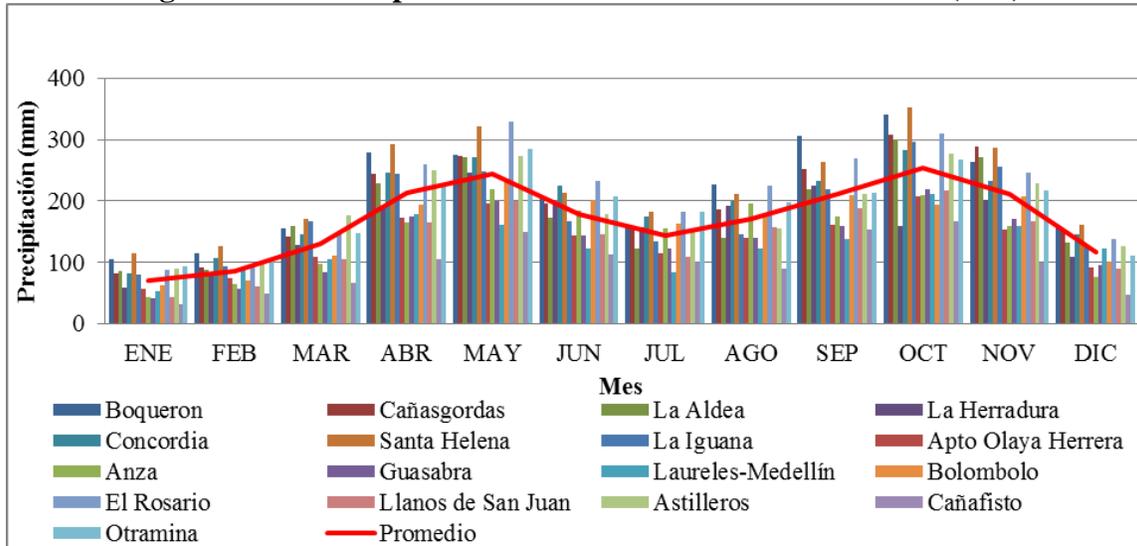
Acorde con lo anterior, en la Tabla 5-140 se presentan los valores de precipitación total mensual multianual de las diferentes estaciones y en la Figura 5-234 se incluye la representación de los valores indicados.

Tabla 5-140. Valores de precipitación total media mensual multianual (mm)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Boqueron	105	114	155	278	275	206	155	226	306	340	263	160	2582
Cañasgordas	83	92	142	245	273	196	153	185	251	309	288	151	2368
La Aldea	85	87	159	228	271	173	122	141	219	300	271	132	2190
La Herradura	58	79	128	191	246	193	158	192	226	160	202	109	2042
Concordia	81	107	146	245	272	225	175	199	232	283	234	145	2343
Santa Helena	115	125	171	292	321	213	183	212	264	352	286	161	2696
La Iguana	80	94	167	244	249	167	134	145	218	296	255	125	2175
Apto Olaya Herrera	57	75	110	173	195	144	115	140	161	207	153	92	1623
Anza	43	65	97	164	220	184	154	196	175	209	158	76	1740
Guasabra	42	56	84	174	200	143	122	141	159	220	171	95	1606
Laureles-Medellín	53	91	104	178	161	123	84	123	138	210	159	122	1545
Bolombolo	62	71	110	194	237	202	162	176	210	193	207	101	1925
El Rosario	88	94	148	259	329	232	181	226	270	310	247	138	2522
Llanos de San Juan	44	61	104	165	200	146	108	158	188	217	168	91	1650
Astilleros	89	97	177	251	273	178	151	155	212	277	228	127	2215
Cañafisto	31	48	66	106	149	112	102	89	154	167	99	46	1169
Otramina	93	101	148	227	284	207	182	197	213	267	218	110	2245

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A. 2016

Figura 5-234. Precipitación total media mensual multianual (mm)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

El comportamiento de la precipitación total mensual multianual que se presenta en la Figura 5-235 permite identificar que los meses de enero, febrero y diciembre se caracterizan por presentar los promedios más bajos de lluvias con 71,09mm, 85,72mm y 116,45mm respectivamente. Por otro lado, también se evidencia que los meses de mayo y octubre son los que registran los mayores promedios de precipitación con 244,42mm y 253,96mm respectivamente.

Se destaca de los registros que el mayor valor de precipitación se presentó en el mes de octubre en la estación Santa Helena del municipio de Medellín, con 352mm y que el menor registro se dio en la estación Cañafisto para el mes de enero con 30,70mm, lo cual guarda coherencia con los registros de temperatura analizados previamente. A partir de los registros se identifica que la zona tiende a presentar dos temporadas de lluvia a lo largo del año, la primera de ellas empieza a darse hacia el mes de marzo, aumentando en abril y mayo, posteriormente, se registra un segundo evento de lluvias que abarca los meses de septiembre, octubre y noviembre.

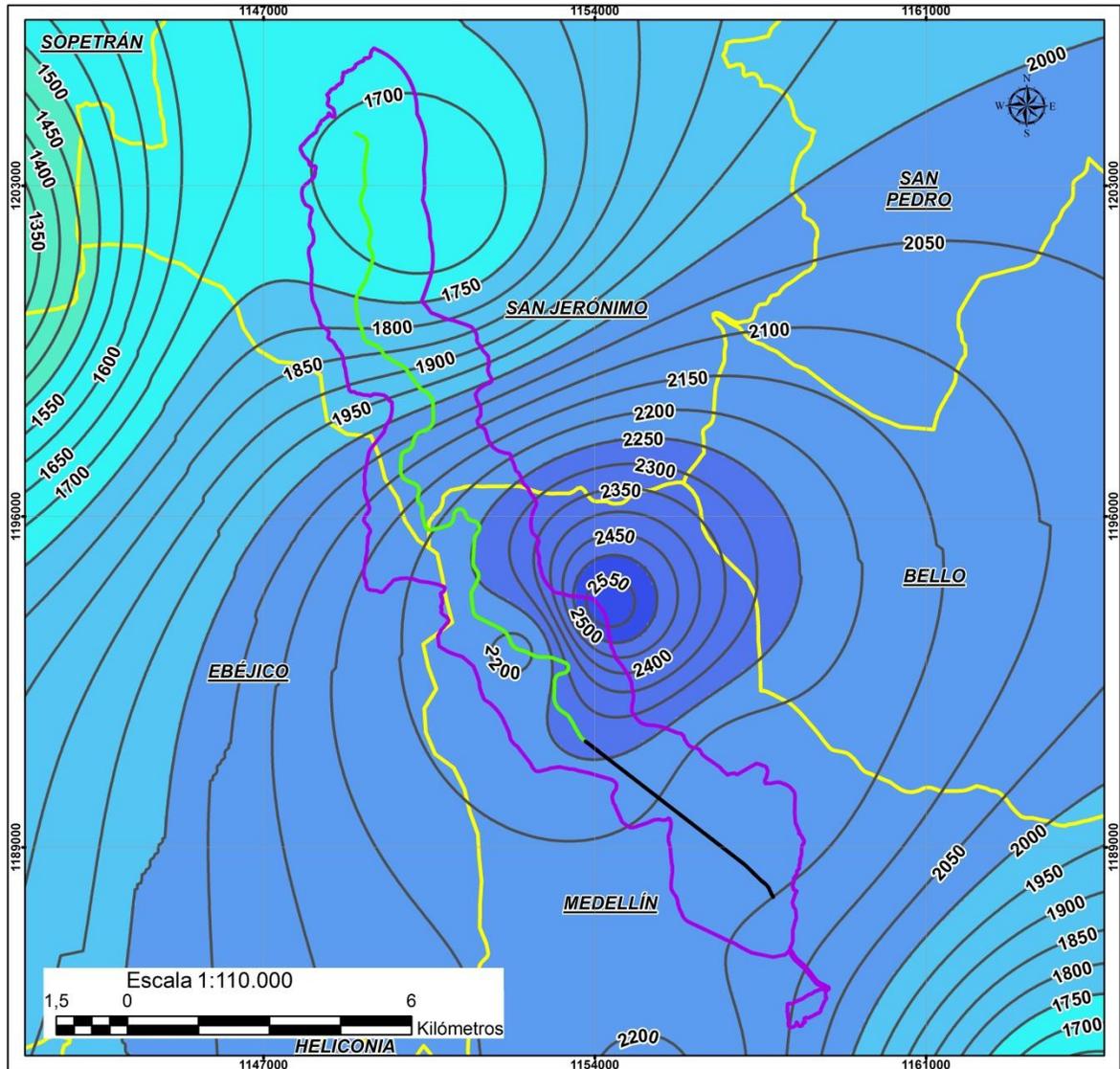
Todas las estaciones coinciden en registrar el menor valor de precipitación en el mes de enero con registros que oscilan entre los 30,70mm (estación Cañafisto) y los 115,30mm (estación Santa Helena), seguido por el mes de febrero con reportes entre los 48,40mm y 125,30mm, lo cual se asocia directamente con los registros de temperatura presentados previamente.

En cuanto a las mayores variaciones entre los registros de cada una de las estaciones, se presentan en El Rosario con una diferencia de 241mm entre el máximo valor registrado y el mínimo, seguida por Santa Helena con una variación de 236,70mm y Boquerón con 235,70mm.

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

Frente a los registros anuales de precipitación, en la Figura 5-235 se presentan las isoyetas de la zona de interés, las cuales permiten evidenciar una variación en aumento a medida que se avanza hacia el sur del área con un valor máximo de 2550mm/año en el sector del túnel; y en cuanto a los valores más bajos se aprecian hacia el nor-oeste con valores de 1700mm/año.

Figura 5-235 Distribución espacial de la precipitación



**EIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA
TÚNEL - SAN JERÓNIMO UF 1 Y 3**

CONVENCIONES GENERALES

- Unidad Funcional 1
- Unidad Funcional 3
- Área de influencia
- Limite Municipal

CONVENCIONES TEMÁTICAS

- Isoyetas
- idw**
- 1.500,000001 - 1.750
- 1.750,000001 - 2.000
- 2.000,000001 - 2.250
- 2.250,000001 - 2.500
- 2.500,000001 - 2.750

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2015.

5.1.10.1.4 Humedad Relativa

Para el análisis de la humedad relativa media mensual multianual se tomaron los registros de las estaciones Concordia, Aeropuerto Olaya Herrera, El Rosario y Cañafisto, teniendo en cuenta que todas tienen reportes de quince años o más. El resumen de los registros analizados se presenta en la Tabla 5-141.

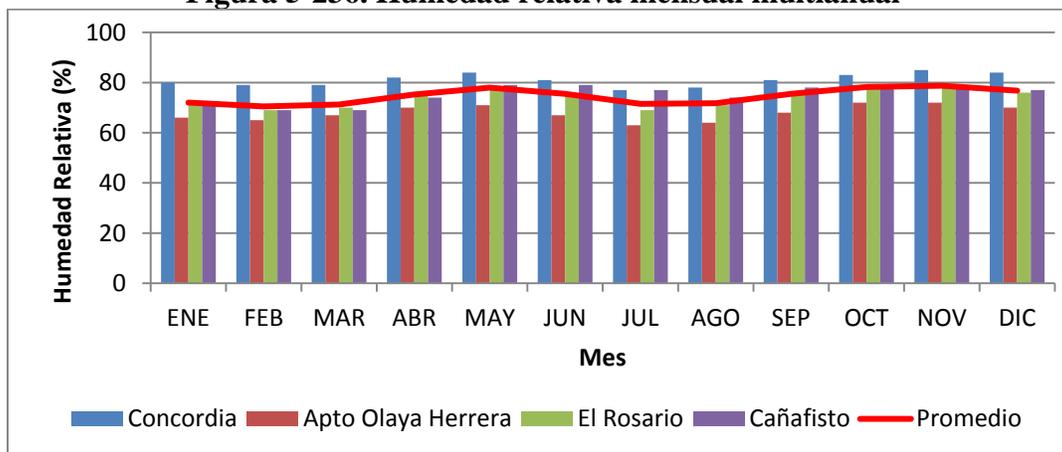
Tabla 5-141. Valores de humedad relativa (%)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Concordia	80	79	79	82	84	81	77	78	81	83	85	84
Apto Olaya Herrera	66	65	67	70	71	67	63	64	68	72	72	70
El Rosario	71	69	70	75	78	75	69	71	75	79	79	76
Cañafisto	71	69	69	74	79	79	77	74	78	79	79	77

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A. 2016

De los anteriores valores se destaca que el menor registró se presenta en la estación Aeropuerto Olaya Herrera con 63% (julio) y el mayor valor se presentó en la estación Concordia con 85% (noviembre), en cuanto al promedio general se calcula en 75%. El comportamiento de la humedad relativa para cada una de las estaciones se puede observar en la Figura 5-236.

Figura 5-236. Humedad relativa mensual multianual



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

De la anterior figura se destaca el mes de noviembre por registrar el mayor promedio (79%) y los meses de febrero y marzo por presentar el promedio más bajo con 71%; también es posible evidenciar que los mayores registros de humedad coinciden con los picos registrados de precipitación, lo cual permite concluir que están directamente relacionados.

Por otro lado los valores máximos y mínimos se realizaron únicamente tomando los datos de las estaciones Concordia, Apto Olaya Herrera y EL Rosario, ya que en las demás

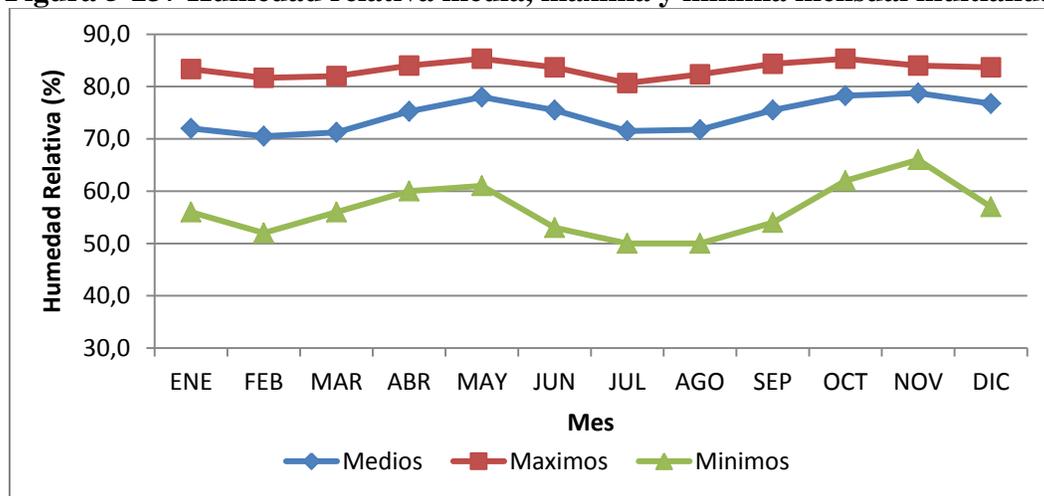
estaciones se presentó ausencia de estos valores. En la Tabla 5-142 que se muestra a continuación y a su vez representados en la Figura 5-237, muestran que los valores máximos multianuales oscilan entre 85.3% y 80.7% teniendo los menores valores en los meses de Febrero y julio y los mayores en mayo y octubre. Así mismo los valores mínimos multianuales oscilan entre 50% y 66% teniendo los mayores valores en mayo y noviembre y los menores en los meses julio y agosto.

Tabla 5-142 Valores de humedad relativa media, máxima y mínima mensual multianual (%)

NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Medios	72,0	70,5	71,3	75,3	78,0	75,5	71,5	71,8	75,5	78,3	78,8	76,8
Máximos	83,3	81,7	82,0	84,0	85,3	83,7	80,7	82,3	84,3	85,3	84,0	83,7
Mínimos	56,0	52,0	56,0	60,0	61,0	53,0	50,0	50,0	54,0	62,0	66,0	57,0

Fuente. (IDEAM, Consultoria Colombiana S.A, 2016)

Figura 5-237 Humedad relativa media, máxima y mínima mensual multianual



Fuente. (IDEAM, Consultoria Colombiana S.A, 2016)

5.1.10.1.5 Viento

El viento es el movimiento del aire. La velocidad del viento en superficie se refiere a la velocidad que alcanza esta variable meteorológica a 10 metros de altura, que es la norma internacional establecida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como estándar para la medición y seguimiento del viento⁷³.

En la Tabla 5-143 se presentan los valores registrados de velocidad del viento en las estaciones Cañafisto, El Rosario y Aeropuerto Olaya Herrera, dado que son las únicas estaciones que cuentan con reportes históricos.

⁷³ Capítulo 1. Velocidad del viento en superficie. Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia. Ministerio de Minas y energías -UPME – IDEAM. (pág. 19)

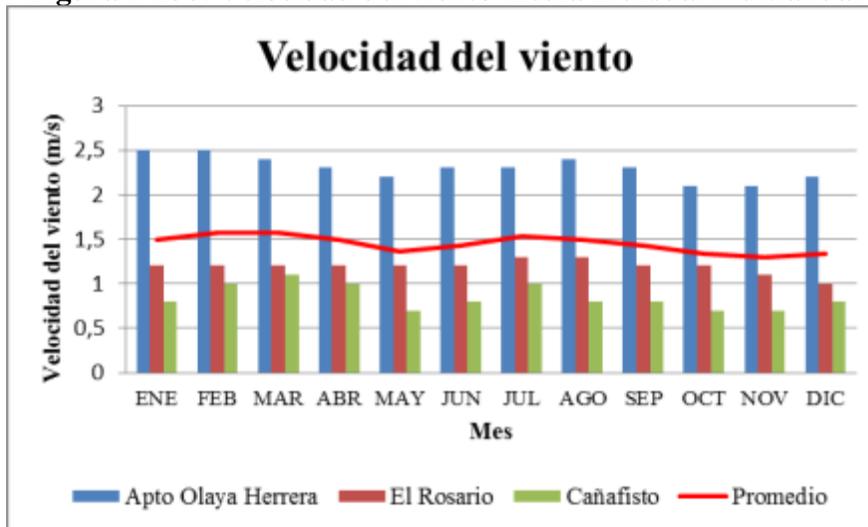
Tabla 5-143. Valores medios mensuales de velocidad del viento (m/s)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Apto Olaya Herrera	2,5	2,5	2,4	2,3	2,2	2,3	2,3	2,4	2,3	2,1	2,1	2,2	2,3
El Rosario	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1	1,2
Cañafisto	0,8	1	1,1	1	0,7	0,8	1	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A. 2016

Del anterior reporte se destaca que los mayores registros de viento se presentan en enero y febrero con 2,5m/s, seguidos por marzo y agosto con 2,4m/s, igualmente se observa que las velocidades más bajas se presentar en los meses de mayo, octubre y noviembre con 0,7m/s, seguidos por junio, agosto, septiembre y diciembre con 0,8m/s. A continuación se presenta gráficamente el comportamiento de la velocidad del viento en la zona de estudios.

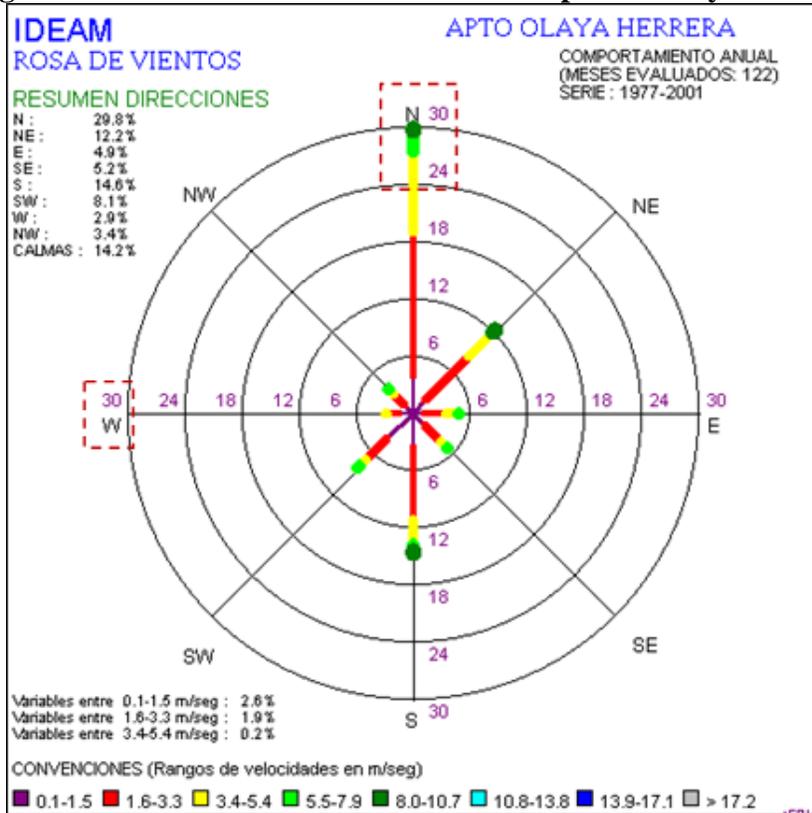
Figura 5-238. Velocidad del viento media mensual multianual



Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la anterior grafica se puede observar que los meses de octubre, noviembre y diciembre presentan el promedio más bajo de velocidad del viento con 1,3m/s y por el contrario, los meses de febrero y marzo presentan las mayores velocidades con 1,6m/s; del grupo de datos se destaca que el menor registro corresponde a 0,7m/s (estación Cañafisto) y el mayor a 2,5m/s (Aeropuerto Olaya Herrera).

Figura 5-239. Rosa del viento estación Aeropuerto Olaya Herrera



Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A. 2016

En cuanto a la dirección del viento, se cuenta únicamente con información histórica de dirección del viento en la estación Aeropuerto Olaya Herrera, la cual se presenta en la Figura 5-239; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para un periodo de análisis de 25 años, en esta se puede apreciar el predominio de los vientos de dirección norte con el 29.8%, seguidos por los del sur con 14,6%, en cuanto a los de menos influencia se encuentran los de oeste con 2,9%, seguidos por los del nor-oeste con el 3,4%.

5.1.10.1.6 Radiación Solar (Brillo Solar)

La radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. Los niveles de radiación en la superficie dependen de varios factores como son: la posición del sol, la altitud, la latitud, el cubrimiento de las nubes, la cantidad de ozono en la atmósfera y la reflexión terrestre (IDEAM, UPME, 2005).

En la Tabla 5-144 se observa el comportamiento de los valores mensuales multianuales de brillo solar para las estaciones Concordia, Aeropuerto Olaya Herrera, El Rosario y Cañafisto.

Para la estación Concordia se registran valores entre 107,1 horas y 188 horas, los cuales se presenten en los meses de noviembre y julio respectivamente, valores igualmente coincidentes con los registros de precipitación. Para las estaciones restantes, se registra un comportamiento similar en cuanto a que los mayores reportes de brillo solar se dan en los meses de menor precipitación.

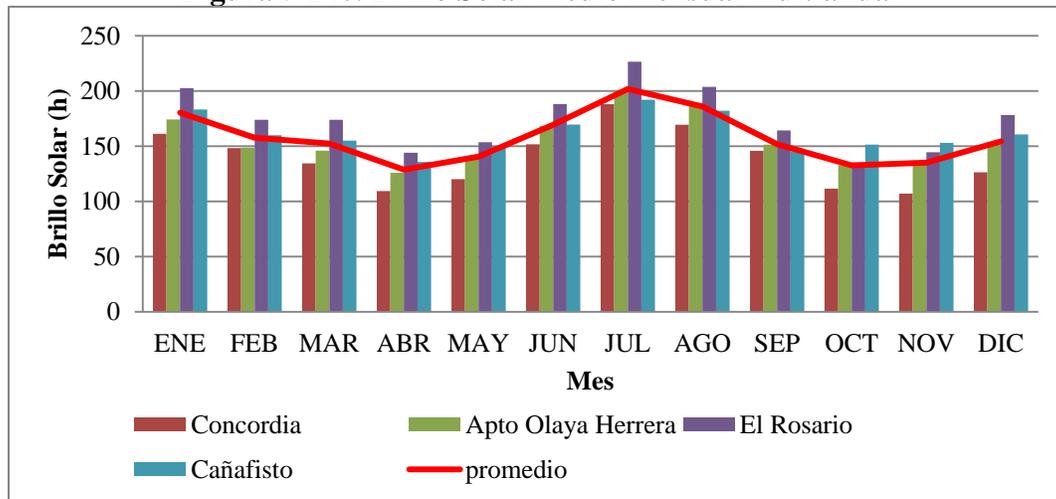
Tabla 5-144. Valores medios mensuales de brillo solar

NOMBRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Concordia	161,2	148,3	134,5	109,3	120,1	151,8	188	169,5	145,8	111,5	107,1	126,4
Apto Olaya Herrera	174,2	148,7	146	126	138,8	168,1	200,9	188,6	151,5	132,8	135,6	152,3
El Rosario	202,6	173,9	173,9	144,1	153,6	188,2	226,5	203,8	164,3	135	144,5	178,2
Cañafisto	183,3	160	155	135,7	149,9	169,6	192,1	182,1	145,4	151,4	153,1	160,7

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A. 2016

A continuación se presenta la Figura 5-240 donde se observa la distribución del brillo solar durante todo el periodo, es de resaltar que los valores más grandes se presentan entre los meses de enero, julio y agosto con valores promedio de 180.3 horas, 201.8 horas y 186 horas respectivamente y los meses con los menores valores promedio son abril con 128.7 horas y octubre-noviembre con registros de 132.6 horas y 135.07 horas respectivamente.

Figura 5-240. Brillo Solar medio mensual multianual



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

5.1.10.1.7 Nubosidad

La octa es la medida utilizada para el cálculo de la nubosidad presente en una zona determinada y equivale a un octavo de la porción de cielo observado, o sea 5/8 del cielo cubierto en clasificación general del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, correspondería a un cielo parcialmente cubierto. A continuación se

muestra la Tabla 5-145 se presentan los registros mensuales multianuales de cada estación analizada.

Tabla 5-145 Valores medios mensuales de nubosidad

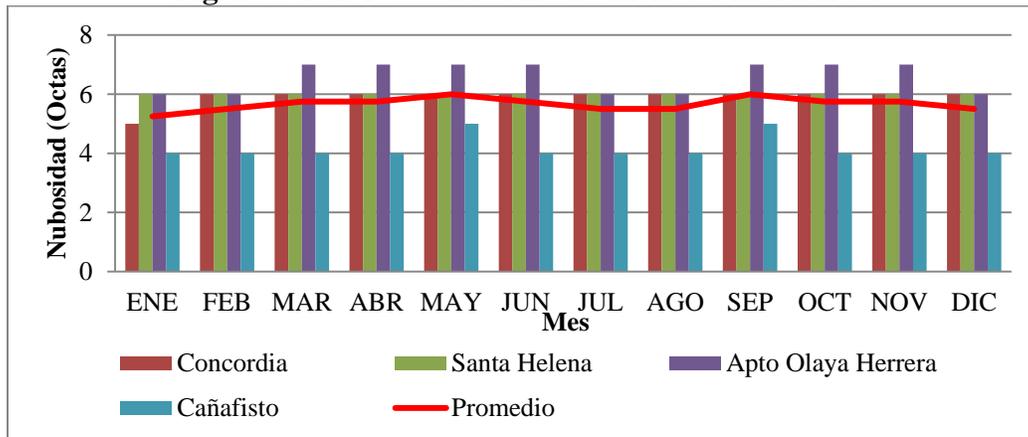
Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Concordia	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Santa Helena	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Apto Olaya Herrera	6	6	7	7	7	7	6	6	7	7	7	6
Cañafisto	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	4

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En referencia a este parámetro, se observa que la estación Santa Helena mantiene un valor constante de 6 octas a lo largo del año y para el caso de Concordia, solo presentan variación para el mes de enero. En cuanto a las estaciones Aeropuerto Olaya Herrera y Cañafisto, son las que presentan las mayores variaciones las cuales coinciden con los meses de precipitación.

Como lo muestra la Figura 5-241 se presenta un comportamiento similar, con dos periodos con mayores valores, estos comprendidos entre marzo y mayo para el primer semestre y para el segundo los meses de septiembre a noviembre, sin embargo su variación en el promedio medio mensual multianual durante cada mes es mínima (1 octa o menos).

Figura 5-241. Nubosidad media mensual multianual



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

5.1.10.1.8 Evaporación

La evaporación refleja las condiciones de retorno del agua a la atmósfera y relaciona otras variables climatológicas tales como temperatura, precipitación y brillo solar.

Para el análisis se tuvo en cuenta la información de las estaciones La Aldea, Concordia,

Aeropuerto Olaya Herrera y Cañafisto, por contar con registros históricos de más de cinco años (en el caso de las estaciones Concordia se cuenta con información de más de cuarenta años). Según los datos recopilados por las estaciones, la zona tienden a presentar un régimen bimodal, con mayor evaporación en los meses de enero a marzo, con una leve baja en febrero; posteriormente de abril a junio desciende y vuelve a presentar un nuevo aumento para julio y agosto, finalmente entre septiembre y diciembre baja considerablemente. En la Tabla 5-146 se muestran los datos medios mensuales multianuales.

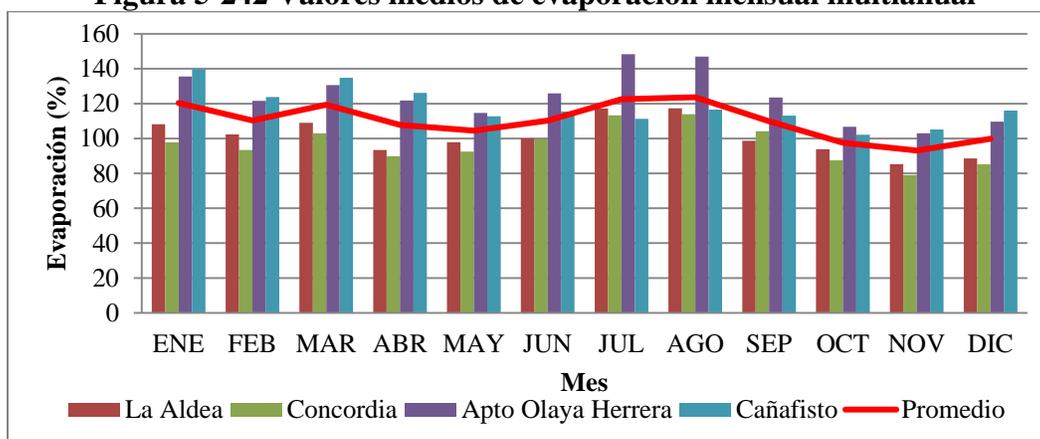
Tabla 5-146. Valores medios mensuales multianuales de evaporación

Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
La Aldea	108,2	102,4	109	93,4	97,9	100,1	117,2	117,3	98,7	93,9	85,3	88,6
Concordia	97,8	93,4	103	89,9	92,5	99,5	113,3	113,9	104,2	87,5	79	85,2
Apto Olaya Herrera	135,6	121,6	130,6	121,8	114,7	125,9	148,3	147	123,5	106,7	103	109,7
Cañafisto	139,8	123,8	134,8	126,2	112,8	115,5	111,3	116,6	113,1	102,2	105,2	116

Fuente. (IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016)

En cuanto a los valores registrados en las diferentes estaciones, se tiene que la estación La Aldea, presenta valores que oscilan entre 85,3mm y 117,3mm, con un promedio de 101mm y valor anual de 1211.9 mm. Para la estación Concordia se tienen valores entre los 79mm y los 113,9mm con una evaporación media total de 1159.1 mm; en el caso de la estación Aeropuerto Olaya Herrera se tiene un promedio de 124,03mm con un mínimo de 103mm y un máximo de 148,3mm, para un valor anual de 1488,5mm siendo este el más alto de todas las estaciones analizadas. Finalmente, la estación Cañafisto registra un mínimo de 102,2mm y un máximo de 139,8mm con un promedio de 118,10mm y valor año de 1417,2mm. A continuación en la Figura 5-242 se muestra la representación de los registros de evaporación en las estaciones estudiadas a lo largo del periodo.

Figura 5-242 Valores medios de evaporación mensual multianual



Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

Se destaca de la serie de datos y la figura anterior que los meses con mayor evaporación son enero, julio y agosto y los meses con menor valor promedio fueron abril y mayo para el primer periodo del año y de octubre a diciembre en el segundo periodo.

5.1.10.1.9 Zonificación Climática

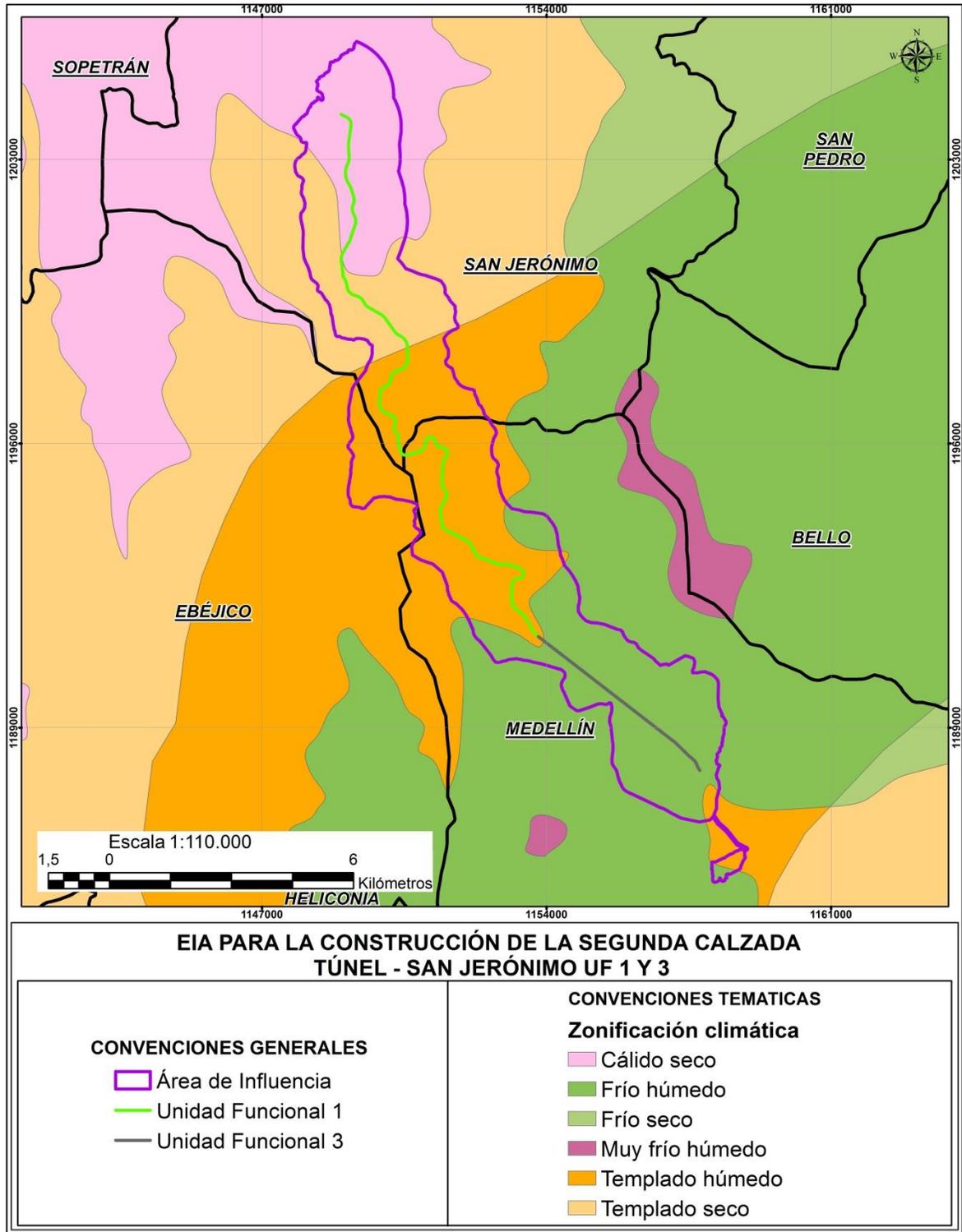
Para el presente estudio, la clasificación climática se basó en el estudio de ecosistemas continentales costeros y marinos de Colombia, en el que para la caracterización climática se utiliza diferentes metodologías tales como los de Köeppen, Thornthwaite, Caldas, Lang, Martone y Holdridge, entre otras. Se optó por asumir un sistema cuya caracterización aplicara los regímenes térmicos y de humedad propios de la geografía Colombiana, considerándolos como los elementos meteorológicos más relevantes y útiles para la caracterización de un ecosistema desde el punto de vista climático (IGAC, IDEAM, IAvH, Invemar, I. Sinchi, IIAP, 2007)⁷⁴

Se debe tener en cuenta que los elementos considerados mas relevantes para el mapa de caracterización climática son la temperatura y la precipitación, acalarando que estos parametros ya fueron analizados anteriormente, retomando así su clasificación para la delimitación de las unidades climáticas en el área de estudio.

Una vez categorizados los dos elementos meteorológicos principales se realizó una intersección espacial entre las dos capas, cuyos polígonos relacionan un rango de precipitación con un rango termal. (Figura 5-243)

⁷⁴ IGAC, IDEAM, IAvH, Invemar, I. Sinchi, IIAP. (2007). *Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia*. Bogotá: IGAC.

Figura 5-243 Zonificación climática en el área de influencia del proyecto



Fuente. (IDEAM, Consultoria Colombiana S.A, 2016)

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

De acuerdo a la figura expuesta anteriormente, se tiene que desde la entrada del tunel (Medellin) hasta la salida (via San Jeronimo) se encuentra una zona Frio-humedo, esto se debe principalmente a las características físicas de la zona, posteriormente para la unidad funcional 1 se tiene tres clasificaciones; la primera en templado – humedo, luego templado – seco y finalmente llega a calido - seco, una de las causas principales de este cambio y aumento se asocia al descenso del rio Cauca.

5.1.10.2 Identificación de Fuentes de Emisión

Durante el mes de febrero y junio del presente año se realizó el inventario de fuentes que estuvieran generando contaminación atmosférica en el área de influencia para la construcción de la segunda calzada entre el Túnel de Occidente – San Jerónimo UF 3 y 1, en el cual se identificó puntos de contaminación a la atmosfera, posteriormente se clasificaron las fuentes fijas, móviles y de área.

Según lo establecido en el Artículo 18 del decreto 948 de 1995, las fuentes se sub clasifican así:

- Fuentes Fijas: puntuales, dispersas o área – fuente
- Fuentes Móviles: aérea, terrestres y fluviales

Sin embargo se tiene en cuenta que la cantidad de fuentes de emisión en esta zona no es grande ni notoria, no se determinó una en la que su generación afectara de manera considerable a la población ni al entono en general. Aun así a continuación se presenta lo observado en el trabajo de campo, por lo cual las fotografías y descripción que se presenta abarca el inventario realizado.

5.1.10.2.1 Fuentes Fijas

Hace referencia a las fuentes que se sitúan en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca de forma dispersa (Decreto 948 de 1995). De acuerdo a lo anterior se identificaron en el área de las unidades funcionales 3 y 1, se presentan las siguientes fuentes fijas asociadas a las diferentes actividades productivas de la zona son:

5.1.10.2.1.1 Fuentes dispersas o de área

Las fuentes de área identificadas en el área del proyecto UF 3-1 se da a actividades industriales y comerciales asociadas a parqueaderos de vehículos, establecimientos de restaurantes y asaderos; estas actividades son predominantes generando impactos atmosféricos asociados a la calidad del aire.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Fotografía 5-141. Zonas de restaurantes y parqueaderos. (X: 1153430,506; Y: 1191820,671) y (X: 1152373,791; Y: 193243,068)



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

5.1.10.2.1.2 Centros Urbanos

Los centros urbanos del área de influencia del proyecto constituyen un escenario de generación de emisiones atmosféricas móviles y fijas, los poblamientos y asentamientos humanos identificados en el área de estudio pueden verse afectados por la contaminación atmosférica; sin embargo muchas veces también son generadores de ella, ya que debido a la concentración urbana se incrementan las emisiones a la atmosfera. Por otro lado también son generadoras de ruido, debido al desarrollo de espacios urbanizados y viviendas y de la existencia de vías principales y secundarias por medio de las cuales se moviliza la flota vehicular pública o privada.

Fotografía 5-142. Viviendas en remodelación – viviendas a la altura cercana de la vía (X: 1153138,461; Y: 1192585,438) y (X: 1153095,318; Y: 1192227,306)



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

5.1.10.2.2 Fuente móvil

Las fuentes móviles son aquellas fuentes de emisión que por razón de uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza (Decreto 948 de 1995).

Debido a que en el corredor vial desde el túnel de Occidente y San Jerónimo se presentan diferentes actividades comerciales, se cuenta con la presencia continua de automotores, camiones, tracto mulas, buses de transporte público, motocicletas y en general toda clase de

vehículos los cuales transitan por la vía existente. En consecuencia a lo anterior, el tráfico vehicular representa una fuente de emisión constante de Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NOx) y Óxidos de azufre (SOx) como resultado de la combustión de la gasolina y el diésel. El tránsito vehicular se considera que es frecuente y permanente, esto conlleva a que se incrementen los cambios en la calidad del aire por las emisiones que generan los diferentes vehículos que transitan por la vía existente.

Fotografía 5-143. Fuentes Móviles (Vía Túnel de Occidente-San Jerónimo)



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

5.1.10.3 Potenciales receptores en el área de influencia

Los receptores principales en para las Unidades Funcionales 1 y 3 en la construcción de la segunda calzada entre Túnel de Occidente y San Jerónimo fueron los poblamientos y asentamientos humanos y como pueden verse afectados por la contaminación atmosférica, sin embargo se establece que estos también son generadores de dicha, debido a que la concentración urbana hace que incrementen las emisiones a la atmosfera.

Para el tramo se estableció que las zonas con más potencial de receptores son las poblaciones que quedan cerca a cada una de las bocas del túnel, ya que es donde se encuentra más población y viviendas, sin embargo como se nombró anteriormente a lo largo de recorrido vial se encuentran zonas de restaurantes, tiendas, parqueaderos los cuales también serán y son los receptores más potenciales.

A continuación en la Tabla 5-147; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa luego de trabajo en campo la zona con centros urbanos más representativos de toda la zona de estudio en general por cada municipio.

Tabla 5-147. Centros Poblados

Municipio	Unidad territorial	Tipo de asentamiento
Medellín	La Aldea	Nucleado
	La Cuchilla	Nucleado
	La Palma	Nucleado

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Municipio	Unidad territorial	Tipo de asentamiento
San Jerónimo	Palmitas	Nucleado
	Berial	Nucleado
	El Calvario	Nucleado
	Piedra Negra	Nucleado
	Quimbayo	Nucleado

Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

5.1.10.4 Calidad del Aire

La evaluación de la calidad del aire, tiene como propósito fundamental hacer el seguimiento al estado de preservación del recurso, velando porque la posible carga de contaminantes gaseosos, vapores y/o material particulado no sobrepase los límites permisibles establecidos en la normatividad ambiental. Se realizó un inventario de las fuentes de contaminación del aire y se programó una campaña de monitoreo de calidad del aire en las zonas que se consideraron de interés.

El muestreo de calidad de aire se realizó para la unidad funcional 3 y 1 entre los días 27 de febrero y 15 de marzo del 2016 por el laboratorio Corporación Integral del Medio Ambiente C.I.M.A acreditado por el IDEAM mediante la resolución 2085 del 01 de octubre de 2015 bajo la norma NTC ISO 17025/2005. En el presente informe se consignan los resultados obtenidos en el muestreo de calidad del aire; realizado con el propósito de generar una caracterización de este componente en el área de influencia con respecto a las actividades humanas actualmente desarrolladas en la zona y realizar la comparación de estos con los parámetros establecidos en la normatividad ambiental vigente contenida en la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010, emitida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial – MADS.

5.1.10.4.1 Inventario de fuentes generadoras de emisiones atmosféricas

Con el fin de dar cumplimiento a la resolución 751 de 2015 relacionado con el elemento de Aire, se realizó un inventario de las fuentes de contaminación del aire y se programó una campaña de monitoreo de calidad del aire en las zonas que se consideraron de interés.

Como se mencionó anteriormente las actividades identificadas, se asocian a comerciales e industriales, tránsito vehicular, poblamientos y asentamientos humanos y finalmente incendios por parte de los habitantes al darle mal manejo de los residuos generados.

5.1.10.4.2 Análisis y evaluación de la Calidad del Aire

Como se mencionó anteriormente el muestreo y análisis fue realizado por la Corporación

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

C.I.M.A., mediante el análisis preliminar de las posibles fuentes de emisión en la zona de estudio y factores climatológicos, dado dicho análisis se ubicaron tres (5) estaciones de calidad del aire en el área de estudio para cada unidad funcional para la construcción de la segunda calzada entre el túnel de Occidente – San Jerónimo, sin embargo se debe tener en cuenta que por cada unidad funcional son 3, solamente que una de estas se comparte por lo que en total son 5 puntos; en las cuales se determinaron las concentraciones de los siguientes compuestos: Partículas Suspendidas Totales (PST), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Dióxido de Azufre (SO₂), con muestreos de 24 horas durante dieciocho (18) días y Monóxido de Carbono (CO) con muestreos puntuales de 1 hora, cada uno de los días de muestreo.

A continuación se describen los aspectos principales y relevantes del monitoreo; el informe detallado presentado por el laboratorio encargado CIMA se incluyen en el Anexo F1. Calidad del Aire del presente documento.

- ✓ **Determinación De Partículas Suspendidas Totales – PST:** La concentración de PST se mide mediante el método correspondiente a US EPA 40 CFR Parte 50 Apéndice B. En este método el muestreador Hi-Vol succiona aire ambiente hacia una caja de muestreo a través del filtro, durante 24 h. El filtro se pesa en las mismas condiciones ambientales antes y después de usarlo, así determinando el peso neto ganado u obtenido; el volumen de aire se determina con base en el flujo estándar promedio y el tiempo de muestreo. Se debe tener en cuenta que el material particulado forma una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, motivo por el cual estos pueden variar significativamente en tamaño, composición, forma, dependiendo básica y fundamentalmente de su origen.
- ✓ **Determinación de óxidos de nitrógeno y azufre:** La muestra de aire para análisis de NO_x y SO_x se toma de manera simultánea con la de partículas mediante el tren de muestreo tipo Andersen, usando la bomba de vacío para hacer pasar el aire por 24 horas a través de burbujeadores con soluciones absorbentes. El NO_x junto a las partículas suspendidas son los encargados y responsables de la capa café-rojiza que se puede ver con frecuencia sobre las zonas urbanas.
- ✓ **Monóxido de Carbono (CO):** Para las mediciones de monóxido de carbono se utiliza un equipo detector de Gas MSA Solaris CO. Por medio del método electroquímico en el cual los equipos muestreadores de monóxido de carbono capturan la muestra de aire y la procesan para brindar un análisis del factor requerido, dicho procedimiento ocurre de manera interna en el equipo y el resultado se refleja en la lectura directa que se puede observar en la pantalla. El resultado corresponde a tres (3) lecturas instantáneas realizadas en un intervalo de 60 minutos, el equipo tiene una alarma sonora que se activa a partir de las 60 ppm de CO.

Los puntos de toma de muestras se establecieron en toda la zona de estudio, a continuación

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

en la Tabla 5-148; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se describen los aspectos generales de las áreas en donde se localizaron las estaciones de monitoreo para la UF 3 y 1; y en las figuras (Figura 5-244 y Figura 5-245) se observa la ubicación espacial de la UF 3 y 1 respectivamente.

Tabla 5-148. Puntos de monitoreo de calidad del aire

Puntos De Monitoreo	UF	Coordenadas Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos	Registro Fotográfico
Estación 1. San Cristóbal	3	N:	1186107,942	Climático	
		E:	1159519,557	Fuentes potenciales de emisión	
DESCRIPCIÓN GENERAL: se encuentra ubicada en el corregimiento de San Cristóbal, al lado de la estación de policía, en este sector se está realizando una obra para la construcción de un puente, se cuenta con un alto flujo vehicular.					
Estación 2. Entrada Boca túnel	3	N:	1187443,379	Climático	
		E:	1157941,637	Fuentes potenciales de emisión	
DESCRIPCIÓN GENERAL: La estación 2 se encuentra ubicada a 500 metros de la entrada del túnel, en la vereda El Uvito, a 40 metros de la vía principal.					

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Puntos De Monitoreo	UF	Coordenadas Magna Sirgas - Origen Oeste		Aspectos	Registro Fotográfico
Estación 3 o 1 Salida Boca túnel*	3 y 1	N:	1191509,540	Climático	Días Soleados se presentaron lluvias los días 6 y 14 de marzo.
		E:	1153697,005	Fuentes potenciales de emisión	FIJAS: No reporta MÓVILES: La principal fuente de emisión en este punto es el tráfico vehicular de la vía principal que conduce a Medellín, teniendo en cuenta que el peaje se encuentra a 5 metros de la estación.
DESCRIPCIÓN GENERAL: La estación 3 se encuentra ubicada a 500 metros de la salida del túnel a 10 metros del peaje, donde se cuenta con un alto flujo vehicular ya que está sobre la vía principal.					
Estación 2. Quebrada Miserenga	1	N:	1195636,512	Climático	Días Soleados se presentaron lluvias los días 06 y 14 de marzo
		E:	1151472,54	Fuentes potenciales de emisión	FIJAS: vías que conducen a la vereda Miserenga Baja, y se encuentran en mal estado. MÓVILES: La principal fuente de emisión en esta estación, es el tráfico vehicular de las dos vías que conducen a la Vereda Miserenga Baja.
DESCRIPCIÓN GENERAL: La estación 2 se encuentra ubicada en una vereda llamada Miserenga cerca una quebrada y a la vía principal.					

*La estación localizada a la salida del Túnel de Occidente se analizó como estación 3 para la Unidad Funcional 3 y como estación 1 para la Unidad Funcional 1.

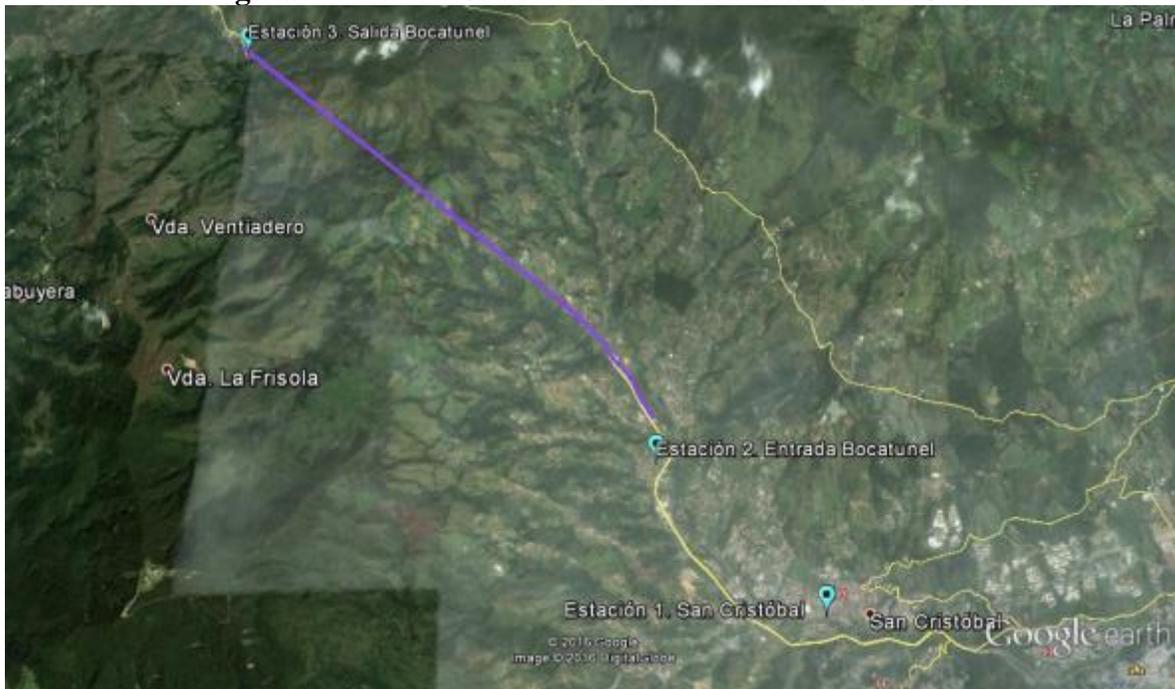
 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Puntos De Monitoreo	UF	Coordenadas Magna Sirgas - Origen Oeste	Aspectos		Registro Fotográfico
Estación 3. San Jerónimo	1	N: 1204440, 47	Climático	Días Soleados se presentaron lluvias el día 08 de marzo.	
		E: 1149337, 46		Fuentes potenciales de emisión	

DESCRIPCIÓN GENERAL: La estación 3 se encuentra ubicada en el municipio de San Jerónimo cerca al parque principal, donde se cuenta con un alto flujo vehicular.

Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

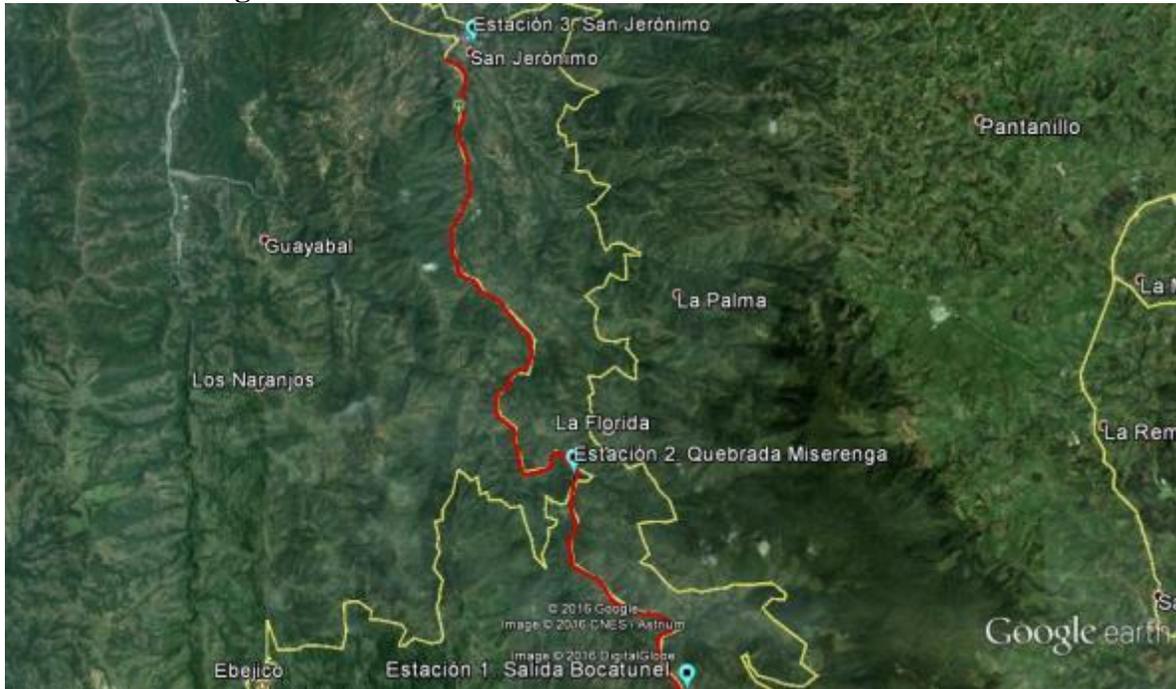
Figura 5-244. Puntos de muestreo de calidad de aire UF3



Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016), Modificado de Google Earth

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Figura 5-245. Puntos de muestreo de calidad de aire UF1



Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016), Modificado de Google Earth

Se debe tener en cuenta que en cada una de las estaciones se determinó PST, NO₂, SO₂ y CO, y para la realización del muestreo se utilizaron los siguientes equipos.

- Equipos HI-vol
- Trenes de gases para recolección y determinación de NO₂ y SO₂
- Analizador Electroquímico de CO.

Para la localización de las estaciones de calidad del aire se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- La distancia entre la estación de calidad del aire y el obstáculo más cercano, debe ser dos veces la altura del obstáculo.
- Los equipos de muestreo pueden estar ubicados mínimo a 1.20 m desde el nivel del suelo.
- No se deben instalar cerca (menos de 10 m) de fuentes fijas puntuales de emisión.
- Tener un radio de 270° libre de restricciones de flujo alrededor del Muestreador.

5.1.10.4.2.1 Resultados

Se debe tener en cuenta que las características meteorológicas y climatológicas influyen directamente en la calidad del aire y cualquier medición de esta que se haga, por esto para

el presente estudio se realiza un análisis climático del área evaluada a partir de información recolectada en campo obtenida de la estación meteorológica instalada por CIMA en la estación denominada Cañasgordas.

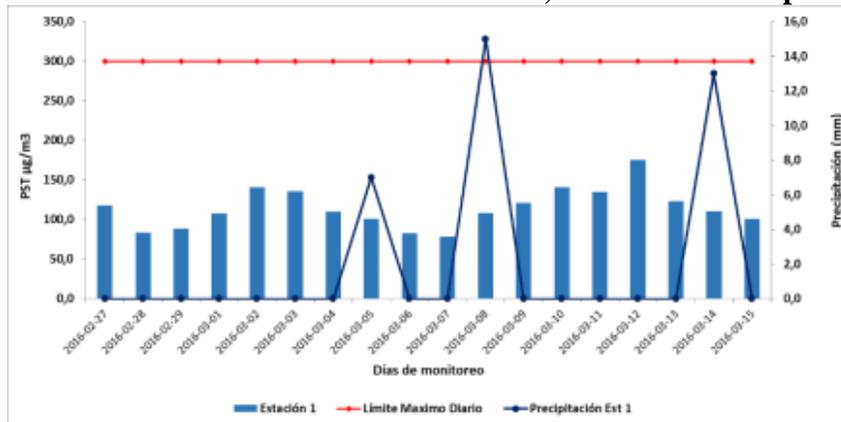
Las variables más relevantes para los estudios de calidad de aire son precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, las cuales se pueden observar en el informe detallado presentado por el laboratorio encargado CIMA en el Anexo F1.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las tres (5) estaciones durante el periodo comprendido entre el 26 de febrero y 15 de marzo, donde se determinó la concentración de PST, NO₂, SO₂, y CO. Los valores obtenidos se comparan con la norma de calidad del aire establecida en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial.

✓ Partículas Suspendidas Totales (PST)

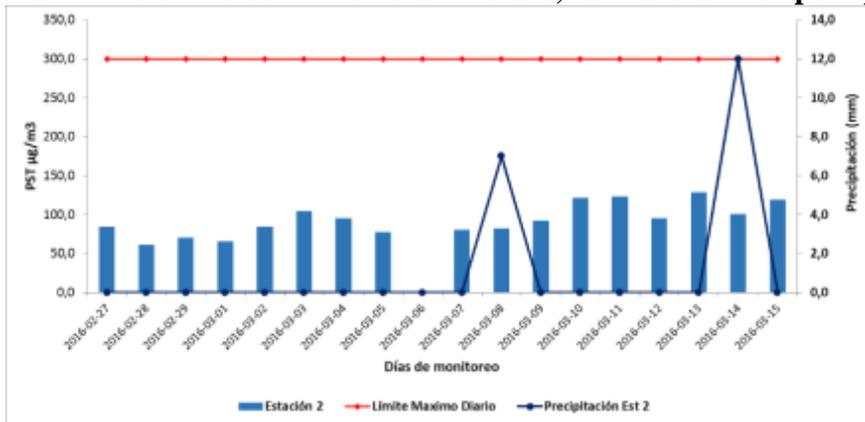
En las figuras que se presentan a continuación se observan las concentraciones diarias obtenidas en cada una de las estaciones de la unidad funcional 3 con respecto a material particulado, se debe tener en cuenta que se invalida la muestra del día 6 de marzo en la estación 2 debido a que se presentaron a fallas en el fluido eléctrico que afectaron el trabajo del motor del equipo PST y también la muestra del día 03 de marzo en la estación 3 por fallas en el motor del equipo PST.

Figura 5-246. Valores diarios de PST Estación 1, en función de la precipitación.



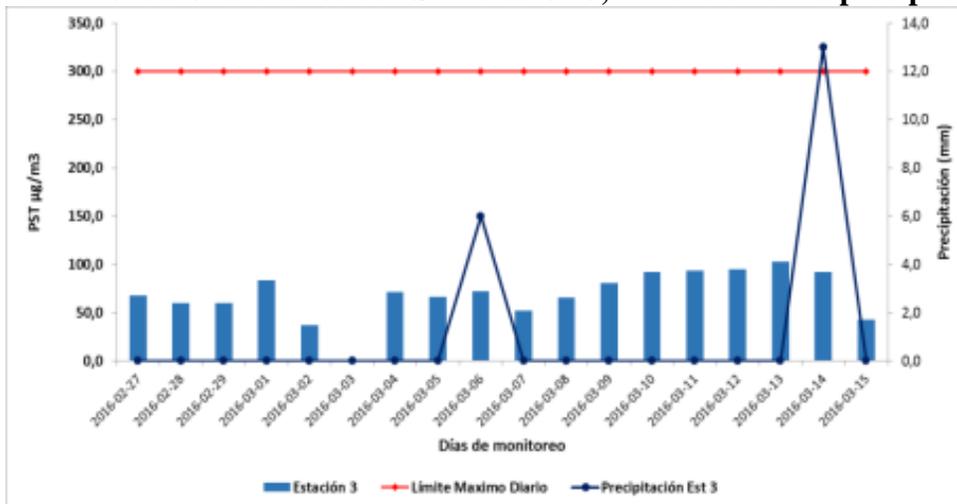
Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

Figura 5-247. Valores diarios de PST Estación 2, en función de la precipitación.



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-248. Valores diarios de PST Estación 3, en función de la precipitación.



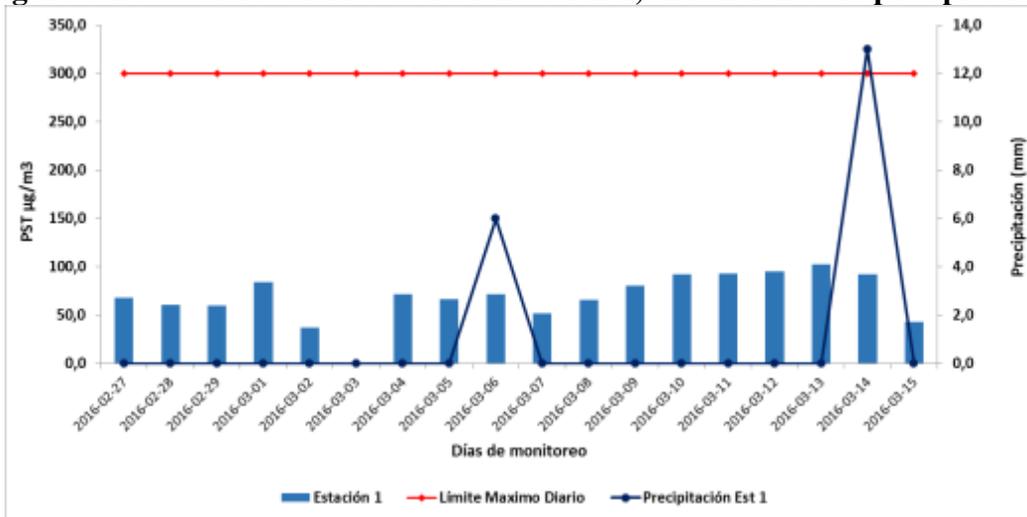
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

En las gráficas anteriores se observan los resultados diarios que se obtuvieron en cada una de las estaciones de muestreo del parámetro PST, y su comparación con la norma diaria, también se muestra en línea discontinua y con valoración en el eje secundario, las precipitaciones diarias presentadas en el tiempo de muestreo, esto servirá como herramienta de análisis de los resultados obtenidos.

De acuerdo con estas gráficas se puede observar que **ninguna** estación superó la norma para tiempos de exposición diaria de **300 µg/m³**, el valor más alto reportado fue de **175,5 µg/m³**, **41,5%** por debajo del límite normativo diario; esta concentración se presentó en la estación 1 el día 12 de marzo, se debe resaltar que cerca de esta estación en el momento del muestreo se encontraban realizando obras civiles como la construcción de un puente peatonal y de un andén.

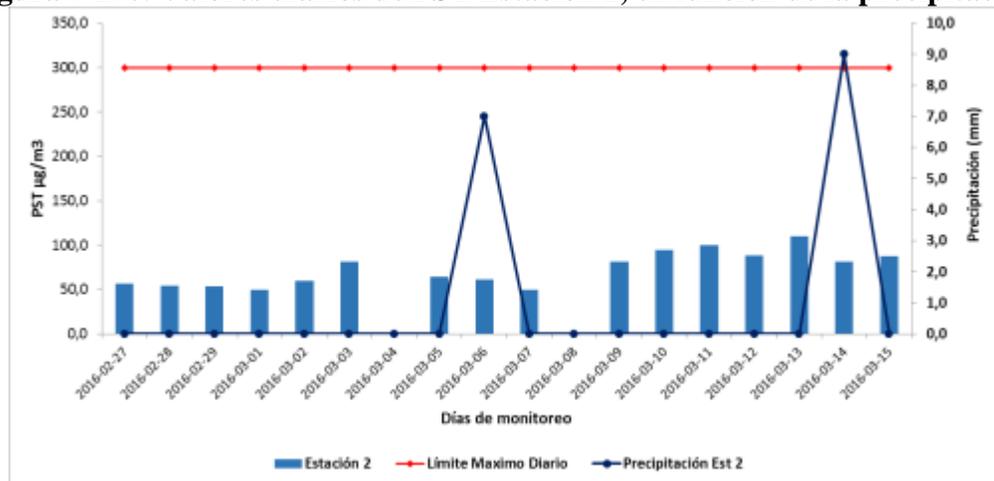
En las figuras que se presentan a continuación se observan las concentraciones diarias obtenidas en cada una de las estaciones de la unidad funcional 1 con respecto a material particulado. Se debe tener en cuenta que se invalida el día 03 de marzo en la estación 1 debido a fallas en el motor del equipo PST, así mismo la muestra de los días 4 y 8 de marzo por fallas en la caja eléctrica y en el motor de los equipos PST.

Figura 5-249. Valores diarios de PST Estación 1, en función de la precipitación.



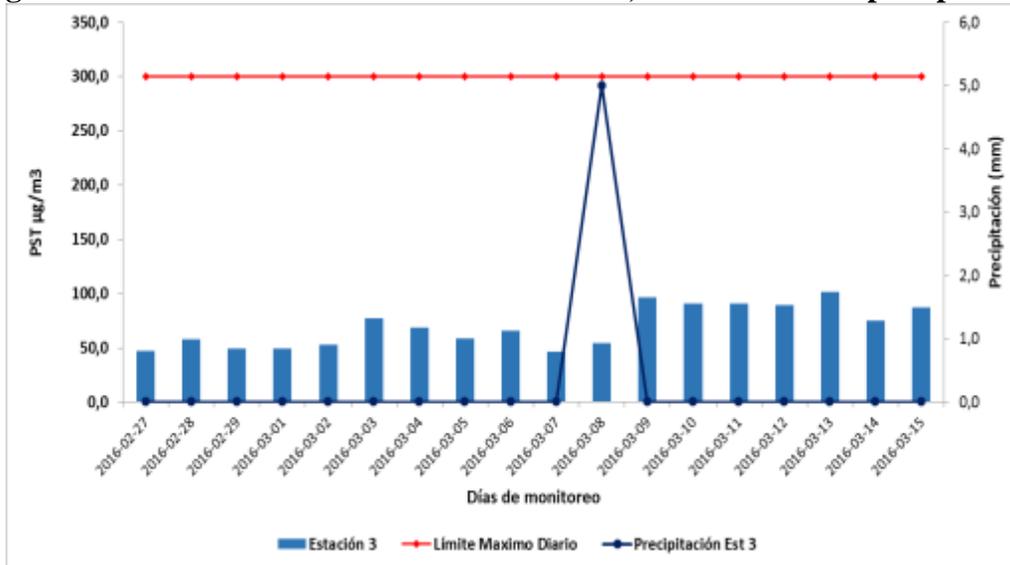
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-250. Valores diarios de PST Estación 2, en función de la precipitación.



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-251. Valores diarios de PST Estación 3, en función de la precipitación.



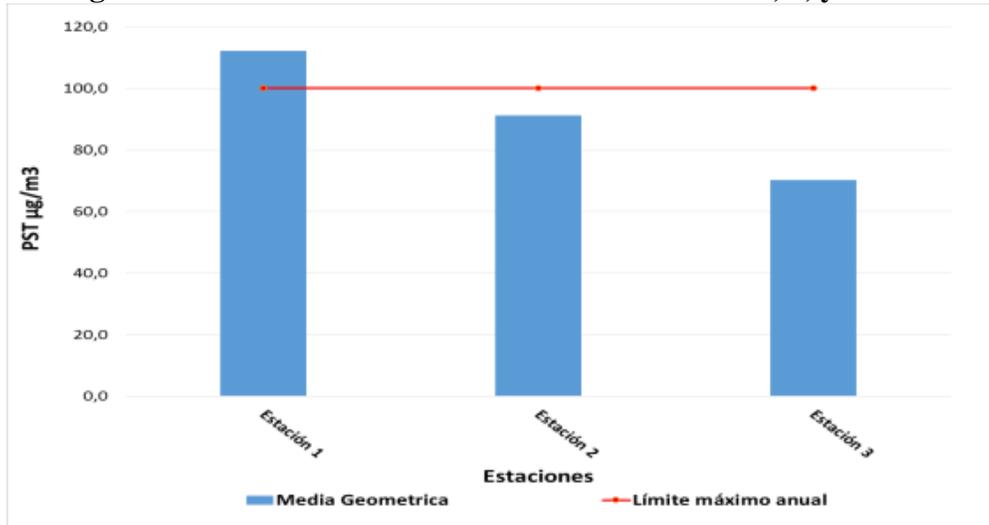
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

De acuerdo con estas gráficas se puede observar que **ninguna** estación superó la norma para tiempos de exposición diaria de **300 µg/m³**, el valor más alto reportado fue de **110,3 µg/m³**, **63,2%** por debajo del límite normativo diario' esta concentración se presentó en la estación 2 el día 13 de marzo, se debe resaltar que esta estación se encuentra ubicada cerca de unas vías en mal estado y con flujo vehicular frecuente.

Durante los 18 días de muestreo se registraron alrededor de 2 eventos de lluvia (mayores a 1 mm) en las estaciones 1 y 2, y 1 evento de lluvia en la estación 3, para cada estación fue instalado un pluviómetro que permitió la medición de la precipitación diaria en cada una de estas. Debido a que se presentaron pocas precipitaciones no es posible observar con claridad la incidencia de estas en las concentraciones.

A continuación se muestra la Figura 5-252 y la Figura 5-253 para la UF 3 y 1, respectivamente) donde ilustran los valores medios obtenidos para cada una de las estaciones ubicadas en cada uno de los puntos de muestreo y su comparación con la normatividad para tiempos de exposición anuales.

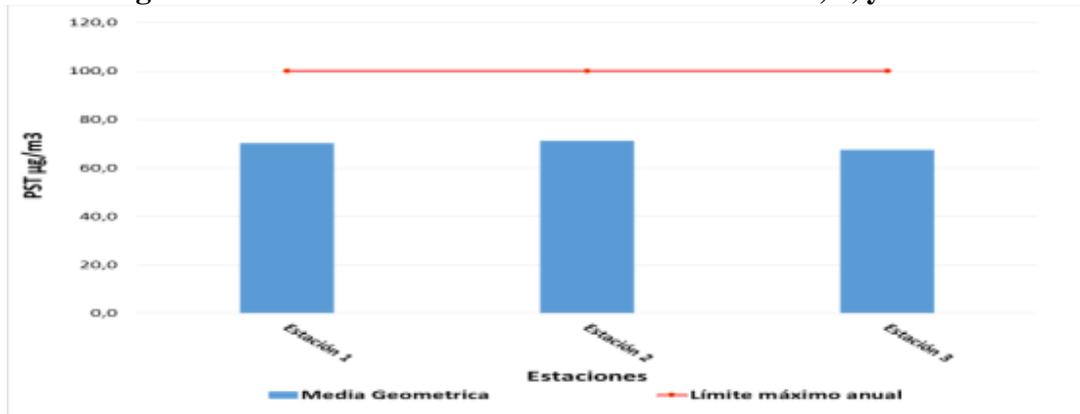
Figura 5-252. Valores medios de PST en estaciones 1, 2, y 3. UF 3



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

De acuerdo con los resultados anteriores se puede observar que solo la estación 1 se encuentra por encima del límite normativo anual de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un 12,1%, mientras que las estaciones 2 y 3 se encuentran por debajo del límite máximo anual, esta comparación se hace solo de manera indicativa. Es de resaltar que en las inmediaciones de la estación 1 se encontraban realizando obras civiles durante el periodo de muestreo. La metodología utilizada para este análisis se encuentra en el Anexo F1.

Figura 5-253. Valores medios de PST en estaciones 1, 2, y 3. UF 1



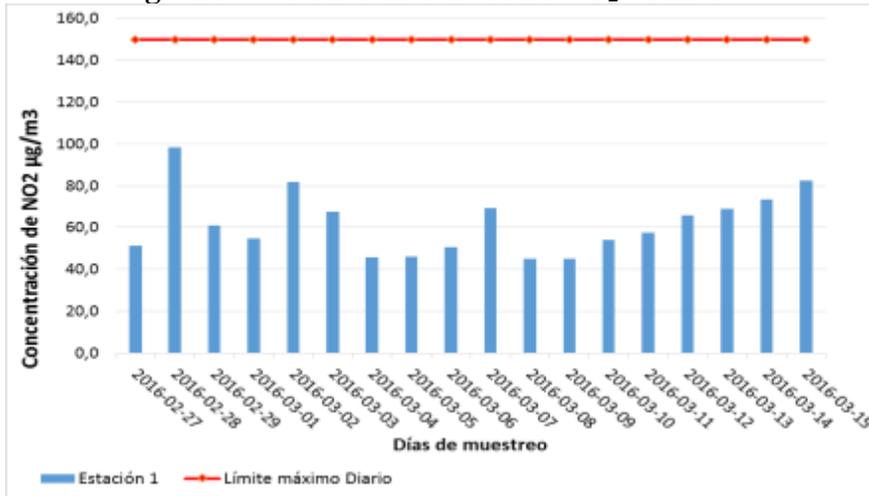
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

De acuerdo con los resultados anteriores se puede observar que ninguna estación se encuentra por encima del límite normativo anual de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo el valor medio más alto el reportado por la estación 2, Quebrada Miserenga con un promedio $71,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es de resaltar que la estación 2 se encuentra ubicada cerca de una vía en mal estado que conduce a las veredas aledañas.

✓ Dióxidos de Nitrógeno y Azufre

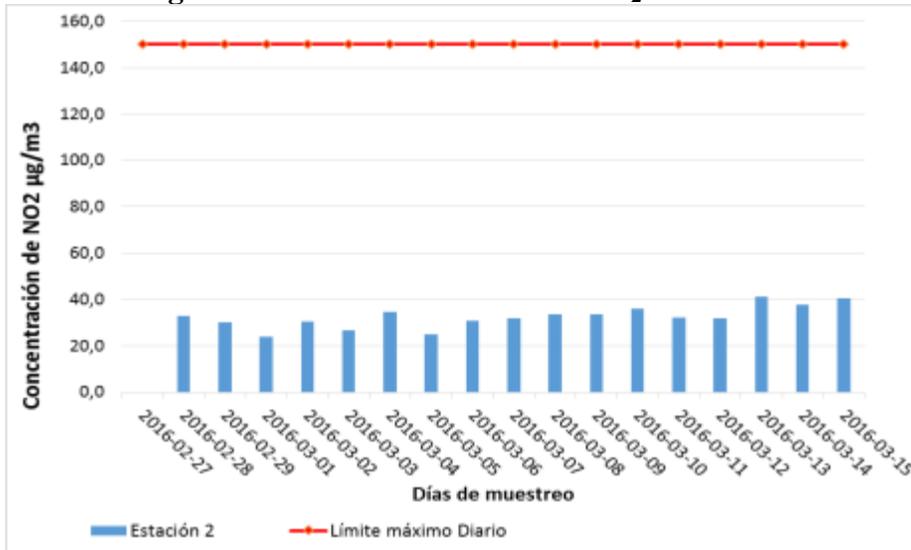
A continuación se muestra la Figura 5-254, Figura 5-255 y Figura 5-256 para NO₂ y la Figura 5-257, Figura 5-258 y Figura 5-259 para SO₂; las cuales describen el comportamiento de los resultados de los análisis durante los dieciocho (18) días de muestreo para el total de las estaciones en la unidad funcional 3.

Figura 5-254. Valores diarios de NO₂ Estación 1



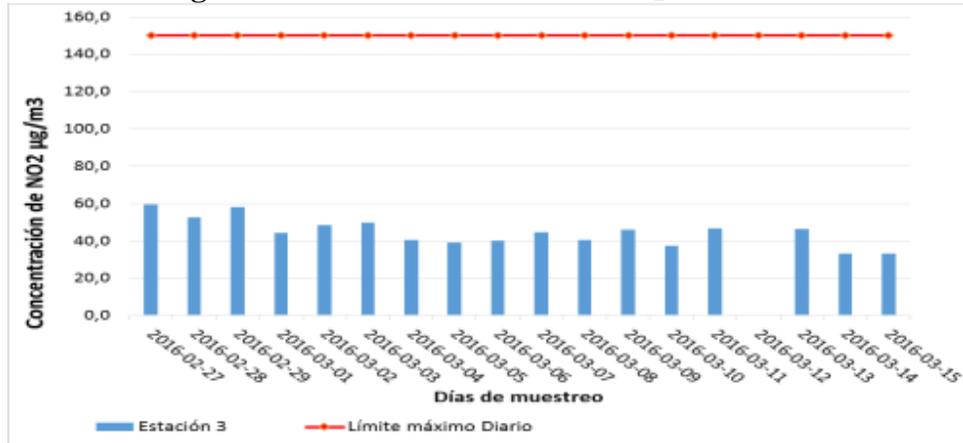
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-255. Valores diarios de NO₂ Estación 2



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-256. Valores diarios de NO₂ Estación 3



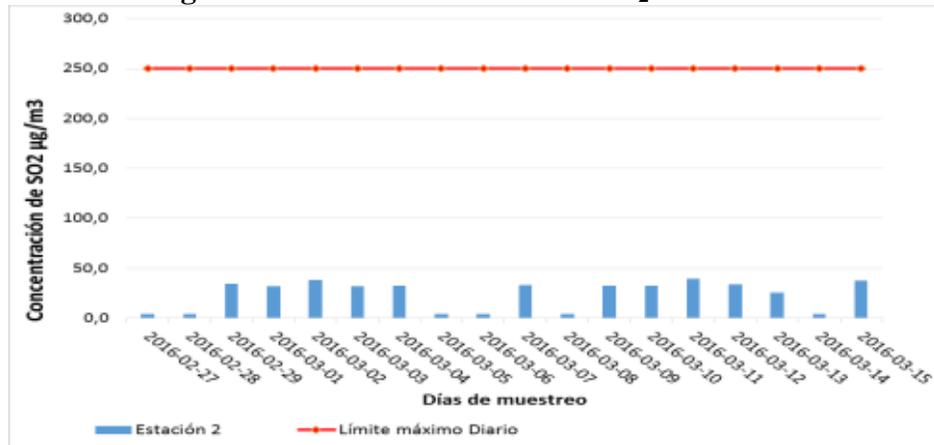
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-257. Valores diarios de SO₂ Estación 1



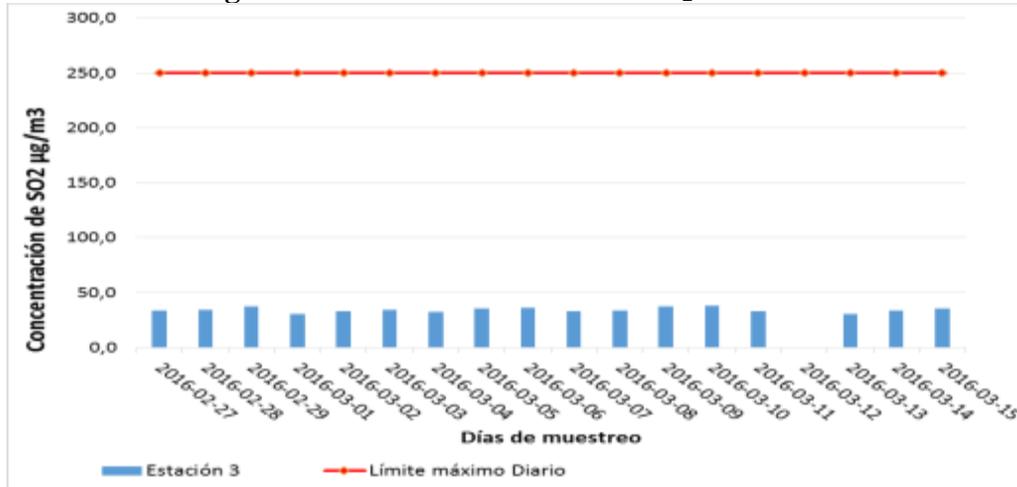
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-258. Valores diarios de SO₂ Estación 2



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-259. Valores diarios de SO₂ Estación 3



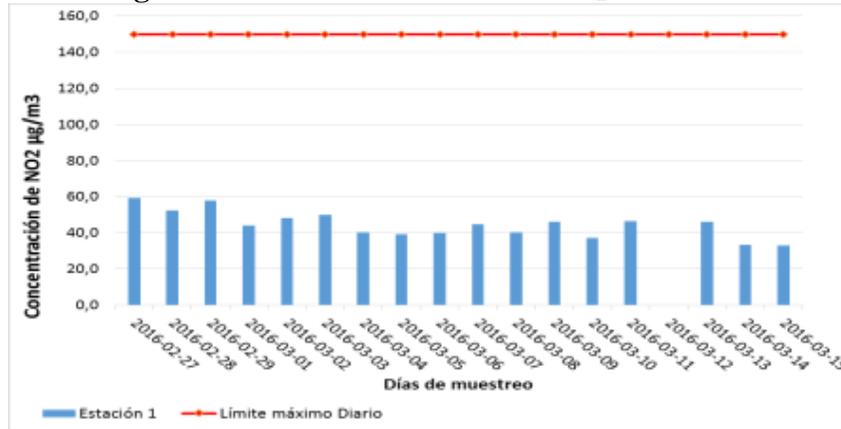
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Según las figuras anteriores se puede observar que las concentraciones de dióxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre se encuentran por debajo del límite normativo anual establecido por la Resolución 610 del 2010 del MAVDT para tiempos de exposición anuales para estos contaminantes, 100 y 80 µg/m³ respectivamente.

En el caso de NO₂ la estación que presenta el promedio más alto es la estación 1 con 62,2 µg/m³ 37,8% por debajo de la norma anual (100 µg/m³) por otro lado para SO₂ la estación que presenta el promedio más alto es la estación 3 con un valor de 34,4 µg/m³, 45,6% por debajo de la norma anual (80 µg/m³), comparación que se hace solo de manera indicativa. Se debe tener en cuenta que estos gases se atribuyen a la combustión en motores de los vehículos, motos y transporte pesado que circulan por la zona y que la principal fuente de emisión de las estaciones son el tráfico vehicular de las vías aledañas. La metodologías utilizada por CIMA se encuentran en el Anexo F1.

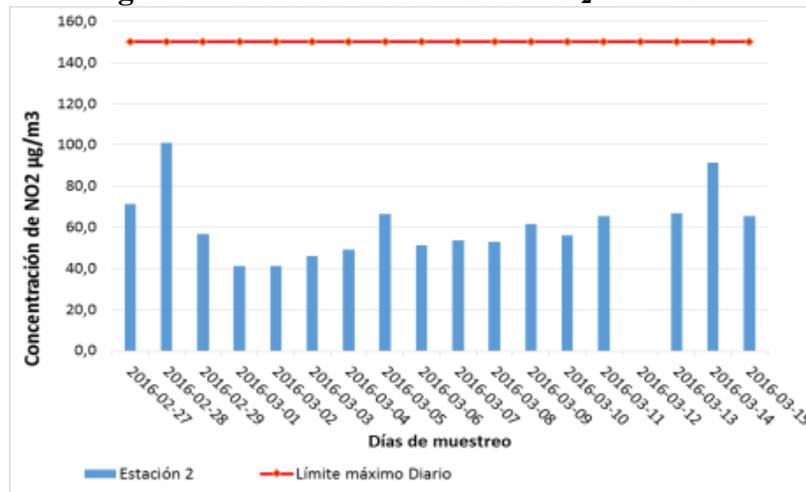
A continuación se muestra la Figura 5-260, Figura 5-261 y Figura 5-262 que muestran el comportamiento para NO₂ de la unidad funcional 1 y, la Figura 5-263, Figura 5-264 y Figura 5-265 para SO₂ para el total de las estaciones en la unidad funcional 1.

Figura 5-260. Valores diarios de NO₂ Estación 1



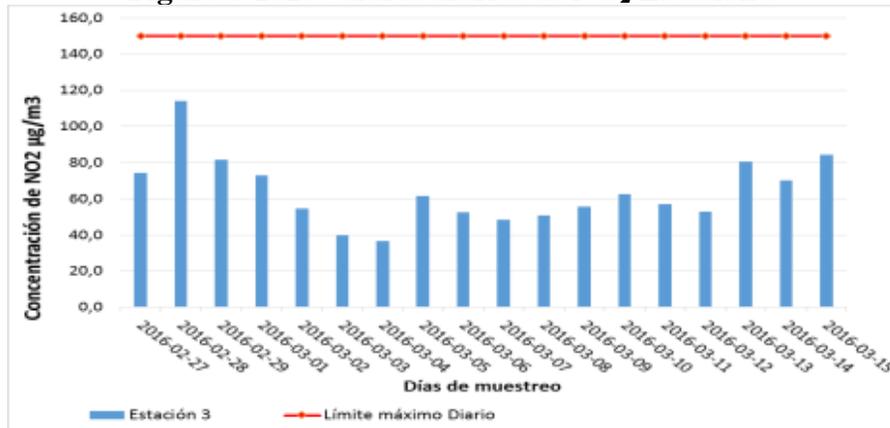
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-261. Valores diarios de NO₂ Estación 2



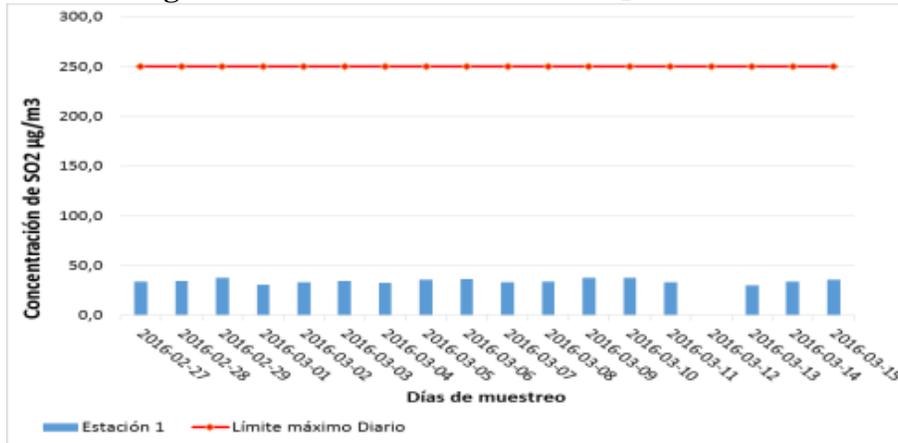
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-262. Valores diarios de NO₂ Estación 3



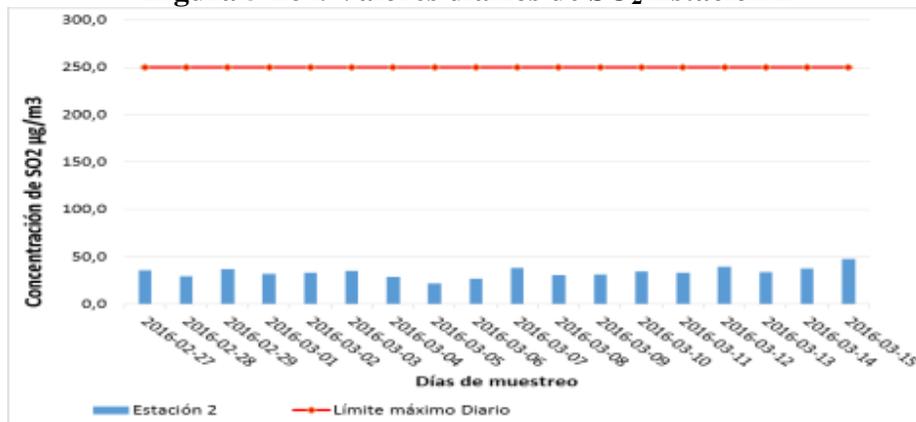
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-263. Valores diarios de SO₂ Estación 1



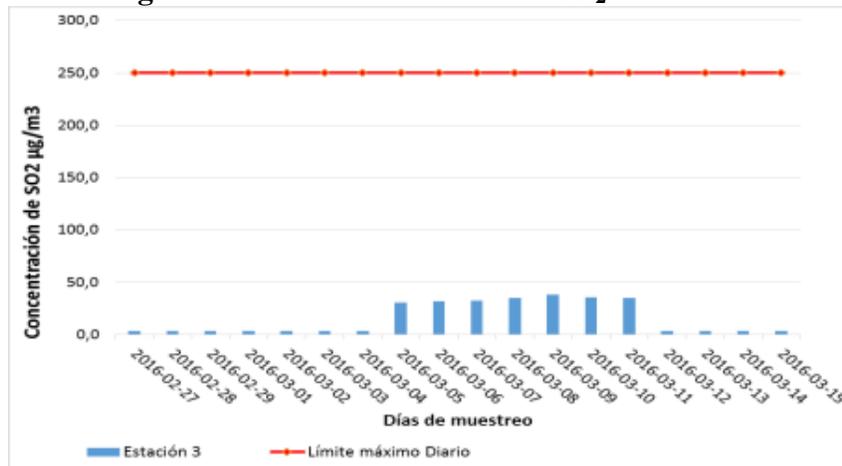
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-264. Valores diarios de SO₂ Estación 2



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-265. Valores diarios de SO₂ Estación 3



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Según las figuras anteriores se pueden observar que las concentraciones de dióxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre se encuentran por debajo del límite normativo anual establecido por la Resolución 610 del 2010 del MAVDT para tiempos de exposición anuales para estos contaminantes, 100 y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. En el caso de NO_2 la estación que presenta el promedio más alto es la estación 3 con 63,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 36,2% por debajo de la norma anual (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) por otro lado para SO_2 la estación que presenta el promedio más alto es la estación 1 con un valor de 34,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 57% por debajo de la norma anual (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), se debe tener en cuenta que estos gases se atribuyen a la combustión en motores de los vehículos, motos y transporte pesado que circulan por la zona y que la principal fuente de emisión de las estaciones son el tráfico vehicular de las vías aledañas. Como se ha venido indicando, esta comparación con la norma anual se presenta solo de forma indicativa. La metodología utilizada por CIMA se encuentran en el Anexo F1.

✓ Monóxido de Carbono

Las concentraciones de monóxido de carbono evaluado en las estaciones 1, 2, y 3 de la Unidad Funcional 3 y 1, en la totalidad de las estaciones el nivel de concentración de CO fue No Detectable por el equipo (ND), lo que equivale a concentraciones <1 ppm. Todas las concentraciones obtenidas de monóxido se encuentran por debajo del límite de 40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, establecido por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT para tiempos de exposición de 1 hora en el caso de CO. El reporte de laboratorio puede ser consultado en su totalidad en el informe presentado que se incluye en el Anexo E2

✓ Índices de Calidad de Aire (ICA) diario SO_2

A partir de las concentraciones medias de SO_2 , calculadas y siguiendo la metodología sugerida en Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire del Protocolo para el Muestreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010 Pág. 134), se calcularon los ICAs lo cuales se pueden observar en las tablas que se presenten a continuación donde se muestra el índice de calidad de aire acumulado o promedio de los 18 días de muestreo, esto se calculó a partir de la concentración promedio del muestreo. Este cálculo solo se determinó para dióxidos de azufre. Para el caso del dióxido de azufre el C_{pit} (Concentración medida del contaminante) es necesario determinarla en ppm.

Tabla 5-149. Índices de calidad del aire diarios estación 1

DÍA	ESTACIÓN 1																		Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
C_{pit}	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001		0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
BP_{hi}	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034		0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
BP_{lo}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
I_{hi}	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		50	50	50	50	50	50	50
I_{lo}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
ICA_{pjt}	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2	2,2	2,2		2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,2	2,2

Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

Tabla 5-150. Índices de calidad del aire diarios estación 2

ESTACIÓN 2																			
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Promedio
C _{pit}	0,002	0,002	0,013	0,012	0,015	0,012	0,012	0,002	0,001	0,013	0,001	0,012	0,012	0,015	0,013	0,010	0,002	0,014	0,009
BP _{hi}	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
BP _{lo}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I _{hi}	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
I _{lo}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ICA _{pjt}	2,4	2,4	19,3	18,0	21,5	17,8	18,2	2,3	2,2	18,6	2,1	18,2	18,3	22,0	19,0	14,5	2,3	21,1	13,3

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Tabla 5-151. Índices de calidad del aire diarios estación 3

ESTACIÓN 3																			
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Promedio
C _{pit}	0,013	0,013	0,014	0,012	0,013	0,013	0,012	0,014	0,014	0,013	0,013	0,014	0,014	0,013		0,012	0,013	0,014	0,013
BP _{hi}	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034		0,034	0,034	0,034	0,034
BP _{lo}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
I _{hi}	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		50	50	50	50
I _{lo}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
ICA _{pjt}	19,0	19,3	21,1	17,3	18,7	19,5	18,3	20,0	20,5	18,7	19,0	21,1	21,3	18,8		17,1	19,0	20,0	19,3

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Tabla 5-152. Índices de calidad de Aire acumulados en los puntos evaluados.

	Est 1	Est 2	Est 3
C_{pit}	0,002	0,009	0,013
BP_{hi}	0,034	0,034	0,034
BP_{lo}	0	0	0
I_{hi}	50	50	50
I_{lo}	0	0	0
ICA_{pjt}	2,2	13,3	19,3

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Este indicador permite establecer el estado de la calidad del aire de acuerdo al rango establecido para cada contaminante criterio, asociando rangos de valores a una tabla de colores. Valores ubicados en el rango **0-50 (Verde)** indican buena calidad del aire, valores entre **51 y 100 (Amarillo)** reflejan que la calidad del aire es moderada, valores entre 101 y 150 (Anaranjado) reflejan una calidad del aire dañina a la salud para grupos sensibles, valores entre 151 y 200 (Rojo) son reflejo de una calidad del aire dañina a la salud, valores entre 201 y 300 (Morado) representan una calidad del aire muy dañina a la salud y finalmente, valores entre 301 y 500 (Marrón) indican una calidad del aire peligrosa. (Tabla 5-153; Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Tabla 5-153. Rangos en los que han sido clasificados los valores del ICA de acuerdo con el color asignado para facilitar su interpretación

Rangos ICA	Colores
0 < ICA ≤ 50	Verde
51 ≤ ICA ≤ 100	Amarillo
101 ≤ ICA ≤ 150	Anaranja
151 ≤ ICA ≤ 200	Rojo

201 □□ ICA □□ 300	Morado
301 □□ ICA □□ 500	Marrón (usualmente no es necesario mostrarlo)

Fuente: PROTOCOLO PARA EL MUESTREO Y SEGUIMIENTO DE LACALIDAD DEL AIRE – MAVDT

Es así como se determina que en la zona de estudio de la UF 3 la calidad del aire tiene un índice “BUENO” Según el parámetro Dióxido de Azufre ya que en las tres estaciones para todos los días de muestreo se reportaron valores ICA por debajo de 50.

Así mismo y con la misma metodología se calcularon los ICAs los cuales se muestran en las tablas presentadas a continuación para la Unidad Funcional 1. En Tabla 5-157 se muestra el índice de calidad de aire acumulado o promedio de los 18 días de muestreo, esto se calculó a partir de la concentración promedio del muestreo.

Tabla 5-154. Índices de calidad del aire diarios estación 1

ESTACIÓN 1																			
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Promedio
Cpit	0,0129	0,0132	0,0143	0,0117	0,0127	0,0133	0,0124	0,0136	0,0140	0,0127	0,0129	0,0144	0,0145	0,0128		0,0116	0,0129	0,0136	0,0131
BP hi	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034		0,034	0,034	0,034	0,034
BP lo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
I hi	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		50	50	50	50
I lo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
ICA pjt	18,97	19,35	21,08	17,25	18,71	19,49	18,25	20,01	20,55	18,74	19,03	21,10	21,29	18,78		17,10	18,99	20,02	19,34

Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

Tabla 5-155. Índices de calidad del aire diarios estación 2

ESTACIÓN 2																			
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Promedio
Cpit	0,0137	0,0112	0,0142	0,0121	0,0126	0,0134	0,0109	0,0084	0,0103	0,0145	0,0117	0,0120	0,0131	0,0127	0,0150	0,0128	0,0143	0,0181	0,0128
BP hi	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
BP lo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I hi	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
I lo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ICA pjt	20,19	16,45	20,83	17,74	18,55	19,69	16,04	12,37	15,08	21,30	17,18	17,71	19,23	18,64	22,06	18,84	21,06	26,61	18,86

Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

Tabla 5-156. Índices de calidad del aire diarios estación 3

ESTACIÓN 3																			
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Promedio
Cpit	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0117	0,0123	0,0124	0,0134	0,0145	0,0136	0,0134	0,0013	0,0014	0,0013	0,0014	0,0059
BP hi	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
BP lo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I hi	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
I lo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ICA pjt	2,08	2,13	2,04	2,00	2,05	2,06	1,99	17,15	18,02	18,24	19,75	21,37	20,01	19,71	1,93	1,99	1,95	2,02	8,69

Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

Tabla 5-157. Índices de calidad de Aire acumulados en los puntos evaluados.

	Est 1	Est 2	Est 3
Cpit	0,0131	0,0128	0,0059
BP hi	0,034	0,034	0,034
BP lo	0	0	0
I hi	50	50	50
I lo	0	0	0
ICA pjt	19,34	18,86	8,69

Fuente. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016)

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

De acuerdo las tablas anteriores se determina que en la zona de estudio la calidad del aire tiene un índice “BUENO” Según el parámetro Dióxido de Azufre ya que en las tres estaciones para todos los días de muestreo se reportaron valores ICA por debajo de 50 para la unidad funcional 1.

Finalmente se puede concluir a partir de todo el análisis de monitoreo de calidad de aire que para la Unidad Funcional 3 y 1 durante los 18 días de muestreo en la zona estudiada, se estuvo muy por debajo de los estados excepcionales definidos en la norma de referencia, por tanto no es necesario considerar declarar ningún nivel de prevención, alerta o emergencia.

5.1.10.5 Ruido

La contaminación generada por ruido se refiere a cualquier emisión de sonido que afecte adversamente la salud o seguridad de los seres humanos, la propiedad o el disfrute de la misma. Así mismo se tiene en cuenta que el sonido es la sensación auditiva excitada por una perturbación física en un medio, con características medibles que tienen importancia para el análisis de la audición, dentro de las más importantes se destacan la frecuencia y la intensidad, que puede producir efectos adversos sobre la salud e interferir con la comunicación, el desempeño laboral y el descanso; se pueden identificar tres tipos de ruido:

Continuo o estable: Es aquel que no presenta oscilaciones de intensidad rápidas y repentinas mayores de dos (2) decibeles.

Intermitente: Presenta oscilaciones del nivel de presión sonora de más de dos (2) decibeles, continuas y sin periodos de estabilidad.

Impacto: Presenta fluctuaciones bruscas del nivel de presión sonora, con intervalos mayores de un (1) segundo entre una y otra.

Con el fin de dar cumplimiento a lo establecido en la resolución 751 de 2015 relacionado con el elemento ambiental de ruido, se realizó un inventario de las fuentes generadoras de Ruido y se programó una campaña de monitoreo de calidad de presión sonora en las zonas que se consideraron de interés.

5.1.10.5.1 Identificación de Fuentes Generadoras de Ruido

Como se mencionó anteriormente la emisión de ruido hace referencia a la presión sonora que generada en cualquier condición, trasciende al medio ambiente o al espacio público (Resolución 627 de 2006). De acuerdo a esto se realizó la identificación de las fuentes de generación de ruido existentes tanto naturales como artificiales en la zona de estudio, ya que el ruido puede ocasionar efectos adversos sobre la salud, el desempeño laboral y el descanso de la población afectada.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.1		

Durante el mes de febrero del 2016, se realizó la identificación de fuentes que estuvieran generando ruido en el área de influencia de las unidades funcionales 3 y 1 Túnel de Occidente y San Jerónimo. A continuación se presenta la identificación, descripción de cada tipo de fuente de contaminación identificada.

5.1.10.5.1.1 Descripción de fuentes generadoras de ruido

Centros Poblados: son fuente de emisión de ruido, por las diferentes actividades diarias que se concentran en la zona, en el área de influencia del proyecto, se encontraron, restaurantes, lugares recreativos y de turismo y pequeñas construcciones como remodelación de fincas en los cuales permanecen personas, equipos, maquinaria y demás, lo cual provoca variación en los niveles de presión sonora.

Fotografía 5-144. Lugares turísticos y de recreación



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

Fotografía 5-145. Restaurantes y estacionamiento de vehículos sobre la vía



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</p>	

Fotografía 5-146. Construcción de viviendas



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

- **Tránsito vehicular:** se considera la movilización permanente de vehículos particulares, transporte público, vehículos de carga pesada y motocicletas sobre la vía existente en el área de estudio, generando cambios en los niveles de presión sonora, aumentando estos los fines de semana debido a la gran población que se traslada de Medellín a San Jerónimo.

Fotografía 5-147. Tránsito de vehículos



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

Fotografía 5-148. Tránsito de vehículos particulares y de carga pesada.



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

- **Ubicación de los asentamientos Poblacionales, Viviendas y la Infraestructura Social**

Los asentamiento poblacionales que se ubican en toda la zona del estudio para la construcción de la segunda calzada entre el túnel de Occidente - San Jerónimo unidad funcional 1 y 3 del proyecto autopista al mar 1. (Tabla 5-158)

Tabla 5-158. Asentamientos identificados

Municipio	Unidad territorial	Tipo de asentamiento
Medellín	La Aldea	Nucleado
	La Cuchilla	Nucleado
	La Frisola	Disperso
	La Palma	Nucleado
	La Sucia	Disperso
	La Volcana - Guayabal	Disperso
	Naranjal	Disperso
	Palmitas	Nucleado
	Potrero - Miserango	Disperso
San Jerónimo	Urquita	Disperso
	Berial	Nucleado
	El Calvario	Nucleado
	Llano San Juan	Disperso
	Loma Hermosa	Disperso
	Mestizal	Disperso
	Pesquinal	Disperso
	Piedra Negra	Nucleado
Quimbayo	Nucleado	

Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

5.1.10.5.2 Monitoreo de Generación de Ruido

Con el fin de dar cumplimiento a lo establecido en la Guía Ambiental para proyectos de infraestructura – Subsector vial, entre los días 25 de febrero y el 16 de marzo de 2016, en horario diurno y nocturno se llevó a cabo el monitoreo de ruido ambiental en el área circundante al proyecto de la construcción de la segunda calzada; específicamente en la unidad funcional 1 y 3 – comprendido en desde el túnel de Occidente y San Jerónimo. Para la unidad funcional 3 se tomaron tres puntos de monitoreo y para la unidad funcional 1 se tomaron 5 puntos.

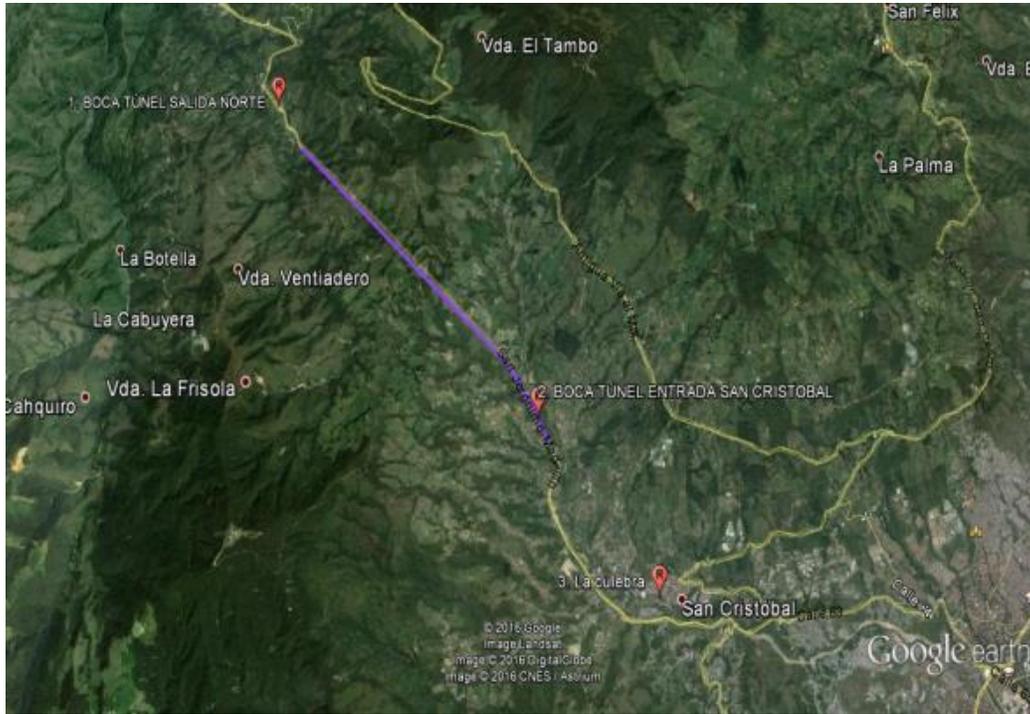
El monitoreo de ruido se realizó siguiendo el procedimiento estipulado en los Capítulos II y III del Anexo 3 de la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, los cuales corresponden a las normas ANSI S1. Esta actividad fue desarrollada por el laboratorio Corporación Integral del Medio Ambiente -CIMA el cual cuenta con acreditación del IDEAM vigente para el desarrollo de esta actividad. A continuación se presentan los aspectos más relevantes del informe presentado por el laboratorio, el cual se incluye en el Anexo F2_Ruido del presente documento. A continuación en la Tabla 5-159 se observa la localización de los puntos de monitoreo para la dos unidades funcionales, así mismo en la Figura 5-266 y Figura 5-267 se muestran la localización espacialmente.

Tabla 5-159 Puntos de medición de ruido ambiental

Punto	Nombre	Coordenadas Geográficas		Unidad Funcional
		Este	Norte	
1	Boca Túnel Salida norte	1153445,9	1191822,0	3
2	Boca túnel entrada San Cristóbal	1157707,5	1188071,1	3
3	La Culebra	1159527,1	1186160,8	3
1	San Jerónimo	1149310,6	1204362,4	1
2	Los Arrayanes	1149121,3	1200959,7	1
3	Cruce vía (Quebrada Miserenga)	1151705,6	1195630,1	1
4	La Aldea	1152236,1	1193332,4	1
5	Boca túnel salida norte	1153445,9	1191822,0	1

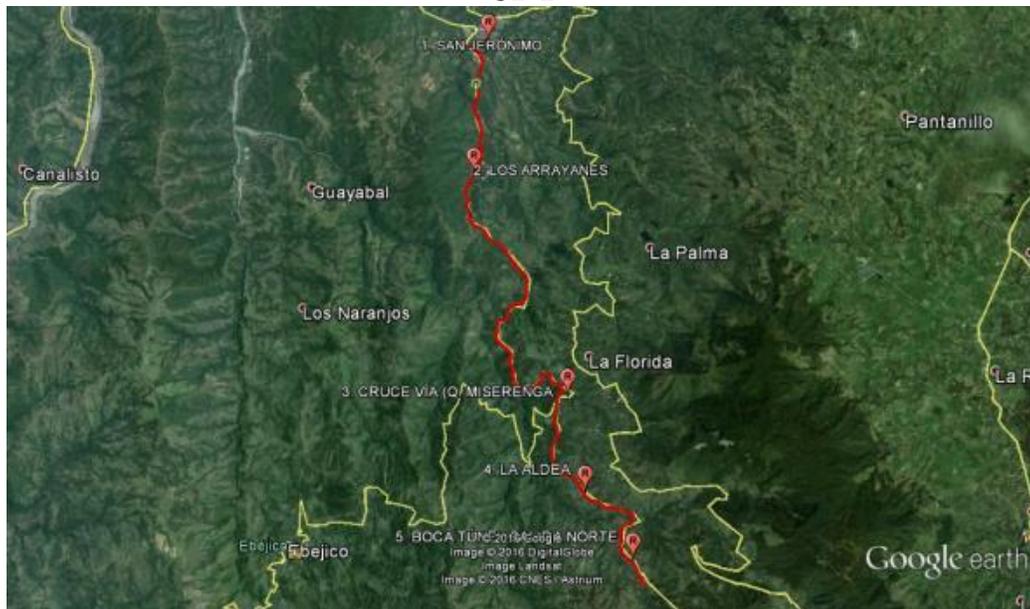
Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Figura 5-266. Localización cartográfica de los puntos de medición de ruido ambiental UF 3



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016). Modificado de Google Earth

Figura 5-267 Localización cartográfica de los puntos de medición de ruido ambiental UF 1



Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016), Modificado de Google Earth

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Para el estudio de ruido ambiental, se realiza una calibración acústica del micrófono del sonómetro y luego se ubica el micrófono a una altura de 4,00 m, las mediciones se toman empleando la escala de ponderación A (dBA) y en respuesta lenta (slow). Cada medición, debe constar de cinco mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales, cada una de las cuales debe tener una posición orientada del micrófono, norte, sur, este, oeste y vertical.

En total se evaluaron para el estudio en horarios diurno y nocturno y en jornada hábil y no hábil, el total de puntos de ruido ambiental, los aspectos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del monitoreo (Tabla 5-160).

Tabla 5-160. Datos generales de la medición

PARÁMETROS DEL ESTUDIO	
# Loc Quest	El número de archivo en la memoria del sonómetro QUEST
L1 (Leq),dBA	Nivel continuo equivalente de ruido en el periodo de medición (resultado de la medición)
Lmax, dBA	Máximo nivel puntual de ruido encontrado dentro del periodo de medición.
Lmin. dBA	Mínimo nivel puntual de ruido encontrado dentro del periodo de medición.
L10.dBA	Nivel Sonoro que se sobrepasa durante el 10% del tiempo de medición.
L90.dBA	Nivel Sonoro que se sobrepasa durante el 90% del tiempo de medición.
Horarios	Las lecturas diurnas se realizaron entre las 7:01 y las 21:00, y las nocturnas entre las 21:01 y las 7:00, cumpliendo así con los horarios establecidos en la normatividad.

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Los equipos utilizados para la medición de emisión de ruido ambiental corresponden a sonómetros Marca QUEST Sound PRO (Tabla 5-161), para la calibración de los equipos se emplearon calibradores acústicos marca Quest QC; ambos equipos cuentan con los certificados de calibración vigente al momento de desarrollar las mediciones.

Tabla 5-161. Equipos utilizados para la medición

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EQUIPO		
Sonómetro Quest SOUNDPRO SE-DL / BLI050009 RU_016_EM		
	Clase	Tipo 1.
	Precisión	± 1dBA
	Sensibilidad	Sensibilidad de micrófono independiente de la frecuencia.
	Funciones	Lectura en tiempo real con analizador frecuencias en tercios de octava.
	Características Generales	Filtros de ponderación de frecuencia A, B, C y Z. Modos de respuesta rápida, lenta, impulsos y picos. Determinación del nivel equivalente, máximo y mínimo. Provisto con cable de extensión de micrófono.
	Normatividad	Cumple norma IEC 61672-1:2002
	Certificados	Certificado de calibración vigente adjunto en el <i>Anexo I</i>

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

	Calibrador acústico Quest QC-20 QOI040026	
	Nivel de calibración	94 dB y 114 dB.
	Normatividad	Cumple norma IEC 60942:2003.
	Certificados	Certificado de calibración vigente, adjunto en el <i>Anexo I</i>
	SOFTWARE	
	Referencia	QuestSuite® <i>Professional II</i>
	Versión	4.2.2296
	Características	Descarga datos de los estudios realizados por el sonómetro
	Trípode	
	Características Generales	Ajustable a altura de cuatro (4) metros. Capacidad de giro de 360 grados. Desarmable. Orientación variable.

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

En el Anexo F2, se presenta el informe detallado de los resultados y los soportes correspondientes, entregados por CIMA.

Resultados

Los resultados del monitoreo se compararon con los valores de referencia tomados de la Resolución 627 de 2006 del actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (antes MAVDT), los cuales corresponden a los indicados en el Capítulo II, Tabla 2 de dicha resolución. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Para fines del presente estudio y de acuerdo con los usos del suelo actual en las zonas donde se ubicaron los puntos de monitoreo, se tuvieron en cuenta para el diagnóstico del ambiente por ruido los valores indicados son:

-Sector B Tranquilidad y Ruido Moderado, Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre (UF 1),

-Sector C. Ruido Intermedio Restringido, Subsector de 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. (UF 1 y 3)

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

-Sector C: Ruido Intermedio Restringido, Subsectores, 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 (UF 3). (Ver Tabla 5-162)

Tabla 5-162 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dBA

SECTOR	SUBSECTOR	ESTÁNDARES MÁXIMOS PERMISIBLES DE NIVELES DE			
		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		
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.				
Sector C. Ruído Intermedio Restringido.	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.	75	70		
	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.				
	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, 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. (CIMA. Corporación Integral del Medio Ambiente, 2016), por Resolución 627 del 07 de Abril de 2006, Emitida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Datos meteorológicos

Las características meteorológicas y climatológicas presentadas en la Tabla 5-163 para día

	<p align="center">CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p>	
	<p align="center">ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p align="center">VERSIÓN 0.1</p>	

hábil y en la Tabla 5-164 para día no hábil influyen en las mediciones de ruido ambiental, entre las variables más significativas se encuentran la velocidad del viento y la precipitación, por esto para el presente estudio se muestra a continuación la variación de las variables meteorológicas más relevantes a partir de información medida durante el tiempo de monitoreo.

Tabla 5-163 Principales variables meteorológicas – Tiempo ejecución estudio, día hábil.

No. punto	Nombre	UF	Fecha	Hora	Velocidad del Viento	Temperatura	Humedad Relativa	Fecha	Hora	Velocidad del Viento	Temperatura	Humedad Relativa
1	Boca Túnel Salida Norte	3	11/03/2016	5:52:16 p. m.	0,8	28,5	46,9	11/03/2016	12:59:22 a. m.	1,2	22,5	65,3
2	Boca Túnel Entrada San Cristóbal	3	16/03/2016	10:28:01 a. m.	1,5	27,8	65,4	11/03/2016	12:27:50 a. m.	1,5	27,1	71,2
3	La Culebra	3	16/03/2016	1:06:57 p. m.	1,3	27,2	65,1	10/03/2016	11:58:00 p. m.	1,1	23,6	68,5
1	San Jerónimo	1	25/02/2016	8:45:37 a. m.	0,1	29,5	65,2	11/03/2016	2:44:38 a. m.	1,1	25,2	72,5
2	Los Arrayanes	1	11/03/2016	6:27:16 p. m.	1,2	29	52,7	11/03/2016	2:18:33 a. m.	1,3	24,7	71,7
3	Cruce Vía (Quebrada Miserenga)	1	11/03/2016	5:03:26 p. m.	1,7	32,8	48,9	11/03/2016	1:47:18 a. m.	1,2	20,2	80,9
4	La Aldea	1	11/03/2016	5:27:34 p. m.	1,4	30,7	47,4	11/03/2016	1:22:35 a. m.	1,1	22,2	73,8
5	Boca Túnel Salida Norte	1	11/03/2016	5:52:16 p. m.	0,8	28,5	46,9	11/03/2016	12:59:22 a. m.	1,2	22,5	65,3

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Tabla 5-164 Principales variables meteorológicas – Tiempo ejecución estudio, día no hábil.

No. punto	Nombre del punto	UF	Fecha	Hora	Velocidad del Viento	Temperatura	Humedad Relativa	Fecha	Hora	Velocidad del Viento	Temperatura	Humedad Relativa
1	Boca Túnel Salida Norte	3	28/02/2016	8:47:04 a. m.	0,8	27,2	56,2	28/02/2016	4:21:50 a. m.	0,1	23,3	64,9
2	Boca Túnel Entrada San Cristóbal	3	28/02/2016	8:16:25 a. m.	1,5	25,2	58,2	28/02/2016	5:21:29 a. m.	0,1	23	64,5
3	La Culebra	3	28/02/2016	7:26:15 a. m.	0,2	24,6	60,3	28/02/2016	6:20:38 a. m.	0,1	26,1	53,5
1	San Jerónimo	1	28/02/2016	10:19:45 a. m.	0,3	33,1	42,9	28/02/2016	2:40:57 a. m.	0,2	31,2	52,8
2	Los Arrayanes	1	28/02/2016	9:55:51 a. m.	0,8	30,3	55,3	28/02/2016	3:07:26 a. m.	0,3	31,4	31,7
3	Cruce Vía (Quebrada Miserenga)	1	28/02/2016	9:28:50 a. m.	2,3	27,1	58,4	28/02/2016	3:36:17 a. m.	0,4	24,7	65,3
4	La Aldea	1	28/02/2016	9:07:39 a. m.	0,3	25,8	61,7	28/02/2016	3:58:07 a. m.	0,2	25,1	62,1
5	Boca Túnel Salida Norte	1	28/02/2016	8:47:04 a. m.	0,8	27,2	56,2	28/02/2016	4:21:50 a. m.	0,1	23,3	64,9

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

A continuación se presenta una descripción puntual de las condiciones generales de cada uno de los puntos donde se realizó la toma de muestra Tabla 5-165 y posteriormente se analizaran cada una de las variables.

Tabla 5-165 Descripción de puntos de monitoreo

No	NOMBRE DEL PUNTO	UF	REGISTRO FOTOGRAFICO	DIA HABIL				DIA NO HABIL			
				DIURNO		NOCTURNO		DIURNO		NOCTURNO	
				FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS		FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS		FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS		FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS	
				Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente	Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente	Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente	Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente
1	Boca Túnel Salida Norte	3		Paso de vehículos, motos y de volquetas	Antropogénica	Paso de Vehículos	Antropogénica	Paso de vehículos, motos y tracto camiones	Antropogénica	Paso de tracto camión y paso ocasional de vehículos	Antropogénica
2	Boca Túnel Entrada San Cristóbal	3		Tránsito de Vehículos de Carga pesada con mucha frecuencia	Antropogénica	Paso de Vehículos	Antropogénica	Tráfico detenido, ruido de motos que pueden circular	Antropogénica	paso de bus, volquetas, tracto camión y motos	Antropogénica
										Sonido proveniente de una quebrada cercana	Natural
3	La Culebra	3		Paso frecuente de Vehículos y de personas	Antropogénica	Paso de Vehículos, paso de personas	Antropogénica	Paso de Vehículos pequeños y de motos, sonido campana Iglesia	Antropogénica	Sonido de campanas de la iglesia y sonido proveniente del comercio de la zona	Antropogénica

No	NOMBRE DEL PUNTO	UF	REGISTRO FOTOGRAFICO	DIA HABIL				DIA NO HABIL			
				DIURNO		NOCTURNO		DIURNO		NOCTURNO	
				FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS		FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS		FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS		FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS	
				Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente	Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente	Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente	Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente
1	San Jerónimo	1		Sonido proveniente del comercio de la zona, Tráfico de vehículos	Antropogénica	Paso de motos, sonido producido por la campana de la iglesia	Antropogénica	Paso regular de motos y automóviles	Antropogénica	Campana de iglesia, paso constante de motos	Antropogénica
2	Los Arrayanes	1		Paso de Vehículos Constante	Antropogénica	Paso de Vehículos pesados, Ruido constante de música proveniente de una finca aledaña	Antropogénica	Paso constante de vehículos livianos y motos	Antropogénica	Paso de motos, buses, música proveniente de una finca aledaña	Antropogénica
3	Cruce Vía (quebrada Miserenga)	1		Constante flujo de vehículos pesados y motos	Antropogénica	Paso de vehículos pesados	Antropogénica	Paso constante de vehículos livianos y motos	Antropogénica	Paso ocasional de vehículos, y tracto camiones	Antropogénica

No	NOMBRE DEL PUNTO	UF	REGISTRO FOTOGRAFICO	DIA HABIL				DIA NO HABIL			
				DIURNO		NOCTURNO		DIURNO		NOCTURNO	
				FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS		FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS		FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS		FUENTES DE EMISIÓN EXTERNAS	
				Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente	Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente	Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente	Fuente Identificada en campo	Tipo de fuente
										Ruido propio de la Q. Miserenga	Natural
4	La Aldea	1		Paso constante de Vehículos	Antropogénica	Paso de Vehículos pesados	Antropogénica	Paso constante de vehículos livianos y motos	Antropogénica	Paso Tracto camión, y paso ocasional de automóviles	Antropogénica
5	Boca Túnel Salida Norte	1		Paso de vehículos y motos constante, paso de volquetas	Antropogénica	Paso de Vehículos	Antropogénica	Paso constante de vehículos livianos, motos y tracto camiones	Antropogénica	Paso Tracto camión, y paso ocasional de automóviles	Antropogénica

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

El monitoreo de ruido ambiental en el área circundante al proyecto construcción de la segunda calzada entre el túnel de occidente y San Jerónimo, para la UF 1 se llevó a cabo entre los días 25 de febrero y 11 de marzo de 2016, día hábil y no hábil, en horario diurno y nocturno; así mismo para la UF 3 para los días 28 de febrero y 16 de marzo de 2016. Los resultados obtenidos en el monitoreo se presentan a continuación.

Ruido Ambiental Día Hábil

En la Figura 5-268 y Figura 5-269 se presentan los resultados en referencia al día hábil, horario diurno y nocturno respectivamente, para la unidad funcional 3. El detalle de las mediciones efectuadas se incluye en el Anexo F2, el cual contiene el informe presentado por el laboratorio.

Figura 5-268. Puntos de monitoreo corregidos en horario diurno hábil, Sector C. Ruido Intermedio Restringido, Zona Con Otros Usos Relacionados Como Vías - Sector C. Ruido Intermedio Restringido, Zona Con Uso permitidos comerciales (UF 3)

MONITOREO DIURNO						
Total de Puntos	2				Punto	Valor
Numero de Puntos Fuera de Norma	0				1	74,9
% de Puntos Fuera de Norma	0,0%				2	78,6
	Punto	L _{Aeq, d} dBA	L _{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto
	2	72,6	78,6	-1,8%	80,0	Boca Tunel Entrada San Cristobal
	1	74,9	74,9	-6,4%	80,0	Boca Tunel Salida Norte
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						
MONITOREO DIURNO						
Total de Puntos	1				Punto	Valor
Numero de Puntos Fuera de Norma	1				3	71,6
% de Puntos Fuera de Norma	100,0%				3	71,6
	Punto	L _{Aeq, d} dBA	L _{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto
	3	65,6	71,6	2,3%	70,0	La Culebra
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Se observa que los niveles corregidos de ruido ambiental diurno registrados en la zona de estudio, para aquellos puntos ubicados en un Sector de Ruido intermedio restringido en zonas con otros usos relacionados como vías principales, ninguno de los puntos supera el

valor límite permisible de nivel de ruido para esta zona (80 dBA), el punto de mayor nivel es el punto 2 con 78,6 dBA, siendo la principal fuente de ruido el flujo vehicular de la vía sobre la que se hicieron las mediciones (vía principal). Para el punto ubicado en el Sector de Ruido intermedio restringido en zonas con usos permitidos comerciales (3), reportando un nivel de presión sonora de 71,6 dBA, 1,6 dBA por encima del valor límite permisible de nivel de ruido para esta zona (70 dBA), las principales fuentes de ruido en este punto son el flujo vehicular. La metodología utilizada por el laboratorio se encuentra en el Anexo F2.

Figura 5-269 Puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno hábil, Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas otros usos relacionados como vías principales - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con usos permitidos comerciales

MONITOREO NOCTURNO						
Total de Puntos	2					
Numero de Puntos Fuera de Norma	0					
% de Puntos Fuera de Norma	0,0%					
Punto	L_{Aeq, d} dBA	L_{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto	
1	61,9	64,9	-7,3%	70,0	Boca Tunel Salida Norte	
2	61,1	64,1	-8,4%	70,0	Boca Tunel Entrada San Cristobal	
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						

MONITOREO NOCTURNO						
Total de Puntos	1					
Numero de Puntos Fuera de Norma	1					
% de Puntos Fuera de Norma	100,0%					
Punto	L_{Aeq, d} dBA	L_{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto	
3	55,0	58,0	5,5%	55,0	La Culebra	
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

En la figura anterior se ilustran los niveles de ruido ambiental nocturno registrados en la zona de estudio, (puntos 1 y 2), se observa que ninguno de los puntos supera el límite máximo permisible de nivel de ruido para esta zona (70 dBA), siendo el punto más alto, el punto 1 con un nivel de ruido de 64,9 dBA, la principal fuente de ruido es el tráfico vehicular de la ruta nacional. Además se ilustra el nivel de ruido ambiental nocturno registrado en la zona de estudio (punto 3), reportando un nivel de presión sonora de 58,0 dBA, 3,0 dBA por encima del límite máximo permisible de nivel de ruido para esta zona (55 dBA), las principales fuentes de ruido en este punto son el tráfico vehicular y el paso de personas. La metodología utilizada por el laboratorio se encuentra en el Anexo F2.

un nivel de presión sonora de 80,1 dBA, es decir 0,1 dBA por encima del límite, la principal fuente de ruido en este punto es el flujo vehicular de la vía principal sobre la que se hicieron las mediciones (Ruta Nacional 62).

Figura 5-271 Puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno hábil, Sector D. Zona Suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos relacionados como vías principales

MONITOREO NOCTURNO					
Total de Puntos	1				
Numero de Puntos Fuera de Norma	1				
% de Puntos Fuera de Norma	100,0%				
Punto	L_{Aeq, d} dBA	L_{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto
1	49,8	52,8	5,6%	50,0	San Jeronimo
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>					
MONITOREO NOCTURNO					
Total de Puntos	4				
Numero de Puntos Fuera de Norma	0				
% de Puntos Fuera de Norma	0,0%				
Punto	L_{Aeq, d} dBA	L_{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto
4	67,0	70,0	0,0%	70,0	La Aldea
3	64,8	67,8	-3,1%	70,0	Cruce Vía (Quebrada Miserenga)
5	61,9	64,9	-7,3%	70,0	Boca Tunel Salida Norte
2	61,3	64,3	-8,1%	70,0	Los Arrayanes
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>					

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Anteriormente se observa el nivel de ruido ambiental nocturno registrado en la zona de estudio, para el punto 1, reportando un nivel de presión sonora corregido de 52,8 dBA, 2,8 dBA por encima del límite máximo establecido en la norma (50 dBA). Las principales fuentes de ruido en este punto son el paso de vehículos y el sonido producido por la campana de la iglesia. Además los niveles de ruido ambiental nocturno registrados en la zona de estudio, para aquellos puntos ubicados en un Sector de Ruido intermedio restringido en zonas con otros usos relacionados como vías principales; ninguno de los puntos supera el límite máximo permisible de nivel de ruido para esta zona (70 dBA), siendo el punto más alto, el punto 4 con un nivel de ruido de 70,0 dBA, la principal fuente de ruido en este punto es el paso de vehículos por la vías principales.

Ruido Ambiental Día No Hábil

En la Figura 5-272 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los resultados en referencia al día no hábil en horario diurno y nocturno respectivamente para la unidad funcional 3.

Figura 5-272. Puntos de monitoreo corregidos en horario diurno No hábil, Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos relacionados como vías principales - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con usos permitidos comerciales.

MONITOREO DIURNO						
Total de Puntos	2				Punto	Valor
Numero de Puntos Fuera de Norma	0				Mínimo	Máximo
% de Puntos Fuera de Norma	0,0%				2	72,8
					1	77,6
Punto	L _{Aeq, d} dBA	L _{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto	
1	74,6	77,6	-3,0%	80,0	Boca Tunel Salida Norte	
2	72,8	72,8	-9,0%	80,0	Boca Tunel Entrada San Cristobal	
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						

MONITOREO DIURNO						
Total de Puntos	1				Punto	Valor
Numero de Puntos Fuera de Norma	0				Mínimo	Máximo
% de Puntos Fuera de Norma	0,0%				3	68,9
					3	68,9
Punto	L _{Aeq, d} dBA	L _{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto	
3	62,9	68,9	-1,6%	70,0	La Culebra	
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

En la gráfica se ilustran para aquellos puntos ubicados en un Sector de Ruido intermedio restringido en zonas con otros usos relacionados como vías principales, se puede ver que ninguno de los puntos supera el valor límite permisible de nivel de ruido para esta zona (80 dBA), el punto de mayor nivel de ruido es el punto 1 con 77,6 dBA, siendo la principal fuente de ruido el flujo vehicular de las vías principales sobre las que se hicieron las

mediciones. Además se muestra el punto 3 el cual el nivel de presión sonora reportado, 68,9 dBA, no supera el valor del límite permisible de nivel de ruido para esta zona (70 dBA), siendo las principales fuentes de ruido el tránsito vehicular y el sonido producido por las campanas de la iglesia.

Figura 5-273. Puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno no hábil, Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos relacionados como vías principales - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos permitidos comerciales.

MONITOREO NOCTURNO						
Total de Puntos	2					
Numero de Puntos Fuera de Norma	1					
% de Puntos Fuera de Norma	50,0%					
Punto	L _{Aeq, d} dBA	L _{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto	
2	68,8	71,8	2,6%	70,0	Boca Tunel Entrada San Cristobal	
1	63,4	63,4	-9,4%	70,0	Boca Tunel Salida Norte	
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						

MONITOREO NOCTURNO						
Total de Puntos	1					
Numero de Puntos Fuera de Norma	1					
% de Puntos Fuera de Norma	100,0%					
Punto	L _{Aeq, d} dBA	L _{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto	
3	60,6	66,6	21,1%	55,0	La Culebra	
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Se puede observar en la figura anterior que el punto 2 supera el límite máximo permisible de nivel de ruido para esta zona (70 dBA), con un nivel de presión sonora de 71,8 dBA, es decir 1,8 dBA por encima de la norma, siendo la principal fuente de ruido el flujo vehicular de la vía principal sobre la que se hicieron las mediciones. Por otro lado para el punto 3 ubicado en un Sector de Ruido intermedio restringido en zonas con usos permitidos comerciales, se puede observar también supera el límite máximo permisible de nivel de ruido para esta zona (55 dBA), con un nivel de presión sonora de 66,6 dBA, es decir 11,6 dBA por encima del límite, las principales fuentes de ruido en este punto son el tráfico

vehicular, el sonido producido por las campanas de la iglesia cercana y el comercio de la zona. El detalle de las mediciones efectuadas se incluye en el Anexo F2, el cual contiene el informe presentado por el laboratorio.

En la Figura 5-274; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 5-275 se presentan los resultados en referencia al día no hábil en horario diurno y nocturno respectivamente para la unidad funcional 1.

Figura 5-274. Puntos de monitoreo corregidos en horario diurno No hábil, Sector B. Zona de tranquilidad y ruido moderado - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos relacionados como vías principales

MONITOREO DIURNO						
Total de Puntos	1					
					Punto	Valor
Numero de Puntos Fuera de Norma	1				Mínimo	Máximo
					1	75,8
% de Puntos Fuera de Norma	100,0%				1	75,8
Punto	L_{Aeq, d} dBA	L_{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto	
1	75,8	75,8	16,6%	65,0	San Jeronimo	
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						
MONITOREO DIURNO						
Total de Puntos	4					
					Punto	Valor
Numero de Puntos Fuera de Norma	0				Mínimo	Máximo
					3	72,2
% de Puntos Fuera de Norma	0,0%				5	77,6
Punto	L_{Aeq, d} dBA	L_{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto	
5	74,6	77,6	-3,0%	80,0	Boca Tunel Salida Norte	
2	77,2	77,2	-3,5%	80,0	Los Arrayanes	
4	69,4	72,4	-9,5%	80,0	La Aldea	
3	72,2	72,2	-9,8%	80,0	Cruce Vía (Quebrada Miserenga)	
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>						

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Se observa en la zona de estudio para el punto 1, ubicado en una Zona de tranquilidad y ruido moderado, supera el límite máximo permisible para esta zona (65 dBA), con un nivel de ruido de 75,8 dBA, 10,8 dBA por encima del límite, la principal fuente de ruido en este punto es el tráfico vehicular lo cual hace que aumente considerablemente. También para aquellos puntos ubicados en un Sector de Ruido intermedio restringido en zonas con otros usos relacionados como vías principales, ninguno de los 4 puntos de monitoreo supera el

valor límite permisible de nivel de ruido para esta zona (80 dBA), el punto de mayor nivel de ruido es el punto 5 con un nivel de 77,6 dBA, siendo la principal fuente de ruido el flujo vehicular de las vías principales sobre las que se hicieron las mediciones.

Figura 5-275. Puntos de monitoreo corregidos en horario nocturno no hábil, Sector B. Zona de tranquilidad y ruido moderado - Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con otros usos relacionados como vías principales

MONITOREO NOCTURNO					
Total de Puntos	1				
Numero de Puntos Fuera de Norma	1				
% de Puntos Fuera de Norma	100,0%				
Punto	L_{Aeq, d} dBA	L_{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto
1	60,1	63,1	26,2%	50,0	San Jeronimo
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>					

MONITOREO NOCTURNO					
Total de Puntos	4				
Numero de Puntos Fuera de Norma	2				
% de Puntos Fuera de Norma	50,0%				
Punto	L_{Aeq, d} dBA	L_{RAeq, d} dBA	%T	Límite Normativo dBA	Descripción del punto
2	66,9	72,9	4,1%	70,0	Los Arrayanes
4	70,1	70,1	0,1%	70,0	La Aldea
3	64,2	64,2	-8,3%	70,0	Cruce Via (Quebrada Miserenga)
5	63,4	63,4	-9,4%	70,0	Boca Tunel Salida Norte
<i>T% Porcentaje de Transgresión de la normatividad, valores positivos indican sobrepaso del valor establecido</i>					

Fuente. (CIMA. Corporacion Integral del Medio Ambiente, 2016)

Finalmente en la figura anterior se ilustra el nivel de ruido ambiental nocturno registrado en la zona de estudio para el punto 1, ubicado en una Zona de tranquilidad y ruido moderado, reportando un nivel de presión sonora de 63,1 dBA, 13,1 dBA por encima del límite máximo establecido en la norma (50 dBA) se debe tener en cuenta que las principales fuentes de ruido en este punto son el paso constante de vehículos y el sonido producido por la campana de la iglesia. También para aquellos puntos ubicados en un Sector de Ruido intermedio restringido en zonas con otros usos relacionados, se puede observar que solo los puntos 2 y 4 superan el límite máximo permisible de nivel de ruido para esta zona (70 dBA), siendo el valor más alto el reportado por el punto 2 con un nivel de presión sonora de

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

72,9 dBA, las principales fuentes de ruido en este punto son el flujo vehicular de la vía principal sobre la que se hicieron las mediciones y la música proveniente de una finca aledaña. El detalle de las mediciones efectuadas se incluye en el Anexo F2, el cual contiene el informe presentado por el laboratorio.

5.1.11 Amenazas Naturales

En este capítulo se presenta la identificación y zonificación de las amenazas en el AI. Para este análisis se tuvieron en cuenta varias técnicas de zonificación que describen sus aspectos metodológicos, alcances y limitaciones.

5.1.11.1 Aspectos básicos a tener en cuenta en la zonificación de las amenazas naturales

El análisis efectuado para la zonificación de amenazas naturales tiene en cuenta el “Concepto Regional” adaptado de Krynine & Judd (1957)⁷⁵, el cual establece que las características de cierto proceso dentro de una región dada, dependen de las condiciones geológicas, topográficas y climáticas de la región.

De acuerdo con este concepto, los procesos dentro de una “provincia geomorfológica” deben tener características similares:

- El modo o génesis de la formación de rocas y suelos es aproximadamente el mismo.
- El patrón de drenaje y las formas del terreno son similares.
- El clima es casi idéntico.

Se esperaría entonces que procesos como avenidas torrenciales, inundaciones, licuación, procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa, los cuales son generados por lluvias y sismos (factores desencadenantes), ocurran en zonas con una susceptibilidad similar a cada proceso, la cual es definida por las condiciones propias del terreno.

Para la zonificación se tuvieron en cuenta tres principios básicos o fundamentales que se relacionan entre sí y que deben considerarse en este tipo de estudios, según Varnes (1984)⁷⁶:

- El presente y pasado son claves para el futuro: adaptado al principio de similitud geomorfológica establecido por Krinine & Judd (op cit.), el cual establece que el suceso de cualquier proceso natural en el futuro se relaciona directamente con las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas, que han llevado al desarrollo de procesos en el presente y en el pasado.

⁷⁵ Krynine & Judd (1957). Principles of Engineering Geology and Geotechnics. McGraw-Hill Book Company Inc., N.Y.

⁷⁶ Varnes, 1984. Landslide Hazard Zonation: A review of principles and practice. UNESCO, Paris. 1984.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Según García y Amórtegui (2009)⁷⁷, este principio no necesariamente señala que la ausencia de procesos en el presente y pasado sea un indicador de la no existencia de estos en el futuro. Más aún, la susceptibilidad a nuevos procesos puede incrementarse por actividades antrópicas que alteran las condiciones topográficas e hidrológicas naturales.

Es aplicable cuando las condiciones del pasado y del presente que produjeron los procesos son identificadas, y siguen ejerciendo una gran influencia o cuando pueden ser evaluados los efectos de los cambios por nuevas condiciones a las que se ha sometido el terreno. Esto conlleva al segundo principio.

- Identificación de las condiciones principales que causan los procesos. Las causas básicas para el desencadenamiento de los procesos por las amenazas en estudio pueden establecerse del análisis de varios casos de falla específicos. En un área dada, muchas de estas causas se reconocen y sus efectos pueden ser evaluados, al igual que relacionarse con los procesos naturales ocurridos en el pasado.

Para el análisis de amenazas naturales de este proyecto se contó con la participación de geólogos, geotecnistas, ingenieros ambientales y forestales, que verificaron los resultados obtenidos con la herramienta SIG con la información recopilada de los reconocimientos de campo, relacionada con las amenazas naturales evaluadas.

- Estimación de los grados de amenaza: cuando se identifican las condiciones y procesos que inducen la inestabilidad y la ocurrencia de eventos naturales amenazantes, a veces es posible estimar su contribución relativa y dar alguna medición cualitativa o semi-cuantitativa en cada sitio estudiado, logrando de esta manera definir el grado de amenaza, que dependerá del número de factores actuantes que inducen a fallamiento, su severidad y su interacción.

En general, el término “zonificación” se aplica a la división de la superficie del terreno dentro de áreas, franjas o sectores con grados de amenaza actual o potencial de procesos claramente definidos. En la actualidad, existe una gran cantidad de métodos de zonificación de amenazas naturales, en los que se establecen los factores más influyentes que intervienen en la susceptibilidad del terreno a algún evento natural. Dicha susceptibilidad se determina evaluando la interacción de las condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas e hidrológicas.

Lo más importante e imprescindible en la búsqueda de la zonificación de amenazas naturales es comprender los factores intrínsecos o propios que definen su susceptibilidad (condiciones del terreno) que se relaciona en especial con la litología y estructura, condiciones del agua subterránea y de cobertura vegetal. El grado de amenaza se determina

⁷⁷ García, Manuel y Amórtegui, José (2009). Taller de capacitación en ingeniería geotécnica de oleoductos. Documento elaborado para ECOPEPETROL, Oleoducto Caño Limón – Coveñas. Cúcuta, Colombia.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

al relacionar la susceptibilidad del terreno con factores desencadenantes (como lo son las condiciones climáticas y sísmicas, actividad antrópica, etc.), los cuales también son categorizados de acuerdo con su capacidad de daño o de afectación.

El procesamiento de los datos en esta etapa define el intervalo de los grados de amenaza, que puede ser desde una evaluación muy simple y subjetiva hasta una evaluación con procedimientos sofisticados, con bases de datos complejos que requieren el uso de computadores (adaptado de Varnes, op. cit.).

5.1.11.2 Técnicas utilizadas para la zonificación de amenazas naturales

Investigar la existencia de zonas susceptibles a amenazas naturales, supone que se reconoce la existencia de procesos naturales. La importancia de su zonificación puede relacionarse con evadir, mitigar, prevenir o corregir la amenaza presente y futura, y concretamente para el presente estudio, establecer la influencia de eventuales procesos naturales en el proyecto y viceversa. Su estudio con menor o mayor detalle depende entre otros factores de:

- El propósito, contenido y la escala del estudio
- El tipo de análisis que se desea realizar
- El tipo de datos de entrada que se recolectarán

El método de zonificación considerado en el presente estudio tiene en cuenta varias técnicas de recopilación y análisis de información descritos por Varnes (op. cit.) y Van Westeen (1998)⁷⁸. Estas técnicas son:

- Uso de Sensores Remotos: interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas de diferentes épocas.
- Estudios de Campo: tienen como finalidad corroborar y complementar los procesos antiguos, existentes y potenciales identificados mediante el uso de sensores remotos.
- Sistemas de Evaluación Numérica de la Amenaza: técnica que evalúa cuantitativamente la importancia de los factores intrínsecos y detonantes que contribuyen al surgimiento de las amenazas naturales analizadas (Varnes op. cit.).

La definición de factores a tener en cuenta en la evaluación numérica dependen de las condiciones propias del sitio en evaluación, y su factor de ponderación depende del orden de importancia de cada uno de ellos.

En la zonificación se estudió y analizó para cada una de las amenazas la interacción entre la topografía, geología, geomorfología, uso del suelo, entre otros (factores intrínsecos) y las

⁷⁸INGEOMINAS(1998). Introducción a los deslizamientos: Uso de los SIG en el mapeo de deslizamientos. Curso de Capacitación. Bogotá, Colombia.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

lluvias y sismos (factores detonantes).

- Superposición de Mapas e Integración Espacial de Información: Para el uso de esta técnica se obtuvo la información concerniente a topografía, geología, cobertura vegetal, usos del suelo, precipitación y amenaza sísmica; se definieron rangos y valores de ponderación para cada uno de los factores que influyen en la evaluación de la susceptibilidad del terreno y amenaza respecto a los eventos naturales.

La definición de las variables o factores considerados en cada una de las amenazas se establecieron de acuerdo con las guías metodológicas establecidas en Varnes (op. cit.), Van Westeen (op. cit.), INGEOMINAS et al. (2001)⁷⁹ y de acuerdo con la experiencia de los integrantes del grupo de evaluación de riesgos del proyecto, conformado por profesionales de diferentes ramas de la ingeniería y de las ciencias.

Según Van Westeen (op. cit.), la escala de análisis con el uso de esta técnica varía entre 1:2.000 y 1:25.000, y son utilizados para la prevención de desastres y la generación de mapas de riesgos, así como las fases de diseño de los trabajos de ingeniería.

- Análisis de Amenaza Convencionales: Para escalas mayores, en las que se requieren realizar trabajos de investigación y de ingeniería detallados de un sitio específico, se realizan este tipo de análisis, los cuales utilizan resultados obtenidos de forma cuantitativa de cada una de las variables relacionadas con el diseño.

Esta técnica tiene como limitante principal la cantidad de información que se debe allegar para realizar este tipo de análisis, lo cual para la escala del proyecto demandaría bastantes recursos humanos, técnicos y económicos que están por fuera del objeto principal y alcance del presente estudio.

De acuerdo con las características del proyecto, que cubre un área de influencia de 8.175 ha, para este estudio se estableció una escala de trabajo 1:25.000. Se dio especial importancia a la definición de Sistemas de Evaluación Numérica de la Amenaza y a la Superposición de Mapas e Integración Espacial de Información para la zonificación espacial de las diferentes amenazas naturales consideradas en la definición del mapa de amenazas y susceptibilidad ambiental.

Para ello se utilizó un Sistema de Información Geográfica - SIG (ArcGIS), en el que se ingresaron a una base de datos la disposición espacial de las diferentes unidades de relieve, geología, geomorfología, hidrogeología, uso del suelo, entre otros aspectos, presentes en el AII. Según INGEOMINAS (op. cit.), estas unidades definen las variables geoambientales que intervienen en la determinación de la susceptibilidad del terreno a las amenazas naturales que se analizarán a continuación.

⁷⁹INGEOMINAS y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2.001). Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

También se ingresó en el SIG la información concerniente a la variación de la precipitación y de la amenaza sísmica, que son los factores disparadores de las amenazas naturales a evaluar.

Para la caracterización de cada uno de los procesos amenazantes se tuvo en cuenta información técnica contenida en el Estudio de Impacto Ambiental, información secundaria y aspectos geotécnicos evaluados a lo largo del corredor de ruta de la línea de transmisión. Las amenazas naturales que se tuvieron en cuenta para este análisis son las siguientes:

- Amenaza sísmica: en su evaluación se tuvieron en cuenta aspectos técnicos considerados en el Mapa Nacional de Amenaza Sísmica⁸⁰, y evaluados en el numeral **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de este documento.
- Amenaza por licuación: se analizó la información primaria y secundaria del proyecto y se definieron las unidades geológicas susceptibles (unidades cuaternarias recientes) a este tipo de amenaza, teniendo en cuenta los factores siguientes:
 - Características litológicas
 - Características geomorfológicas
 - Amenaza sísmica (factor detonante)
- Amenaza por procesos de remoción en masa: se realizó un estudio semi cuantitativo para la elaboración del mapa de amenaza por dicho proceso, el cual tuvo en cuenta los factores siguientes:
 - Características litológicas
 - Características hidrogeológicas
 - Características geomorfológicas
 - Uso del suelo actual
 - Densidad de drenajes
 - Densidad de fallas geológicas (control estructural)
 - Pendiente topográfica del terreno
 - Variación de la precipitación (factor detonante)
 - Amenaza sísmica (factor detonante)
- Amenazas por avenidas torrenciales: caracterización de cauces de agua que por sus características topográficas, geológicas, geomorfológicas e hidráulicas, ante factores detonantes como lluvias y sismos pueden desencadenar dichos procesos.
 - Características litológicas

⁸⁰ INGEOMINAS – UNIVERSIDAD NACIONAL. Mapa Nacional de Amenaza Sísmica. Periodo de retorno 475 Años. Bogotá, 2010.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

- Cobertura del suelo
 - Densidad de fallas geológicas (control estructural)
 - Pendiente del terreno
 - Variación de la precipitación (factor detonante)
 - Amenaza sísmica (factor detonante)
- Amenaza por inundación: evaluación de las áreas susceptibles de afectación por este proceso, dando atención especial a cauces de corrientes principales y áreas aledañas bajas.
 - Características geomorfológicas de paisaje susceptibles a este proceso
 - Características geomorfológicas de relieve susceptibles a este proceso
 - Variación de la precipitación (factor detonante)
 - Amenaza volcánica

Con base en información secundaria se evaluó la pertinencia de incluir este tipo de amenaza natural en el área de estudio.

- Amenaza por tsunamis

Debido a la ubicación del área de influencia y su altitud respecto a las zonas costeras más cercanas, la amenaza por este proceso en el área de estudio no aplica.

5.1.11.3 Método de trabajo utilizado para la zonificación de las amenazas naturales

Para el análisis de cada una de las amenazas se adelantaron las siguientes etapas de trabajo:

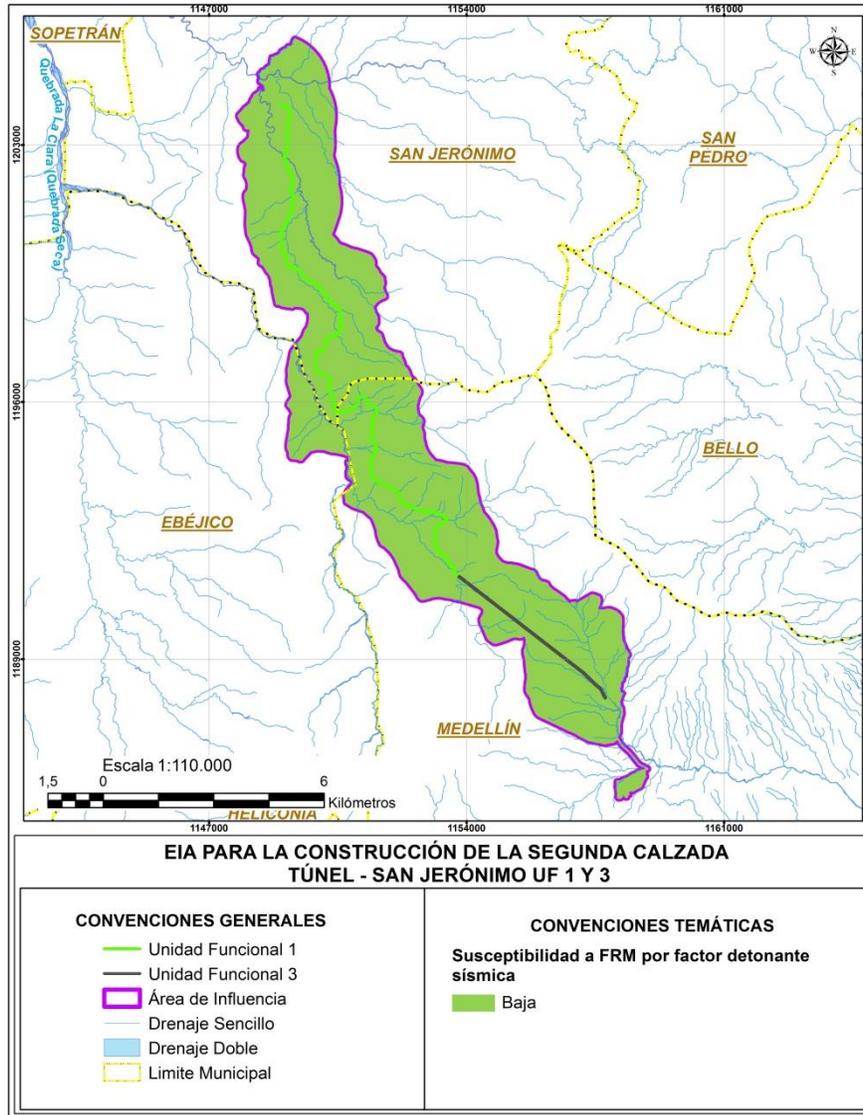
- Recopilación y análisis de información existente.
- Elaboración del mapa base digital.
- Estudio de variables geoambientales. Análisis de variables como pendientes topográficas, geología, geomorfología, hidrogeología, uso del suelo actual, cobertura vegetal, densidad de fallas, densidad de drenajes, precipitación y amenaza sísmica.
- Implementación de la información en SIG.
- Análisis de los resultados.

5.1.11.4 Amenaza Sísmica

La evaluación de amenaza sísmica se realizó previamente; con base en los resultados del Mapa de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & UNAL, 2010), que se presenta en términos de aceleración horizontal máxima en roca; este mapa representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia. El Mapa de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & UNAL, 2010), considera

valores de PGA (cm/s^2) en un rango desde 50 – 250 PGA. En la Figura 5-276 se presenta el mapa resultante de amenaza sísmica en el área de estudio.

Figura 5-276 Amenaza sísmica



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.11.5 Amenaza por Licuación

La zonificación por licuación se efectuó por medio de un método semi cuantitativo siguiendo los procedimientos de zonificación de un sistema de evaluación numérica y superponiendo las temáticas relacionadas en dicha evaluación, descrito por Varnes (1984) y Van Westeen (1998). En la zonificación también se tuvieron en cuenta los conceptos

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

establecidos en Kramer (1996)⁸¹ y Díaz (2005)⁸², en lo relacionado a la generación de procesos de licuación.

5.1.11.5.1 Conceptos básicos

Este proceso consiste en la pérdida súbita y temporal del contacto entre partículas y de la resistencia al corte en suelos arenosos uniformes y de baja densidad y en limos no plásticos saturados. Estos materiales pierden súbitamente su capacidad de soporte por la absorción de la energía liberada por los sismos, haciendo que se produzcan grandes deformaciones en terrenos relativamente planos y desplazamientos del suelo en terrenos montañosos.

En geología los materiales susceptibles a este fenómeno corresponden a algunos tipos de depósitos no consolidados (depósitos cuaternarios recientes) relacionados con la dinámica fluvial de las corrientes de agua. Como este proceso sólo ocurre en suelos saturados, la licuación es comúnmente observada cerca de ríos, bahías y otros cuerpos de agua (Kramer, 1996). Se reconocen siete factores que influyen en el potencial de un suelo a licuarse (Díaz, op. cit.). Estos son:

- Distribución del tamaño de los granos: La arena uniformemente gradada, con granos pocos finos o muy gruesos (arena limpia) tiene mayor probabilidad de licuarse y es posible que se vuelva más densa. Las arenas limosas y gravas también son susceptibles a la licuefacción bajo cargas cíclicas muy severas.
- Densidad: La licuefacción ocurre principalmente en suelos sueltos, saturados y no cohesivos, los cuales tienden a densificarse cuando están sujetos a cargas cíclicas. La tendencia a densificarse reduce el volumen de suelo y agua e incrementa la presión intersticial si los poros intergranulares se llenan de agua. Cuando la presión intersticial iguala la presión promedio total del suelo, éste pierde su resistencia y se licua. Si el suelo es denso, habrá menos posibilidad de que se produzca la licuefacción.
- Peso y profundidad del espesor de depósito de suelo. La presión entre partículas aumenta con la profundidad; mientras mayor sea la presión de contacto entre las partículas menor la probabilidad de que ocurra la licuación.
- Edad del depósito. Los suelos sueltos y sin cohesión por lo general son geológicamente jóvenes. Con el tiempo, actúan dos factores para incrementar la resistencia de un suelo típico: la compactación (que cambia la relación de vacíos) y varios procesos químicos (que actúan para cementar los granos del suelo).
- Una regla general es que los depósitos del holoceno tardío (menos de 3.000 años de

⁸¹Kramer, Steven. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall, New Jersey. 1996.

⁸² Díaz, Abraham. Dinámica de suelos. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México y Limusa-Noriega editores. México. 2005.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

antigüedad) tienen posibilidad de licuarse siempre y cuando presenten condiciones similares a las de los factores mencionados y estén bajo condiciones saturadas.

- Origen del suelo. El suelo depositado por procesos fluviales se sedimenta lentamente y sus granos apenas están apenas en contacto unos con otros y tienen poca probabilidad de compactarse. De manera similar, los rellenos artificiales sin un adecuado proceso de compactación, generalmente por debajo del nivel del agua, pueden tener deficiencias similares. Estos materiales ante vibraciones sísmicas tienden a licuarse con facilidad.
- Profundidad del agua respecto a la superficie del terreno: Mientras esté más cercano el nivel freático a la superficie del terreno en los depósitos de suelos susceptibles a licuación, mayor será la probabilidad de que ocurra la licuación.
- Amplitud, frecuencia y duración de la vibración del terreno. La capacidad del suelo para resistir una vibración provocada por un sismo sin causar fallas depende de la intensidad del movimiento del terreno, su frecuencia y duración. Los movimientos más fuertes tienen mayor probabilidad de causar la falla del terreno susceptible a licuación.

5.1.11.5.2 Evaluación de la amenaza por licuación

La evaluación de amenaza por licuación requiere de información de detalle con la que no se cuenta en este proyecto, debido a la escala de trabajo. Por tal motivo, el alcance de esta evaluación de amenaza por licuación, únicamente comprende dos parámetros de análisis, litología y geomorfología y un agente detonante que corresponde a sismicidad.

5.1.11.5.3 Litología

Aspecto que tiene en cuenta los primeros cinco factores mencionados en el numeral anterior (distribución del tamaño de los granos, densidad, peso y espesor de depósito de suelo, edad del depósito y origen del suelo). La Tabla 5-166 presenta los rangos de valoración utilizados para la calificación de las variables Unidades litológicas y Geomorfología.

Tabla 5-166 Rangos de valoración de amenaza por licuación

Valor	Amenaza por licuación
0	Nula
1	Baja
3	Moderada
5	Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Las unidades geológicas del Paleozoico a Neógeno y los suelos residuales derivados de estas, así como algunos depósitos cuaternarios no son susceptibles a este proceso. En la Tabla 5-167 se presentan las unidades geológicas susceptibles a procesos de licuación.

Tabla 5-167 Valores de susceptibilidad por características litológicas

E Ó N	EDAD			SÍMB.	UNIDAD	PES O
	ERA	PERIODO	ÉPOCA			
FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO		Qll	Lleno antrópico	3
				Qal	Depósitos Aluviales	5
				Qcal	Depósitos coluvio aluviales	3
				Qt0 Qt1	Terrazas aluviales	3
				Qd	Depósitos de derrubio/depósitos de deslizamientos	3
				Ngas Pgam Pgai	Formación Amagá	0
	MESOZOICO	CRETÁCICO	Superior	Kdha - Kdhb	Diorita de Heliconia-diorita hornbléndica	0
				Kida	Diorita de Altavista	0
		JURÁSICO	Inferior	KvQG	Complejo Quebradagrande Miembro volcánico	0
				Jgr	Gabros de Romeral	0
	PALEOZOICO	PÉRMICO CARBONÍFERO DEVÓNICO SILÚRICO ORDOVÍCIO CÁMBRICO		Pzes Pev	Grupo Ayurá Montebello	0
				Pgnp	Granito néisico de Palmitas	0

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.11.5.4 Geomorfología

Formas del terreno como planicies de inundación, abanicos aluviales y terrazas, son susceptibles a este tipo de fenómenos. En la Tabla 5-168 se evalúa la susceptibilidad a este fenómeno de cada una de las unidades geomorfológicas que conforman el área de influencia. Otro aspecto a tener en cuenta es la presencia de agua en estos depósitos; es posible que los materiales arenosos sean licuables en los alrededores de cuerpos de agua como ríos y quebradas, ya que el nivel freático se localiza cerca o en la superficie del terreno en la base de las laderas y en las zonas llanas.

Tabla 5-168 Valores de susceptibilidad por características geomorfológicas

Z. Geestruct	Prov. Geom	R. geomorf.	Unidad geomorfológica	Subunidad geomorfoógica	Componente geomorfológico	Símbolo	Peso	
Cordillera	Cordillera Central	Denudativa	Montañas	Denudativas (D)	Filas y Vigas	Laderas (l)	DI	0
						Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales (ve)	Dve	5
						Coluvio de remoción (cr)	Dcr	3
						Lleno antrópico (ll)	Dll	3
			Denudativas estructurales (DS)	Filas y Vigas	Laderas (l)	DSI	0	
					Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales (ve)	DSve	5	
					Coluvio de remoción (cr)	DScr	3	
					Lleno antrópico (ll)	DSll	3	
			Estructurales denudativas (SD)	Espinazo	Coluvio de remoción (cr)	SDcr	3	
		Ladera estructural (le)			SDle	0		
		Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales (ve)			SDve	5		
		Deposicional	Piedemonte	Denudativa estructural (DS)	Lomas y colinas	Lomerío (lo)	DSlo	0
						Laderas estructurales (le)	DSle	0
				Aluvio diluvial (FA)	Abanicos aluviales	Cuerpo y base de abanico aluvial (aa)	FAaa	3
						Abanico terraza (at)	FAat	3
Coluvial (C)	Coluvio de remoción			Cono coluvial (cc)	Ccc	3		
Aluvial (A)	Valle aluvial			Valle estrecho aluvial (ve)	Fve	5		

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Como parámetro disparador e inherente al proceso de licuación están los sismos representados por la amenaza sísmica (ver numeral **¡Error! No se encuentra el origen de a referencia.**).

5.1.11.5.5 Amenaza por licuación

De acuerdo con lo establecido en Varnes (1984) se definió un sistema de evaluación

numérica en el que se integró información litológica, geomorfológica y sísmica en el SIG para definir la zonificación espacial del grado de amenaza por licuación. Con base en lo estipulado en Kramer (1996) y teniendo en cuenta las variables geoambientales acabadas de mencionar, así como la guía metodológica definida por INGEOMINAS et al. (op. cit.), para otras amenazas naturales, la evaluación de la amenaza por licuación se definió así:

$$AL = (SL + SG) * fs$$

Donde:

- AL = Amenaza por licuación.
- SL = Susceptibilidad por litología (tipo de materiales).
- SG = Susceptibilidad por geomorfología (depósitos aluviales).
- fs = Factor sísmicidad (amenaza sísmica).

Con la ponderación de estos parámetros los intervalos para la categorización y el grado de amenaza por licuación. En la Tabla 5-169 se presenta la amenaza por licuación.

Tabla 5-169 Intervalos y categorías de la amenaza por licuación

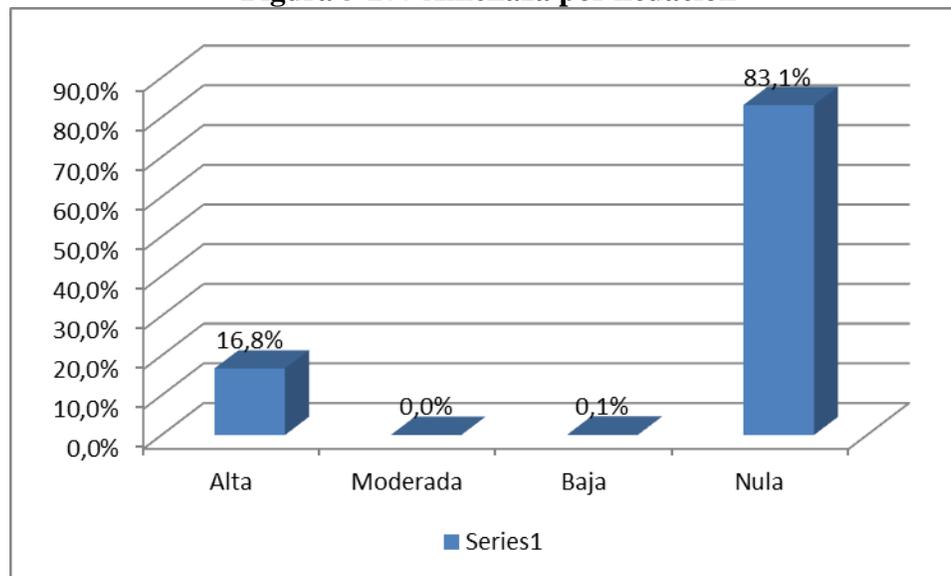
Ponderación	Amenaza por licuación	
0	0	Nula
1 a 6	1	Baja
7 a 10	3	Moderada
> 10	5	Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

- **Amenaza Nula:** zonas en las que no ocurren este tipo de fenómenos. Corresponde a zonas conformadas por depósitos cuaternarios como terrazas medias y altas, depósitos de materiales con compacidad media a densa con tamaños de partículas desde arcilla, arenas y gravas hasta de cantos y bloques, suelos residuales y transportados constituidos en buena parte por materiales limosos y arcillosos y afloramientos rocosos.
- **Amenaza Baja:** arenas de densidad media a alta y limos no plásticos de consistencia media en zonas con amenaza sísmica muy baja a moderada.
- **Amenaza Moderada:** gravas, arenas de densidad media a baja y limos no plásticos de consistencia media a blanda, en estado saturado o en posibilidad de estarlo, en zonas con amenaza sísmica moderada a alta.
- **Amenaza Alta:** arenas y gravas limpias, relativamente sueltas y limos de baja plasticidad o no plásticos de consistencia blanda, presentes en zonas inundables y permanentemente en estado saturado; se destacan depósitos aluviales no consolidados, terrazas bajas y conos aluviales.

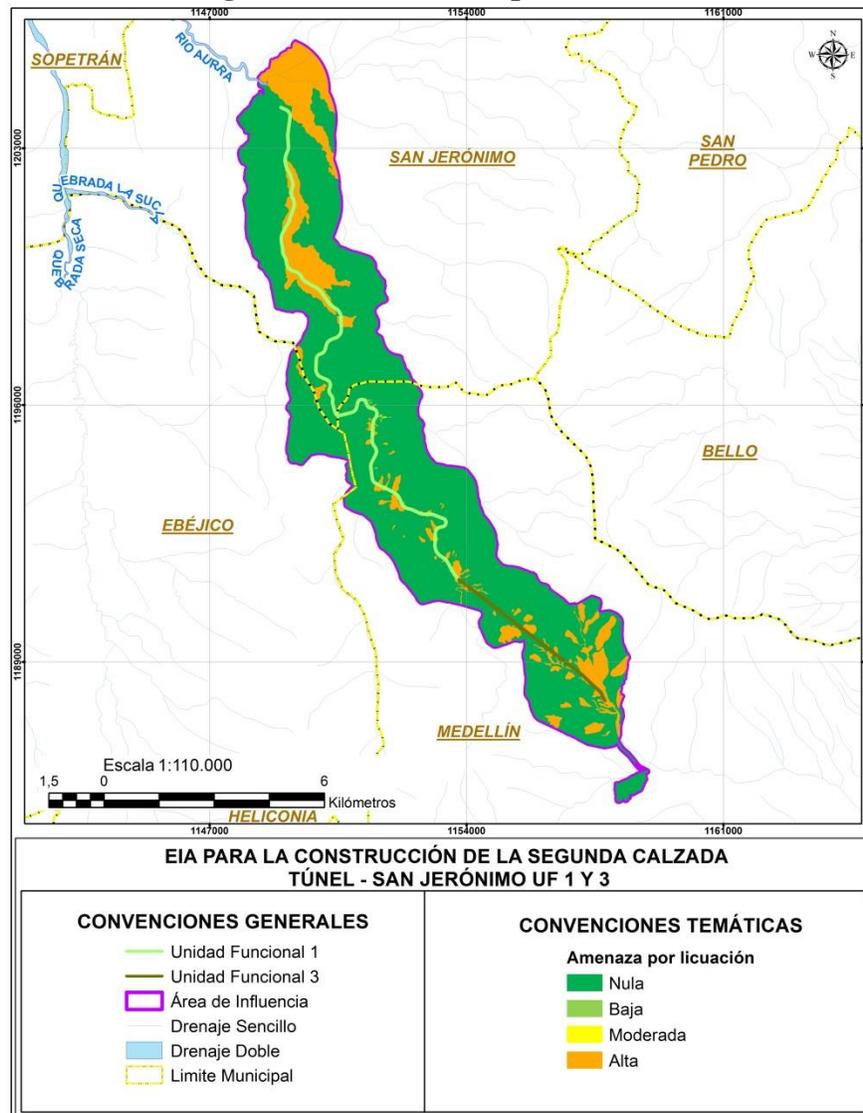
En la Figura 5-277 y Figura 5-278 se muestra que el 83,1% del área de influencia no presenta amenaza por inundaciones y el 16,8% es de amenaza alta.

Figura 5-277 Amenaza por licuación



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Figura 5-278 Amenaza por licuación

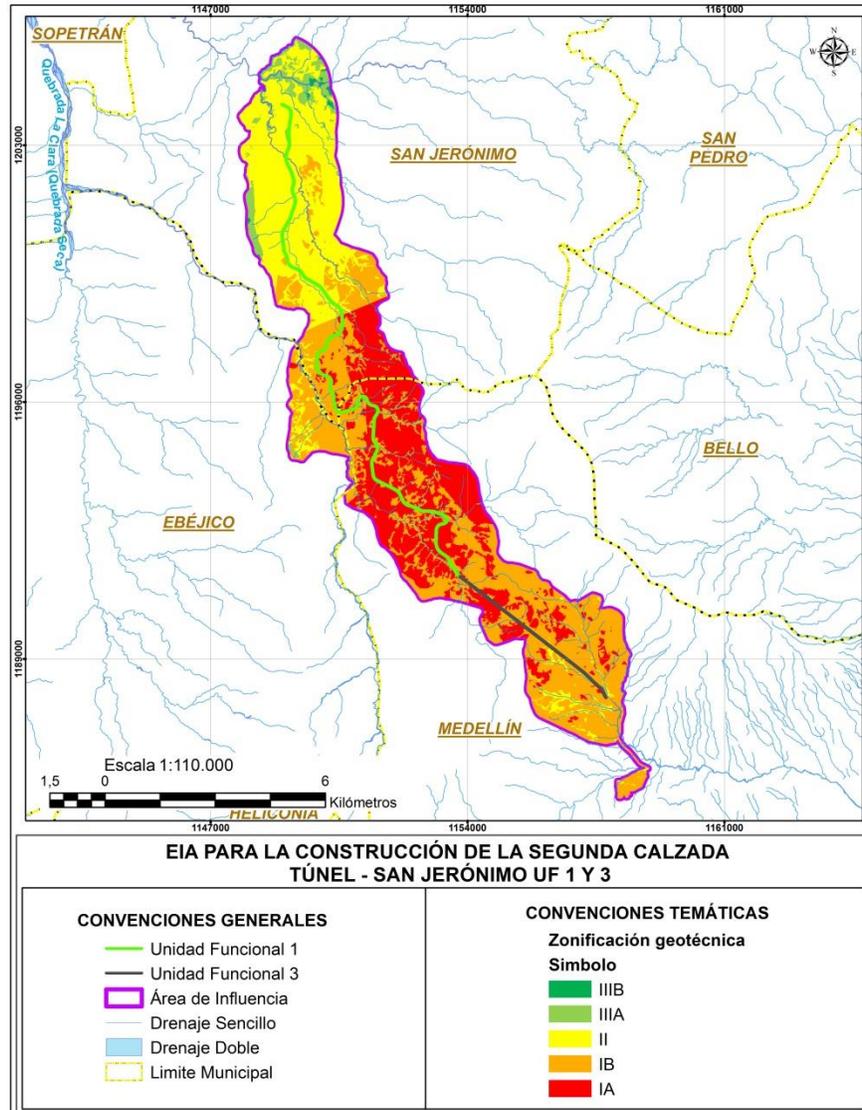


Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.11.6 Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa

La zonificación por fenómenos de remoción en masa (FRM) fue tratada en el capítulo de Geotecnia, cuyo resultado final se presentan en la Figura 5-279; para más detalle, remitirse al numeral 5.1.9.2.10 de este documento.

Figura 5-279 Mapa de Amenaza geotécnica



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.11.7 Amenaza por avenidas torrenciales

La zonificación por avenidas torrenciales se efectuó por medio de un método semi-cuantitativo, siguiendo los procedimientos de evaluación numérica y superponiendo temáticas tales como morfometría de las cuencas involucradas, precipitación y tiempos de concentración del área de influencia.

El sistema torrencial consta de tres partes, una que produce, otra que traslada y la tercera que recibe los detritos. Dicho sistema está íntimamente relacionado no solo con la producción de flujos de detritos, sino con las zonas de comienzo y transporte de avalanchas

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

de suelo y roca en picos nevados de las cordilleras así como zonas propensas a procesos de remoción en masa adyacentes a corrientes de agua. La comprensión de esta unidad natural es fundamental para la evaluación de riesgos de montaña.

La evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales se llevó a cabo distinguiendo los cursos de aguas principales, secundarios y menores, en los que eventualmente pueden desencadenarse este tipo de procesos o en los que ya ha sucedido, de cartografía IGAC a escala 1:25.000.

El cálculo del grado de amenaza se hizo de manera semi cuantitativa, por medio de la definición de variables geoambientales relacionadas con este tipo de amenaza, y la ponderación por pesos relativos de cada una de las variables, siguiendo procedimientos de zonificación por medio de sistemas de evaluación numérica y superponiendo las temáticas relacionadas en dicha evaluación.

Los criterios utilizados para la selección de los parámetros, corresponden a planteamientos prácticos preestablecidos, de fácil observación en el campo y con un alto grado de representatividad en cuanto a indicadores de potencialidad torrencial se refiere.

A continuación se presenta la descripción de las variables que se utilizaron para la evaluación semicuantitativa de ésta amenaza en el área de influencia.

5.1.11.7.1 Precipitación

Es un factor de gran importancia para determinar la potencialidad torrencial que presentan los cursos de agua y las cuencas aferentes, ya que constituye un agente activador de fenómenos torrenciales.

El caudal de las crecientes, y su capacidad erosiva, es incrementado por el caudal sólido de los materiales que arrastran, producto entre otros de la erosión superficial, del lavado de los deslizamientos someros y de la erosión de orillas en un proceso que da lugar a las avenidas torrenciales.

Puesto que la metodología está orientada a la identificación y zonificación de áreas potencialmente torrenciales y no al diseño de obras de control de crecidas o establecimiento de medidas en vertientes, resultó pertinente evaluar este parámetro a través de la generación del mapa de isoyetas anuales, considerando las estaciones de influencia en el área. Las precipitaciones altas aumentan la carga de los cursos de agua en el arrastre de los materiales presentes en sus cauces.

Se asignaron diferentes categorías de evaluación a los rangos de precipitación media anual, las unidades de estabilidad relativa, esto permitió homogenizar los diversos parámetros para posteriormente analizarlos; cada categoría está compuesta por un dígito numérico que va

del 1 al 5, donde 1 corresponde a la condición más favorable y 5 representa la condición más desfavorable (ver Tabla 5-170).

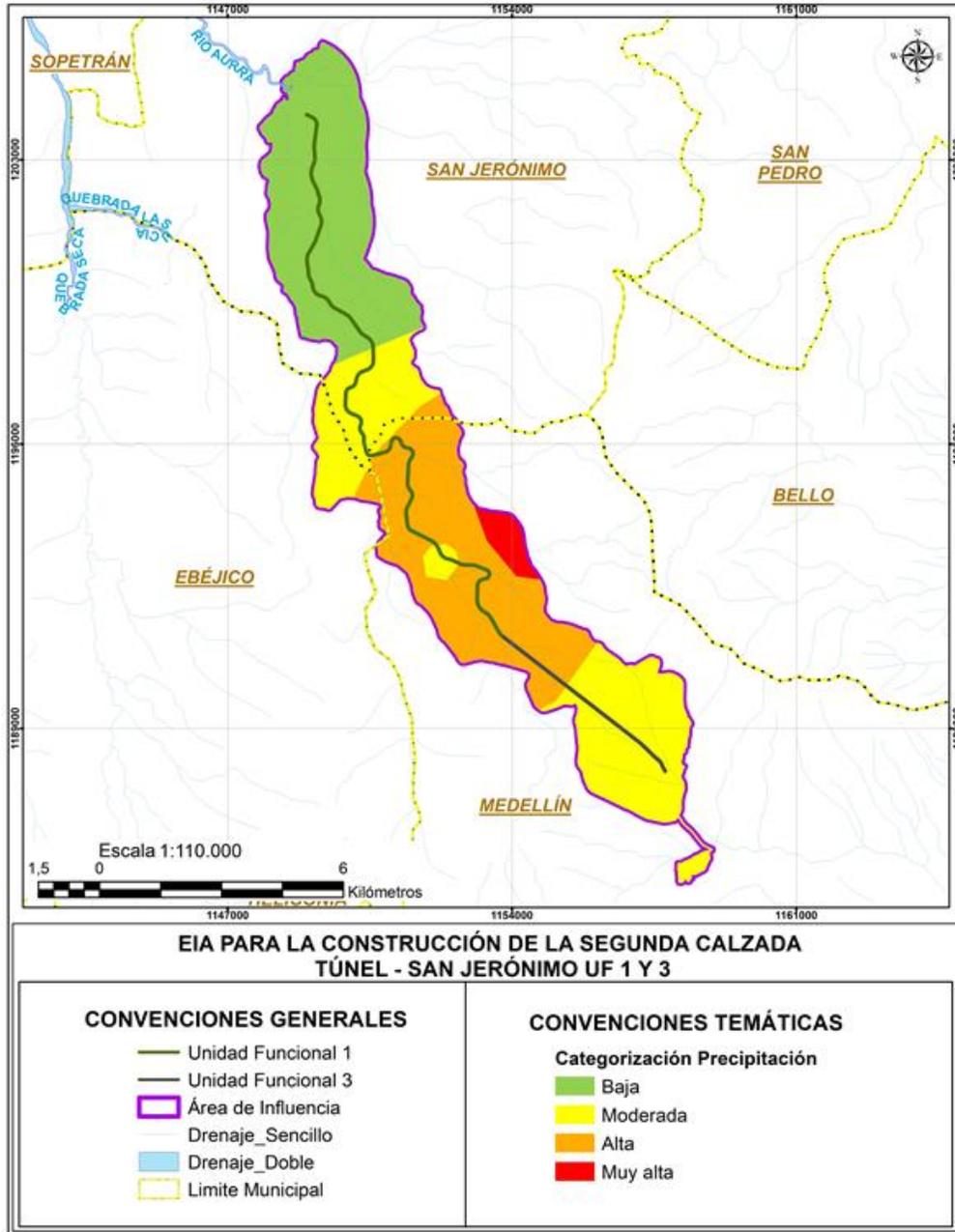
Tabla 5-170 Categorías de evaluación para la precipitación total anual el área de influencia

Rango de Precipitación(mm)	Categoría	Calificación
<1600	Muy Baja	1
1600 – 2000	Baja	2
2000 – 2200	Moderada	3
2200 – 2400	Alta	4
> 2400	Muy Alta	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

El resultado de este análisis de reclasificación para el parámetro de Precipitación se muestra en la Figura 5-280.

Figura 5-280 Mapa de categorización de la Precipitación como factor de torrencialidad en el área de influencia



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.11.7.2 Densidad de drenaje

La densidad de drenaje fue definida por Horton (1.932) como la longitud de los canales (L) por unidad de área (A). Se reconoce que la densidad de drenaje es un valioso indicador de las relaciones entre clima, vegetación y la resistencia del substrato rocoso o edáfico a la

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

erosión.

Este parámetro constituye un elemento indicativo de las causas o agentes que contribuyen a la integración de la red hídrica. Para el asunto en consideración, es necesario tener en cuenta que durante el transcurso, o con posterioridad más o menos inmediata a los períodos de precipitaciones, escurre por la superficie de la cuenca una cantidad de agua que al ir encauzándose en los diferentes tributarios, termina por concentrarse en el colector, configurando así un sistema hidrográfico.

Si la zona posee una cuenca bien desarrollada, la superficie medida de los terrenos a través de los cuales tiene lugar el escurrimiento, es reducida y el río alcanza los cursos con prontitud. También se debe tener en cuenta, que la erosión retrocedente y, consecuentemente la profundización de los lechos fluviales, están controlados por los siguientes factores:

- Características litológicas
- Características climáticas
- Magnitud de la pendiente

Si se toma una unidad de área, la extensión de los cursos de agua es menor en una zona árida que en una húmeda. Por otra parte, la densidad de drenaje tiende a ser baja, cuando los materiales son muy permeables (arenas y gravas), debido a que la infiltración es alta quedando poca disponibilidad de agua, que pueda alimentar a los cauces en superficie. Esta situación se ve favorecida cuando se trata de una topografía llana, bajo clima árido. En regiones húmedas, con pendientes marcadas y rocas impermeables, la densidad de drenaje tiende a ser máxima.

En síntesis, climas húmedos tienden a densidades de drenaje más bajas que en regiones áridas de litologías comparables, como resultado de la protección de la cobertura vegetal. Por otra parte, áreas de bajo relieve y buena infiltración muestran generalmente una densidad de drenaje más baja que zonas con mayores relieves o baja permeabilidad. Se puede admitir en consecuencia, que para una cuenca dada existe cierta concordancia entre el coeficiente de escurrimiento y la densidad de drenaje de la misma.

Se asignaron valores entre 1 y 5 a cada uno de los índices de Densidad de Drenaje (Dd) calculados para la morfometría de las cuencas. Al integrar los índices, se generó un conjunto de posibles combinaciones a partir de las cuales se definieron cinco (5) clases morfométricas con base en la posible respuesta de los torrentes ante un evento de precipitación. Así, las clases morfométricas vienen definidas por la integración de la densidad de drenaje, las cuales generan características muy particulares que permiten evaluar la respuesta de los torrentes, desde muy lenta hasta muy rápida y violenta, para generar crecidas torrenciales.

El resultado de esta operación permite clasificar cada punto del mapa dentro de cinco

categorías que se describen en la .

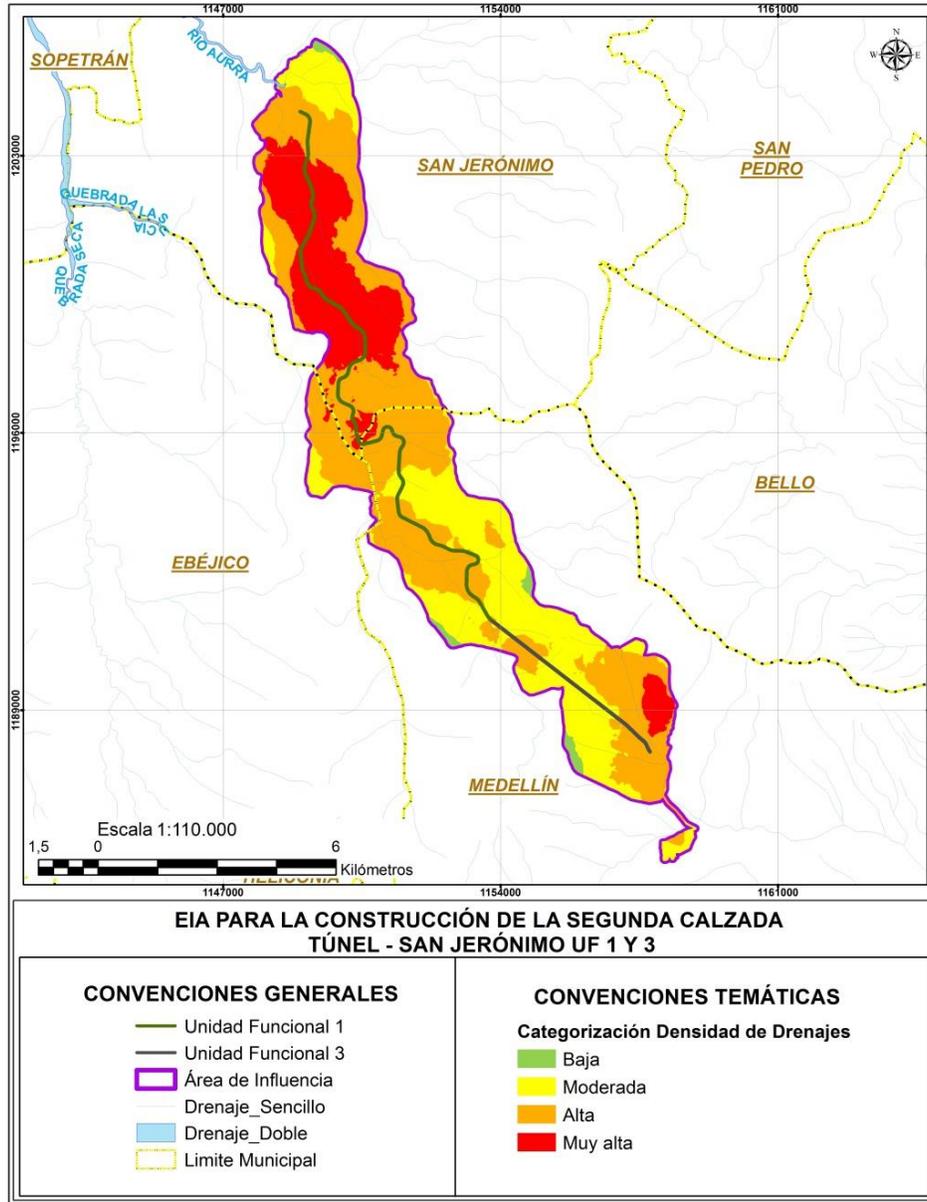
Tabla 5-171 Categorías de evaluación para la Densidad de drenaje en el área de influencia

Rangos Densidad de drenajes(Km/Km ²)	Valoración	Valoración
<2.0	1	Muy Baja
2.0–3.0	2	Baja
3.0–4.5	3	Moderada
4.5-6.0	4	Alta
>6.0	5	Muy Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

El resultado de este análisis de reclasificación para el parámetro de Densidad de drenaje (km/km²) es como se muestra en la Figura 5-281.

Figura 5-281 Mapa de categorización de la Densidad de Drenajes (Dd) como factor de torrencialidad en el área de influencia



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.11.7.3 Tiempos de Concentración, Tc

El tiempo de concentración es el tiempo que tardaría una gota de agua en recorrer la longitud desde el punto más distante de la corriente de agua de una cuenca, hasta el lugar de medición. Los tiempos de concentración son calculados a partir de las características físicas de la cuenca, las cuales son: pendientes, longitudes, elevaciones medias y área de la cuenca. Es de notar que todas las fórmulas tienen factores de corrección que aplican según la

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

cobertura de la cuenca (German Monsalve, 1.999: p.180).

Según Verstappen (1.983) es uno de los parámetros más importantes para determinar caudal pico, y es indicativo del grado de erodabilidad de los suelos y rocas, porcentaje de erosión y de las condiciones climáticas imperantes en la cuenca. Es un factor que depende de las características físicas de las rocas, capacidad de infiltración, cobertura vegetal, topografía y ciclos de erosión-depositación. Si se relaciona con la morfometría de la cuenca, elevados valores de densidad de drenaje, indican el predominio del escurrimiento sobre la infiltración, bajo almacenamiento subsuperficial y subterráneo, rocas o sedimentos de texturas finas de relativamente baja permeabilidad y elevada susceptibilidad a la erosión. Sus efectos teóricos sobre un hidrograma indican tiempos de concentración cortos.

Existen diversas metodologías para la estimación del tiempo de concentración que han sido desarrolladas a partir de conceptualizaciones semi-empíricas. Las más empleadas en los estudios de hidrología son las siguientes:

- **Kirpich**

$$T_c = 0.06628 \cdot \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Desarrollada a partir de información del SCS, recomendada para cuencas rurales en zonas montañosas, con canales bien definidos y pendientes empinadas (de 3% a 10%).

- **U.S. Corps of Engineers**

$$T_c = 0.0882 \cdot \frac{L^{0.76}}{S^{0.19}}$$

- **Chow**

$$T_c = 0.0197 \cdot \frac{L^{0.64}}{S^{0.32}}$$

Donde:

L: Longitud total del cauce principal en (Km)

S: Pendiente Promedio en (m/m)

Tc: Tiempo de Concentración en (min)

Se asignaron valores entre 1 y 5 a cada rango de tiempos de concentración calculados para las cuencas menores identificadas en el área. El resultado de esta operación permite clasificar cada punto del mapa dentro de cinco categorías que se describen en la Tabla 5-172.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.	 Devimar SOMOS TU VÍA
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

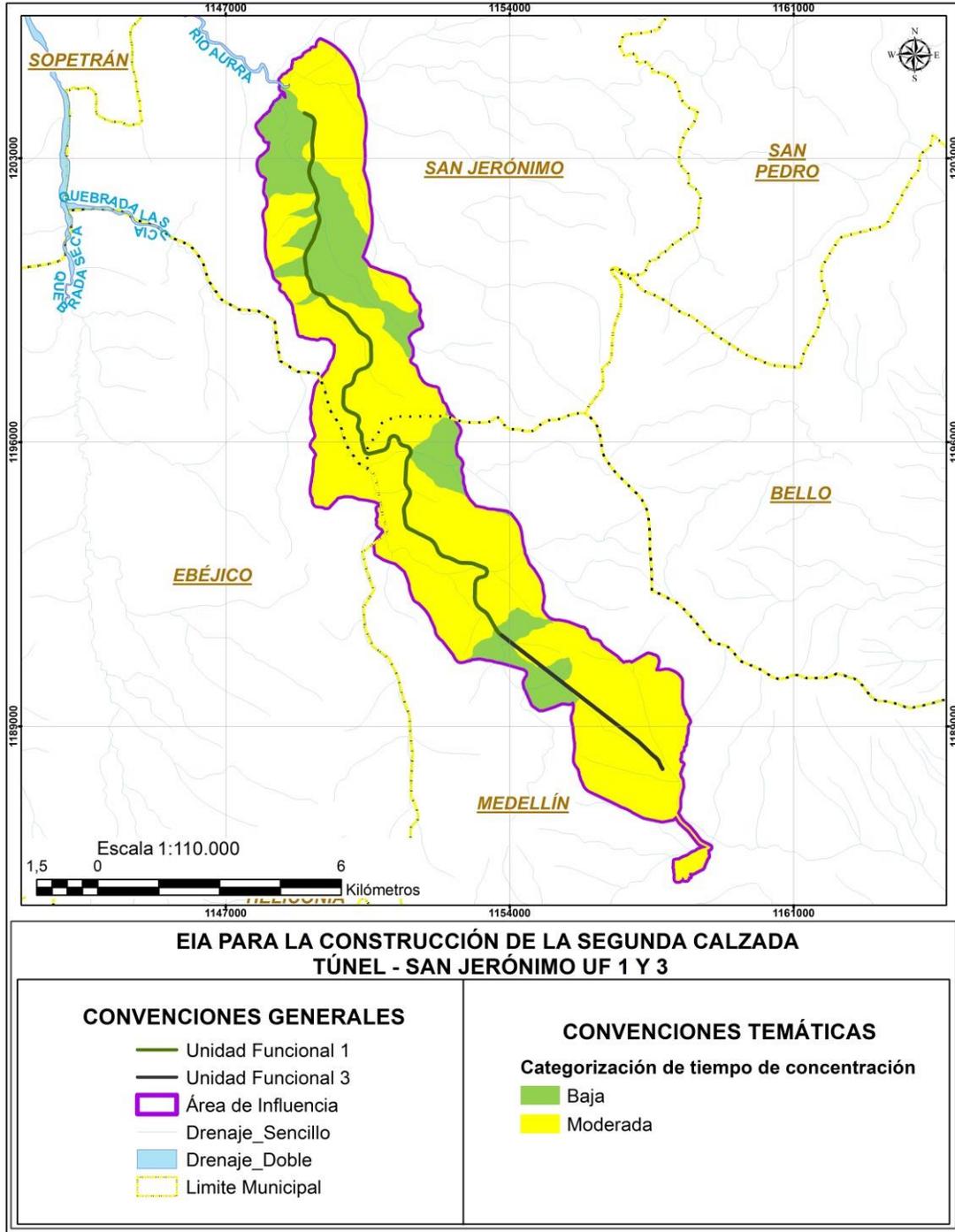
Tabla 5-172 Categorías de evaluación para el tiempo de concentración en el área de influencia

Rango de Tiempo de Concentración (min)	Valoración	Valoración
> 240	1	Muy Baja
240 - 60	2	Baja
60 - 15	3	Moderada
15 - 5	4	Alta
< 5	5	Muy Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

El resultado de este análisis de reclasificación para el parámetro de tiempo de concentración se muestra en la Figura 5-282.

Figura 5-282 Mapa de categorización de tiempo de concentración como factor de torrencialidad en el área de influencia



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.11.7.4 Categorización de la amenaza por avenidas torrenciales

La evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales está definida de la siguiente manera:

$$\text{Amenaza Torrencial (AT)} = 0.4P + 0.4Tc + 0.2Dd$$

Dónde:

AT=Amenaza por avenidas torrenciales.

P=Nivel de amenaza según la precipitación media total anual

Tc= Nivel de amenaza según el tiempo de concentración

Dd=Nivel de amenaza según la densidad de drenaje.

Se asignaron diferentes categorías de evaluación a los rangos de precipitación media anual, las clases morfométricas medidas como densidad de drenaje y el tiempo de concentración, esto permitió homogenizar los diversos parámetros para posteriormente analizarlos; cada categoría está compuesta por un dígito numérico que va del 1 al 5, donde 1 corresponde a la condición más favorable y 5 representa la condición más desfavorable.

Con la ponderación de estos parámetros en la Tabla 5-173 se presentan los intervalos para la categorización y grado de amenaza por avenidas torrenciales.

Tabla 5-173 Intervalos y categorías de la amenaza por avenidas torrenciales

Rango de Valoración de la variable AT	Categoría
0-1	Muy Baja
1-2	Baja
2-3	Moderada
3-4	Alta
4-5	Muy Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

El significado de cada uno de estos rangos a raíz de los eventos de torrencialidad se indica en la Tabla 5-174.

	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

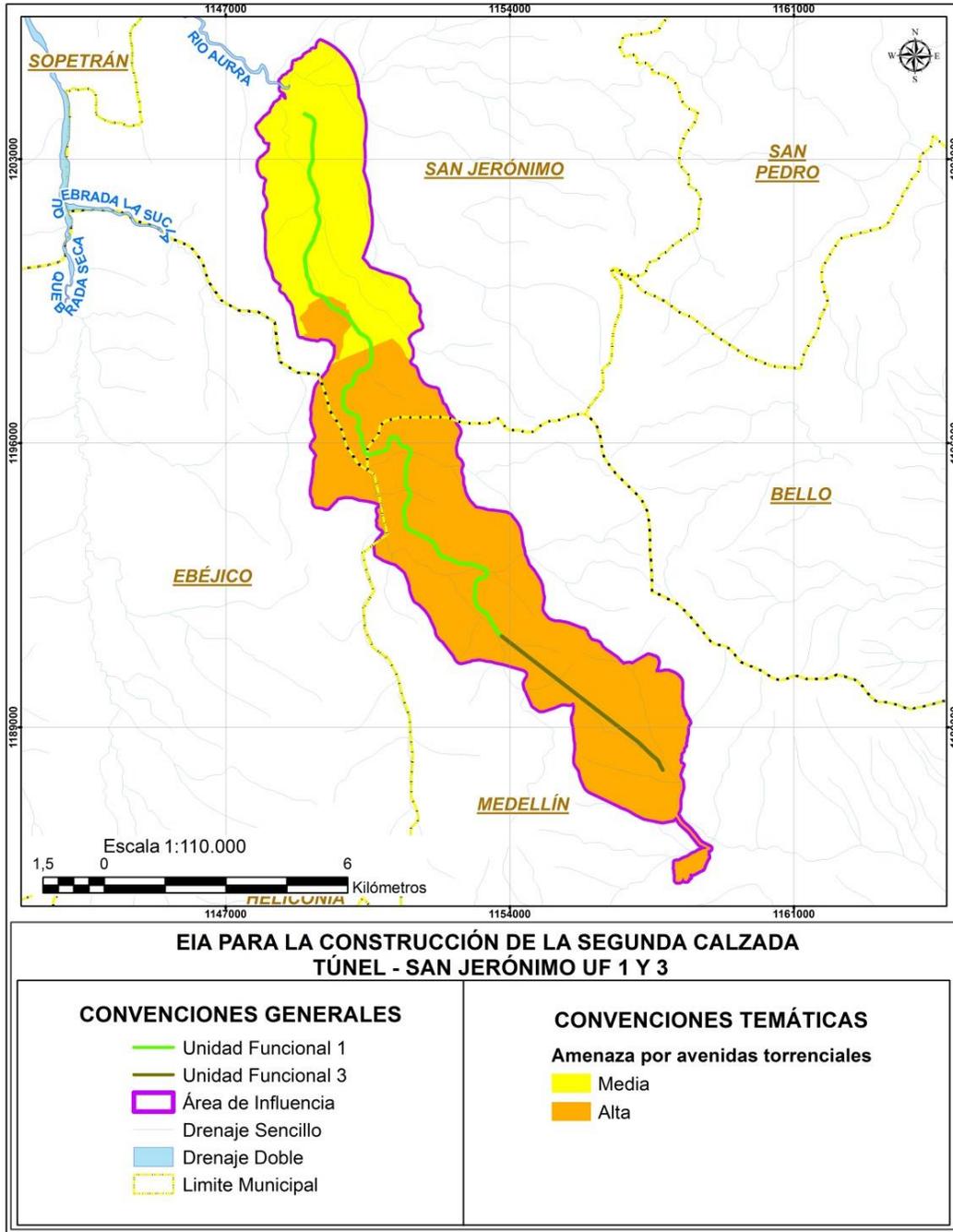
Tabla 5-174 Tipos de amenaza por avenidas torrenciales en las cuencas del área de influencia

Nivel de Amenaza	Rango	Descripción
0-1	Muy Baja	Son áreas que tienen poca o baja activación como respuesta a lluvias de larga duración cubriendo zonas extensas. Generalmente, son los interfluvios y drenajes de primer orden que drenan directamente al río principal de la cuenca.
1-2	Baja	Son áreas que se activan como respuesta a lluvias de larga duración cubriendo zonas extensas. Generalmente, son los interfluvios y drenajes de primer orden que drenan directamente al río principal de la cuenca.
2-3	Moderada	Presentan una cobertura vegetal variada desde los bosques hasta cultivos, potencialmente inestables por movimientos en masa, pendiente, procesos erosivos y crecientes de los cursos de agua; poseen una respuesta hidrológica moderadamente rápida. Generalmente presentan crecidas en las épocas de mayor precipitación.
3-4	Alta	Áreas potencialmente inestables por pendiente y movimientos en masa; poseen una respuesta hidrológica rápida con una cobertura del suelo que incluye matorrales, asociación de cultivos y pastizales y pastizales naturales. Generalmente presentan crecidas en periodos lluviosos.
4-5	Muy Alta	Áreas caracterizadas por presentar fuertes precipitaciones y condiciones de humedad antecedentes altos, con predominio de cultivos, pastizales y vegetación arbustiva. En áreas inestables y potencialmente inestables que responden rápida y violentamente a lluvias de alta intensidad y corta duración, pueden generar crecidas torrenciales.

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

En la Figura 5-283 se representan las zonas de amenaza por avenidas torrenciales en el área de influencia.

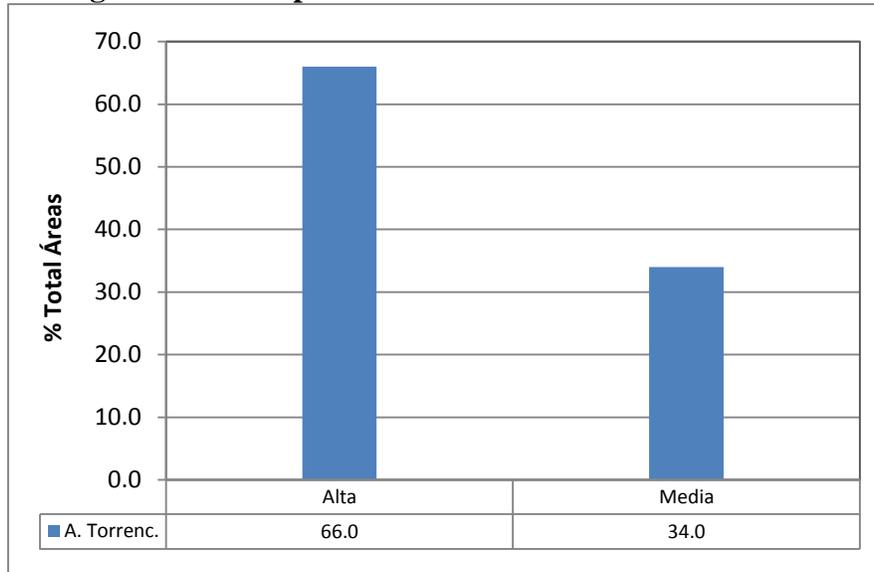
Figura 5-283 Amenaza por avenidas torrenciales



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

La Figura 5-284 muestra que el 66.0% del AII se localiza en zonas de alta amenaza a la torrencialidad; mientras el 34.0% corresponde a amenaza media o moderada.

Figura 5-284 Proporción de área amenaza torrencialidad



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

5.1.11.8 Amenaza por inundaciones

Las inundaciones son fenómenos producidos por el aumento de caudales con desborde del cauce normal de los cuerpos de agua, ocurren en época de lluvias y afecta especialmente las zonas de baja topografía y planicies, tienen una dinámica específica en el año de acuerdo con el comportamiento hidrológico de la zona.

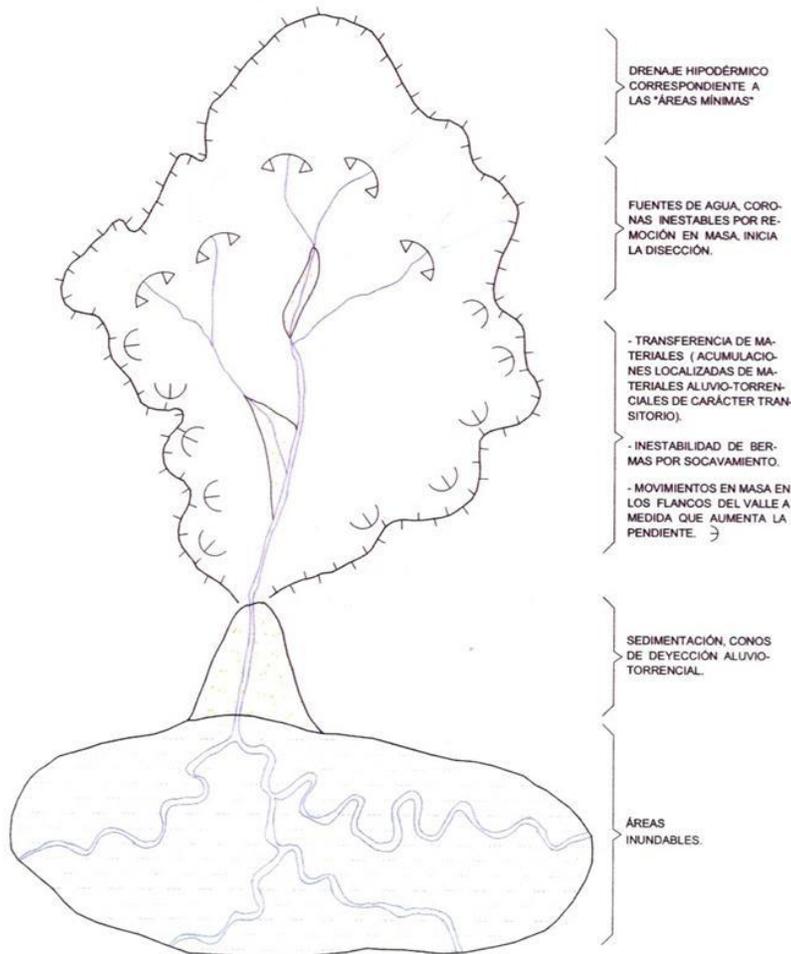
En el área de estudio la susceptibilidad de inundación está asociada a relieves de terrazas y barras longitudinales, áreas próximas a los cauces e influenciadas por las precipitaciones en el área y zonas altas de la región.

El estudio referente a nivel nacional y de mayor relevancia fue realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, para evaluar la susceptibilidad a inundación en todo el territorio nacional a escala 1:100.000. Para esto, el instituto tomó como línea base los meses de octubre y diciembre de 2001 (condiciones meteorológicas normales) para realizar los análisis espaciales, acompañados de fotointerpretación para zonificar el territorio nacional en zonas inundables periódicamente (por recurrencia de eventos), zonas inundadas (cota alcanzada durante el fenómeno de la Niña 2010 – 2011) y zonas susceptibles a inundación (extraídas con base en el análisis de sistemas morfológicos del territorio nacional en el año 2010 (IDEAM 2012).

5.1.11.8.1 Metodología

Según Flórez (2003), los modelados aluviales⁸³ resultan de la dinámica fluvial de las corrientes de agua. Un sistema fluvial se entiende bajo el concepto de sistema de transferencia que corresponde con una cuenca hidrográfica en la que se diferencian áreas de la cuenca o sectores del cauce del drenaje llamados básicamente “área de aporte”, “transporte” y “sedimentación”, elementos que conforman una cadena⁸⁴ (ver Figura 5-285).

Figura 5-285 Sistema de Transferencia



Fuente: Modificada por Consultoría Colombiana S.A.

De acuerdo con la fuente anterior y para entender el sistema de transferencia se debe tener en cuenta las siguientes definiciones:

⁸³ Modelado: término opuesto al de relieve y se define como el conjunto de geofomas y de formaciones superficiales correlativas de los procesos morfogénicos (modeladores), y estos explicados por factores de la dinámica externa (viento, agua, glaciares, hombre). Ej.: modelado eólico - dunas, modelado glacial - morrenas.

⁸⁴ Catena: conjunto de todos los elementos interrelacionados que integran un modelado.

 Agencia Nacional de Infraestructura	CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR I.	 Devimar SOMOS TU VÍA	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.1		

- Área de aporte: Las partes altas de una cuenca reciben el agua lluvia, la concentran, y por escurrimiento y disección, el caudal y los sedimentos van a los ejes de drenaje.
- Área de transporte. El proceso es básicamente el transporte, aunque por disección hay también arranque de materiales en el fondo y márgenes, que se incorporan como sedimentos a las corrientes.
- Área de sedimentación. En las partes bajas (piedemontes o bordes de llanuras) disminuye su competencia y capacidad de carga, con la pérdida notable de su pendiente longitudinal, y ocurre sedimentación en conos aluviales o aluvio-torrenciales. Por la baja profundidad del cauce, sus aguas se desbordan durante el periodo lluvioso, formando áreas de inundación y desborde de las corrientes de agua en la llanura aluvial (partes bajas o depresionales). A continuación se presenta la zonificación por inundación, la cual se realizó utilizando un sistema semicuantitativo, siguiendo los procedimientos de zonificación del sistema de evaluación numérica y superponiendo las temáticas relacionadas en dicha evaluación, descritos por Varnes (op cit.) y Van Westeen (op cit.).

5.1.11.8.2 Evaluación de amenaza por inundación

De acuerdo con lo anterior, para el estudio de zonificación de amenazas se tuvieron en cuenta dos aspectos relacionados con la geomorfología de los terrenos del área de influencia, que corresponden al paisaje y las unidades geomorfológicas. La valoración de susceptibilidad a inundaciones por características geomorfológicas, se realizó con base en los criterios que se establecen en la Tabla 5-175, donde 1 corresponde a muy baja susceptibilidad y 5 a muy alta. La Tabla 5-176 muestra la calificación del territorio, aplicando los mencionados criterios.

Tabla 5-175 Intervalos y categorías de amenaza por inundaciones

Valor	Amenaza por inundaciones
1	Muy Baja
2	Baja
3	Moderada
4	Alta
5	Muy Alta

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Tabla 5-176 Susceptibilidad a inundaciones por características geomorfológicas

Z. Geoestruct	Prov. Geom	Unidad geomorfológica	Subunidad geomorf.	Componente geomorfológico	Símbolo	Calificación por inundación	
Cordillera	Cordillera Central	Montañas	Denudativas (D)	Filas y Vigas	Laderas (l)	DI	1
					Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales (ve)	Dve	2
					Coluvio de remoción (cr)	Dcr	1
					Lleno antrópico (ll)	DII	1

Z. Geestruct	Prov. Geom	Unidad geomorfológica	Subunidad geomorf.	Componente geomorfológico	Símbolo	Calificación por inundación
		Denudativas estructurales (DS)	Filas y Vigas	Laderas (l)	DSl	1
				Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales (ve)	DSve	2
				Coluvio de remoción (cr)	DScr	1
				Lleno antrópico (ll)	DSll	1
		Estructurales denudativas (SD)	Espinazo	Coluvio de remoción (cr)	SDcr	1
				Ladera estructural (le)	SDle	1
				Valles estrechos aluviales y/o coluvio aluviales (ve)	SDve	2
				Cordillera	Cordillera Central	Denudativa estructural (DS)
Laderas estructurales (le)	DSle	1				
Aluvio diluvial (FA)	Abanicos aluviales	Cuerpo y base de abanico aluvial (aa)	FAaa			2
		Abanico terraza (at)	FAat			1
Coluvial (C)	Coluvio de remoción	Cono coluvial (cc)	Ccc	1		
Aluvial (F)	Valle aluvial	Valle estrecho aluvial (ve)	Fve	3		

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Se definió como factor detonante de las inundaciones a la precipitación, la razón es que su ocurrencia siempre esta asociada al incremento de los caudales superficiales de las fuentes de agua y la posibilidad de desbordamiento de los cauces, trayendo como consecuencia dicho fenómeno natural.

Se asignaron diferentes categorías de evaluación a los rangos de precipitación media anual, cada categoría está compuesta por un dígito numérico que va del 1 al 5, donde 1 corresponde a la condición más favorable y 5 representa la condición más desfavorable (ver Tabla 5-177).

Tabla 5-177 Categorías de evaluación para la precipitación total anual en las cuencas de la zona de estudio

Rango de Precipitación(mm)	Categoría	Calificación
<1600	Muy Baja	1
1600 - 2000	Baja	2
2000 - 2200	Moderada	3
2200 - 2400	Alta	4
> 2400	Muy Alta	5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

La evaluación de la amenaza por inundación se definió así:

$$AI = (0.7 * SG) + (0.3 * P)$$

Dónde:

AI= Amenaza por inundación.
 SG= Susceptibilidad geomorfológica por paisaje y relieve
 P= Calificación por precipitación.

Aplicando la evaluación anterior, a las condiciones geomorfológicas y la categorización de la precipitación, para el área de influencia, se encontró la distribución espacial de las zonas con tendencia a inundaciones, las cuales se pueden observar en la Tabla 5-178.

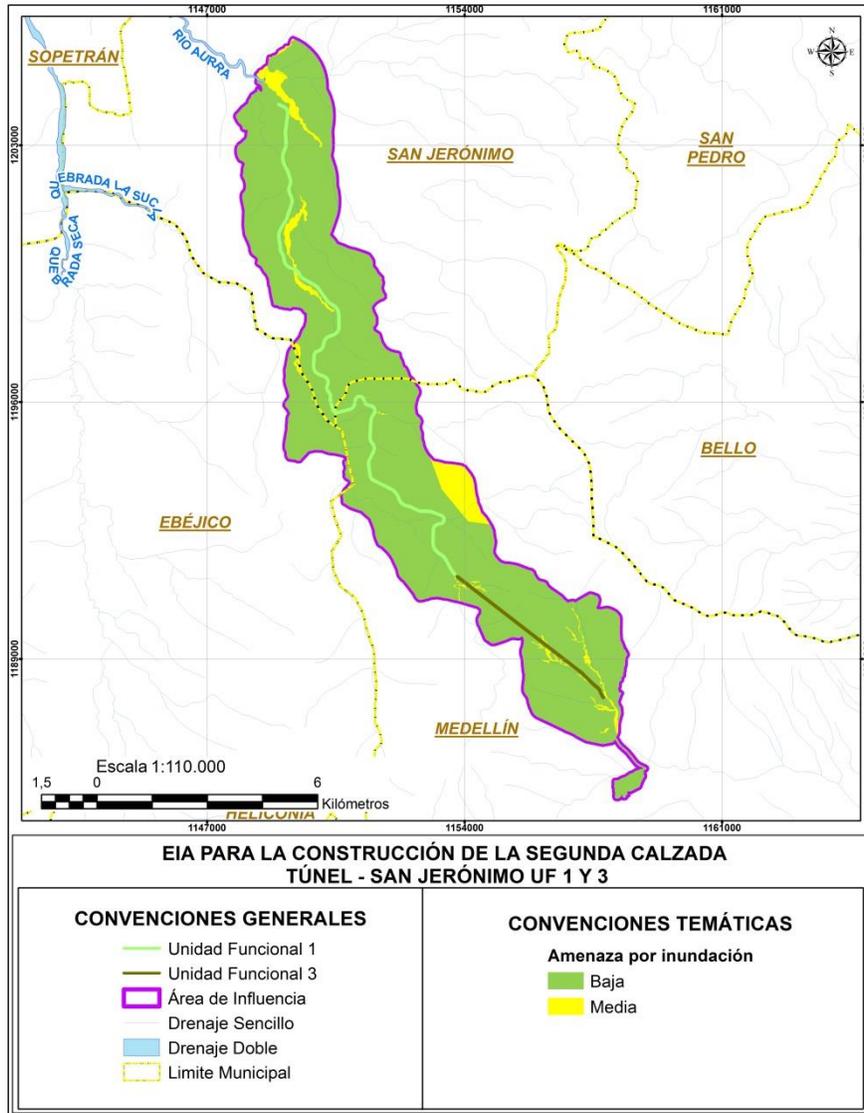
De acuerdo con los resultados obtenidos en la Figura 5-286 se presentan los resultados de las áreas clasificadas según el nivel de amenaza por inundación dentro del área de influencia, encontrándose que el 94.6% del área se encuentra en zonas de amenaza baja.

Tabla 5-178 Amenaza por inundación

Amenaza por Inundación	Área de Influencia	
	Área (ha)	%
Baja	5.068,87	94,6
Moderada	287,32	5,4
Total	5.356,19	100,00%

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Figura 5-286 Amenaza por inundación en el área de influencia



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

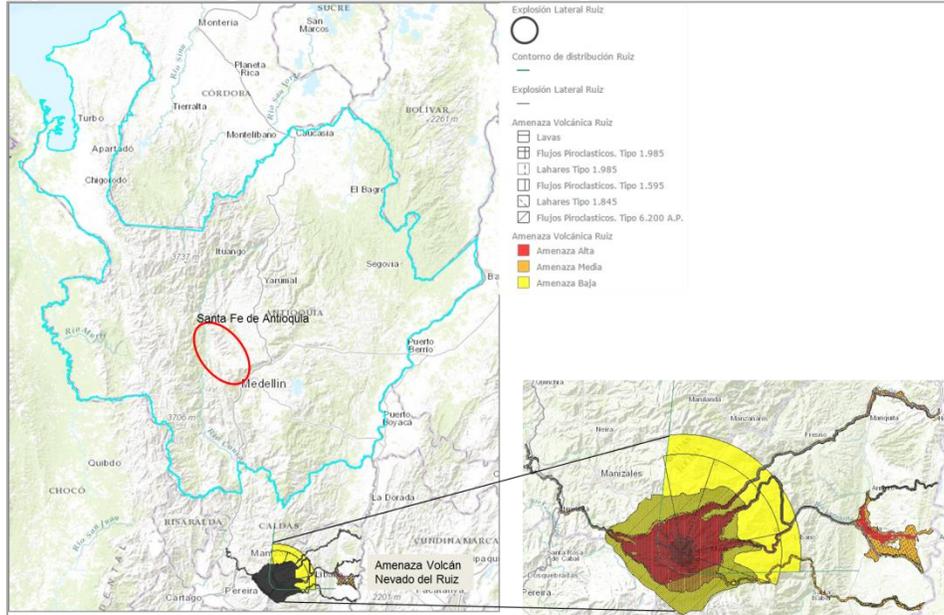
5.1.11.9 Amenaza volcánica

La información que se relaciona en este numeral, está basada la página web del Instituto Geológico Colombiano, SGC.

Los volcanes en Colombia se ubican principalmente a lo largo de la Cordillera Central, desde el límite colombo – ecuatoriano hasta la confluencia de los departamentos de Risaralda, Caldas y Tolima. En el departamento de Antioquia, la influencia volcánica es de muy bajo grado. Los focos volcánicos más cercanos al AII del proyecto se encuentran muy distantes y no tienen influencia, ver Figura 5-287, Amenaza volcán Nevado del Ruiz,

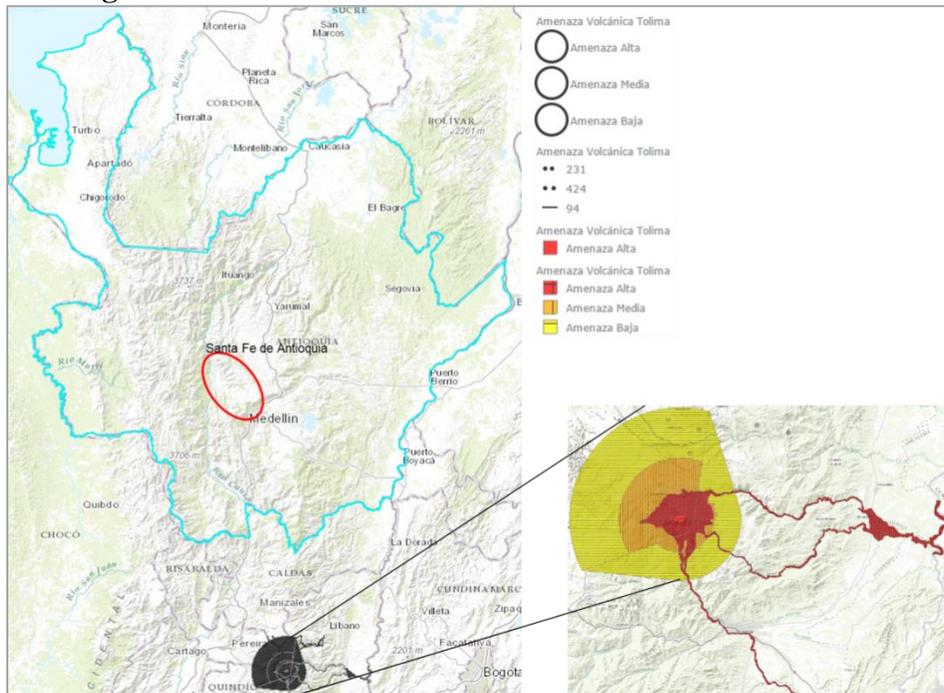
Figura 5-288 Amenaza volcán Nevado del Tolima y Figura 5-289 Amenaza Volcán Santa Isabel.

Figura 5-287 Mapa de Amenaza volcánica por Volcán Nevado del Ruiz



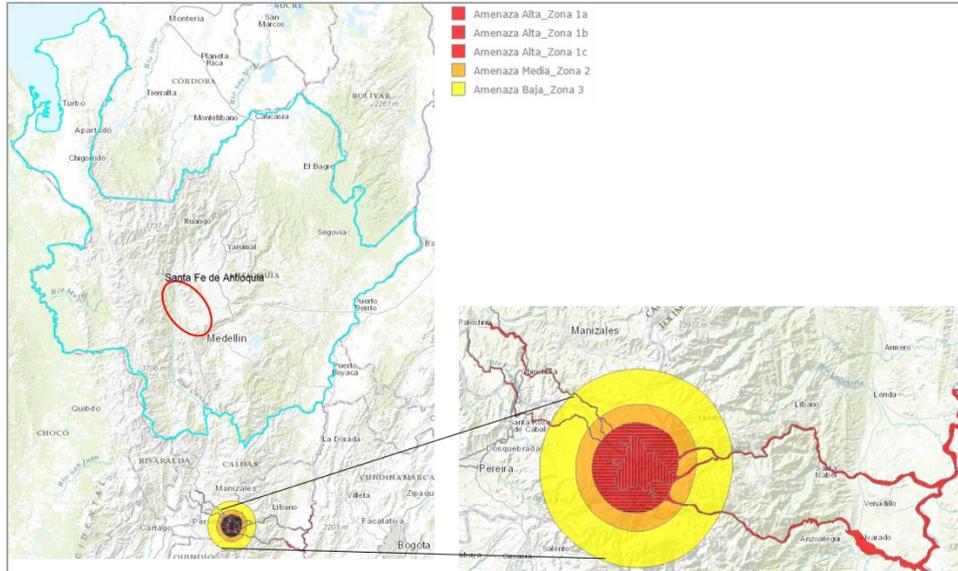
Fuente: http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_volcanica_JS/

Figura 5-288 Amenaza volcánica Volcán Nevado del Tolima



Fuente: http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_volcanica_JS/

Figura 5-289 Amenaza volcánica Volcán Nevado Santa Isabel



Fuente: http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_volcanica_JS/