

**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.
Octubre de 2016**



**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)	92
5.1.1.5 Caracterización geológica tramo túnel	97
5.1.1.6 Sectorización geológica y geomorfológica	116
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.....	192
5.1.3.1 Unidades de Paisaje Local	193
5.1.3.2 Descripción del Proyecto Frente al Componente Paisajístico	193
5.1.3.3 Calidad Visual del Paisaje	205
5.1.3.4 Calidad Visual del Paisaje Urbano	210
5.1.3.5 Análisis de la Visibilidad	213
5.1.3.6 Sitios de Interés Paisajístico	215
5.1.3.7 Percepción de la Comunidad Como referente de su Entorno Físico	216
5.1.4 Suelos y usos de la Tierra.....	216
5.1.4.1 Análisis Fisiográfico	218
5.1.4.2 Suelos del Relieve Montañoso Fluvio-gravitacional	225
5.1.4.3 Valle Aluvial Intramontano de los Ríos Cauca y Aurrá	230
5.1.4.4 Capacidad de Uso del Suelo	233
5.1.4.5 Uso Actual del Suelo	237
5.1.4.6 Uso Reglamentado del Suelo	240
5.1.4.7 Conflictos de uso del Suelo	250
5.1.4.8 Análisis de vulnerabilidad del recurso suelo en los Túneles	255
5.1.5 Hidrología.....	258
5.1.5.1 Introducción	258
5.1.5.2 Alcance de los estudios	259
5.1.5.3 Fuentes de información	259
5.1.5.4 Área de Influencia	264

 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

5.1.5.5	Tramos en Túnel	307
5.1.6	Calidad del agua	327
5.1.6.1	Cuerpos de Agua Continentales	327
5.1.7	Usos del agua.....	410
5.1.7.1	Identificación de Usos Actuales y Proyectados	410
5.1.7.2	Inventario de todos los usos y usuarios y sus demandas hídricas	418
5.1.7.3	Usuarios aprobados por CORANTIOQUIA	429
5.1.7.4	Conflictos Disponibilidad y Uso del agua	453
5.1.8	Hidrogeología	454
5.1.8.1	Información Secundaria.	455
5.1.8.2	Inventario de puntos de agua subterráneas.	458
5.1.8.3	Unidades Hidrogeológicas	478
5.1.8.4	Zonas de recarga y descarga.	490
5.1.8.5	Direcciones de Flujo	497
5.1.8.6	Modelo Hidrogeológico Conceptual	502
5.1.8.7	Modelo matemático del flujo de agua subterránea para el tramo del túnel	525
5.1.8.8	Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación	549
5.1.8.9	Análisis de Riesgo a la contaminación del Acuífero por obras planteadas.	557
5.1.9	Geotecnia.....	563
5.1.9.1	Geotecnia para tramo túnel (Unidad Funcional 3)	564
5.1.9.2	Geotecnia para Unidad Funcional 1	581
5.1.10	Atmósfera	621
5.1.10.1	Meteorología	621
5.1.10.2	Identificación de Fuentes de Emisión	641
5.1.10.3	Potenciales receptores en el área de influencia	643
5.1.10.4	Calidad del Aire	644
5.1.10.5	Ruido	664
5.1.11	Amenazas Naturales	687
5.1.11.1	Aspectos básicos a tener en cuenta en la zonificación de las amenazas naturales	687
5.1.11.2	Técnicas utilizadas para la zonificación de amenazas naturales	689
5.1.11.3	Método de trabajo utilizado para la zonificación de las amenazas naturales	692
5.1.11.4	Amenaza Sísmica	692
5.1.11.5	Amenaza por Licuación	693
5.1.11.6	Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa	701
5.1.11.7	Amenaza por avenidas torrenciales	703
5.1.11.8	Amenaza por inundaciones	715
5.1.11.9	Amenaza volcánica	721

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.....	94
Tabla 5-5 sondeos ejecutados para el tramo Túnel de occidente.....	98
Tabla 5-6 Grados de meteorización de rocas, según clasificación ISRM.....	102
Tabla 5-7 Accidentes tectónicos identificados en el tramo del túnel, sobre el Stock de Altavista.....	113
Tabla 5-8 Listado de accidentes tectónicos en la unidad Pzes.....	113
Tabla 5-9 Inventario de procesos morfodinámicos asociados a la vía actual, tramo K0+000 – K3+040.....	122
Tabla 5-10 Inventario de procesos morfodinámicos asociados a la vía actual, tramo K3+040 – K7+280.....	136
Tabla 5-11 inventario de procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa, tramo K7+280 – K10+800.....	151
Tabla 5-12 Fotografías aéreas interpretadas.....	159
Tabla 5-13 Unidades Geomorfológicas.....	162
Tabla 5-14 Leyenda fisiográfica de paisaje.....	197
Tabla 5-15 Zonas Homogéneas para las Unidades Funcionales 1 y 3.....	200
Tabla 5-16 Unidades de Paisaje Natural.....	201
Tabla 5-17. Criterios de valroecacion y puntuación para evaluar la calidad visual del paisaje BLM (1980).....	206
Tabla 5-18. Clases utilizadas para evaluar la calidad visual y puntaje.....	207
Tabla 5-19 Evaluación de la calidad visual para cada unidad de paisaje.....	208
Tabla 5-20 Distribución Espacial de la Calidad Paisajística.....	210
Tabla 5-21. Homologacion para paisaje urbano del método indirecto (BLM, 1980).....	211
Tabla 5-22. Escala de notación para clasificacion de la calidad visual urbana.....	212
Tabla 5-23 Evaluación de la Calidad Visual de las Unidades de Paisaje Urbano.....	213
Tabla 5-24 Leyenda Fisiográfica de Suelos.....	222
Tabla 5-25 clases y sub-clases agrológicas en el área de influencia.....	235
Tabla 5-26 Vocación de Uso del Suelo en el Área de influencia.....	236
Tabla 5-27 Uso Actual del Suelo en el Área de influencia.....	238
Tabla 5-28 Uso reglamentado del suelo en el área de influencia del tramo Túnel-Santa Fe.....	242
Tabla 5-29 Codificación de los Grados de Conflictos de Usos del Suelo.....	251

 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Tabla 5-30 Matriz de determinación de Conflicto de Uso del Suelo	252
Tabla 5-31 Conflictos de Uso del Suelo.....	253
Tabla 5-32. Estaciones utilizadas en el análisis hidrológico	261
Tabla 5-33 Relación de las estaciones utilizadas en el análisis climatológico para estimación de caudales	263
Tabla 5-34 Cuerpos Loticos identificados en el proyecto vial UF 3 y 1	266
Tabla 5-35 Cuencas hidrográficas en la zona de estudio	278
Tabla 5-36 Cuencas menores zona de estudio.....	280
Tabla 5-37. Frecuencia de Caudales Máximos Estación Penalta	286
Tabla 5-38 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método Racional.....	292
Tabla 5-39 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método SCS.....	293
Tabla 5-40 Caudales característicos (m ³ /s) en la cuenca del río Aurrá– Estación Penalta	296
Tabla 5-41. Balance Hídrico a nivel mensual de largo plazo – estación Cañafisto	297
Tabla 5-42. Caudales medios estimados en cuencas de sitio de cruce (m ³ /s)	299
Tabla 5-43 Caudales mínimos estimados en cuencas de sitio de cruce (m ³ /s).....	301
Tabla 5-44. Características morfométricas de las principales cuencas menores.....	305
Tabla 5-45. Principales parámetros morfométricos de las cuencas menores	306
Tabla 5-46. Red hidrográfica sector segundo Túnel de Occidente.....	307
Tabla 5-47. Cuerpos de agua loticos identificados en el sector de túnel.....	310
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	316
Tabla 5-49 Rendimientos medios mensuales (m ³ /s km ²) – Estación Penalta (Río Aurrá). 318	
Tabla 5-50 Caudales medios mensuales (l/s) – Quebrada sitio túnel	318
Tabla 5-51 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método Racional.....	323
Tabla 5-52 Caudales mínimos mensuales (l/s) – Quebradas sitio Túnel.....	325
Tabla 5-53. Georreferenciación de las estaciones de muestreo UF 3.....	328
Tabla 5-54. Georreferenciación de las estaciones de muestreo UF1	329
Tabla 5-55. Métodos y parámetros evaluados.....	333
Tabla 5-56. Requerimientos de manipulación y preservación de la muestra	334
Tabla 5-57. Descripción de puntos de monitoreo UF 3.....	335
Tabla 5-58. Descripción de puntos de monitoreo UF 1.....	343
Tabla 5-59. Resultados <i>In situ</i> y de laboratorio de los cuerpos de agua superficial.....	354
Tabla 5-60. Resultados <i>In situ</i> y de laboratorio de los cuerpos de agua superficial.....	372
Tabla 5-61. Cálculo del índice de Langelier.....	394
Tabla 5-62. Cálculo del índice de Langelier.....	395
Tabla 5-63. Capacidad buffer en cuerpos de agua superficial analizados UF3.....	396
Tabla 5-64. Capacidad buffer en cuerpos de agua superficial analizados UF1.....	396
Tabla 5-65. Ponderación asignada a las variables fisicoquímicas.....	397
Tabla 5-66. Resultados índices de calidad de agua ICA	398
Tabla 5-67. Índice de calidad de aguas superficiales Ica.	400
Tabla 5-68 Categoría y descriptor del IACAL	401
Tabla 5-69. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia ...	408
Tabla 5-70. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia ...	409
Tabla 5-71. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia ...	409

 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Tabla 5-72. Estimaciones de parámetros de calidad del agua para temporada de lluvia ...	410
Tabla 5-73. Dotación neta asumida para el cálculo de la demanda.....	411
Tabla 5-74. Proyección de la demanda de agua potable para habitantes de la cuenca del río Aburrá.....	411
Tabla 5-75. Demanda hídrica proyectada para la zona rural de la cuenca	412
Tabla 5-76. Demanda de agua en la cuenca de las quebrada La Clara y La Sucia	413
Tabla 5-77. Demanda total de agua en la cuenca del río Aurra.....	414
Tabla 5-78. Unidades de manejo para la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia....	415
Tabla 5-79. Usuarios identificados en el trabajo de campo – cuerpos loticos	423
Tabla 5-80. Usuarios identificados en el trabajo de campo en la zona correspondiente el Tunel de Occidente- Cuerpos Loticos	426
Tabla 5-81. Concesiones otorgadas en la cuenca del río Aburrá.....	429
Tabla 5-82. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca del río Aburrá	431
Tabla 5-83. Concesiones otorgadas en la cuenca de las quebradas La Seca – La Sucia....	432
Tabla 5-84. Concesiones otorgadas en la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia municipio de Medellín.....	436
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.....	441
Tabla 5-86. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca de las quebradas La Clara y La Sucia en el municipio de Medellín.....	442
Tabla 5-87. Concesiones otorgadas en la cuenca del río Aurra.....	448
Tabla 5-88. Permisos de vertimientos otorgados en la cuenca del río Aurra	451
Tabla 5-89 Puntos de agua subterránea inventariados para las Unidades Funcionales 1 y 3.	460
Tabla 5-90 Puntos de agua subterránea inventariados para el área del túnel.	461
Tabla 5-91 Resultados de la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas subterráneas.	463
Tabla 5-92 Parámetros analizados en el laboratorio.....	467
Tabla 5-93 Unidades Hidrogeológicas presentes en el área de influencia	480
Tabla 5-94 Relación de áreas de las unidades hidrogeológicas para el área de influencia.	483
Tabla 5-95 Relación de áreas de las unidades hidrogeológicas para el área de influencia	484
Tabla 5-96 Unidades Hidrogeológicas en el área del túnel	488
Tabla 5-97 Variables y evaluación de zonas de recarga.....	493
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	510
Tabla 5-99 Coordenadas de los puntos centrales de las Tomografías.....	511
Tabla 5-100 Parámetros de adquisición por tomografía.....	513
Tabla 5-101 Cálculo de la recarga (infiltración) anual en el	529
Tabla 5-102 Tipos de terreno considerados en el modelo.	530
Tabla 5-103 Lectura de caudales infiltrados en el Túnel de Occidente.....	531
Tabla 5-104 Permeabilidad de los distintos materiales.	544
Tabla 5-105 Caudales aforados en el túnel existente.	545
Tabla 5-106 Caudales en el túnel existente.	546
Tabla 5-107 Caudales de infiltración en el Túnel de Occidente durante la fase 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Construcción.....	547
Tabla 108 Caudales de infiltración en el Túnel de Occidente durante la fase de explotación	548
Tabla 5-109 Valoraciones parámetros método GOD	550
Tabla 5-110 Distribución del Parámetro “G” en el área de estudio	551
Tabla 5-111 Valor de parámetro “O” asignado.....	552
Tabla 5-112 Valor del Parámetro “D” asignados	554
Tabla 5-113 Vulnerabilidad a la Contaminación de sistemas acuíferos “GOD”	555
Tabla 5-114 Clasificación adoptada por la evaluación del Factor de peligrosidad (Fp)	560
Tabla 5-115 Clasificación adoptada por la evaluación del Factor de contacto (Fc).	560
Tabla 5-116 Cálculo del riesgo (R) mínimo y máximo posibles y del riesgo normalizado (Rn), entre 0 y 1	562
Tabla 5-117 Clasificación del riesgo para la zona de estudio.	562
Tabla 5-118 Perforaciones realizadas durante el estudio de la segunda calzada del túnel de Occidente.....	566
Tabla 5-119 Clasificación Geotécnica para la Zona del Túnel de Occidente	569
Tabla 5-120 Resumen de la zonificación geotécnica del túnel, Unidad Funcional 3 (UF3)	570
Tabla 5-121 Categoría y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables	584
Tabla 5-122 Valores de susceptibilidad por litología.....	585
Tabla 5-123 Valores de susceptibilidad por geomorfología.....	589
Tabla 5-124 Valores de susceptibilidad por hidrogeología	592
Tabla 5-125 Valores de susceptibilidad por cobertura de la tierra	595
Tabla 5-126 Valores de susceptibilidad por densidad de drenajes	598
Tabla 5-127 Ponderación de fallas según su tipo	600
Tabla 5-128 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas.....	600
Tabla 5-129 Valores de susceptibilidad por pendientes	603
Tabla 5-130 Susceptibilidad de procesos morfodinámicos	605
Tabla 5-131 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno	608
Tabla 5-132 Intervalos de categoría de precipitación.....	612
Tabla 5-133 Intervalos de categorías de sismicidad.....	615
Tabla 5-134 Categorías para la zonificación geotécnica	616
Tabla 5-135 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica.....	618
Tabla 5-136 Estaciones climatológicas seleccionadas en la zona de estudio.....	621
Tabla 5-137. Periodo de reporte de estaciones IDEAM para análisis de temperatura	624
Tabla 5-138 Valores de presión atmosférica	627
Tabla 5-139. Periodo de reporte de estaciones IDEAM para análisis de precipitación	629
Tabla 5-140. Valores de precipitación total media mensual multianual (mm)	629
Tabla 5-141. Valores de humedad relativa (%).....	632
Tabla 5-142 Valores de humedad relativa media, máxima y mínima mensual multianual (%)	633
Tabla 5-143. Valores medios mensuales de velocidad del viento (m/s)	634
Tabla 5-144. Valores medios mensuales de brillo solar	636
Tabla 5-145 Valores medios mensuales de nubosidad.....	637

Tabla 5-146. Valores medios mensuales multianuales de evaporación	638
Tabla 5-147. Centros Poblados.....	643
Tabla 5-148. Puntos de monitoreo de calidad del aire	646
Tabla 5-149. Índices de calidad del aire diarios estación 1	661
Tabla 5-150. Índices de calidad del aire diarios estación 2	662
Tabla 5-151. Índices de calidad del aire diarios estación 3	662
Tabla 5-152. Índices de calidad de Aire acumulados en los puntos evaluados.....	662
Tabla 5-153. Rangos en los que han sido clasificados los valores del ICA de acuerdo con el color asignado para facilitar su interpretación	662
Tabla 5-154. Índices de calidad del aire diarios estación 1	663
Tabla 5-155. Índices de calidad del aire diarios estación 2	663
Tabla 5-156. Índices de calidad del aire diarios estación 3	663
Tabla 5-157. Índices de calidad de Aire acumulados en los puntos evaluados.....	663
Tabla 5-158. Asentamientos identificados	667
Tabla 5-159 Puntos de medición de ruido ambiental	668
Tabla 5-160. Datos generales de la medición.....	670
Tabla 5-161. Equipos utilizados para la medición	670
Tabla 5-162 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dBA.....	672
Tabla 5-163 Principales variables meteorológicas – Tiempo ejecución estudio, día hábil.	674
Tabla 5-164 Principales variables meteorológicas – Tiempo ejecución estudio, día no hábil.	675
Tabla 5-165 Descripción de puntos de monitoreo.....	676
Tabla 5-166 Rangos de valoración de amenaza por licuación	696
Tabla 5-167 Valores de susceptibilidad por características litológicas.....	696
Tabla 5-168 Valores de susceptibilidad por características geomorfológicas.....	697
Tabla 5-169 Intervalos y categorías de la amenaza por licuación.....	698
Tabla 5-170Categorías de evaluación para la precipitación total anual el área de influencia	704
Tabla 5-171Categorías de evaluación para la Densidad de drenaje en el área de influencia	707
Tabla 5-172Categorías de evaluación para el tiempo de concentración en el área de influencia	710
Tabla 5-173Intervalos 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

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	49
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	69
Figura 5-15 Influencia estructural en sedimentos de Formación Amagá (Ngas).....	70
Figura 5-16 Sondeo exploratorio en depósitos de deslizamiento (K2+560)	82
Figura 5-17 Perfil estratigráfico lleno antrópico La Volcana.....	86
Figura 5-18 Sondeo de exploración en lleno antrópico (K1+284 – K1+466).....	87
Figura 5-19 Llenos antrópicos La Aldea y El Hormiguero	88
Figura 5-20 Sondeo de exploración en lleno antrópico (K3+448 – K3+700).....	89
Figura 5-21 Sondeo de exploración de suelos en lleno antrópico K4+300.....	91
Figura 5-22 Representación estereográfica equiareal sobre planilla de Schmidt, hemisferio inferior	92
Figura 5-23 Histograma de número de casos para cada familia.....	94
Figura 5-24 Representación estereográfica equiareal de los planos S1 y S0 por unidades litológicas	95
Figura 5-25 Geología túnel San Jerónimo.....	101
Figura 5-26 Perfiles de meteorización en Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes), realizados en el tramo túnel	103

 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Figura 5-27 Ubicación de sondeos sobre Esquistos Cuarzo sericíticos (Pzes).....	104
Figura 5-28 Ubicación de Sondeos sobre Stock de Altavista (Kida)	106
Figura 5-29 Perfiles de meteorización en Stock de Altavista (Kida), realizados en el tramo túnel	107
Figura 5-30 Suelos residuales y mantos de alteración en sondeos realizados en tramo túnel	109
Figura 5-31 Perfil geológico del túnel, costado SE.....	111
Figura 5-32 Perfil geológico del túnel, zona de contacto Kida y Pzes.....	112
Figura 5-33 Perfil geológico del túnel, costado NW	112
Figura 5-34 Perfil simplificado del Túnel de Occidente	115
Figura 5-35 Procesos morfodinámicos identificados en Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	121
Figura 5-36 Valle estrecho en V, quebrada La Frisola, en rocas del Granito néisico de Palmitas	131
Figura 5-37 Llenos antrópicos en el tramo K01+290 – K01+470, K01+623 – K01+679 .	135
Figura 5-38 Cruce de la vía a través de la quebrada Salto y Pisquines	142
Figura 5-39 Cruce de la nueva vía por parte terminal de depósito de deslizamiento (Qd)	145
Figura 5-40 Cruce de la vía por depósito de deslizamiento, K03+928 – K03+955	146
Figura 5-41 Depósitos de ladera en K5+750 – K5+950 y K6+000 – K6+050	147
Figura 5-42 Mapa geomorfológico Unidad Funcional 1	161
Figura 5-43 Morfodinámica tramo K00+000 – K03+039, Periodo 2.010 – 2.011	175
Figura 5-44 Morfodinámica en subtramo K00+500 – K00+900 de la vía existente.....	176
Figura 5-45 Morfodinámica en tramo K03+039 – K07+280	177
Figura 5-46 Morfodinámica en tramo K07+280 – K10+800	178
Figura 5-47 Morfodinámica en tramo K10+800 – K16+333	179
Figura 5-48 Morfodinámica en tramo K16+333 K17+800	180
Figura 5-49 Morfodinámica, parte NW de Unidad Funcional 3 (UF3), 2012-2015	181
Figura 5-50 Morfodinámica salida túnel de occidente (K00+000) – K03+039, 2015	182
Figura 5-51 Evolución de la morfodinámica en el K00+500 – K00+900 (abscisado vía existente).....	183
Figura 5-52 Evolución de la morfodinámica en el K02+300 – K03+039 (abscisado vía nueva)	183
Figura 5-53 Morfodinámica tramo K03+039 – K07+280.....	184
Figura 5-54 Evolución de la morfodinámica en el K04+000 – K04+800 (abscisado vía nueva)	185
Figura 5-55 Geología en tramo K04+000 – K04+800	185
Figura 5-56 Morfodinámica tramo K07+280 – K10+800.....	186
Figura 5-57 Evolución morfodinámica de subtramo K04+7280 – K09+130.....	188
Figura 5-58 Morfodinámica tramo K10+800 – K16+333.....	189
Figura 5-59 Morfodinámica tramo K16+333 – K17+800.....	190
Figura 5-60 Distribución espacial de las unidades de paisaje	199
Figura 5-61 Unidad A4-Agroforestal	203
Figura 5-62 Unidad A1-Ganadería	204
Figura 5-63 Unidad A6-Ganadería.....	205

 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Figura 5-64 Calidad visual del paisaje	209
Figura 5-65 Visibilidad del área de influencia	214
Figura 5-66 Imagen Palsar Alos 1	218
Figura 5-67 Distribución espacial de las unidades cartográficas de suelos.....	221
Figura 5-68 Suelos típicos de la Asociación A1	225
Figura 5-69 Suelos típicos de la Asociación B1	231
Figura 5-70 Suelos típicos de la asociación B3	233
Figura 5-71 Estructura de la nomenclatura de las Clases Agrologicas	234
Figura 5-72 Vocación de uso del suelo	237
Figura 5-73 Uso actual del suelo	239
Figura 5-74 Conflicto de uso del suelo.....	254
Figura 5-75 Clases agrológicas en la UF 3.....	255
Figura 5-76. Localización estaciones hidrométricas - zona de estudio.	262
Figura 5-77. Localización estaciones climatológicas - zona de estudio.....	263
Figura 5-78. Red de drenaje en el área de estudio.....	265
Figura 5-79. Localización cuencas menores en sitios de cruce de la zona de estudio	279
Figura 5-80. Caudales máximos mensuales multianuales - Estación Penalta (Río Aurrá) ..	286
Figura 5-81 Análisis Caudales Máximos Estación Penalta.....	287
Figura 5-82 Hidrograma Unitario Adimensional del U.S.S.C.S.	291
Figura 5- 5-83 Curva de duración de Caudales de corrientes.....	294
Figura 5-84. Caudales medios mensuales multianuales - Estación Penalta (Río Aurrá) ...	295
Figura 5-85 Curva de Duración de Caudales (CDC) del Río Aurrá – Estación Penalta	296
Figura 5-86 Balance Hídrico mensual – estación Cañafisto.....	298
Figura 5-87. Caudales medios mensuales multianuales - Estación Penalta (Río Aurrá) ...	300
Figura 5-88. Mapa de zonas susceptibles a la inundación (IDEAM, 2012).....	303
Figura 5-89. Localización red hidrográfica sector segundo Túnel de Occidente.....	308
Figura 5-90 Caudales medios mensuales – Quebradas sitio túnel	318
Figura 5-91 Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S.	322
Figura 5-92 Localización red hidrográfica sector segundo Túnel de Occidente.....	326
Figura 5-93. Estaciones de muestreo. UF 3.....	329
Figura 5-94. Estaciones de muestreo UF 1	331
Figura 5-95. Temperatura de los cuerpos de agua superficial.....	357
Figura 5-96. pH de los cuerpos de agua superficial	358
Figura 5-97. Oxígeno disuelto, DBO y DQO de los cuerpos de agua superficial.....	359
Figura 5-98. Conductividad de los cuerpos de agua superficial.....	360
Figura 5-99. Diferentes tipos de sólidos.....	361
Figura 5-100. Turbiedad de los cuerpos de agua superficial	361
Figura 5-101. Acidez, Alcalinidad, Dureza cálcica y Dureza total de los cuerpos de agua superficial	362
Figura 5-102 Fosforo total de los cuerpos de agua superficial.....	363
Figura 5-103. Nitrógeno total de los cuerpos de agua superficial	363
Figura 5-104 Aceites y grasas de los cuerpos de agua superficial	364
Figura 5-105. Bario y Níquel de los cuerpos de agua superficial.....	365
Figura 5-106 Metales presentes en los cuerpos de agua superficial.....	369

 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Figura 5-107. Coliformes fecales de los cuerpos de agua superficial	370
Figura 5-108. Coliformes totales de los cuerpos de agua superficial	370
Figura 5-109. Temperatura de los cuerpos de agua superficial	375
Figura 5-110. pH de los cuerpos de agua superficial	376
Figura 5-111. Oxígeno disuelto de los cuerpos de agua superficial	376
Figura 5-112. DBO y DQO de los cuerpos de agua superficial	377
Figura 5-113. Conductividad de los cuerpos de agua superficial	378
Figura 5-114. Sólidos disueltos-suspendidos	379
Figura 5-115. Turbiedad de los cuerpos de agua superficial	380
Figura 5-116. Color verdadero de los cuerpos de agua superficial	381
Figura 5-117. Acidez, Alcalinidad, Dureza cálcica y Dureza total de los cuerpos de agua superficial	382
Figura 5-118. Fósforo total de los cuerpos de agua superficial	382
Figura 5-119. Nitrógeno total de los cuerpos de agua superficial	383
Figura 5-120 Fenoles totales de los cuerpos de agua superficial	384
Figura 5-121. Aceites y grasas de los cuerpos de agua superficial	384
Figura 5-122. Arsénico de los cuerpos de agua superficial	385
Figura 5-123. Bario de los cuerpos de agua superficial	386
Figura 5-124. Cadmio de los cuerpos de agua superficial	386
Figura 5-125. Cobre de los cuerpos de agua superficial	387
Figura 5-126. Cromo total de los cuerpos de agua superficial	387
Figura 5-127. Mercurio de los cuerpos de agua superficial	388
Figura 5-128. Níquel de los cuerpos de agua superficial	388
Figura 5-129. Plata de los cuerpos de agua superficial	389
Figura 5-130. Plomo de los cuerpos de agua superficial	390
Figura 5-131. Selenio de los cuerpos de agua superficial	390
Figura 5-132. Zinc de los cuerpos de agua superficial	391
Figura 5-133. Coliformes fecales de los cuerpos de agua superficial	392
Figura 5-134. Coliformes totales de los cuerpos de agua superficial	392
Figura 5-135. IACAL en condiciones de año medio UF 3	402
Figura 5-136. IACAL en condiciones de año medio UF 1	403
Figura 5-137. Relación precipitación vs caudales, (variables climatológicas vs	406
Figura 5-138. Comportamiento estacional de los sólidos suspendidos totales en series de tiempo, (valores promedio mensuales - multianuales)	407
Figura 5-139 Distribución espacial del inventario de puntos de agua	459
Figura 5-140 Distribución espacial del inventario de puntos de agua en el área del túnel	461
Figura 5-141 Comportamiento de la Temperatura	464
Figura 5-142 Comportamiento del pH	465
Figura 5-143 Comportamiento de la conductividad	466
Figura 5-144 Comportamiento del Oxígeno Disuelto	467
Figura 5-145 Comportamiento de la Acidez y alcalinidad total	469
Figura 5-146 Comportamiento Dureza Calcica y Dureza total	470
Figura 5-147 Comportamiento de DQO y DBO	471
Figura 5-148 Comportamiento de la Turbiedad	472

 <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 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Figura 5-149 Nitrógeno Total.....	472
Figura 5-150 Grasas y Aceites	474
Figura 5-151 Sólidos Disueltos totales, Sólidos Totales, Sólidos suspendidos Totales.....	475
Figura 5-152 Coliformes totales	476
Figura 5-153 Coliformes Fecales	477
Figura 5-154 Metales.....	478
Figura 5-155 Provincias Hidrogeológicas de Colombia.	479
Figura 5-156 Distribución espacial de las unidades hidrogeológicas en el área de influencia	481
Figura 5-157 Porcentaje de ocupación de las unidades hidrogeológicas.	484
Figura 5-158 Porcentaje de ocupación de las unidades hidrogeológicas	485
Figura 5-159 Distribución espacial de las Unidades Hidrogeológicas identificadas en el área del túnel	490
Figura 5-160 Potencialidad de las zonas de recarga para el área de influencia de las unidades funcionales 1 y 3.....	495
Figura 5-161 Potencialidad de las zonas de recarga para el área del túnel	497
Figura 5-162 Isopiezas del área de sustracion del DMI.	498
Figura 5-163 Definición de las direcciones de flujo.....	499
Figura 5-164 Direcciones de Flujo en el Área de estudio	500
Figura 5-165 Direcciones de flujo para el área del túnel (Unidad funcional 3)	502
Figura 5-166 Nomenclatura adoptada en el levantamiento geológico estructural en la galería piloto (túnel existente)	505
Figura 5-167 Sección No 1 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 1+050 del túnel proyectado.....	505
Figura 5-168 Sección No 2 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 1+500 del túnel proyectado.....	506
Figura 5-169 Sección No 3 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 2+000 del túnel proyectado.....	506
Figura 5-170 Sección No 4 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 2+500 del túnel proyectado.....	507
Figura 5-171 Sección No 5 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 3+000 del túnel proyectado.....	507
Figura 5-172 Sección No 6 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 3+500 del túnel proyectado.....	508
Figura 5-173 Sección No 7 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 4+000 del túnel proyectado.....	508
Figura 5-174 Sección No 8 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 4+500 del túnel proyectado.....	509
Figura 5-175 Sección No 9 levantada en la galería piloto (túnel existente), corresponde a la abscisa PK 4+990 del túnel proyectado.....	509
Figura 5-176 Localización de las tomografías geoeléctricas.....	511
Figura 5-177 Dispositivo Wenner	512
Figura 5-178 Resistividad de Geomateriales.....	514
Figura 5-179 Tomografía 1 (Longitud 600 metros).	515

Figura 5-180 Tomografía 2 (Longitud 300 metros).....	516
Figura 5-181 Tomografía 3 (Longitud 300 metros).....	517
Figura 5-182 Tomografía 4 (Longitud 300 metros).....	519
Figura 5-183 Tomografía 5 (Longitud 300 metros).....	520
Figura 5-184 Modelo Hidrogeológico conceptual Unidad funcional 1 (parte 1).....	522
Figura 5-185 Modelo Hidrogeológico conceptual Unidad funcional 1 (parte 2).....	523
Figura 5-186 Modelo Hidrogeológico conceptual para la Unidad funcional 3 (túnel).....	524
Figura 5-187 Perforaciones asociadas al área del túnel.....	527
Figura 5-188 Planta del modelo de cálculo del área de influencia mostrando la discretización.....	532
Figura 5-189 Perspectiva del modelo de cálculo del área del túnel.....	533
Figura 5-190 Perfil del modelo mostrando la posición del túnel proyectado.....	533
Figura 5-191 Mapa de contornos en perspectiva de la elevación del nivel freático.....	534
Figura 5-192 Mapa de direcciones de flujo en profundidad (macizo rocoso), producto del cálculo para el área del túnel.....	536
Figura 5-193 Comportamiento hidrológico del túnel existente.....	546
Figura 5-194 Comportamiento hidrológico del Túnel de Occidente en fase de construcción.....	547
Figura 5-195 Comportamiento hidrológico del Túnel de Occidente en fase de explotación.....	548
Figura 5-196 Porcentajes de Vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos.....	556
Figura 5-197 Mapa de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos.....	556
Figura 5-198 Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos para el para el área el túnel (unidad funcional 3).....	559
Figura 5-199 Mapa de Riesgo a la contaminación del Acuífero por obras planteadas.....	563
Figura 5-200 Unidades litológicas en Unidad Funcional 3, tramo túnel.....	565
Figura 5-201 Perfil Geológico dela zona de influencia del túnel de Occidente Unidad Funcional 3.....	568
Figura 5-202 Zonificación Geotécnica del túnel UF 3.....	576
Figura 5-203 Zonificación Geotécnica Túnel de Occidente, Sector 1: K00+797 – K02+500.....	577
Figura 5-204 Zonificación Geotécnica Túnel de Occidente, Sector 2: K2+500 – K3+700. Zona de Contacto entre Formaciones.....	578
Figura 5-205 Zonificación Geotécnica Túnel de Occidente, Sector 3: K3+700 – K5+366579	579
Figura 5-206 Diagrama metodológico para la obtención de la zonificación geotécnica....	583
Figura 5-207 Susceptibilidad por litología.....	587
Figura 5-208 Mapa de susceptibilidad por litología.....	588
Figura 5-209 Susceptibilidad por geomorfología.....	590
Figura 5-210 Mapa de susceptibilidad por geomorfología.....	591
Figura 5-211 Susceptibilidad por hidrogeología.....	593
Figura 5-212 Mapa de susceptibilidad por hidrogeología.....	594
Figura 5-213 Susceptibilidad por cobertura de la tierra.....	596
Figura 5-214 Mapa de susceptibilidad por cobertura de la tierra.....	597
Figura 5-215 Susceptibilidad por densidad de drenajes.....	598

 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Figura 5-216 Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes	599
Figura 5-217 Susceptibilidad por densidad fallas	601
Figura 5-218 Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas.....	602
Figura 5-219 Susceptibilidad por pendientes	603
Figura 5-220 Mapa de susceptibilidad por pendientes	604
Figura 5-221 Susceptibilidad por Morfodinámica	606
Figura 5-222 Mapa de susceptibilidad por Morfodinámica	607
Figura 5-223 Susceptibilidad general del terreno.....	609
Figura 5-224 Mapa de Susceptibilidad General del Terreno.....	610
Figura 5-225 Factor detonante por precipitación	613
Figura 5-226 Factor detonante por precipitación	614
Figura 5-227 Mapa de factor detonante por sismicidad	615
Figura 5-228 Distribución de amenaza geotécnica.....	617
Figura 5-229 Mapa amenaza geotecnica	618
Figura 5-230. Localización de las estaciones IDEAM con información histórica de variables climatológicas	623
Figura 5-231. Temperatura Media, Máxima y Mínima mensual multianual	625
Figura 5-232. Isotermas en el área de estudio	626
Figura 5-233 Presión Atmosférica.....	628
Figura 5-234. Precipitación total media mensual multianual (mm)	630
Figura 5-235 Distribución espacial de la precipitación	631
Figura 5-236. Humedad relativa mensual multianual	632
Figura 5-237 Humedad relativa media, máxima y mínima mensual multianual.....	633
Figura 5-238. Velocidad del viento media mensual multianual.....	634
Figura 5-239. Rosa del viento estación Aeropuerto Olaya Herrera	635
Figura 5-240. Brillo Solar medio mensual multianual	636
Figura 5-241. Nubosidad media mensual multianual.....	637
Figura 5-242 Valores medios de evaporación mensual multianual.....	638
Figura 5-243 Zonificación climática en el área de influencia del proyecto	640
Figura 5-244. Puntos de muestreo de calidad de aire UF3	648
Figura 5-245. Puntos de muestreo de calidad de aire UF1	649
Figura 5-246. Valores diarios de PST Estación 1, en función de la precipitación.	650
Figura 5-247. Valores diarios de PST Estación 2, en función de la precipitación.	651
Figura 5-248. Valores diarios de PST Estación 3, en función de la precipitación.	651
Figura 5-249. Valores diarios de PST Estación 1, en función de la precipitación.	652
Figura 5-250. Valores diarios de PST Estación 2, en función de la precipitación.	652
Figura 5-251. Valores diarios de PST Estación 3, en función de la precipitación.	653
Figura 5-252. Valores medios de PST en estaciones 1, 2, y 3. UF 3	654
Figura 5-253. Valores medios de PST en estaciones 1, 2, y 3. UF 1	654
Figura 5-254. Valores diarios de NO ₂ Estación 1	655
Figura 5-255. Valores diarios de NO ₂ Estación 2	655
Figura 5-256. Valores diarios de NO ₂ Estación 3	656
Figura 5-257. Valores diarios de SO ₂ Estación 1	656
Figura 5-258. Valores diarios de SO ₂ Estación 2	657

Figura 5-259. Valores diarios de SO ₂ Estación 3	657
Figura 5-260. Valores diarios de NO ₂ Estación 1	658
Figura 5-261. Valores diarios de NO ₂ Estación 2	658
Figura 5-262. Valores diarios de NO ₂ Estación 3	659
Figura 5-263. Valores diarios de SO ₂ Estación 1	659
Figura 5-264. Valores diarios de SO ₂ Estación 2	659
Figura 5-265. Valores diarios de SO ₂ Estación 3	660
Figura 5-266. Localización cartográfica de los puntos de medición de ruido ambiental UF 3	669
Figura 5-267 Localización cartográfica de los puntos de medición de ruido ambiental UF 1	669
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).....	679
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.....	680
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.....	681
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.....	682
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. ...	683
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.	684
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	685
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	686
Figura 5-276 Amenaza sísmica	693
Figura 5-277 Amenaza por licuación	699
Figura 5-278 Amenaza por licuación	700
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 0.1		

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.....	722
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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

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	36
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.....	37
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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

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	67
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.....	71
Fotografía 5-28 Depósitos aluviales, quebrada La Frisola.....	71
Fotografía 5-29 Margen izquierda quebrada La Volcana.....	72
Fotografía 5-30 Alrededores del K7+00. Cruce sobre quebrada Miserenga, en valle en V.	72
Fotografía 5-31 alrededores de K7+200. Cruce sobre quebrada La Roncha.....	73
Fotografía 5-32 Cruce a través de quebrada La Rochela.....	73
Fotografía 5-33 Material transportado por la quebrada La Causala.....	74
Fotografía 5-34 Depósitos aluviales, quebrada Sanjuana I, alrededores de K13+800.....	75
Fotografía 5-35 Descripción perfil de depósito coluvio aluvial (Qcal).....	76
Fotografía 5-36 Panorámica de depósito coluvio aluvial (Qcal), en K12+500.....	76
Fotografía 5-37 Panorámica de depósitos de ladera en alrededores de la boca de túnel existente.....	77
Fotografía 5-38 Depósito de deslizamiento (Qd), en ladera SW del túnel, parte alta.....	77
Fotografía 5-39 Panorámica ladera SE del túnel, depósito de deslizamiento (Qd).....	78
Fotografía 5-40 Depósito de deslizamiento, marzo de 2013.....	79
Fotografía 5-41 Depósito coluvial que suprayace zona de contacto entre esquistos (Pzes) y Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	80
Fotografía 5-42 Panorámica de Qd, alrededores a la salida del túnel	80
Fotografía 5-43 Panorámica de Qd.....	81
Fotografía 5-44 Depósito de deslizamiento, Qd.....	81
Fotografía 5-45 K0+500 (UF3). Lleno antrópico La Laguna (2013).....	83
Fotografía 5-46 Depósito La Laguna (2016), medidas de estabilización.....	84
Fotografía 5-47 Alrededores de K0+300. Lleno antrópico El Galpón (Qll), resultante de las excavaciones del actual túnel de occidente	85
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.....	92
Fotografía 5-50 Traza de falla San Jerónimo	96
Fotografía 5-51 Desarrollo de facetas triangulares.....	96
Fotografía 5-52 Traza de la Falla de San Jerónimo en Saltos y Pisquines.....	97
Fotografía 5-53 Esquistos cuarzo sericíticos en túnel de Occidente	100
Fotografía 5-54 Muestra de mano de diorita de Altavista, obtenida de material de lleno resultante de la excavación del túnel de Occidente existente.....	105
Fotografía 5-55 Diorita y pórfidos de la Diorita de Altavista (Kida).....	105
Fotografía 5-56 Perfil de meteorización, Kida (según Dearman, 1974-1991).....	110
Fotografía 5-57 Ladera SW del túnel, montañas denudativas afectadas por deslizamientos activos de gran magnitud.....	116

 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Fotografía 5-58 Panorámica de Kida, costado SW del túnel.....	117
Fotografía 5-59 Cicatrices de deslizamientos en ladera SW del túnel	117
Fotografía 5-60 Movimientos del terreno, ver deterioro de la vía, costado SW del túnel .	118
Fotografía 5-61 Obras de protección del terreno y evidencia de movimientos lentos del terreno, costado SW del túnel.....	118
Fotografía 5-62 Afloramiento de esquistos cuarzo sericíticos ligeramente meteorizados .	119
Fotografía 5-63 Panorámica al fondo de montañas estructurales en Esquistos cuarzo sericíticos	119
Fotografía 5-64 Margen derecha quebrada La Volcana, en suelos residuales del Granito néisico de Palmitas (Pgnp)	132
Fotografía 5-65 Alrededores de K1+800. Laderas en Granito néisico de Palmitas, afectadas por sobrepastoreo.....	132
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	133
Fotografía 5-67 K02+700 aproximadamente. Paso de la vía por área de deslizamiento activo	133
Fotografía 5-68 Cruce por quebrada La Frisola	134
Fotografía 5-69 Lleno antrópico.....	135
Fotografía 5-70 Lleno antrópico entre K3+120 – K3+290	140
Fotografía 5-71 Lleno antrópico entre K03+437 – K03+681	141
Fotografía 5-72 Afloramiento de gabros (Jgr).....	141
Fotografía 5-73 Margen derecha de cruce sobre quebrada Miserenga.....	142
Fotografía 5-74 Aproximadamente K6+800. Zona de contacto Pzes/Jgr	143
Fotografía 5-75 Margen derecha Q. Saltos y Pisquines	143
Fotografía 5-76 Aproximadamente K07+130. Margen derecha quebrada La Roncha	144
Fotografía 5-77 Aproximadamente K07+130. Margen izquierda quebrada La Roncha....	144
Fotografía 5-78 Relieve de montañas en rocas volcánicas, Complejo Quebradagrande (KvQG).....	147
Fotografía 5-79 Relieve de montañas estructurales, laderas largas, escarpadas en KvQG	148
Fotografía 5-80 K09+000. Paso aproximado de la vía, por laderas estructurales muy escarpadas, de alta susceptibilidad a movimientos en masa.....	148
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.....	149
Fotografía 5-83 K09+400. Laderas en rocas volcánicas, pendientes escarpadas, susceptibles de erosión y movimientos en masa.....	150
Fotografía 5-84 K11+000. Margen derecha quebrada Sanjuana I, depósitos de ladera.....	153
Fotografía 5-85 Depósitos coluvio aluviales que conforman abanicos aluviales y abanicos terraza	154
Fotografía 5-86 K14+000. Descripción perfil de Qcal.....	154
Fotografía 5-87 K14+400. Descripción perfil de Qcal.....	155
Fotografía 5-88 Perfil de suelo en alrededores de Zodme 1	156
Fotografía 5-89 Erosión en surcos en suelo residual de Diorita de Altavista.....	156
Fotografía 5-90 Perfil de meteorización de suelos residuales en laderas donde se proyecta 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 0.1	

conformación de Zodme 1	157
Fotografía 5-91 Panorámica al E del túnel, ver movimientos en masa de grandes dimensiones asociados a la Diorita de Altavista	164
Fotografía 5-92 Panorámica del relieve en montañas denudativas en rocas intrusivas.....	164
Fotografía 5-93 Laderas en rocas montañas denudativas con abundantes deslizamientos activos y cicatrices de deslizamientos (DI)	165
Fotografía 5-94 Panorámica de coluvios de remoción en montañas denudativas (Dcr), K02+600, UF1	166
Fotografía 5-95 Cunetas y disipadores de energía construidos para estabilizar escombrera	166
Fotografía 5-96 Escombrera en parte baja de área proyectada para ZODME 1.....	167
Fotografía 5-97 Ubicación Zodme 1	167
Fotografía 5-98 Ubicación Zodme 1	167
Fotografía 5-99 Panorámica de Montañas denudativas estructurales (DS).....	168
Fotografía 5-100 Laderas en paisaje de filas y vigas (DSI), alrededores del K6+200	168
Fotografía 5-101 Alrededores de K09+400. Panorámica laderas estructurales en paisaje de montañas estructurales denudativas (SDle).....	169
Fotografía 5-102 Valle estrecho en V, quebrada Miserenga.....	170
Fotografía 5-103 Panorámica de lomas y colinas de piedemonte (DSlo), alrededores de K16+500	171
Fotografía 5-104 Margen derecha río Aurrá, relieve de lomas y colinas (DSlo).....	171
Fotografía 5-105 Panorámica hacia el NW de lomas y colinas de piedemonte	172
Fotografía 5-106 Abanico aluvial disectado, tramo entre K11+350 – K12+800.....	172
Fotografía 5-107 Abanico aluvial, relieve plano a ligeramente plano, tramo K13+057 – K16+333	173
Fotografía 5-108 Morfodinámica tramo Unidad Funcional 3, Periodo 2.010 – 2.011.....	174
Fotografía 5-109 Talud inestable en K08+800 (abscisado nueva vía).....	187
Fotografía 5-110 Puente de Occidente sobre el río Cauca	215
Fotografía 5-111 Río Cauca	216
Fotografía 5-112 Diferentes usos en el municipio de Medellín	241
Fotografía 5-113 Suelos de la Clase 7p-10.....	256
Fotografía 5-114 Suelos de la Clase 6p-7.....	257
Fotografía 5-115 Suelos de la Clase 4p-10.....	257
Fotografía 5-116. Margen izquierda del río Cauca a la altura del municipio de Santa Fe de Antioquia	282
Fotografía 5-117. Panorámica del río Cauca a la altura del municipio de Santa Fe de Antioquia	282
Fotografía 5-118. Panorámica del río Aurrá a la altura del municipio de Sopetrán.....	283
Fotografía 5-119. Río Aburrá/Medellín a la altura de la ciudad de Medellín	284
Fotografía 5-120. Evidencia de restricciones de acceso en el sector de túnel.....	316
Fotografía 5-121. Presencia de ganado en fincas a lo largo de la vía en San Jerónimo....	419
Fotografía 5-122. Bebedero para ganado vereda La Sucia, municipio de Medellín	419
Fotografía 5-123. Bebedero para ganado vereda Naranjal, municipio de Medellín.....	419
Fotografía 5-124. Tanques de almacenamiento en el sector de la Cuchilla, Municipio 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

Medellin.....	420
Fotografía 5-125. Tubería que conecta a acueducto en el sector de Mestizal, Municipio de San Jerónimo	420
Fotografía 5-126. Tanque de almacenamiento y distribución de agua cruda, en la vereda Naranjal del municipio de Medellín	421
Fotografía 5-127. Caja para captación de afloramiento de agua en la vereda Urquita del municipio de Medellín.....	421
Fotografía 5-128. Acueducto Naranjal-Cuchilla-Uvito-Llano, con captación de la quebrada la Frisola. Tratamiento de desinfección.....	421
Fotografía 5-129. Viviendas en construcción o modificación de las mismas, La Volcana Guayabal del municipio de Medellín.....	422
Fotografía 5-130. Sitio recreativo en la Quebrada la Iguana en el sector de Boqueron en el municipio de Medellín.....	422
Fotografía 5-131 Extracción de material en la quebrada La Frisola, vereda La Volcana-Guayabal del municipio de Medellín.....	422
Fotografía 5-132 Manantial.....	462
Fotografía 5-133. Zonas de restaurantes y parqueaderos. (X: 1153430,506; Y: 1191820,671) y (X: 1152373,791; Y: 193243,068).....	642
Fotografía 5-134. Viviendas en remodelación – viviendas a la altura cercana de la vía (X: 1153138,461; Y: 1192585,438) y (X: 1153095,318; Y: 1192227,306).....	642
Fotografía 5-135. Fuentes Móviles (Vía Túnel de Occidente-San Jerónimo).....	643
Fotografía 5-136. Lugares turísticos y de recreación	665
Fotografía 5-137. Restaurantes y estacionamiento de vehículos sobre la vía	665
Fotografía 5-138. Construcción de viviendas.....	666
Fotografía 5-139. Tránsito de vehículos.....	666
Fotografía 5-140. Tránsito de vehículos particulares y de carga pesada.....	667

	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 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.

 <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 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

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 0.1



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 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

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,

 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.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

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

	<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>	

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 depositación de sedimentos de la Formación Amagá (González, 1976). Durante el cuaternario predomina un ambiente

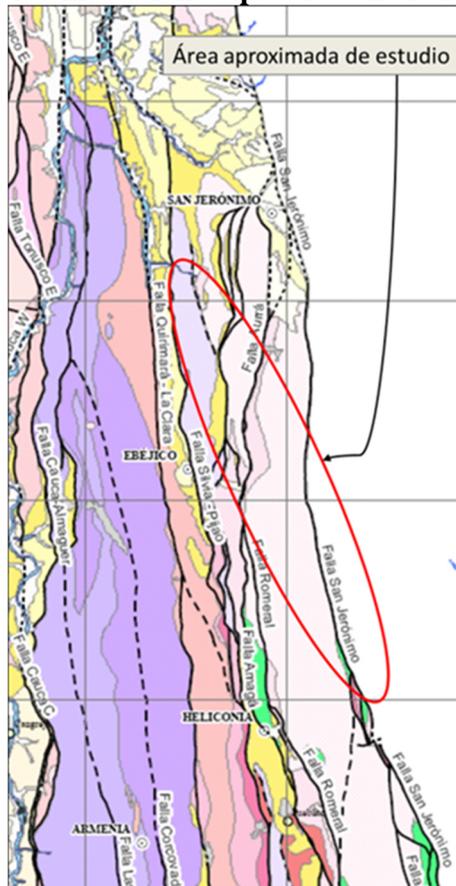
² Consorcio Microzonificación 2006 – Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.

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

denudativo y depositacional fluvial, con origen de gruesos depósitos aluviales, flujos de roca, 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

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 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

en estudios de gravedad (Case et al., 1971) y gradientes de velocidad sísmica (Meissner et al., 1976), 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.

5.1.1.2.2 Unidades Litológicas

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

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

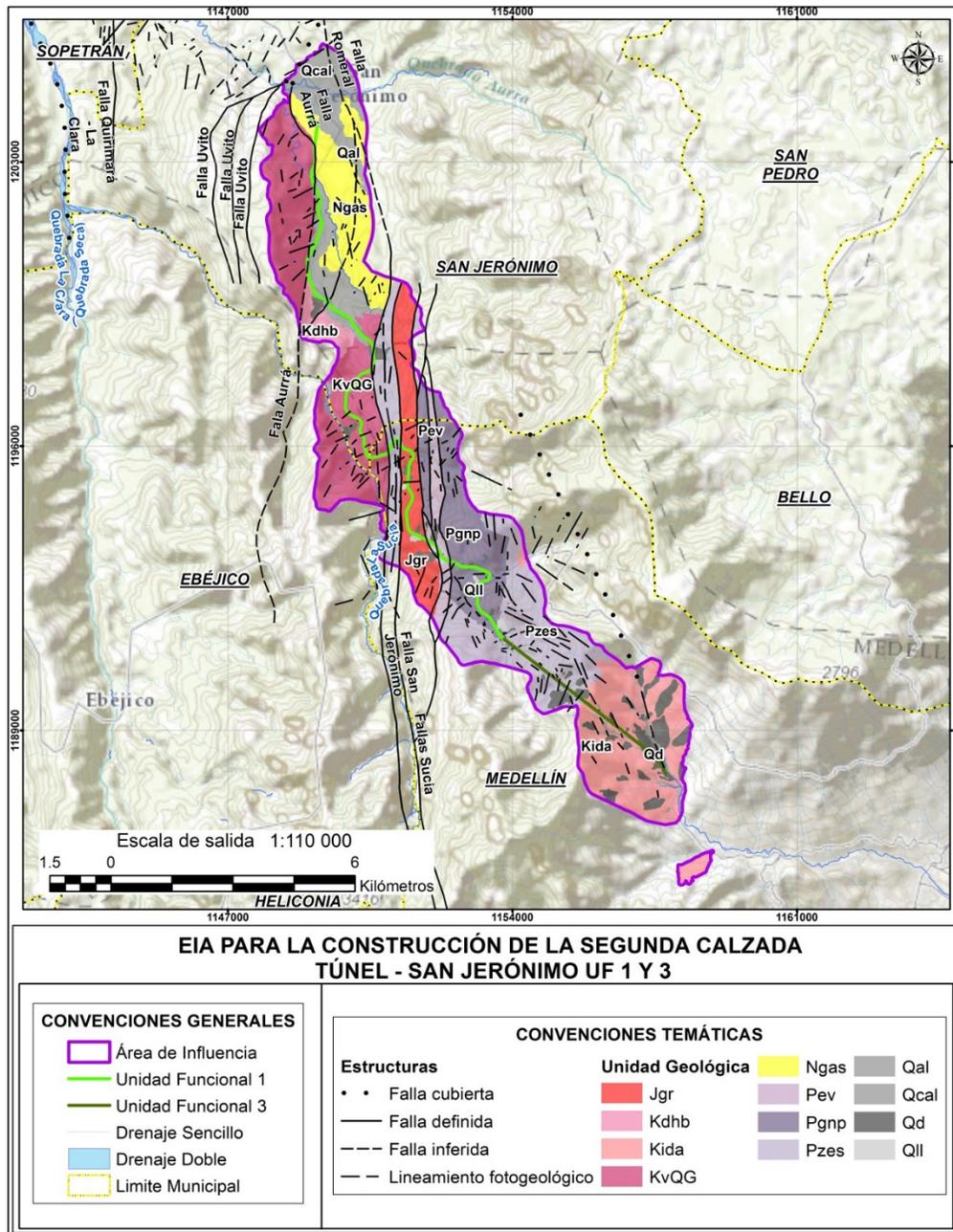


Tabla 5-3 Unidades litológicas

		EDAD		SÍMB.	UNIDAD	DESCRIPCIÓN		
EÓN	ERA	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.		
				Plioceno				
				NEÓGENO	Mioceno	Ngas	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.
			Pgam			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 0.1	

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 1.</p>	
	<p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p>	
	<p>VERSIÓN 0.1</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 falla 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).

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.

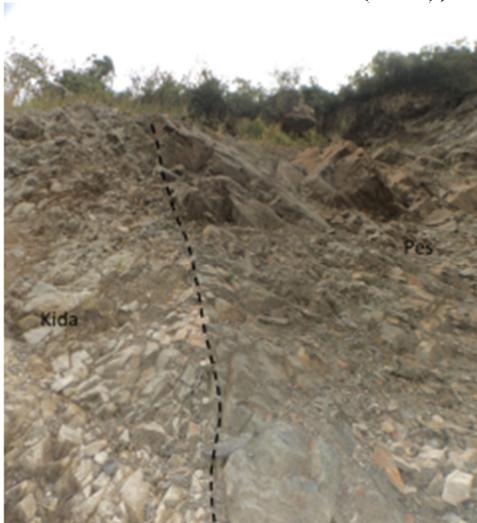
Fotografía 5-2 Afloramiento de esquistos cuarzo sericíticos en cortes de antigua carretera al mar



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

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), 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

	<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>	

plano de falla: 195/58NW y se identificó un sistema de diaclasas: 150/45NE (discontinuas (>2m), muy cerradas (2-6mm), secas).

Fotografía 5-4 Afloramiento de diorita, Kida



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

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

¹⁶Mejía, 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.

	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	

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 Periodo Cretácico

5.1.1.2.2.2.1 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 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

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

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

	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	

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 porfíricas son por lo general, color gris verdoso a veces crema. La textura varía de fanerítica granular fina a porfírica 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 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

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.

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

	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	

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. 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

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.

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

	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	

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 líticos (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.

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).

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.

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

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, 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), ver Fotografía 5-6.

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 cuarzodiorita (Fotografía 5-8), 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

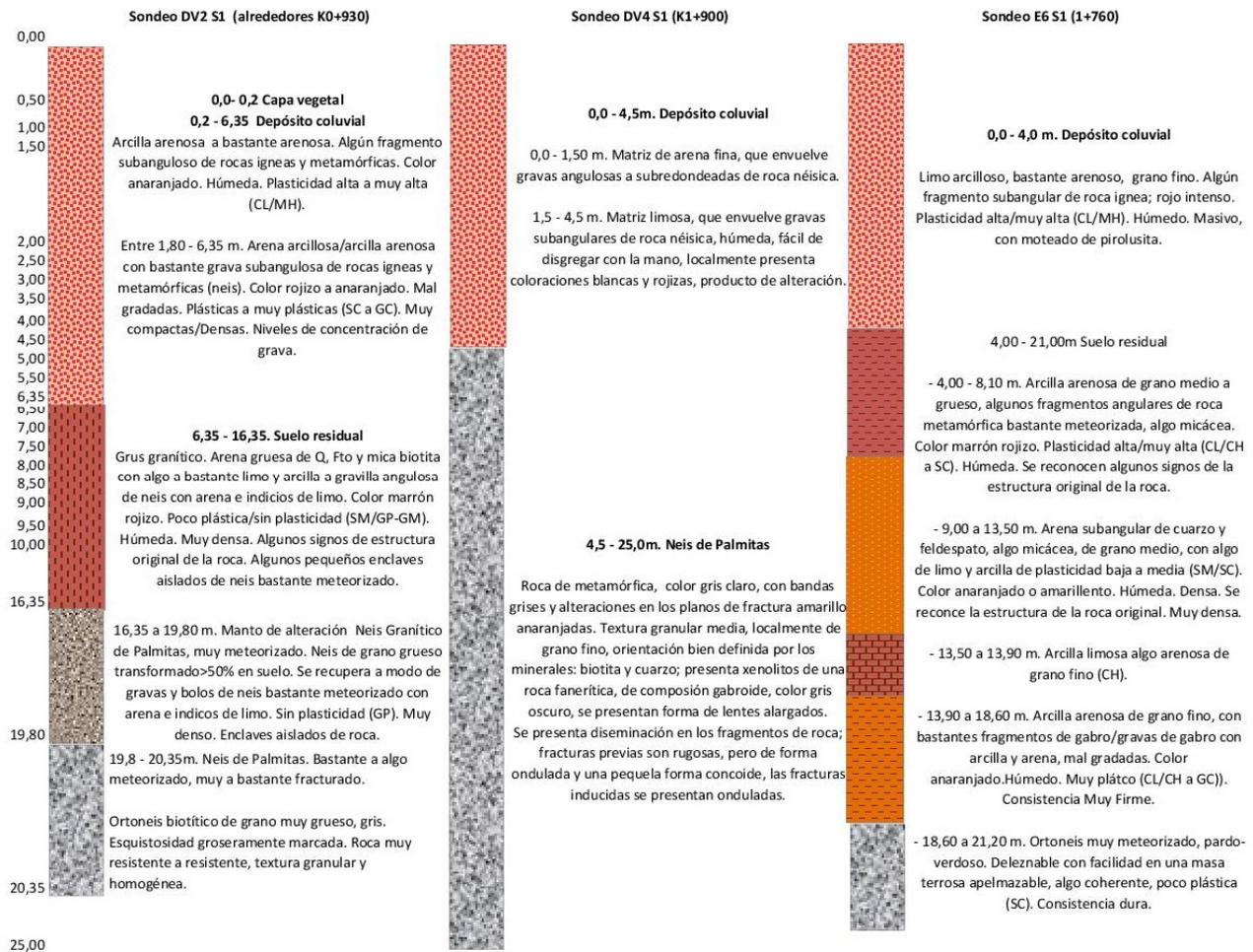
5.1.1.3.1.1 Perfil de meteorización

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

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)



5m. Horizonte VI.
Suelo residual, color variable desde naranja rosáceo con cambio gradacional a beige. Dureza media, textura variable desde arcillosa a apariencia de arena gruesa por presencia de fragmentos de cuarzo (1-2mm) triturados por efecto de la meteorización del macizo rocoso.



6m. Horizonte V.
Roca completamente meteorizada. De apariencia bandeada, color beige. Compuesta de cuarzo, feldespatos altamente meteorizados; se alcanza a identificar la estructura original de la roca

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 0.1</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 Fotografía 5-11.

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.

	<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>	

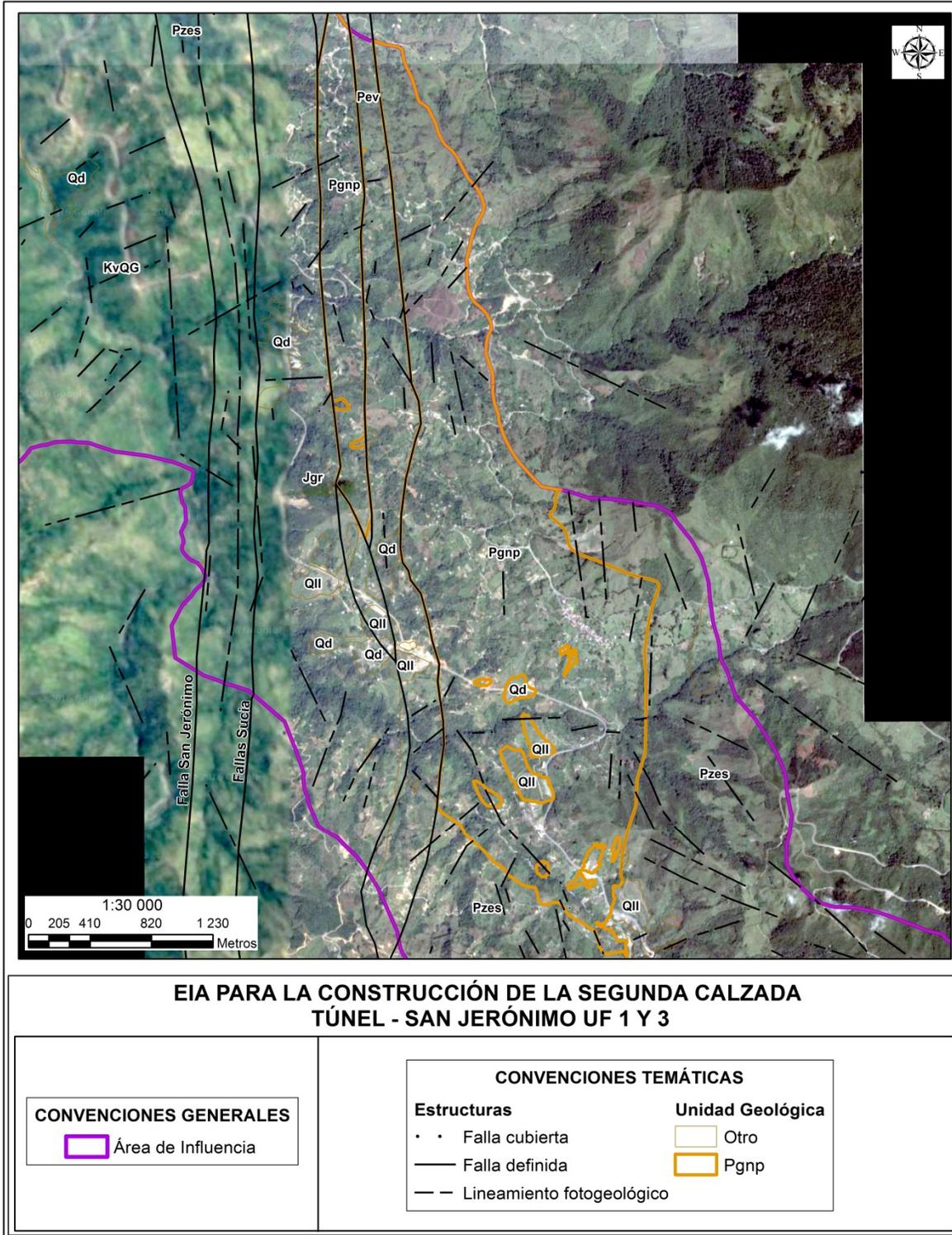
En informe de INTEINSA (2013)³³, “la zona de Palmitas presenta una gran afectación tectónica por la Falla San Jerónimo, con numerosas fallas asociadas; en alrededores del K02+400, se observó fallamiento en dirección general N10°W. Otras fallas de importancia a nivel local son Palmitas, Boquerón con dirección 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.

³³ INTEINSA – ALCALDÍA DE MEDELLÍN – INVÍAS – 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 03. Proceso Erosivo La Nuez km 16+900 (PR37A+000). Medellín, enero de 2013

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 Fotografía 5-12.

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

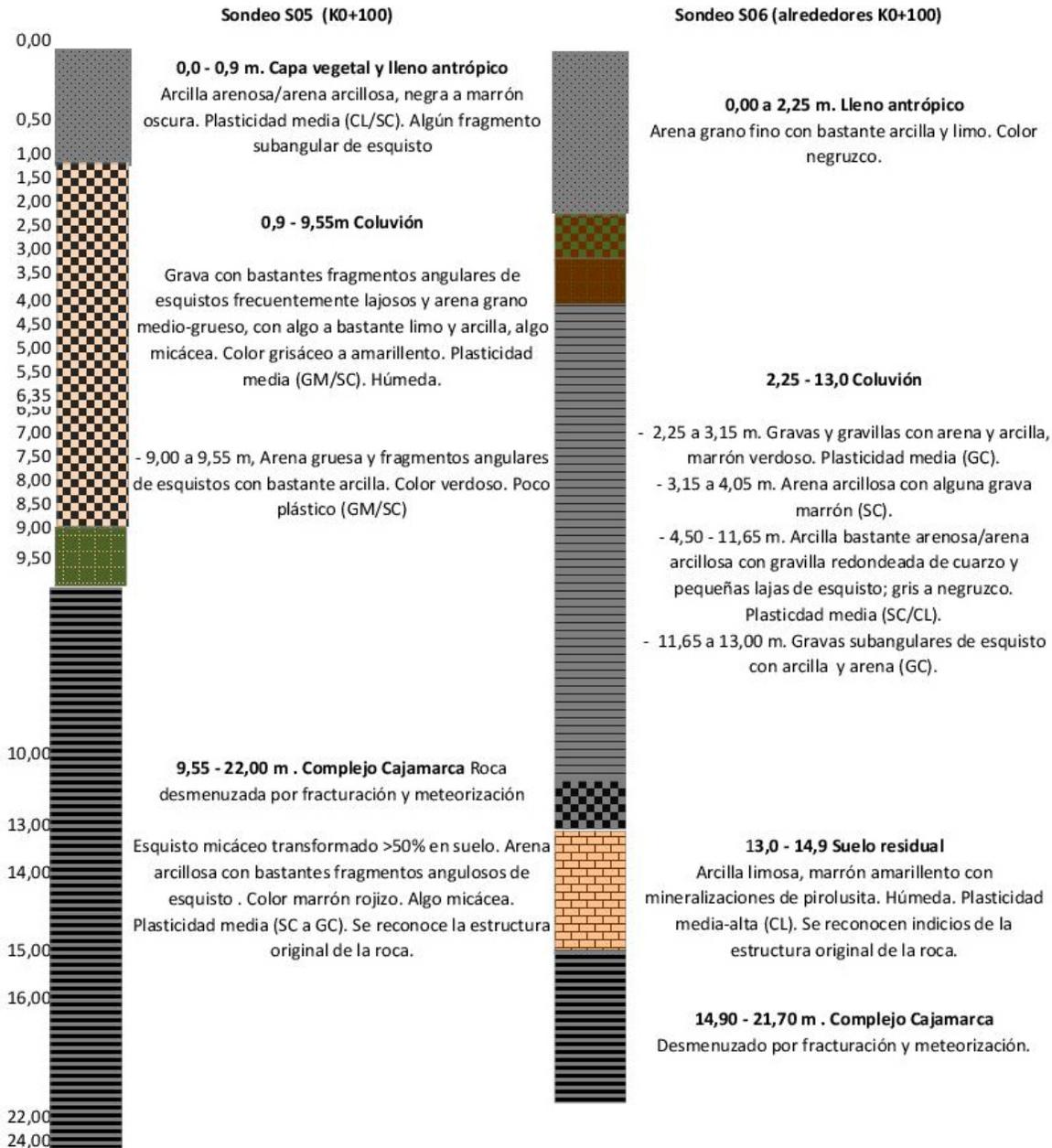


Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

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 5-26 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

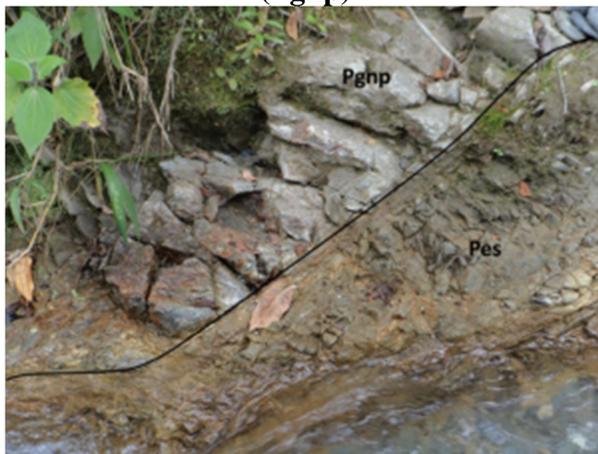
Cerca de la salida del túnel, en margen derecha de la quebrada La Frisola, se identificó el contacto entre Esquistos cuarzo sericíticos (Pzes) y Granito Néisico de Palmitas (Pgnp); se determinó esquistosidad con dirección 80°/45°S (poco continua (2-5m), sellada a extremadamente cerrada (<2mm), seca; ver Fotografía 5-13 y Fotografía 5-12. En Fotografía 5-14 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

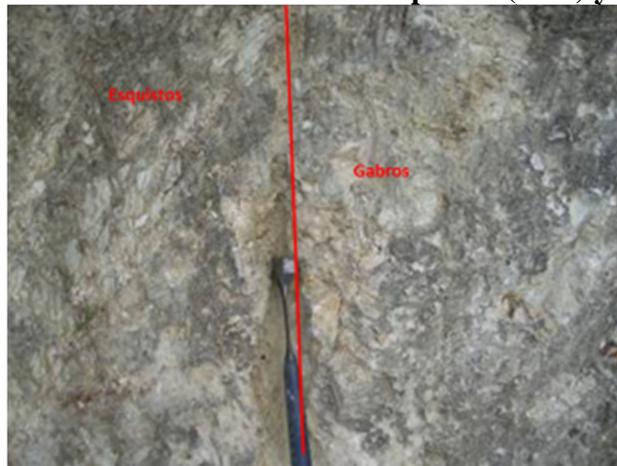
Esta unidad litológica, al igual que en toda la región, es de alta influencia estructural debido a las fallas

	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	

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), Fotografía 5-15.

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



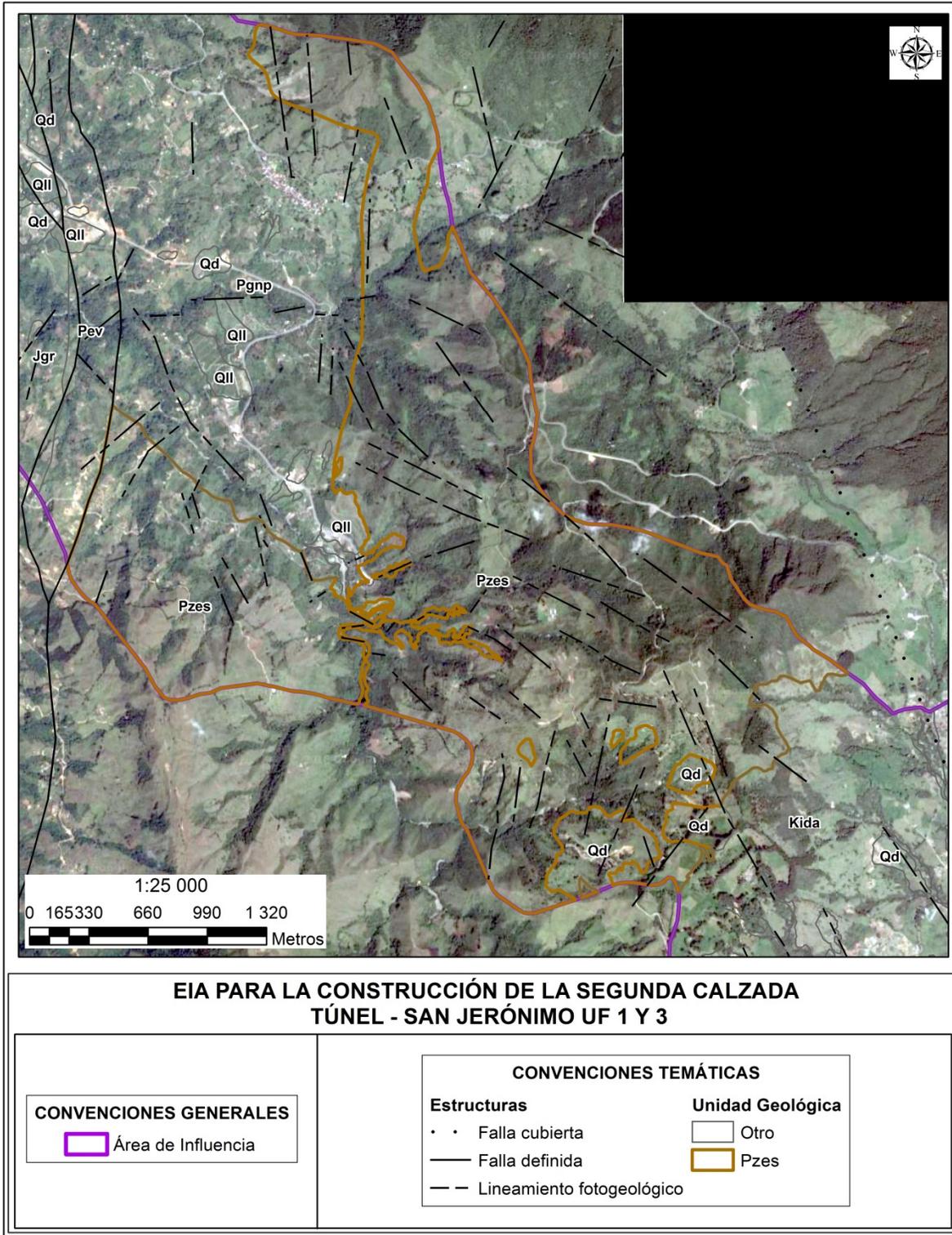
Fuente: INTEINSA. Consultoría para la Realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización De Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía, 2013.

- **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).

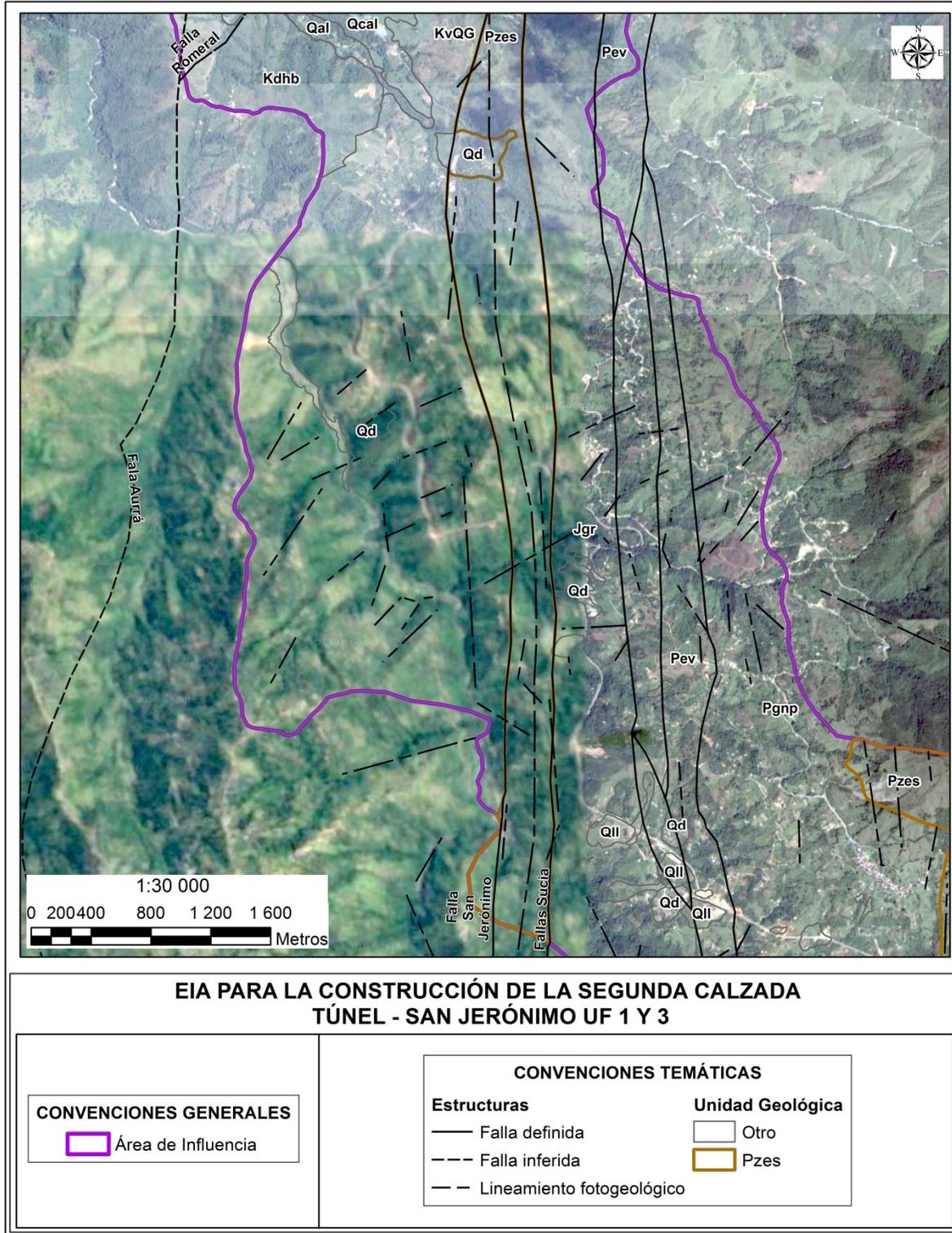
³⁴ INTEINSA. Consultoría para la Realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización De Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía, 2013.

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

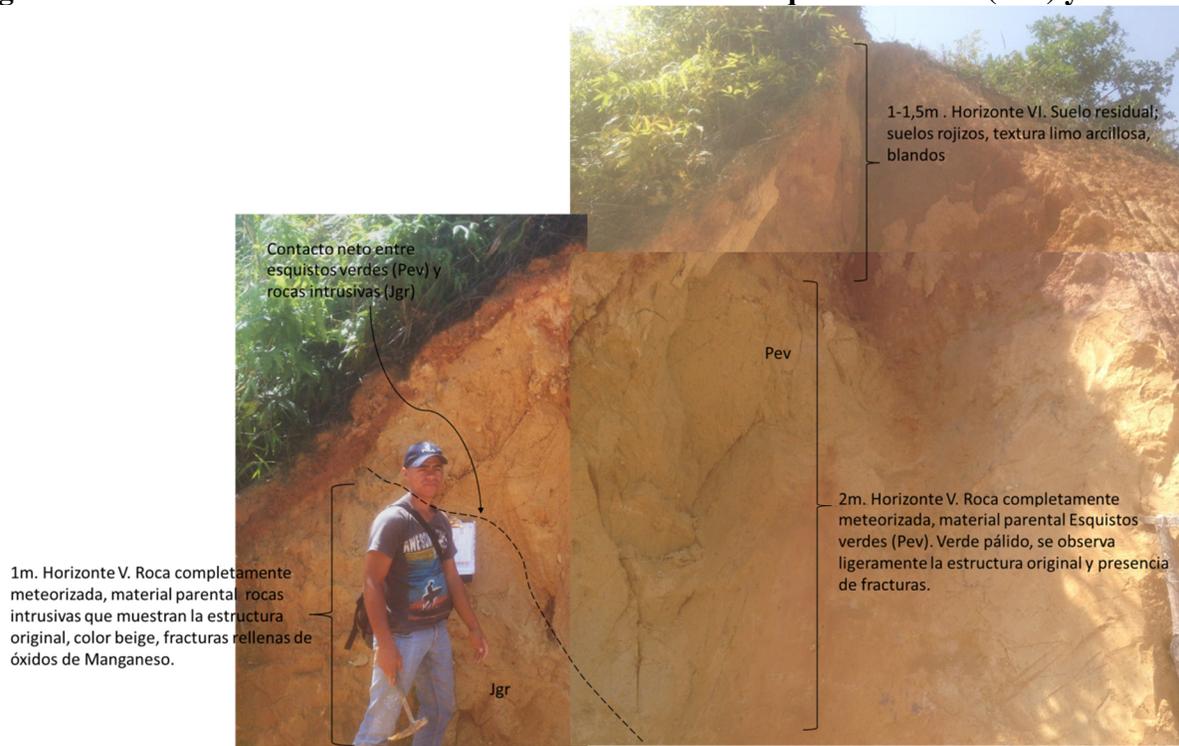
5.1.1.3.3 Esquistos verdes (Pev)

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), 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

	<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>	

horizonte IV, roca altamente meteorizada (horizonte IV), físil, color verde claro con venillas pardas delgadas y abundantes; plano de contacto: N20E/70SE; el plano de contacto es continuo (>10m), extremadamente cerrado (<2mm), seco, sin relleno.

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

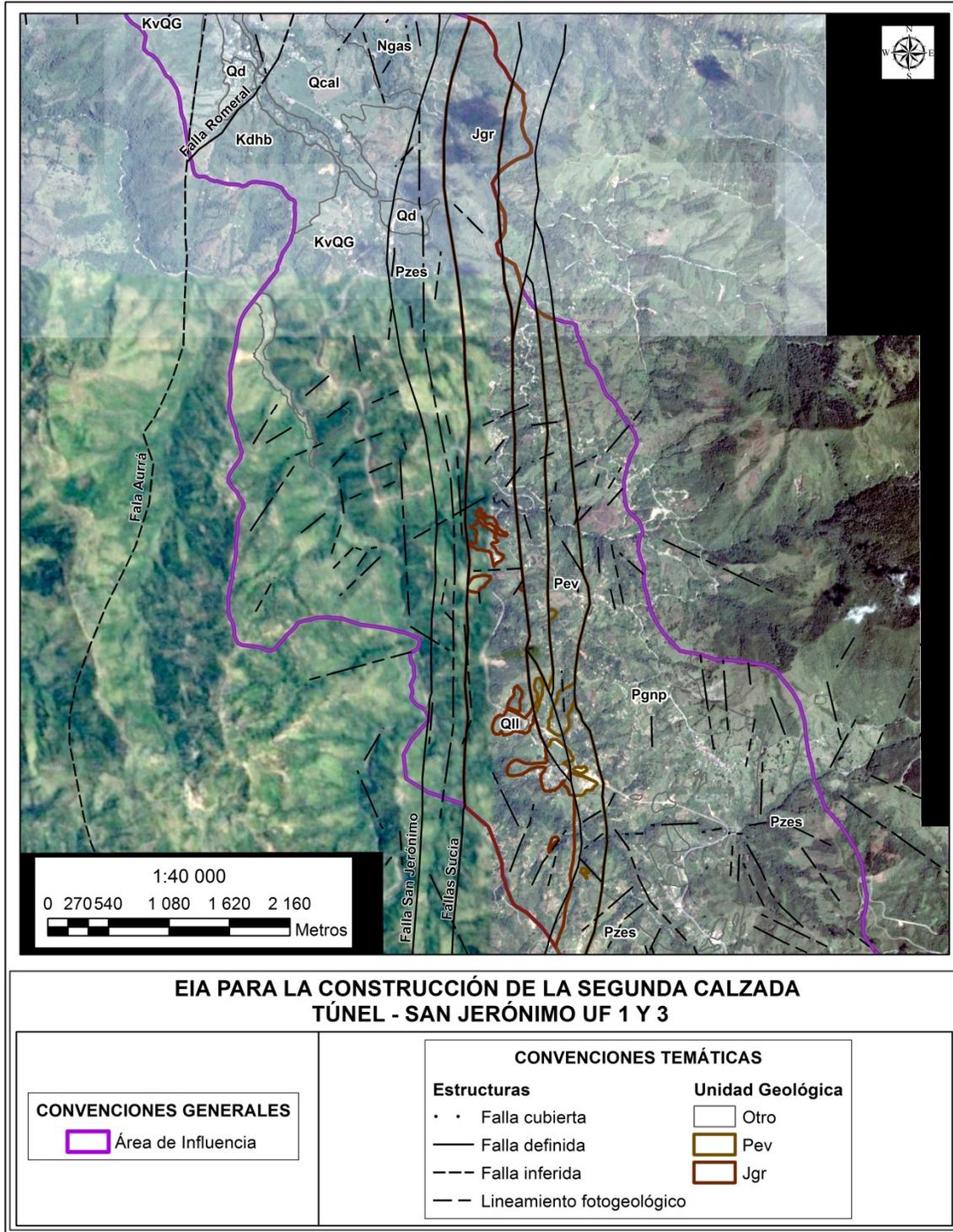


Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

- 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>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>	

5.1.1.3.4 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 feldespatos, 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.

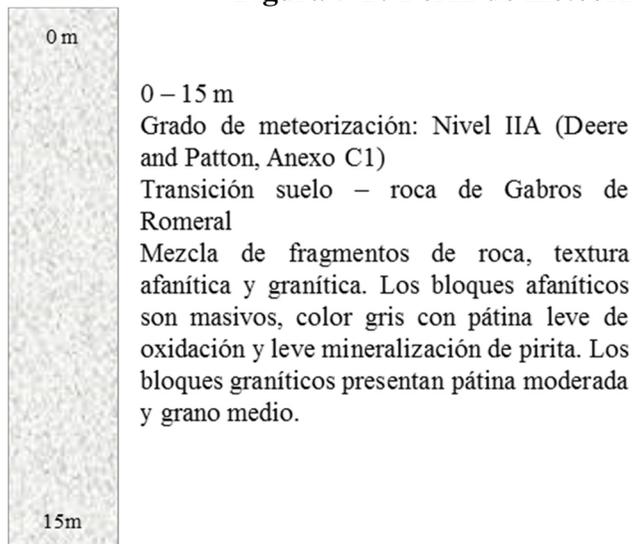
El nivel de transición de suelo a roca (Nivel IIA, Deere and Patton, ver Anexo C1) presenta texturas afanítica y granítica, que corresponde a una mezcla de suelo y roca. El Nivel IIA de la roca de textura

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.

	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	

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 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)

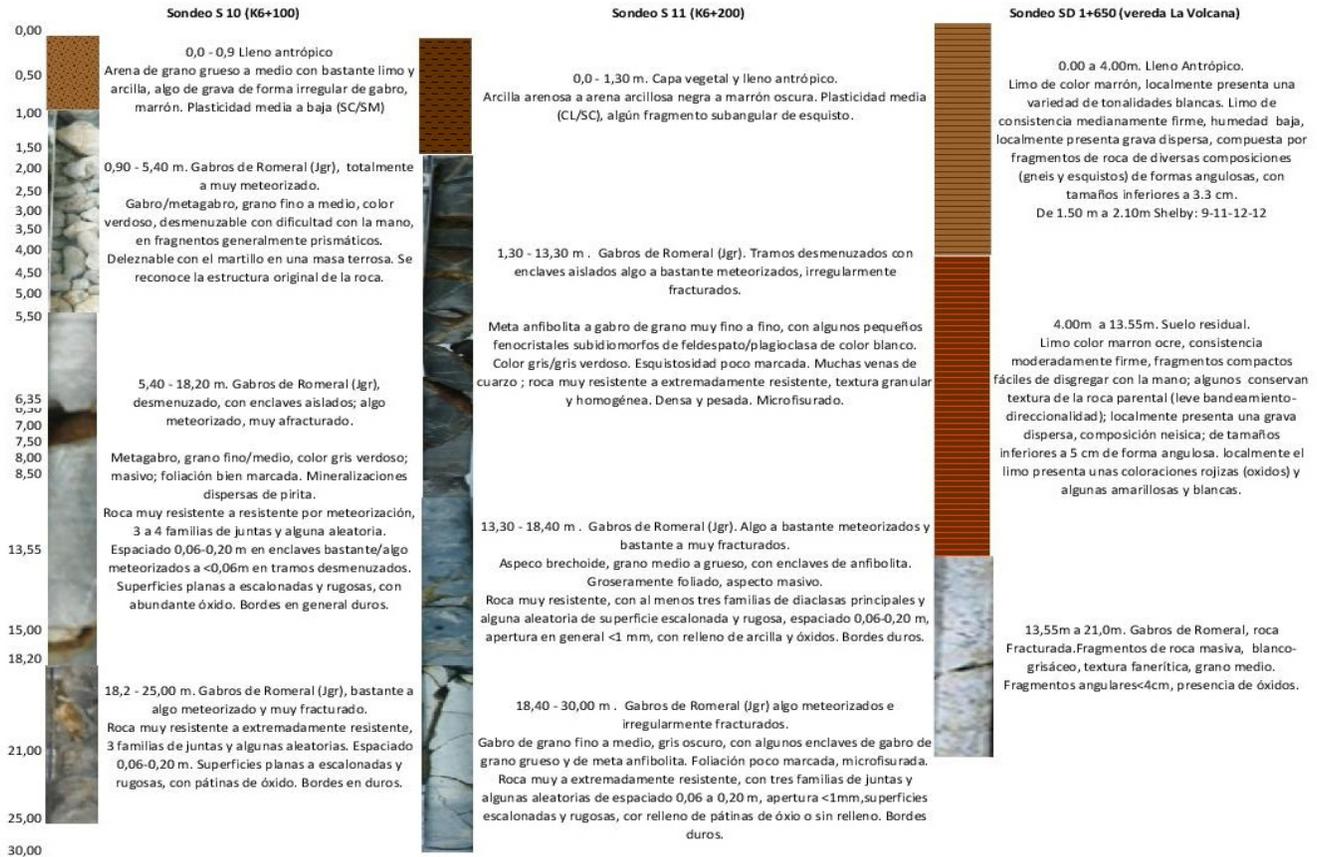


Fuente: INTEINSA – Alcaldía de Medellín – Gobernación de Antioquia – Área Metropolitana – INVÍAS. Consultoría Para La Realización De Los Estudios Geotécnicos Y Diseños De Ingeniería Necesarios Para Las Obras De Mitigación Y Estabilización De Puntos Críticos En La Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa 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

*Sebastián de Mejía en 1984)*³⁸.

En 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, Figura 5-9.

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, Fotografía 5-20. Es una roca compacta y muy fracturada, con presencia

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.

	<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 espacios vacíos.

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



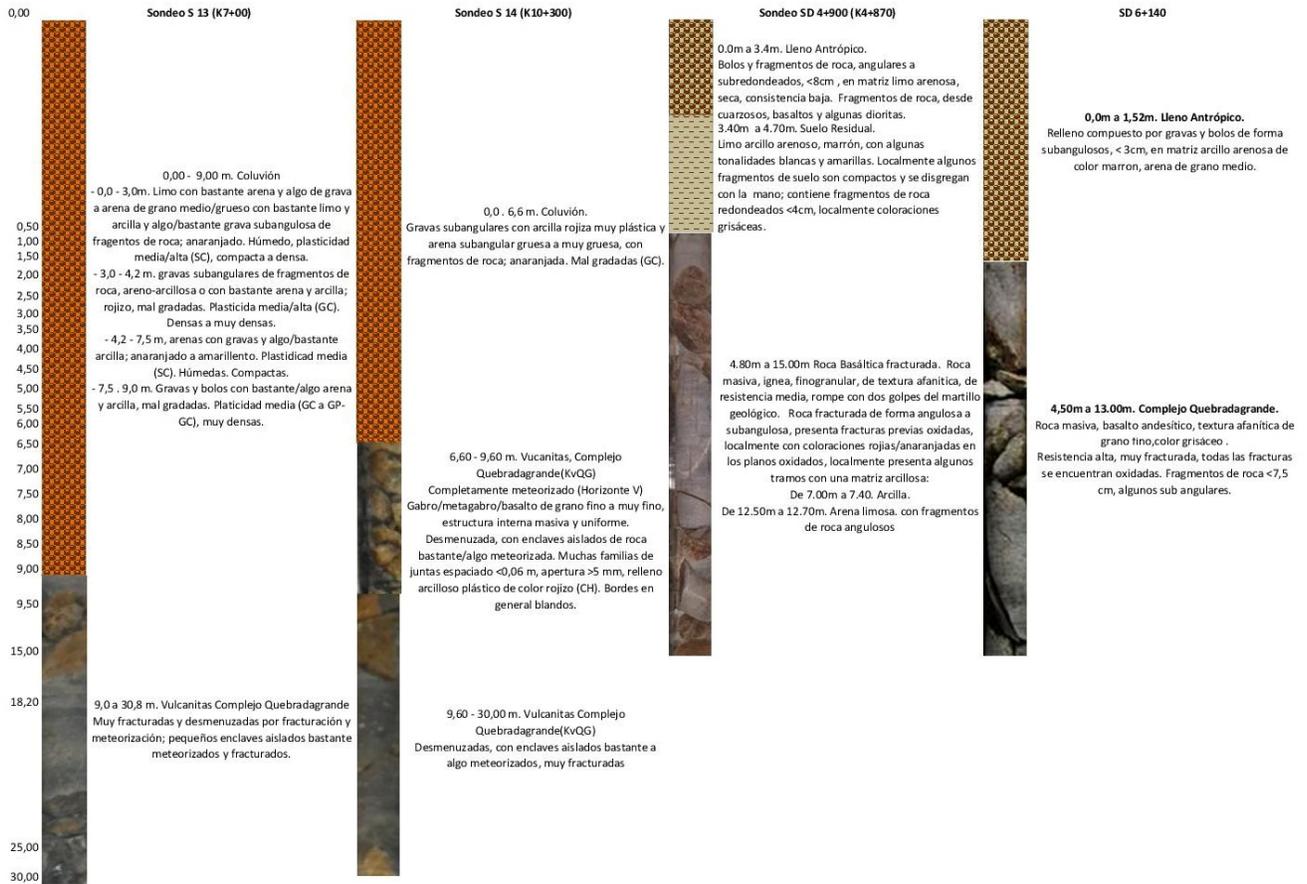
Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

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 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 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 Fotografía 5-23. 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)

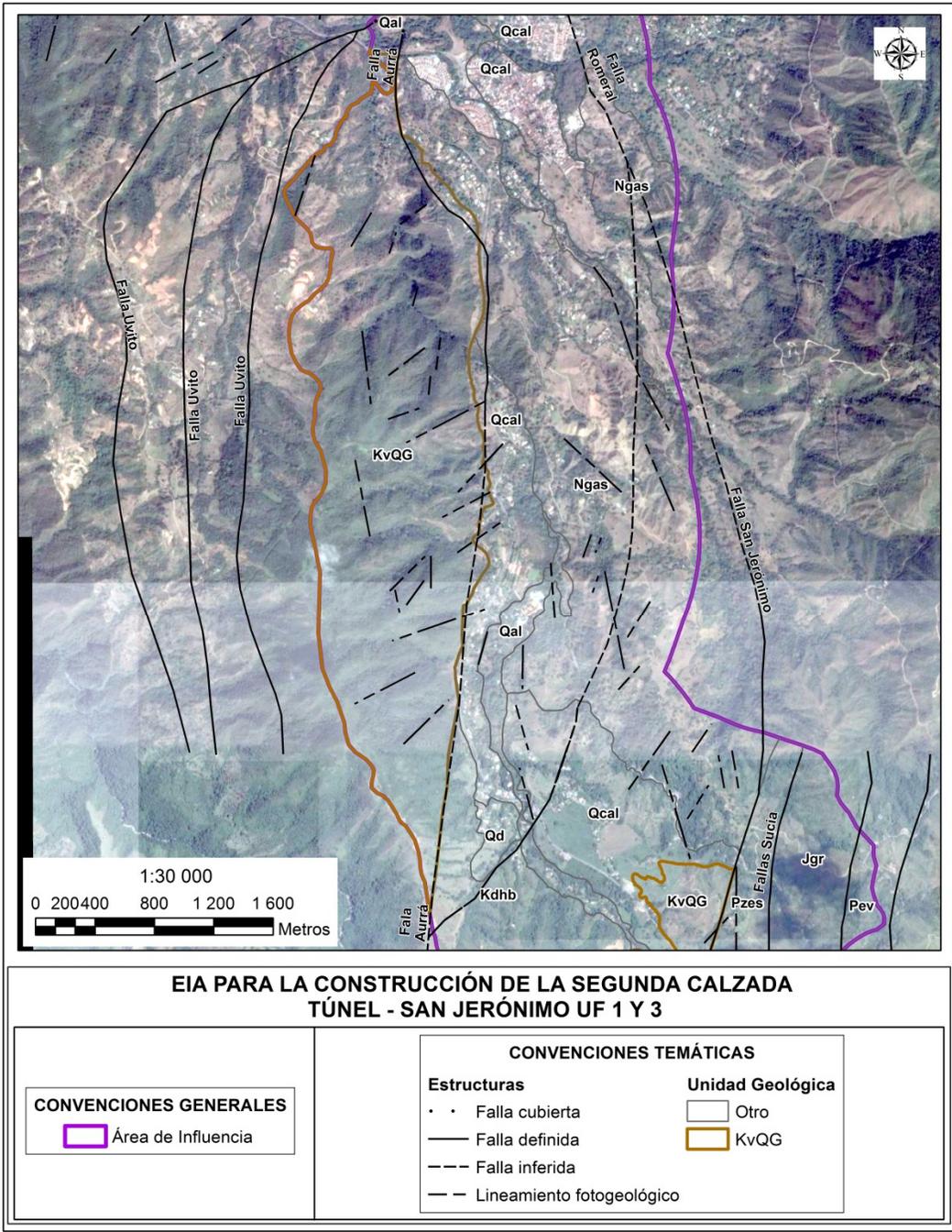


Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

- 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

	<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>	

5.1.1.3.6 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

	<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>	

5.1.1.3.6.1 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, deleznales hasta areniscas de grano muy fino, deleznales. 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

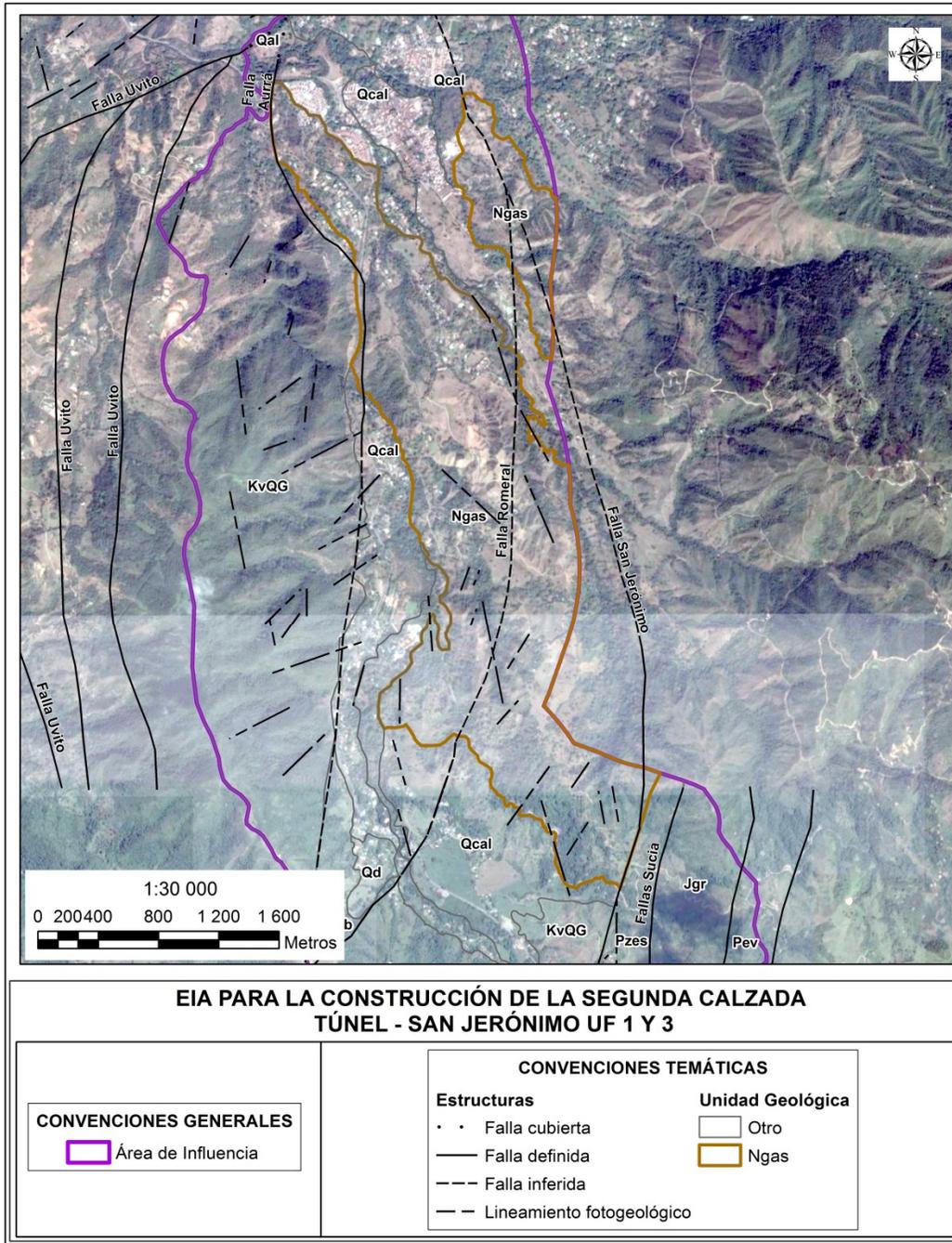


Fuente: EUROCONSULT, Ingenieros Consultores. Sondeos E26 S1 (K12+800), E27 S1 (K16+200), 2016

- 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 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

	<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 5-30), 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.

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



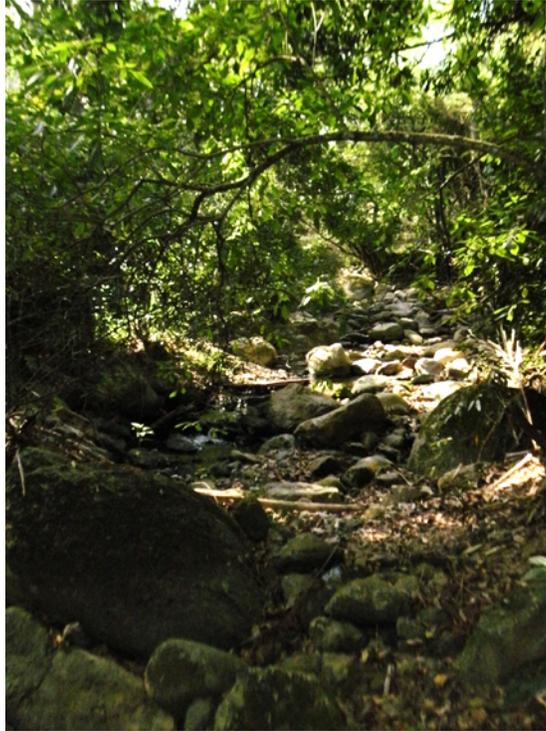
Fuente: INTEINSA. Consultoría para la realización de los Estudios Geotécnicos y Diseños de Ingeniería necesarios para las Obras de Mitigación y Estabilización de Puntos Críticos en la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa y la Antigua Vía al Mar Gonzalo Mejía. Sitio Crítico 22. La Causala. PR 48+000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

“El depósito aluviotorrenciales 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



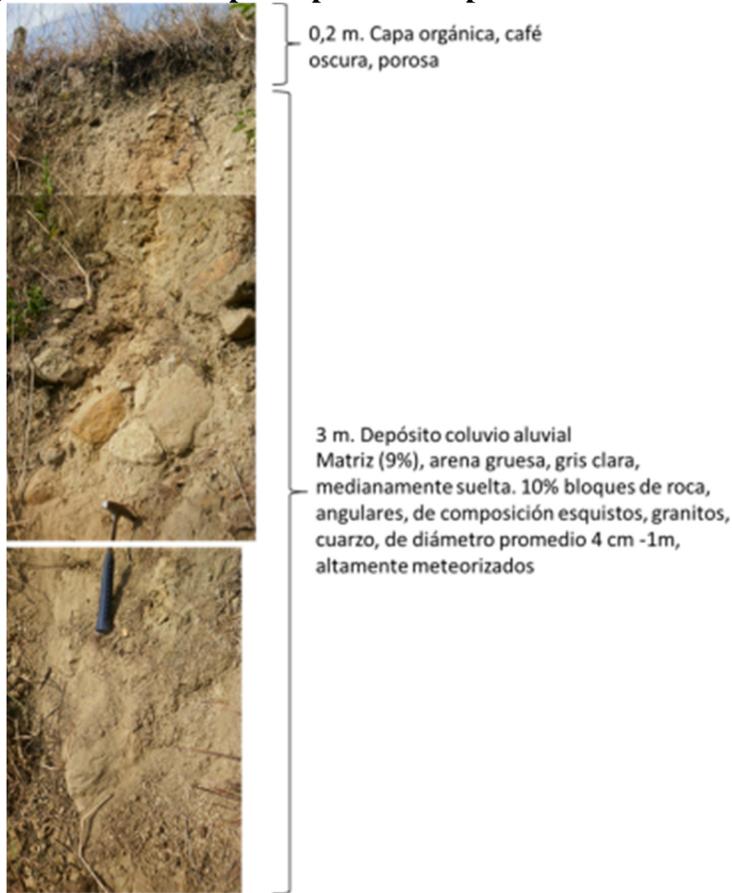
Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

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 Fotografía 5-35 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 (Figura 5-14).

	<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>	

5.1.1.3.7.3 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 a

Fotografía 5-39).

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



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

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



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016

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 arenos 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 0.1</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 y Fotografía 5-42.

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

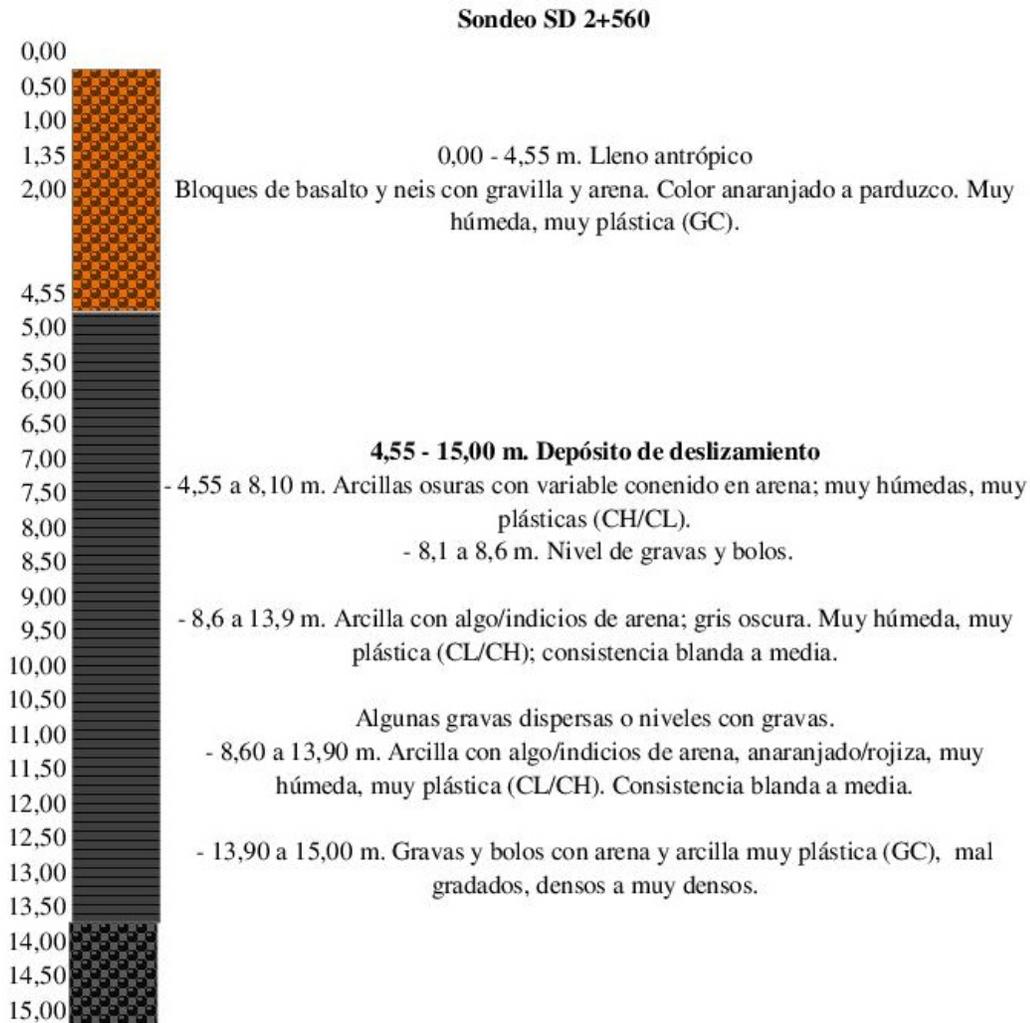
Fotografía 5-44 Depósito de deslizamiento, Qd



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

	<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>	

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

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 0.1</p>	

lentes arcillosos de color gris oscuro con fuerte olor a material vegetal en descomposición, lo cual 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 terraceo, 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.

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 rezago 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

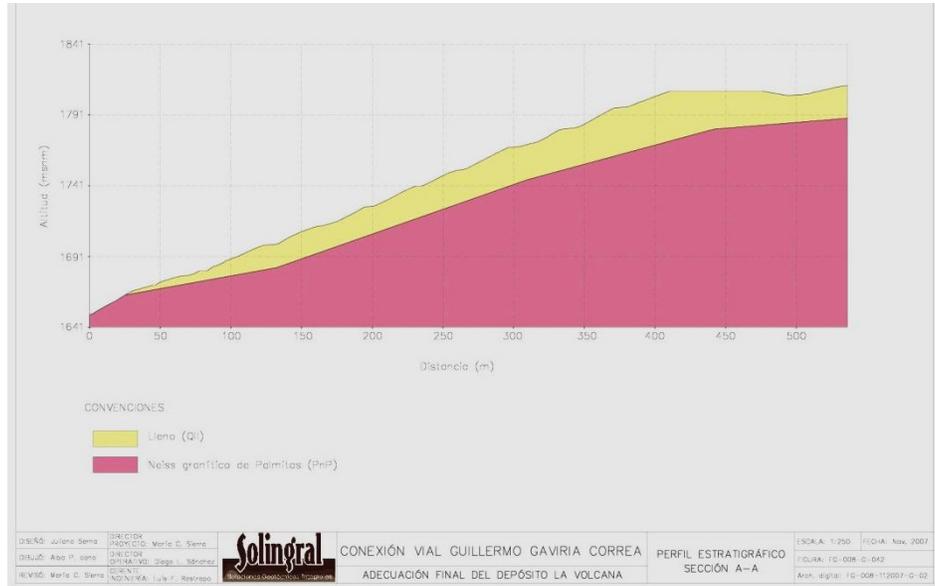
- Depósito de La Volcana. Se localiza entre K1+284 – K1+466. Compuesto de arcillas limosas con espesor máximo 15 m.

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.

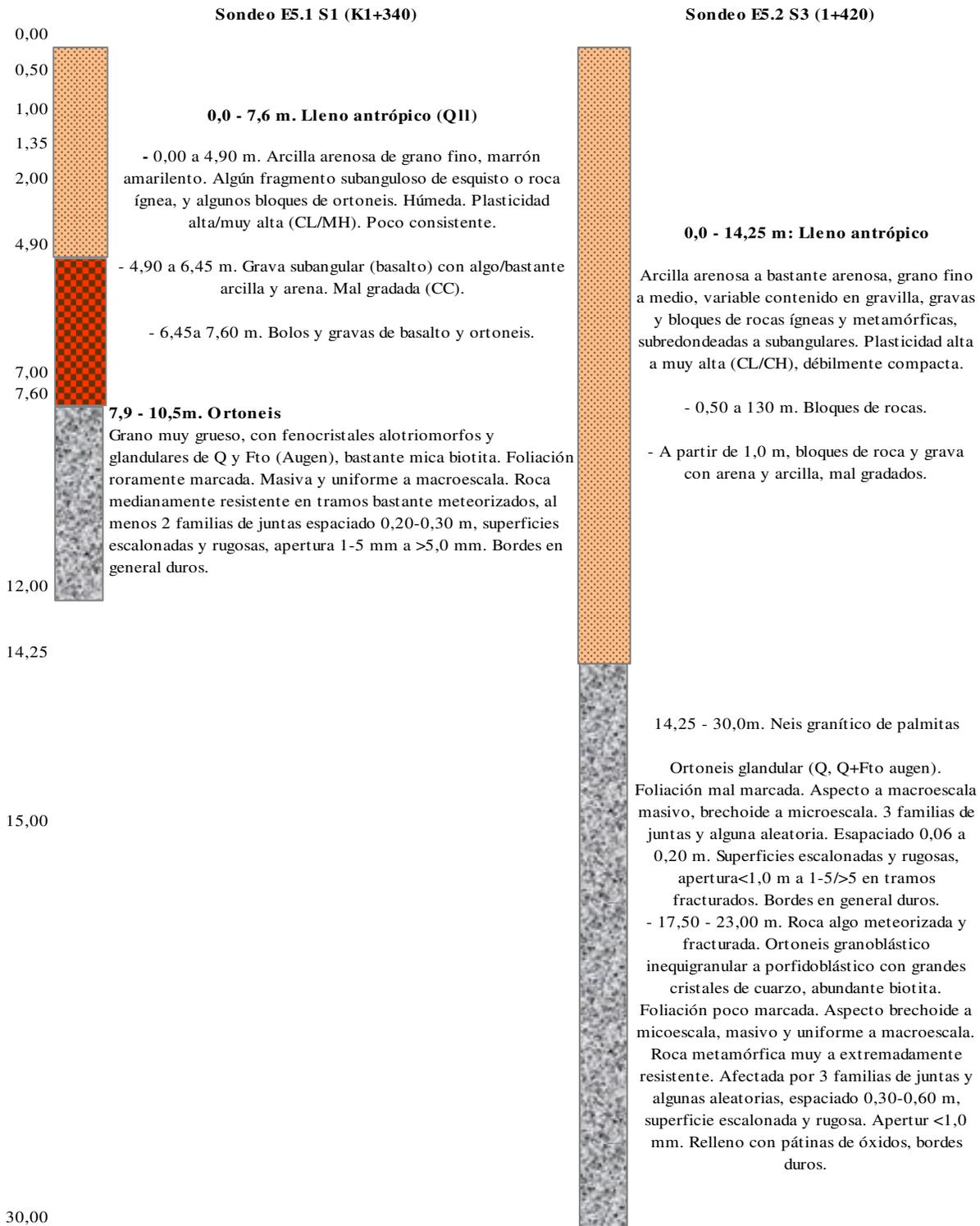
Figura 5-17 Perfil estratigráfico lleno antrópico La Volcana



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

- 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 esorrentía y cuatro niveles de terrazas, ver Fotografía 5-48

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

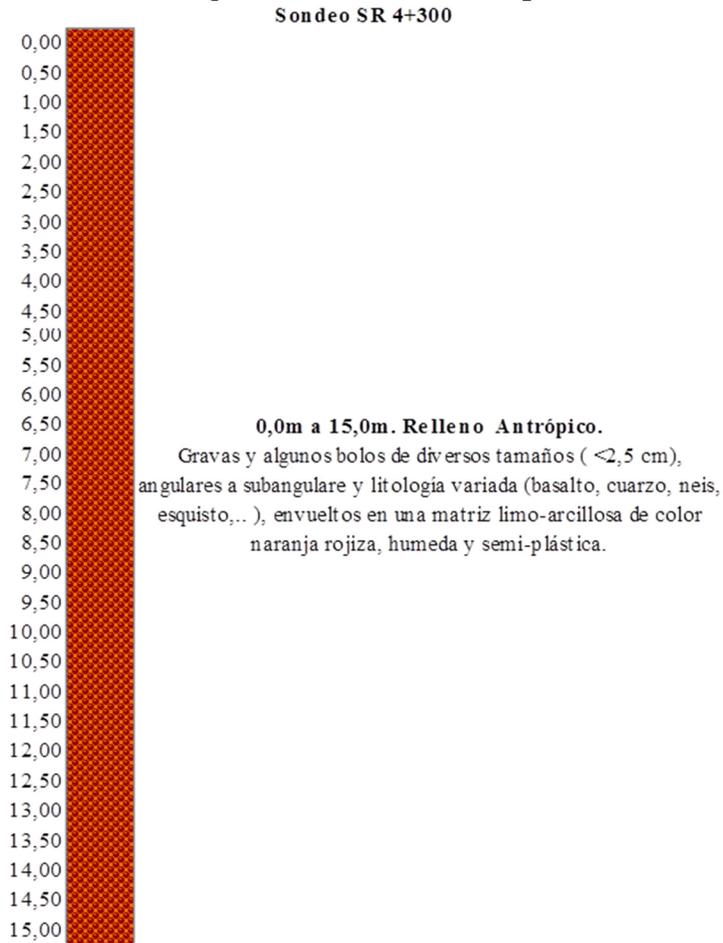


Consultoría Colombiana S.A., 2016

- 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.

	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	

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”.

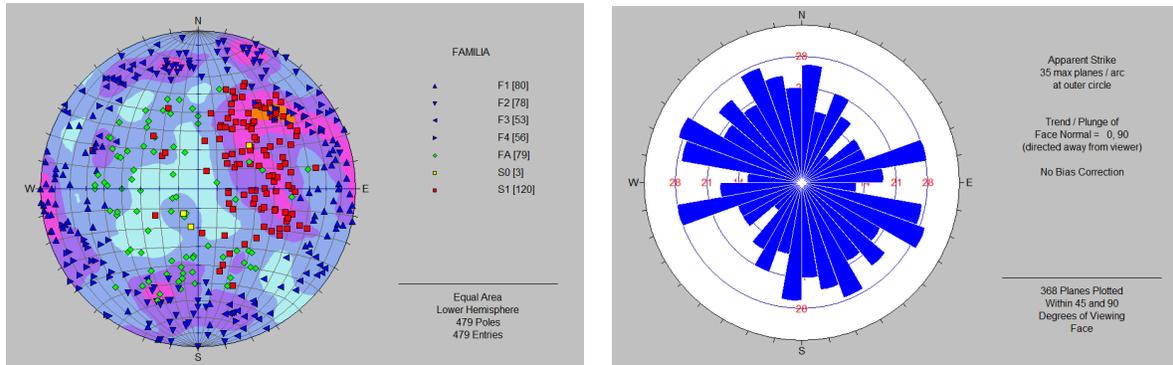
La UF1 tiene una marcada influencia estructural por el Sistema de Fallas de San Jerónimo, el cual hace parte del sistema Cauca-Romeral. Se trata de un conjunto de fallas que se relevan entre sí con trazos anastomosados. Pone en contacto rocas de dominio continental, ubicadas al oriente de la falla, representadas 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 (Pngng). 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.

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

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.

inferior



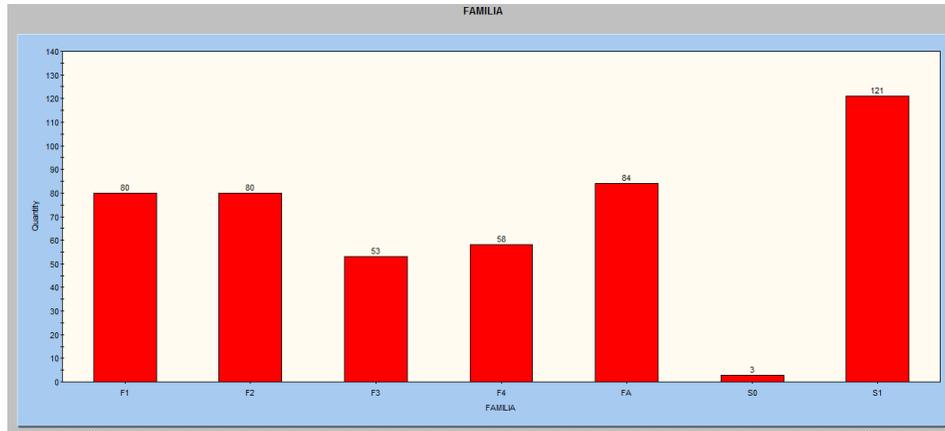
Fuente: CONSORCIO MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02. Medellín, 2016

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; oara 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”.*

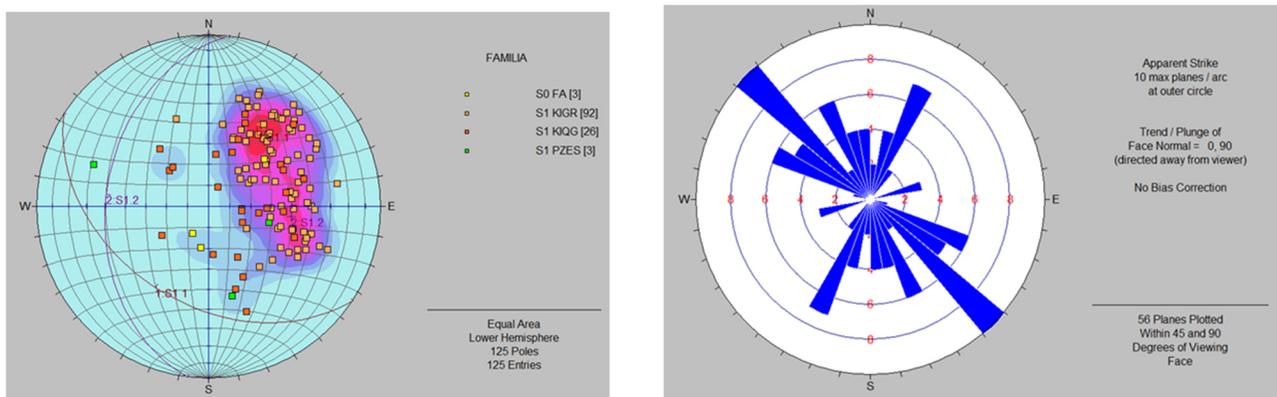
Tabla 5-4 Estructuras más representativas en el área de influencia

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.
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 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.

	<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>	

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



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

	<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 5-52 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.

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:

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.

- 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

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).

	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	

5.1.1.5.1.1 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 esquistos 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 1.		
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		
	VERSIÓN 0.1		

Fotografía 5-53 Esquistos cuarzo sericíticos en túnel de Occidente

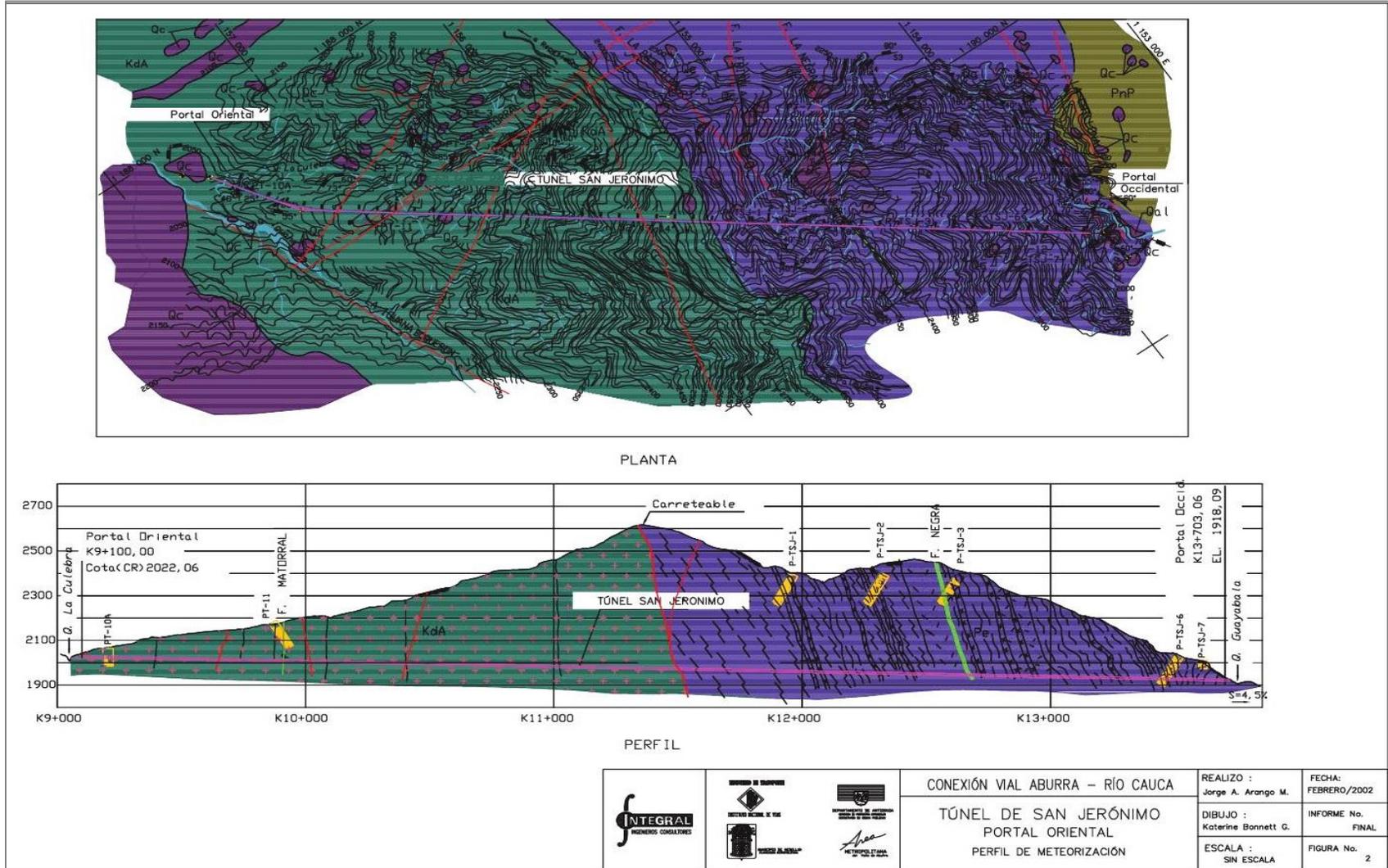


Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S.

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.

- 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.

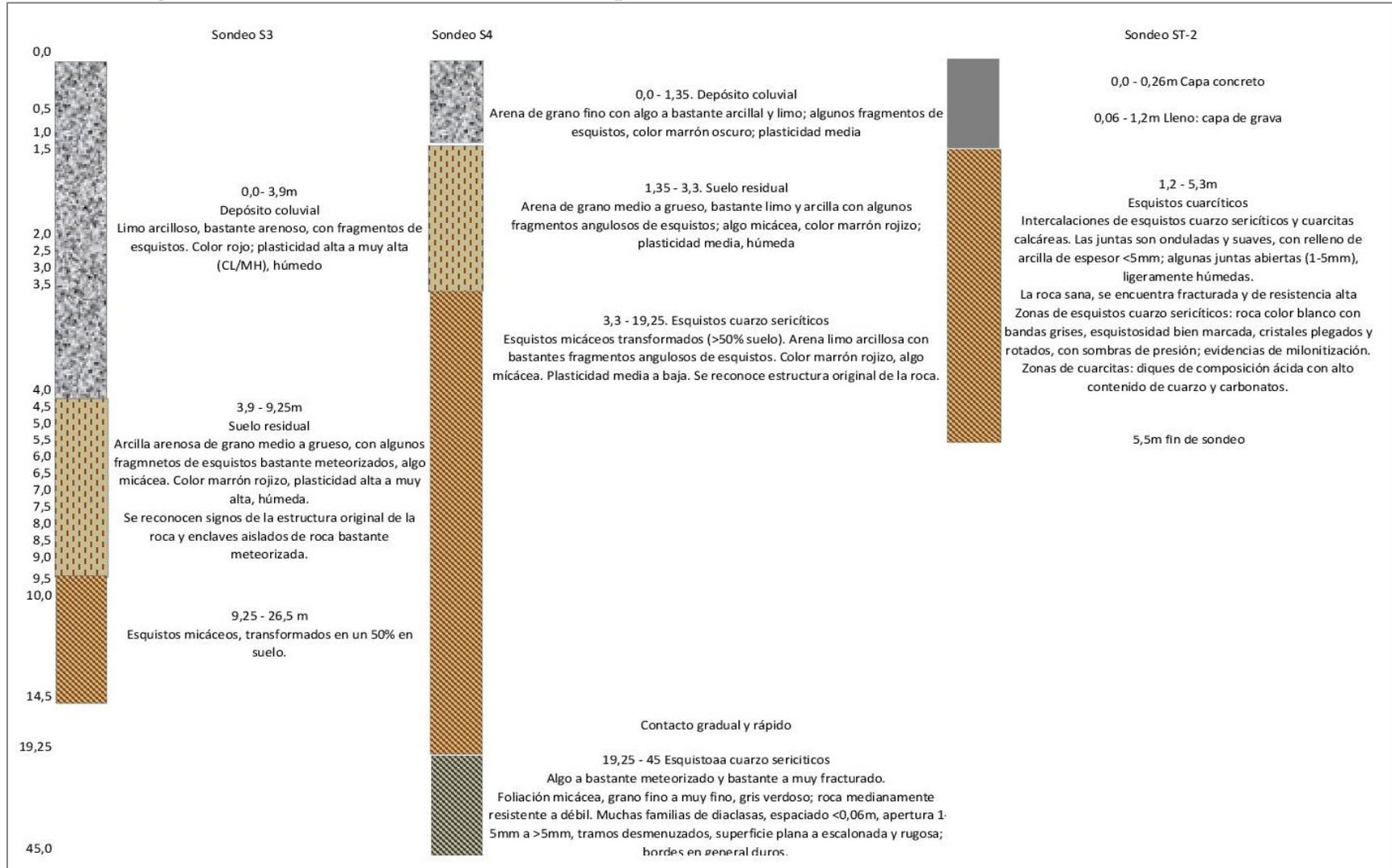
Tabla 5-6 Grados de meteorización de rocas, según clasificación ISRM

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.

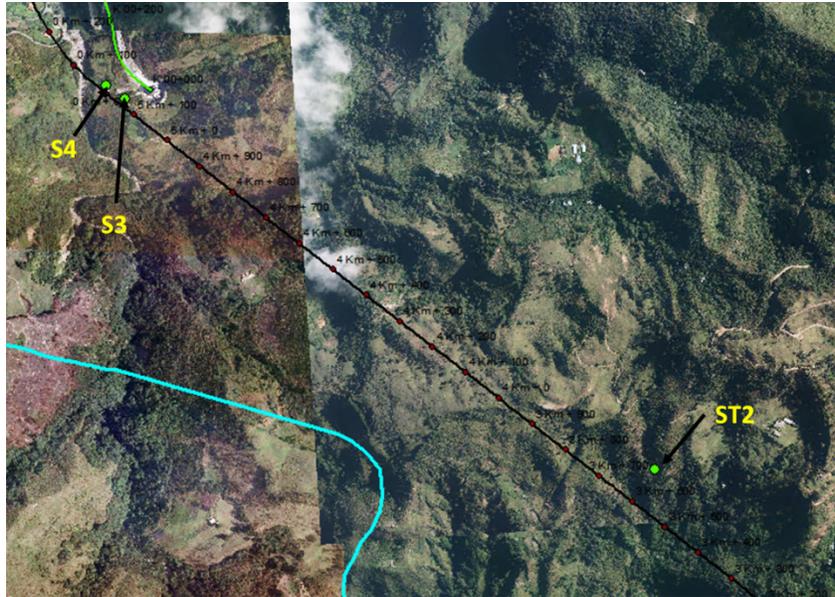
Con base en la información que suministraron los sondeos realizados en el tramo del túnel, sobre esta unidad litológica, la Figura 5-26 muestra un resumen de los perfiles de meteorización. En la zona del emboquille occidental se identificó el suelo residual a una profundidad entre 1,35 m – 3,9 m con 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 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 (Figura 5-25).

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



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

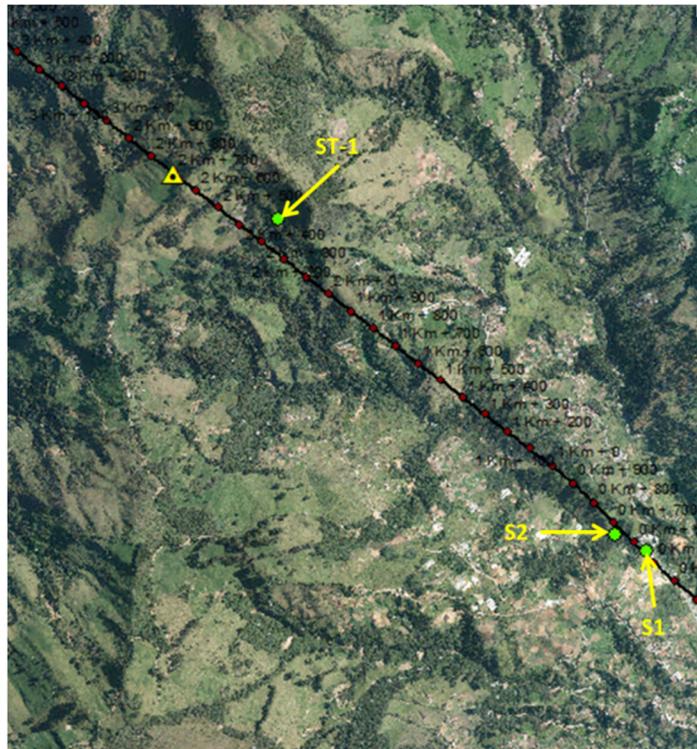
⁵⁷ Grupo TYPASA – Consultores Regionales Asociados CRA S.A.S. Duplicación del Túnel de Occidente. Diseño Fase II. Capítulo III. Diseño del Túnel. Obra Civil. Noviembre de 2013.

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

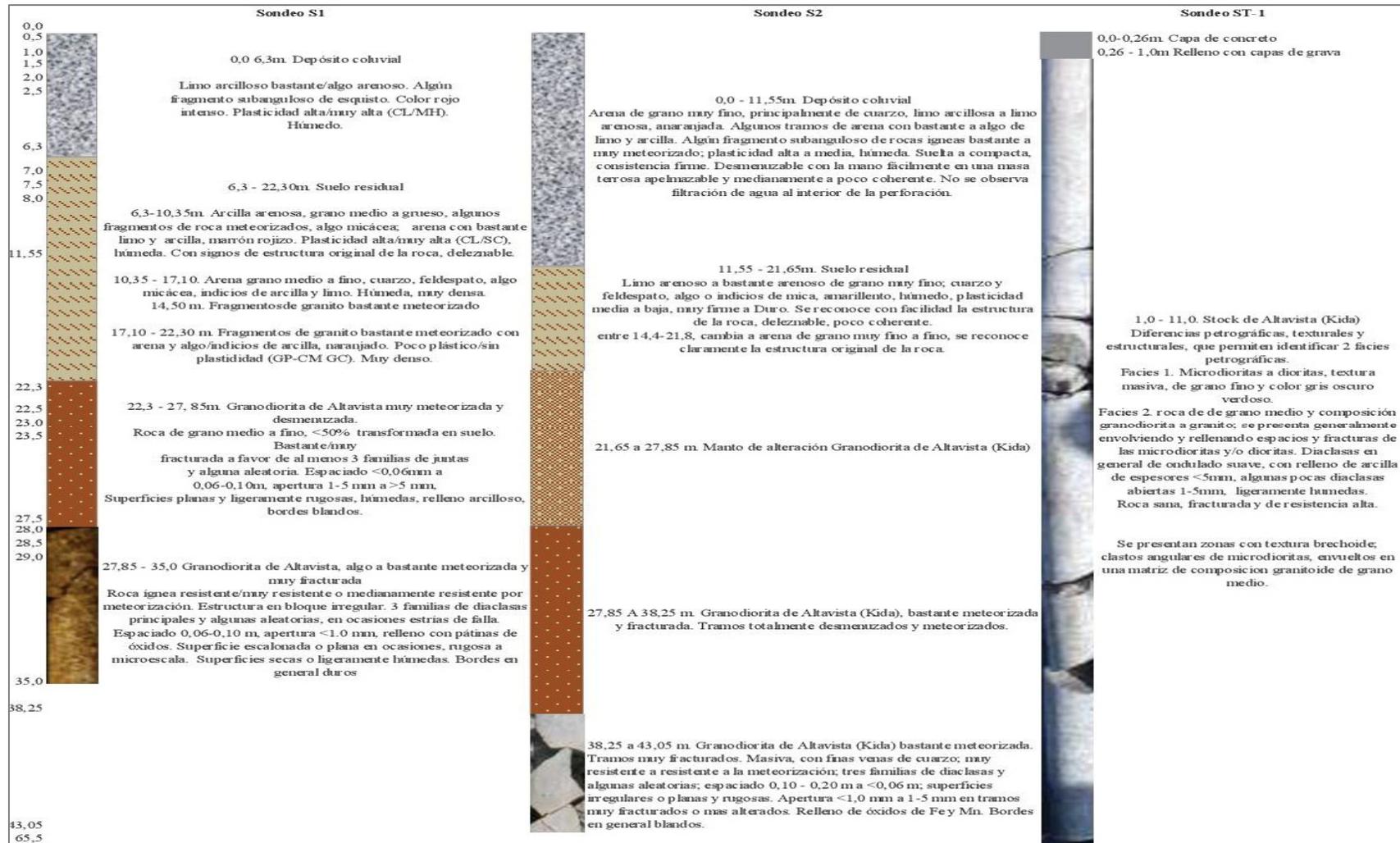
De acuerdo con los sondeos ejecutados para el documento “Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3 (Túnel de Occidente), del Contrato 014 de 2015, S entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. Volumen III. Geología para Ingeniería, versión 02”, correspondientes al tramo del túnel y mencionados en la Tabla 5-5, 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 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

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 túnel⁵⁴, 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.

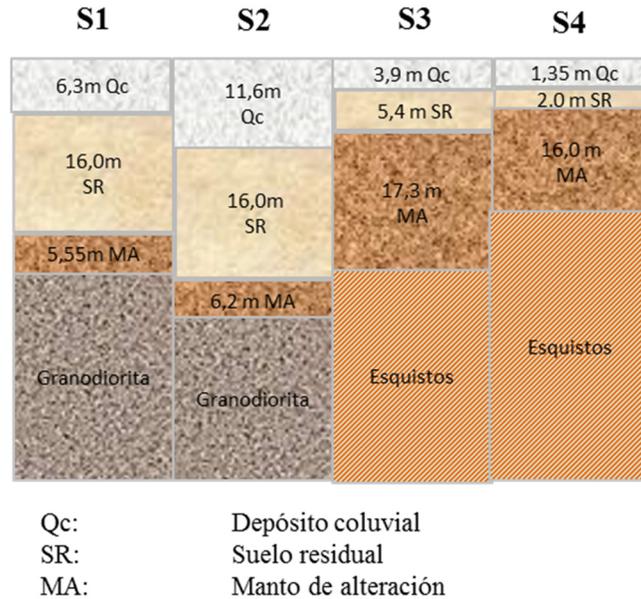
En profundidad evolucionan a una arena de grano medio a fino, localmente grueso, subangulosa, compuesta de cuarzo, con algo o bastante arcilla y limo, algo de gravilla angulosa de cuarzo. Puede ser versicolor (alternancia de niveles verdosos y anaranjados) y su plasticidad es media o baja. En general, 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 (Tabla 5-5) se identificaron los siguientes niveles de suelos residuales y mantos de alteración (Figura 5-30).

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.

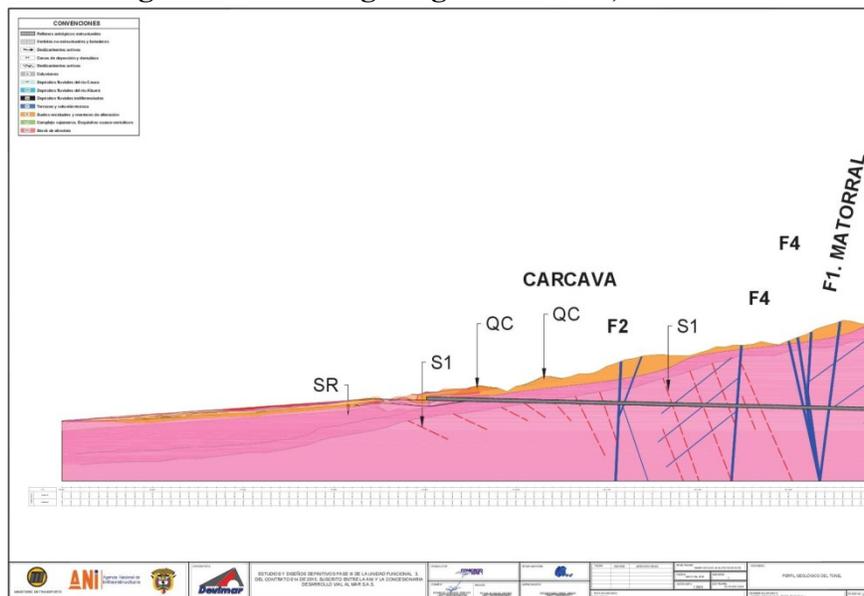
El cruce del túnel se realizará a través del Stock de Altavista y Esquistos Cuarzo sericíticos del Complejo Cajamarca; la superficie de contacto entre estos materiales es irregular y corresponde a una zona de emplazamiento del material plutónico. En el estudio de Diseño, Fase III se identificó una red 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

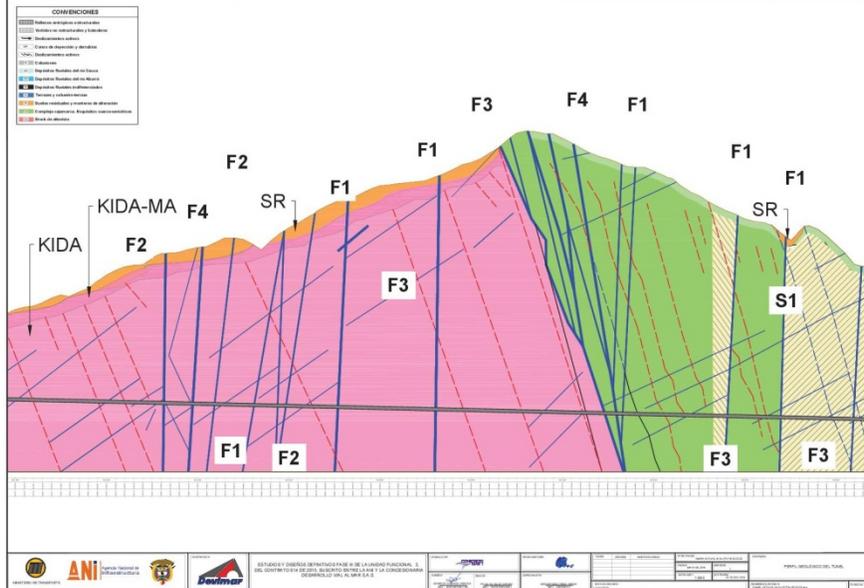
- S1, principal. Orientación ESE-WNW a NW-SE con buzamientos hacia el N, del orden de 25/45°, a 45/65° en las zonas más próximas a la superficie de emplazamiento, en general consecuentes con la esquistosidad del Complejo Cajamarca.
- F2, con orientación E-W a ESE-WNW, subvertical y buzamiento bimodal 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



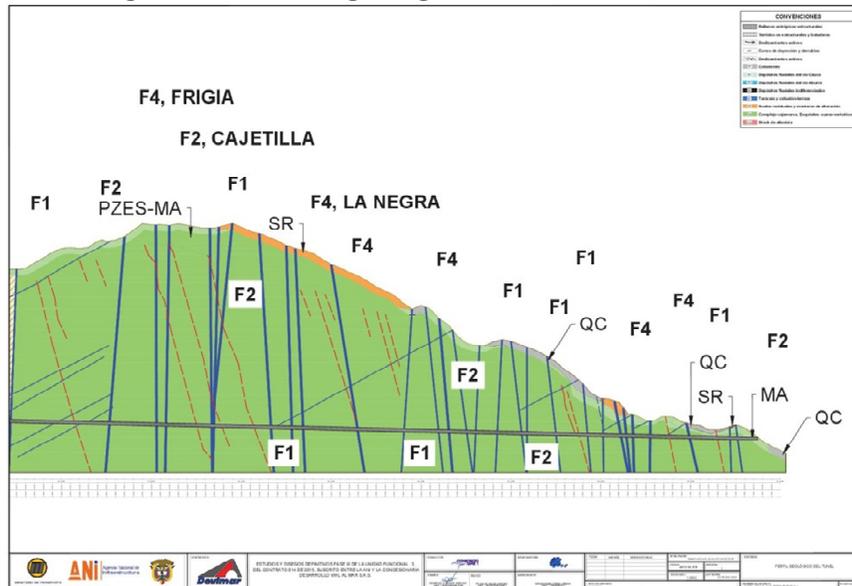
Fuente: CONCESIÓN MAR 1 – DEVIMAR. Estudios y Diseños Definitivos Fase III de la Unidad Funcional 3, Contrato 014 de 2015 Suscrito entre la ANI y la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S. 2016

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 Tabla 5-8.

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	
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	

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

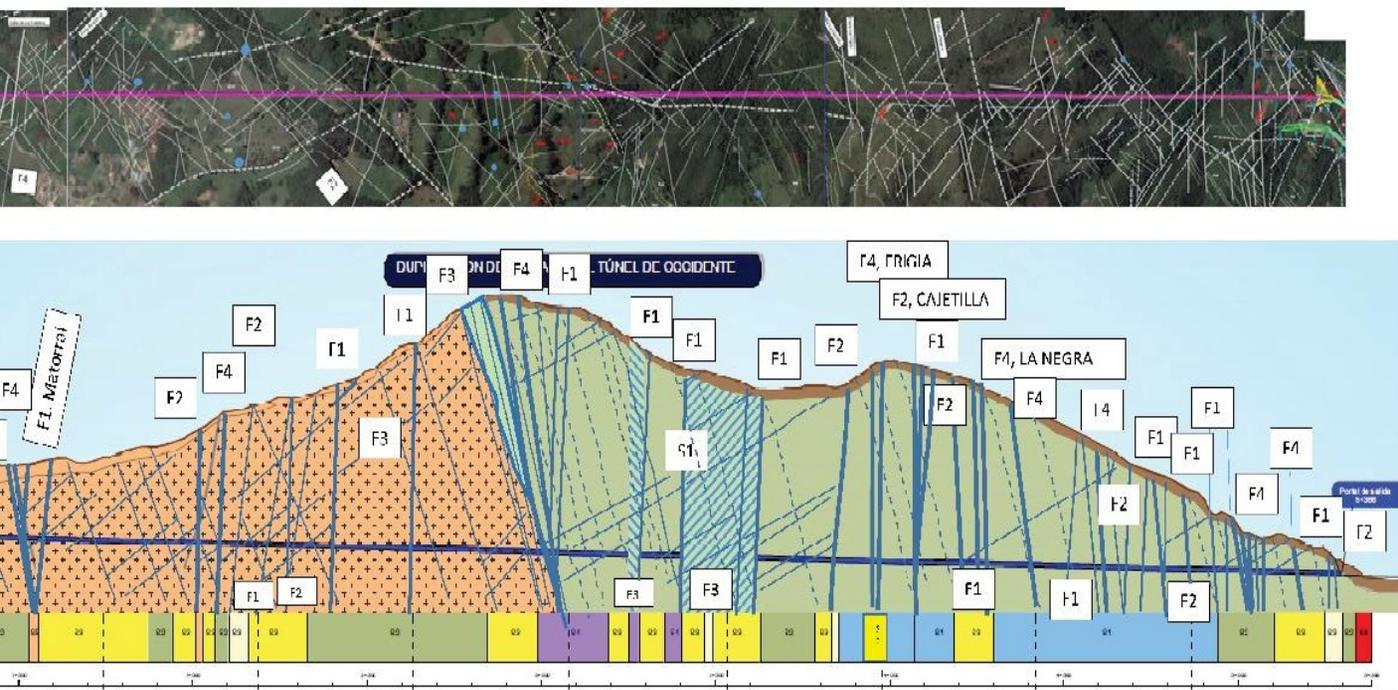
VERSIÓN 0.1



Abscisa	Estructura geológica	Observaciones	Abscisa	Estructura geológica	Observaciones
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



	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	

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 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 ($>35^\circ$) laderas largas ($>500\text{m}$), 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

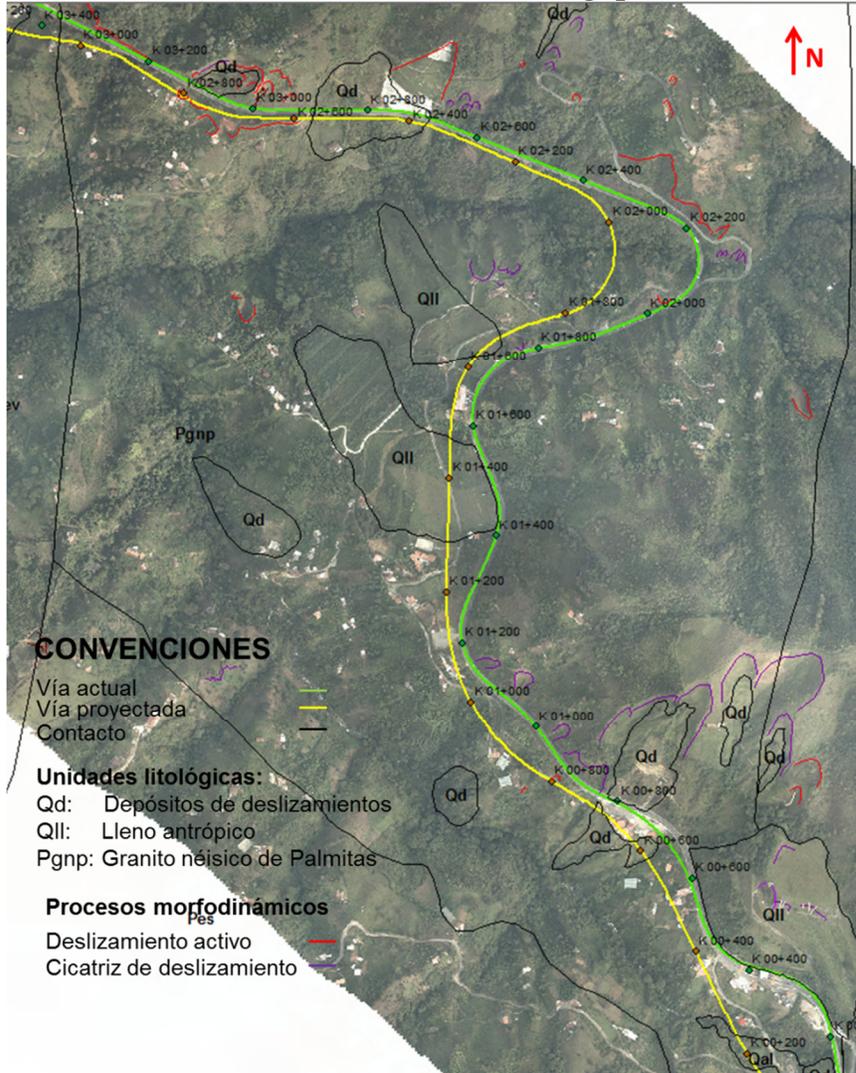
5.1.1.6.2.1 K00+000 – K03+039. Granito néisico de palmitas

	<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>	

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 subdendrítico 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 llano 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

En 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: QII</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>

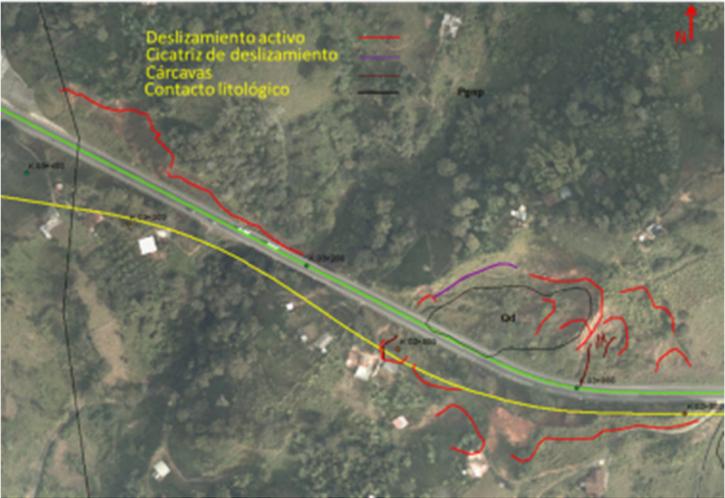
UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	FOTO/ IMAGEN	
<p>K00+500 – k00+800, costado derecho de la vía existente, sentido S-N.</p> <p>Unidad Litológica: Pgnp</p> <p>Dimensiones: área afectada por antiguos deslizamientos, en una altura media de 150m, ancho 350m y pendiente media moderadamente escarpada (50-75%)</p> <p>Área 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>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>(Google Earth, 2012)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Ortofotomapa (2015)</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>(Concol, 2016)</p> </div>	

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 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

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, Fotografía 5-65.

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

	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	

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, Fotografía 5-41 y Fotografía 5-42.

5.1.1.6.2.1.3 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

5.1.1.6.2.1.4 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 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.

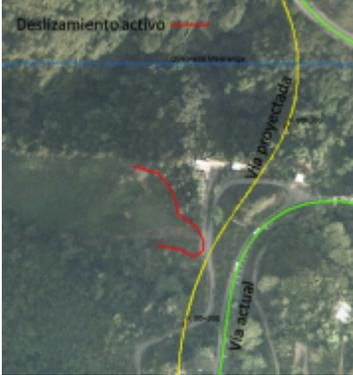
Este tramo se subdividió en subtramos, de acuerdo con su composición y/o características geomorfológicas:

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;">Google Earth, 2012</p>	 <p style="text-align: center;">Orto fotomapa, 2015</p>
	 <p style="text-align: center;">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>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 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

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 físciles, color verde claro con venillas pardas delgadas y abundantes, Fotografía 5-17.

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

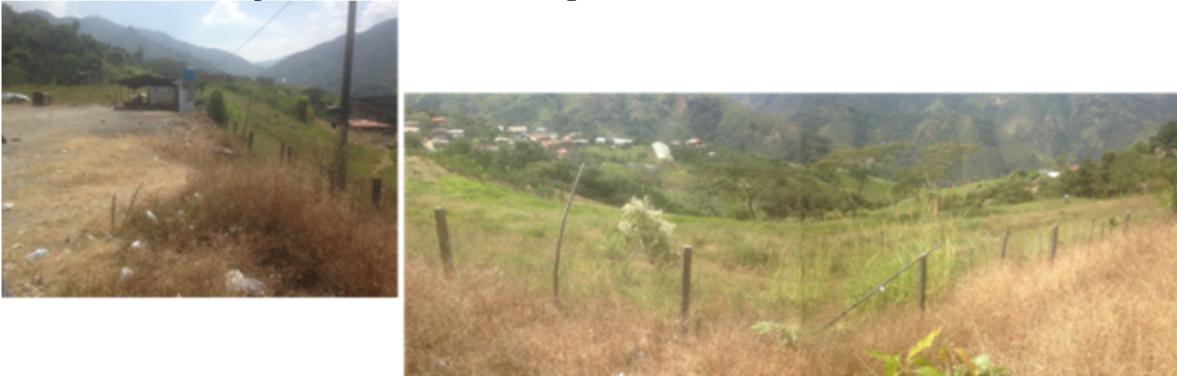
En este tramo la vía cruzará por cuatro llenos antrópicos resultantes de la construcción de la vía actual. El primero de ellos (K03+120 – K03+287) es de longitud aproximada 220m, ancho 200m, y pendiente fuertemente inclinada (12-25%), Fotografía 5-70. El segundo lleno antrópico, se ubica en el tramo 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

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)

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 Fotografía 5-75 se observa el drenaje en V que se genera en la quebrada Saltos 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 0.1</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.

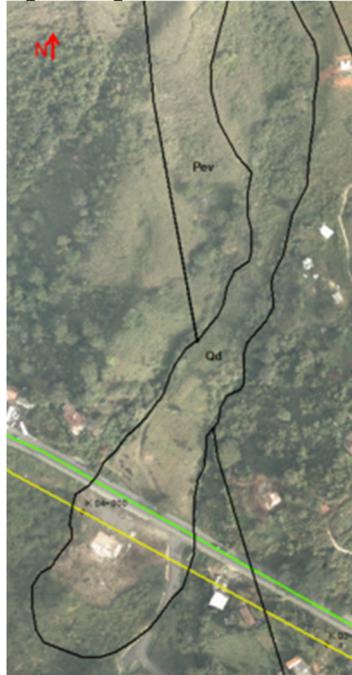
Figura 5-39 Cruce de la nueva vía por parte terminal de depósito de deslizamiento (Qd)



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

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

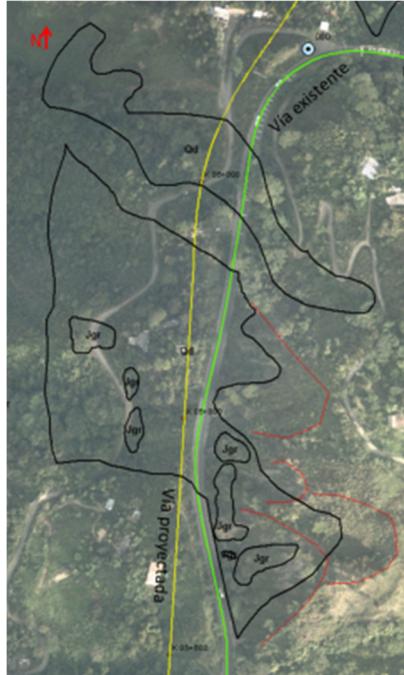
Figura 5-40 Cruce de la vía por depósito de deslizamiento, K03+928 – K03+955



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, Fotografía 5-79.

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



Consultoría Colombiana S.A., 2016

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

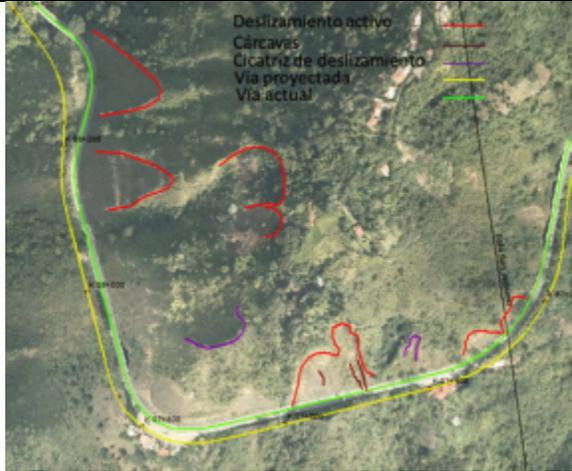


Consultoría Colombiana S.A., 2016

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 1.	
	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	
	VERSIÓN 0.1	

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

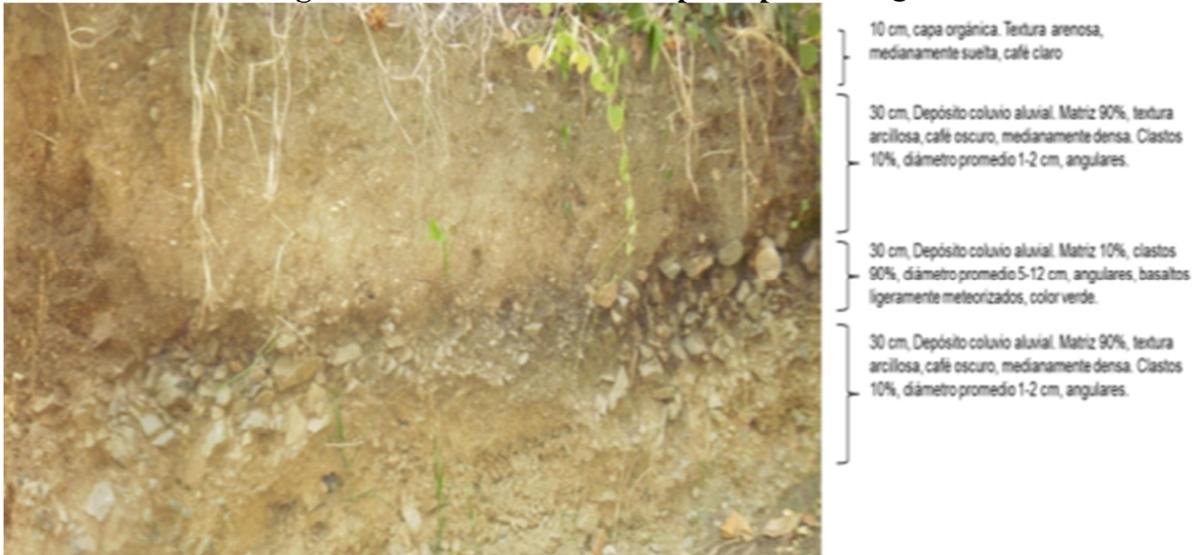
Fotografía 5-86 K14+000. Descripción perfil de Qcal



- 5-8 cm. Capa orgánica
Café oscura, textura areno gravillosa, suelta
- 1-1,1 m. Depósito coluvio aluvial
Matriz 30%, areno gravillosa, 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



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 identifican 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