

---

**ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS, FINANCIACIÓN, GESTIÓN AMBIENTAL,  
PREDIAL  
Y SOCIAL, CONSTRUCCIÓN, MEJORAMIENTO, REHABILITACIÓN, OPERACIÓN,  
MANTENIMIENTO Y REVERSIÓN DEL CORREDOR VIAL PAMPLONA-CÚCUTA**

---

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA DOBLE  
CALZADA PAMPLONA-CÚCUTA, UF 3 - 4 - 5 SECTOR PAMPLONITA - LOS ACACIOS**

**CAPÍTULO 5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA. MEDIO ABIOTICO**



## CORREDOR 4G PAMPLONA - CÚCUTA

### ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA DOBLE CALZADA PAMPLONA- CÚCUTA, UF 3 - 4 - 5 SECTOR PAMPLONITA - LOS ACACIOS

#### CAPÍTULO 5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA. MEDIO ABIOTICO

##### TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA .....	8
5.1 MEDIO ABIÓTICO.....	8
5.1.4 Geotecnia .....	8
5.1.4.1 Sectorización geotécnica para el tramo en túnel.....	8
5.1.4.1.1 Metodología .....	8
5.1.4.1.1.1 Metodología para la caracterización de la roca intacta .....	9
5.1.4.1.1.2 Metodología para la caracterización del macizo rocoso.....	11
5.1.4.1.2 Información Primaria .....	17
5.1.4.1.3 Caracterización matriz rocosa o roca intacta .....	26
5.1.4.1.4 Caracterización del macizo rocoso .....	34
5.1.4.1.5 Sectorización geotécnica del túnel de pamplonita .....	39
5.1.4.2 Zonificación geotécnica del Área de Influencia .....	48
5.1.4.2.1 Modelación de Variables .....	50
5.1.4.2.1.1 Litología (SL).....	50
5.1.4.2.1.2 Geomorfología (SG) .....	53
5.1.4.2.1.3 Hidrogeología (SH).....	55
5.1.4.2.1.4 Cobertura de la tierra (SC) .....	58
5.1.4.2.1.5 Densidad de drenajes (SD) .....	60
5.1.4.2.1.6 Densidad de Fallas Geológicas (SF) .....	62
5.1.4.2.1.7 Pendientes del Terreno (SP) .....	64
5.1.4.2.1.8 Morfodinámica (SE).....	66
5.1.4.2.1 Susceptibilidad General del Terreno (ST).....	69
5.1.4.2.2 Factores detonantes.....	71
5.1.4.2.2.1 Precipitación (FP).....	72
5.1.4.2.2.2 Sismicidad (FS) .....	74

5.1.4.2.3	Amenaza geotécnica del terreno (ZG) .....	78
5.1.4.2.4	Descripción geotécnica del corredor vial .....	82
5.1.4.3	Conclusiones .....	119

## CORREDOR 4G PAMPLONA - CÚCUTA

### ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA DOBLE CALZADA PAMPLONA- CÚCUTA, UF 3 - 4 - 5 SECTOR PAMPLONITA - LOS ACACIOS

#### CAPÍTULO 5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA. MEDIO ABIOTICO

##### ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 5.42 Conflicto de uso del suelo en el AI .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 5.136 Valores de la constante $m_i$ para rocas intactas tomadas de bibliografía .....	10
Tabla 5.137 Módulo Relativo para diferentes litologías - Deere y Palmstrom y Singh .....	11
Tabla 5.138 Valores para la clasificación del índice RMR de Bieniawski, 1989.....	13
Tabla 5.139 Valores para la corrección del índice RMR de Bieniawski, 1989 en función de la orientación .....	14
Tabla 5.140. Clasificación del macizo rocoso según el RMR .....	14
Tabla 5.141 Influencia de la parametrización en el GSI .....	15
Tabla 5.142 Principales características de las estaciones geomecánicas realizadas para el estudio del Túnel Pamplonita.....	18
Tabla 5.143 Sondeos mecánicos realizados para el estudio del Túnel Pamplonita.....	18
Tabla 5.144 Clasificación de permeabilidad del macizo según Olalla y Sopena (1991) ...	19
Tabla 5.145 Principales características de los ensayos Lugeon realizados .....	19
Tabla 5.146 Principales características de los ensayos Lefranc realizados .....	20
Tabla 5.147 Principales características de los ensayos Slug realizados .....	20
Tabla 5.148 Principales características de la Prueba de bombeo y piezómetro .....	20
Tabla 5.149 Ensayos presiométricos realizados .....	21
Tabla 5.150 Ensayos geofísicos realizados para el reconocimiento del Túnel .....	21
Tabla 5.151 Localización de tomografía eléctrica Túnel Pamplonita .....	21
Tabla 5.152 Resultados de los ensayos de laboratorio .....	23
Tabla 5.153 Valores de composición mineralógica, tramos de Areniscas .....	26
Tabla 5.154 Valores característicos de los tramos de Arenisca .....	30
Tabla 5.155 Valores de composición mineralógica, tramos de Arcillolitas.....	31
Tabla 5.156 Valores característicos de los tramos de Arcillolitas .....	34
Tabla 5.157 Caracterización en Estaciones Geomecánicas.....	36
Tabla 5.158 Calidades geomecánicas en función del litotipo y el grado de alteración.....	37
Tabla 5.159 Valor $\alpha$ en función del terreno Según Ménard (1975).....	38
Tabla 5.160 Resultados de los ensayos presiométricos, en los niveles de Areniscas.....	38
Tabla 5.161 Resultados de los ensayos presiométricos, en los niveles de Arcillolitas.....	38
Tabla 5.162 Resultados de los ensayos presiométricos, en los niveles de Arcillolitas.....	38
Tabla 5.163 Orientación de las discontinuidades en túnel .....	39
Tabla 5.164 Corrección por orientación de las discontinuidades.....	39
Tabla 5.165 Sectorización geotécnica del Túnel de pamplonita.....	41
Tabla 5.166 Clasificación geomecánica de la Galería.....	43
Tabla 5.167 Análisis a la clasificación generalizada del túnel de Pamplonita.....	45
Tabla 5.168 Clasificación de sectores en arcillolita según el RMR.....	45

Tabla 5.169 Clasificación de sectores en arenisca según el RMR .....	46
Tabla 5.170 Categoría y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables .....	50
Tabla 5.171 Valores de susceptibilidad por litología .....	50
Tabla 5.172 Valores de susceptibilidad por geomorfología .....	53
Tabla 5.173 Valores de susceptibilidad por hidrogeología .....	56
Tabla 5.174 Valores de susceptibilidad por cobertura de la tierra .....	58
Tabla 5.175 Valores de susceptibilidad por densidad de drenajes .....	61
Tabla 5.176 Ponderación de fallas según su tipo .....	63
Tabla 5.177 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas geológicas .....	63
Tabla 5.178 Valores de susceptibilidad por pendientes .....	65
Tabla 5.179 Susceptibilidad de procesos morfodinámicos .....	67
Tabla 5.180 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno .....	70
Tabla 5.181 Intervalos de categoría de precipitación .....	73
Tabla 5.182 Intervalos de categorías de sismicidad .....	77
Tabla 5.183 Categorías para la zonificación geotécnica .....	79
Tabla 5.184 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica .....	81
Tabla 5.186 Definición de Unidades Geotécnicas homogéneas .....	88
Tabla 5.187 Porcentaje de las diferentes unidades geotécnicas de la UF3 .....	89
<b>Tabla 5.188 Porcentaje de las diferentes unidades geotécnicas de la UF4 .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 5.188 Porcentaje de las diferentes unidades geotécnicas de la UF5 .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 5.190 Viaductos con prospección geológico-geotécnica .....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 5.191 Principales características de los Sitios Críticos principales de la UF3 con obras de estabilización. ....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 5.192 Principales características del Sitio Crítico situado en la UF4. ....</b>	<b>104</b>
Tabla 3. Principales características del Sitio Crítico situado en la UF5. ....	115

## CORREDOR 4G PAMPLONA - CÚCUTA

### ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA DOBLE CALZADA PAMPLONA- CÚCUTA, UF 3 - 4 - 5 SECTOR PAMPLONITA - LOS ACACIOS

#### CAPÍTULO 5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA. MEDIO ABIÓTICO

##### ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 5.140 Conflicto de uso del suelo en el AI .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 5.241 Ábaco para estimación del índice GSI en macizos rocosos .....	16
Figura 5.242 Peso específico aparente vs profundidad, en muestras de Arenisca.....	27
Figura 5.243 Resistencia a la compresión vs profundidad, muestras de Arenisca .....	28
Figura 5.244 Ajuste del parámetro $m_i$ para los niveles de Areniscas de la Fm Barco.....	29
Figura 5.245 Relación de la RCS con el módulo de deformación, tramos de Areniscas ..	30
Figura 5.246 Densidad vs profundidad, tramos de Arcillolitas .....	31
Figura 5.247 RCS vs profundidad, tramos de Arcillolita .....	32
Figura 5.248 Ajuste tipo Hoek y Brown para los niveles en Arcillolita de la Fm Barco.....	33
Figura 5.249 Relación de la RCS con los módulos de deformación, tramos de Arcillolitas .....	34
Figura 5.250 Análisis a la clasificación generalizada del túnel de Pamplonita.....	45
Figura 5.251 Clasificación de sectores en arcillolita según el RMR.....	46
Figura 5.252 Análisis a la clasificación de sectores en arenisca según el RMR.....	47
Figura 5.253 Diagrama metodológico para la obtención de la zonificación geotécnica ....	49
Figura 5.254 Susceptibilidad por litología.....	52
Figura 5.255 Mapa de susceptibilidad por litología .....	52
Figura 5.256 Susceptibilidad por Geomorfología .....	54
Figura 5.257 Mapa de susceptibilidad por geomorfología .....	55
Figura 5.258 Susceptibilidad por hidrogeología .....	57
Figura 5.259 Mapa de susceptibilidad por hidrogeología .....	57
Figura 5.260 Susceptibilidad por cobertura de la tierra .....	59
Figura 5.261 Mapa de susceptibilidad por cobertura de la tierra .....	60
Figura 5.262 Susceptibilidad por densidad de drenajes .....	61
Figura 5.263 Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes.....	62
Figura 5.264 Susceptibilidad por densidad fallas Geológicas.....	63
Figura 5.265 Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas .....	64
Figura 5.266 Susceptibilidad por Pendientes del Terreno .....	65
Figura 5.267 Mapa de susceptibilidad por pendientes del Terreno .....	66
Figura 5.268 Susceptibilidad por Morfodinámica.....	68
Figura 5.269 Mapa de susceptibilidad por Morfodinámica .....	69
Figura 5.270 Susceptibilidad general del terreno .....	70
Figura 5.271 Mapa de Susceptibilidad General del Terreno .....	72
Figura 5.272 Factor detonante por Precipitación.....	73
Figura 5.273 Factor detonante por precipitación .....	74
Figura 5.274 Sistema Regional de fallas Pamplona-Chitagá (28) .....	75
Figura 5.275 Mapa de Sismicidad Histórica entre Bucaramanga y Cúcuta .....	76

Figura 5.276 Mapa de factor detonante por sismicidad.....	78
Figura 5.277 Distribución de amenaza geotécnica.....	79
Figura 5.278 Mapa amenaza geotécnica .....	80
Figura 5.281 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	94
Figura 5.282 Sección transversal geológica por el K37+900.....	94
Figura 5.283 Esquema en planta de los sostenimientos dispuestos en el punto crítico PR92+150.....	95
Figura 5.284 Planta geológica del punto crítico K41+400 (izquierda) y punto crítico K41+640 (derecha).....	96
<b>Figura 5.285 Planta geológica del punto crítico K41+400 (izquierda) y punto crítico K41+640 (derecha).....</b>	<b>97</b>
Figura 5.286 . Planta geológica del sitio crítico. ....	98
Figura 5.287 Actuaciones realizadas por la ANI en el punto crítico K42+350-K42+330 ...	99
Figura 5.288 Planta geológica del sitio crítico. ....	100
Figura 5.289 Actuaciones realizadas por la ANI en el punto crítico K43+890-K44+380 (PR85+600-PR85+950). ....	101
Figura 5.290 Planta geológica del punto crítico.....	103
Figura 5.291 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	105
Figura 5.292 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	106
Figura 5.294 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	108
Figura 5.295 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	109
Figura 5.296 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	110
Figura 5.297 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	111
Figura 5.298 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	112
Figura 5.299 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	113
Figura 5.300 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	114
Figura 5.301 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	116
Figura 5.302 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	117
Figura 5.303 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150 .....	118

## CORREDOR 4G PAMPLONA - CÚCUTA

### ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA DOBLE CALZADA PAMPLONA- CÚCUTA, UF 3 - 4 - 5 SECTOR PAMPLONITA - LOS ACACIOS

#### CAPÍTULO 5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA. MEDIO ABIÓTICO

#### ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones. **Pág.**

## 5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

En el presente capítulo se presenta información de tipo cualitativo y cuantitativo que permite conocer las características del ambiente en el área de influencia del proyecto de construcción de la doble calzada Pamplona-Cúcuta, UF 3-4-5 sector Pamplonita – Los Acacios. A continuación, se desarrollará la caracterización de cada uno de ellos.

### 5.1 MEDIO ABIÓTICO

#### 5.1.4 Geotecnia

Para el área de influencia de las Unidades Funcionales 3, 4 y 5 se realizó la zonificación geotécnica considerando aspectos de litología (geología), geomorfología, cobertura de la tierra, densidad de drenajes, densidad de fallas, pendientes, hidrogeología, morfodinámica, precipitación y sismicidad. Además, se realizó una zonificación específica para el túnel, identificando sectores con potenciales comportamientos geomecánicos e hidrogeológicos homogéneos y la estabilidad del macizo en cada sector. En este numeral se presenta en primer lugar la zonificación geotécnica del túnel y luego la zonificación geotécnica del Área de Influencia de las Unidades Funcionales 3, 4 y 5.

##### 5.1.4.1 Sectorización geotécnica para el tramo en túnel

Los materiales que se verán intervenidos por la excavación del túnel y la galería de evacuación corresponden a la formación Barco, de edad Terciaria, compuestos por areniscas de grano medio a fino de tonos ocres y gris claro dispuestos en paquetes métricos y que presentan intercalaciones de niveles de arcillolita de tonos grises y ocasionalmente limolitas también de tonos grises. Los niveles de areniscas constituyen el 67% de la serie mientras de los de arcillolitas y ocasionalmente limolitas un 33%. En este numeral se desarrolla la sectorización del túnel de pamplonita en tramos de comportamiento geomecánico homogéneo.

##### 5.1.4.1.1 Metodología

La metodología para la sectorización geotécnica del túnel incluye el análisis de la información geológica e hidrogeológica, la inspección del sitio, la realización de ensayos de campo y de laboratorio y la caracterización del macizo rocoso a intervenir. La sectorización se realizó a partir de la caracterización geotécnica de la roca intacta y del macizo rocoso; así como el estudio de los aspectos de dominios estructurales del túnel, de hidrogeología, de sismicidad, etc.

Como metodología para la sectorización geotécnica, en primer lugar, se tuvo en cuenta la alternancia litológica del terreno con tramos en areniscas y tramos en arcillolitas de la formación Barco; dichos tramos litológicos se subdividieron según la caracterización del macizo de acuerdo con el “Rock Mass Ratio - RMR” considerando además en la subdivisión parámetros geomecánicos que incluyen análisis al macizo y a la roca intacta

según el Índice de Resistencia Geológica GSI. Las metodologías de caracterización Rock Mass Ratio – RMR y el índice de resistencia geológica GSI se explican más adelante.

#### 5.1.4.1.1 Metodología para la caracterización de la roca intacta

Los parámetros resistentes de la roca matriz se determinaron a partir de los ensayos de laboratorio efectuados, utilizando ensayos a compresión simple o uniaxial, ensayos de tracción indirecta (brasileño), y ensayos de compresión triaxial en roca. La representación de los resultados de estos ensayos en el plano  $[\sigma_3 - \sigma_1]$  permite obtener un punto para cada ensayo; los diferentes criterios de rotura determinan una relación funcional entre estos puntos. Los dos criterios fundamentales son el de Mohr-Coulomb y el de Hoek-Brown. El criterio de Mohr-Coulomb supone una relación lineal entre  $\sigma_3$  y  $\sigma_1$ , con  $\sigma_c$  como la resistencia a compresión simple del litotipo y  $\lambda$  un parámetro relacionado con el ángulo de fricción según la ecuación:

$$\lambda = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

A partir de  $\sigma_c$  y  $\sigma_3$  se pueden obtener el ángulo de fricción ( $\phi$ ) y la cohesión del litotipo (C) mediante la expresión:

$$\phi = 2 \cdot \arctan\sqrt{\lambda} - 90$$

$$c = \sigma_c \frac{1 - \sin\phi}{2 \cos\phi}$$

El criterio de Hoek-Brown supone una relación no lineal entre  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  de la forma:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c^i \cdot (m_b \cdot \sigma_3 / \sigma_c^i + s)^a$$

Donde:

$$m_b = m_i \cdot e^{(GSI - 100) / (24 - 14D)}$$

$$s = e^{(GSI - 100) / (9 - 3D)}$$

$$a = 1/2 + 1/6(e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$$

Siendo  $m_i$  una constante del material y D un factor que depende del grado de alteración o daño ocasionado por el método de excavación (factor de disturbancia). El GSI es el índice de calidad del macizo rocoso denominado Geological Strength Index e introducido recientemente por Hoek.

Al estudiar la roca intacta  $m_b = m_i$ ;  $s = 1$  y  $a = 1/2$ , pudiendo expresarse la relación como

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c^i \cdot (m_i \cdot \sigma_3 / \sigma_c^i + 1)^{1/2}$$

Cada uno de los litotipos fue caracterizado a nivel de roca intacta, asignando un valor  $\sigma_{ci}$  y de mi deducido de los ajustes realizados a partir de los ensayos de laboratorio.

Los valores obtenidos de  $m_i$  según el criterio de Hoek y Brown deben ajustarse de modo aproximado a los rangos establecidos por Hoek y Marinos en 2.000, los cuales se muestran en el la Tabla 5.135. En caso de no disponer de un ajuste adecuado por no disponer de datos, es posible tomarlos de bibliografía reconocida.

**Tabla 5.1 Valores de la constante  $m_i$  para rocas intactas tomadas de bibliografía**

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
			←----- Grauwaca -----> (18)			
	No Clásticas	Orgánicas	←----- Creta -----> 7			
			←----- Carbón -----> (8 - 21)			
		Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8	
	Químicas		Yeso 16	Anhidrita 13		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Córneas (19)	Cuarcita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 - 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
		Oscuras	Diorita (28)	Dolerita (19)	Andesita 19	
			Gabbro 27		Basalto (17)	
			Norita 22			
	Extrusivas Piroclásticas		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)	

Fuente: (Hoek y Marinos, 2.000 "Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses")

En cuanto al módulo de deformación de la roca intacta, para su determinación es posible recurrir al denominado Módulo Relativo (MR), basado en Deere y en Palmstrom y Singh, según el cual el módulo de deformación a nivel de roca intacta se puede estimar como el producto de la resistencia a compresión simple por el Módulo Relativo.

En la Tabla 5.136 se muestran los valores del Módulo Relativo establecidos para cada litología y a partir de la cual se le ha asignado a cada litotipo un valor.

**Tabla 5.2 Módulo Relativo para diferentes litologías - Deere y Palmstrom y Singh**

Rock type	Class	Group	Texture				
			Coarse	Medium	Fine	Very fine	
Sedimentary	Clastic		Conglomerates 300-400 Breccias 230-350	Sandstones 200-350	Siltstones 350-400 Greywackes 350	Claystones 200-300 Shales 150-250 <sup>a</sup> Marls 150-200	
		Non-clastic	Carbonates	Crystalline limestones 400-600	Sparitic limestones 600-800	Micritic Limestones 800-1000	Dolomites 350-500
		Evaporites		Gypsum (350) <sup>b</sup>	Anhydrite (350) <sup>b</sup>		
		Organic				Chalk 1000+	
Metamorphic	Non-foliated		Marble 700-1000	Hornfels 400-700 Metasandstone 200-300	Quartzites 300-450		
	Slightly foliated		Migmatite 350-400	Amphibolites 400-500	Gneiss 300-750 <sup>a</sup>		
	Foliated <sup>a</sup>			Schists 250-1100 <sup>a</sup>	Phyllites/Mica Schist 300-800 <sup>a</sup>	Slates 400-600 <sup>a</sup>	
Igneous	Plutonic	Light	Granite <sup>c</sup> 300-550 Granodiorite <sup>c</sup> 400-450	Diorite <sup>c</sup> 300-350			
		Dark	Gabbro 400-500 Norite 350-400	Dolerite 300-400			
	Hypabyssal			Porphyries (400) <sup>b</sup>	Diabase 300-350	Peridotite 250-300	
	Volcanic	Lava			Rhyolite 300-500 Andesite 300-500	Dacite 350-450 Basalt 250-450	
		Pyroclastic		Agglomerate 400-600	Volcanic breccia (500) <sup>b</sup>	Tuff 200-400	

<sup>a</sup>Highly anisotropic rocks: the value of MR will be significantly different if normal strain and/or loading occurs parallel (high MR) or perpendicular (low MR) to a weakness plane. Uniaxial test loading direction should be equivalent to field application.

<sup>b</sup>No data available, estimated on the basis of geological logic.

<sup>c</sup>Felsic Granitoids: coarse grained or altered (high MR), fined grained (low MR).

Fuente (Deere y Palmstrom y Singh)

#### 5.1.4.1.1.2 Metodología para la caracterización del macizo rocoso

Los macizos rocosos, como medios discontinuos, presentan un comportamiento geomecánico complejo que de forma simplificada puede ser estudiado y categorizado en función de su aptitud para distintas aplicaciones. Con este objetivo surgieron las clasificaciones geomecánicas que aportan mediante la observación directa de las características de la matriz y del macizo rocoso en su conjunto, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos, tales como:

- Resistencia de la matriz
- Índice RQD
- Espaciado de las discontinuidades
- Orientación de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Estructura geológica y fallas
- Filtraciones y presencia de agua
- Estado tensional

Una de las clasificaciones geomecánicas más utilizadas en la actualidad es el RMR de Bieniawski, que se emplea tanto para la caracterización de los macizos rocosos y sus propiedades como para su aplicación en túneles y taludes rocosos.

- **Clasificación del macizo rocoso con el índice Rock Mass Rating - RMR.**

Esta clasificación fue desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en los años 1979 y 1989. Constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y soporte en túneles. El índice RMR (Rock Mass Ratio) varía de 0 a 100 puntos, siendo 0 el valor mínimo de un suelo y 100 el de una roca sin meteorizar, sin apenas discontinuidades y en estado seco.

Los parámetros que tiene en cuenta el RMR son:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa, pudiéndose emplear también la resistencia obtenida en el ensayo PLT (Point Load Test). Este parámetro equivale al subíndice RMR-1 y genera valores desde 0 a 15 puntos.
- Grado de fracturación en términos de RQD. Este parámetro equivale al subíndice RMR-2 y presenta valores desde 0 a 20 puntos.
- Espaciado de las discontinuidades. Este parámetro equivale al subíndice RMR-3, con valores de 0 a 20 puntos.
- Juntas por metro. Este parámetro unifica los subíndices RMR2 y RMR3 y equivale al parámetro de frecuencia de discontinuidades  $\lambda$  (RMR2+RMR3), pudiendo alcanzar valores de 0 a 34 puntos.
- Condiciones de las discontinuidades, incluyendo persistencia o continuidad, abertura, rugosidad, relleno y alteración de las discontinuidades. Este parámetro equivale al subíndice RMR4, pudiendo alcanzar valores de 0 a 30 puntos.
- Condiciones hidrogeológicas por definir mediante estimación del caudal que sale del macizo rocoso, la presión de agua o el estado general. Este parámetro equivale al subíndice RMR-5 y puede alcanzar valores de 0 a 15 puntos.

La suma de estos 5 subíndices (RMR1+RMR2+RMR3+RMR4+RMR5) constituyen el valor del RMR básico (RMRb) o sin corregir, ya que no tiene en cuenta la orientación de las discontinuidades respecto a la intervención prevista (túneles, desmontes o cimentaciones, en este caso un túnel).

Para la obtención del índice RMR corregido se aplica una reducción del índice RMR básico según la incidencia de la orientación de las familias más importantes de discontinuidades existentes en el macizo, para lo cual será imprescindible conocer la orientación longitudinal del túnel.

A continuación, en la Tabla 5.3 se compilan los valores para clasificación geomecánica RMR de Bieniawski de 1989, y en la Tabla 5.138 se incluyen los valores de corrección para la obtención del RMR corregido.

**Tabla 5.3 Valores para la clasificación del índice RMR de Bieniawski, 1989**

<b>RMR (1) RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA INTACTA</b>																
VALOR (kg/cm <sup>2</sup> )	>2.500	1.000-2.500	500-1.000	250-500	50-250	10-50	<10									
VALORACIÓN	15	12	7	4	2	1	0									
<b>RMR (2) RQD</b>																
índice R.Q.D.	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	< 25%											
VALORACIÓN	20	17	13	6	3											
<b>RMR (3) SEPARACIÓN ENTRE DIACLASAS</b>																
Espaciado de diaclasas	>2000 mm	600-2000 mm	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm											
VALORACIÓN	20	15	10	8	5											
<b>RMR (2+3) RQD Y SEPARACIÓN ENTRE DIACLASAS</b>																
JUNTAS POR METRO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
VALORACIÓN	40	34	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	16	17
JUNTAS POR METRO	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
VALORACIÓN	17	16	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9	
JUNTAS POR METRO	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
VALORACIÓN	9	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5	5	4	4	4	
<b>RMR (4) ESTADO DE LAS DIACLASAS</b>																
PERSISTENCIA	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	20 m											
	6	4	2	1	0											
APERTURA	0	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	>5 mm											
	6	5	4	1	0											
RUGOSIDAD	Muy rugosa	Rugosa	Liger. rugosa	Lisa	Espejo falla											
	6	5	3	2	0											
RELLENO	NO HAY	DURO CON ESPESOR <5mm	DURO CON ESPESOR >5mm	BLANDO CON ESPESOR <5mm	BLANDO CON ESPESOR >5mm											
	6	5	3	2	0											
GRADO DE METEORIZACIÓN	NO AFECTADO	LIGERO	MODERADO	ALTO	DESCOMPUERTO											
	6	5	3	1	0											
<b>RMR (5) EFECTO DEL AGUA</b>																
ESTADO	SECO	LIG. HÚMEDO	HÚMEDO	GOTEANDO	AGUA FLUYENDO											
VALORACIÓN	15	10	7	4	0											

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

**Tabla 5.4 Valores para la corrección del índice RMR de Bieniawski, 1989 en función de la orientación**

DIRECCIÓN PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL				DIRECCIÓN PARALELA AL EJE DEL TÚNEL		Buzamiento 0°-20° cualquier dirección
Excavación hacia buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	
Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

En función del RMR obtenido, los macizos rocosos se clasifican en cinco clases como se muestra en la Tabla 5.5.

**Tabla 5.5. Clasificación del macizo rocoso según el RMR**

Clase	Calidad del macizo	Valor RMR
I	Muy Buena	81 a 100
II	Buena	61 a 80
III	Media	41 a 60
IV	Mala	21 a 40
V	Muy Mala	< 20

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

- **Clasificación del macizo rocoso con el Índice de Resistencia Geológica - GSI**

El Índice de Resistencia Geológica, traducción de Geological Strength Index (GSI), fue desarrollado por Hoek et al. (1995). A diferencia del RMR, es un índice que se obtiene de forma simplificada y visual a partir de dos parámetros: la estructura de la matriz rocosa y el estado superficial de la misma.

La estructura de la matriz rocosa es función del grado de fracturación (o discontinuidades). Para ello, se definen cinco categorías en función del grado de trabazón de los bloques de la roca.

El estado superficial de la matriz rocosa está relacionado con la resistencia de la roca sana y las características de las discontinuidades en cuanto a resistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración; definiéndose cinco subcategorías en función de la calidad de la superficie.

El GSI presenta una puntuación final comprendida dentro del intervalo de cero (0) a cien (100). Con idéntica ponderación entre los distintos parámetros que lo componen. Tabla 5.6, muestra, de forma esquemática la idea expresada en el presente párrafo

**Tabla 5.6 Influencia de la parametrización en el GSI**

Parámetro	GSI
Resistencia a compresión simple	0
RQD y espaciado de las discontinuidades	50
Condición de las discontinuidades	50
Presencia de agua subterránea	0

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

Tal y como se extrae de los párrafos anteriores, el GSI introduce un mayor empirismo en una clasificación de por sí empírica, opinión compartida por diversos autores. Sin embargo, es el nexo entre la descripción visual realizada en los trabajos de campo y el modelo constitutivo de rotura no lineal desarrollado por sus mismos autores e implementado en una gran gama de softwares empleados en el diseño de obras de ingeniería.

La evaluación del GSI se hace por comparación del caso que interesa con las condiciones típicas, y el mismo puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos en analogía al índice RMR:

- Macizos de calidad MUY MALA (Clase V, GSI 0-20).
- Macizos de calidad MALA (Clase IV, GSI 21-40).
- Macizos de calidad REGULAR (Clase III, GSI 41-60).
- Macizos de calidad BUENA (Clase II, GSI 61-80).
- Macizos de calidad MUY BUENA (Clase I, GSI 81-100).

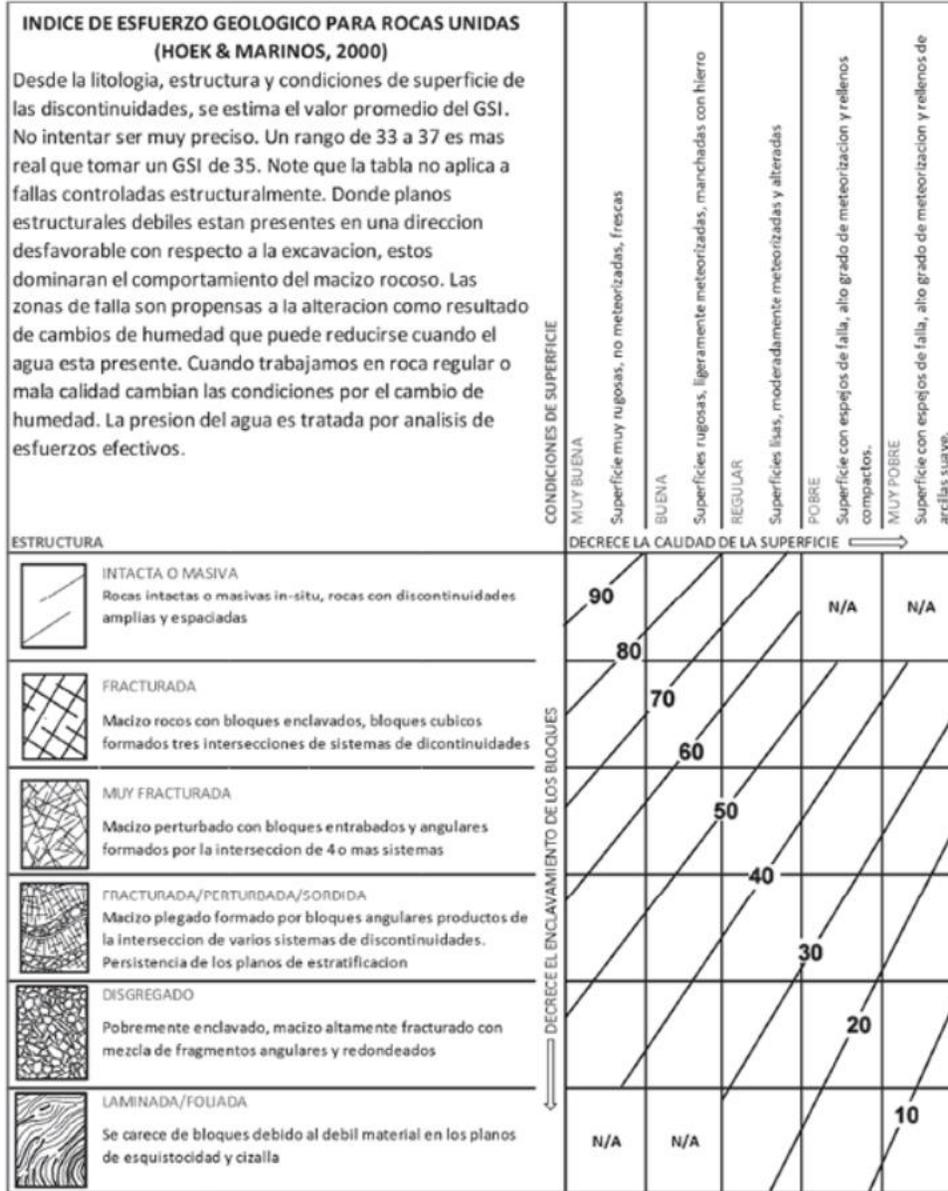
Para su determinación se utilizan los ábacos que se muestran en la Figura 5.1.

Respecto al uso del índice GSI para caracterizar geotécnicamente el macizo rocoso, es conveniente indicar que:

- El GSI no es aplicable en aquellos casos en que el comportamiento del macizo rocoso presenta un claro control estructural. De hecho, cuando el macizo presenta sólo dos sets de estructuras el criterio de Hoek-Brown (para el cual fue desarrollado el GSI) debe aplicarse con sumo cuidado.
- El GSI no considera la resistencia en compresión uniaxial de la roca intacta, ya que al evaluar la resistencia del macizo se incluyen los parámetros que definen el criterio de Hoek-Brown.
- El GSI no considera el espaciamiento entre estructuras, ya que éste está implícitamente incluido al evaluar los bloques del macizo rocoso (a mayor espaciamiento el macizo es más masivo y a menor espaciamiento presenta bloques más pequeños).

- El índice GSI debe definirse en un rango y no como un valor específico. En la práctica es usual definir un rango de unos 10 puntos.

**Figura 5.1 Ábaco para estimación del índice GSI en macizos rocosos**



Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

El índice GSI puede ser estimado a partir del índice RMR por medio de la siguiente correlación:

$$GSI=RMR_{seco}-5$$

Donde RMR corresponde al índice RMR obtenido a partir de la clasificación de Bieniawski de 1989, y seco se refiere a que se le suman los 15 puntos correspondientes al factor del agua (RMR5).

A partir del valor de GSI también existen múltiples estimaciones del módulo de deformación del macizo (Em) utilizando formulaciones empíricas, tales como la expresión de Diederichs, que considera la siguiente expresión

$$Erm(MPa) = 100,000 \left( \frac{1 - D/2}{1 + e^{\left(\frac{75+25D-GSI}{11}\right)}} \right)$$

Donde:

D factor de disturbancia

Otras expresiones como la de Serafín y Pereira modificada por Hoek (2002), expresan el módulo de deformación del macizo rocoso como:

$$Em (GPa) = (1-D/2) \cdot (\sigma_c^i/100)^{1/2} \cdot 10^{(RMR-10/40)}$$

#### 5.1.4.1.2 Información Primaria

La caracterización geomecánica de los materiales y del macizo rocoso se realizó a partir de información primaria con levantamiento de información en estaciones geomecánicas; además de prospecciones geofísicas, (ensayos de sísmica de refracción, ensayos MASW y tomografías eléctricas) y exploración directa con perforaciones mecánicas.

- **Estaciones geomecánicas**

Para la caracterización de las masas rocosas intervenidas con la infraestructura proyectada a lo largo de la zona de estudio se realizaron 12 estaciones geomecánicas debidamente georeferenciadas. En cada una de ellas se determinó la litología y la Formación geológica a la que pertenece; el grado de meteorización, resistencias estimadas y tipo de fracturación que presenta (tabular, en bloques, columnar, etc.)

El levantamiento de información geológica en las estaciones incluyó todos los parámetros necesarios para la clasificación del macizo según las metodologías RMR y GSI descritas anteriormente; incluyendo en cada punto un número suficiente de datos de azimut y buzamiento de diaclasas que permitió mediante el procesamiento en software especializado para determinar las familias de diaclasas y su orientación.

En cada dato de diaclasa levantada con información espacial se determinaron los parámetros de espaciado entre planos de discontinuidad, continuidad de la discontinuidad, rugosidad de los planos medida según el índice JRC, apertura de cada discontinuidad, espesor de relleno y tipo de este, grado de alteración de superficies y presencia de agua.

En la Tabla 5.7 se resumen las principales características de las estaciones geomecánicas realizadas a lo largo de la actual carretera, en la que sus taludes constituyen un corte geológico con la misma orientación que presenta el túnel y en el que se pueden medir de forma detallada las orientaciones de las discontinuidades.

**Tabla 5.7 Principales características de las estaciones geomecánicas realizadas para el estudio del Túnel Pamplonita**

EG	Litología	Formación	Grado de meteorización	RMRb		GSI
				Valor	Calidad	
EG-GC-5	Areniscas	E1b	III	68	II (Buena)	-
EG-GC-6	Areniscas	E1b	III	64	II (Buena)	55
EG-GC-7	Lutitas	E1c	III	69	II (Buena)	35
EG-GC-8	Areniscas	E1b	III	67	II (Buena)	45
EG-GC-9	Areniscas	E1b	III	70	II (Buena)	63
EG-GC-10	Areniscas	E1b	III	57	III (Media)	55
EG-GC-11	Areniscas	E1b	III	61	II (Buena)	60
EG-GC-12	Areniscas	E1b	III	68	II (Buena)	63
EG-GC-13	Areniscas	E1b	III	69	II (Buena)	60
EG-A-28	Areniscas	E1b	III	69	II (Buena)	-
EG-A-29	Areniscas	E1b	III	57	III (Media)	-
EG-A-99	Areniscas	E1b	III	63	II (Buena)	-

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona – Cúcuta

- **Sondeos mecánicos**

Para el reconocimiento del macizo rocoso donde se construirá el Túnel de Pamplonita (UF-3) se realizaron 8 sondeos mecánicos. En las perforaciones se realizaron ensayos de permeabilidad de tipo Lefranc en los niveles de suelos y tipo Lugeon en el macizo rocoso. Así mismo se tomaron muestras representativas para su posterior ensayo en laboratorio. La Tabla 5.8 resume la localización y longitud de los sondeos mecánicos realizados.

**Tabla 5.8 Sondeos mecánicos realizados para el estudio del Túnel Pamplonita**

Nº sondeo	N	E	Z	P.K.	Orientación	Long sondeo (m)	Ensayos de permeabilidad (Lefranc/Lugeon)
UF3-S32A	1315228.493	1159479.609	1656.583	47+127	Vertical	35	1/0
UF3-S32	1315211.985	1159465.125	1656.427	47+130	Vertical	25	1/0
UF3-S33	1315133.968	1159494.132	1696.216	47+220	Vertical	60	0/2
UF3-S34	1314744.431	1159605.785	1741.628	47+620	N 345/65°	105	0/2
UF3-S35	1314649.597	1159644.440	1749.357	47+720	Vertical	95	0/3
UF3-S36	1314294.717	1159757.566	1718.444	48+100	Vertical	40,5	0/2
UF3-S37	1314209.226	1159799.334	1699.659	48+190	Vertical	45,6	0/2
UF3-S37A	1314231.839	1159820.030	1712.785	48+190	Vertical	65,1	1/1

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona – Cúcuta

- **Ensayos Lugeon**

La evaluación de la permeabilidad del macizo rocoso en el que se emplaza el túnel se realizó a partir de 12 ensayos de permeabilidad de tipo Lugeon en el interior de las perforaciones. Para la caracterización del tipo de macizo según la permeabilidad obtenida en los ensayos Lugeon se siguió la clasificación de Olalla y Sopena de 1991 tomada del libro de Ingeniería Geológica de González et al. 2002 (Ver Tabla 5.9)

**Tabla 5.9 Clasificación de permeabilidad del macizo según Olalla y Sopena (1991)**

Tipo de macizo	Unidades Lugeon	Presión (kp/cm2)
Muy impermeable	0 - 1	10
Prácticamente impermeable	1 - 3	10
Permeable	>3	10
	1.5 - 6	5
Muy permeable	>3	10
	>6	5

Fuente (Olalla y Sopena 1991)

En la Tabla 5.10 se resumen las principales características de los ensayos Lugeon realizados.

**Tabla 5.10 Principales características de los ensayos Lugeon realizados**

Ensayo	Diámetro Perforación (mm)	Profundidad (m)	Litología	Grupo Geotécnico	Unidades Lugeon	Permeabilidad K (cm/s)	Clasificación del macizo	Observaciones
UF3-S33	101.6	21,5-26,5	Areniscas-Arcillolitas	E1b	12,6	1,26x10-4	Muy permeable	
	101.6	51,5-56,5	Arcillolitas-Areniscas	E1b	11,8	1,18x10-4	Muy permeable	
UF3-S34	101.6	30-35	Arcillolitas	E1b	0,2	1,78 x10-6	Muy impermeable	NF estimado (sondeo inclinado 65° respecto de la horizontal, no tiene piezómetro)
	101.6	40-45	Arcillolitas	E1b	1,3	1,29 x10-5	Muy impermeable	
UF3-S35	101.6	30-35	Areniscas	E1b	3,7	3,69 x10-5	Permeable	
	101.6	60-65	Areniscas	E1b	4	3,95 x10-5	Permeable	
UF3-S35	101.6	90-95	Arcillolitas	E1b	2,3	2,27 x10-5	Permeable	
UF3-S36	101.6	15-20	Arcillolitas	E1b	9,4	9,37 x10-5	Muy permeable	
	101.6	35,5-40,5	Arcillolitas	E1b	10,4	1,04 x10-4	Muy permeable	
UF3-S37	101.6	13-18	Areniscas	E1b	9,2	9,17 x10-5	Muy permeable	
	101.6	25-30	Areniscas	E1b	9,6	9,57 x10-5	Muy permeable	
UF3-S37A	101.6	11-16	Areniscas	E1b	10	1 x10-4	Muy permeable	

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

- **Ensayos Lefranc**

Para evaluar la permeabilidad de los niveles de suelos que aparecen recubriendo al sustrato rocoso en el emplazamiento del túnel se realizaron 3 ensayos de permeabilidad de tipo Lefranc en el interior de las perforaciones. En la Tabla 5.11 se resumen las principales características de los ensayos Lefranc

**Tabla 5.11 Principales características de los ensayos Lefranc realizados**

Ensayo	Profundidad sondeo (m)	Profundidad entubación (m)	Diámetro perforación (mm)	Litología	Grupo Geotécnico	Permeabilidad K (cm/s)	Clasificación del macizo	Observaciones
UF3-S32	15	13,5	101,6	Arcillolitas	E1b	1,46 x10-6	Permeabilidad muy baja	NF por debajo del tramo ensayado
UF3-S32A	17,2	13,5	101,6	Arcillolitas	E1b	6,25 x10-6	Permeabilidad muy baja	NF por debajo del tramo ensayado
UF3-S37A	13	10	101,6	Areniscas	E1b	7,13 x10-3	Permeabilidad media a baja	NF por debajo del tramo ensayado

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona – Cúcuta

- **Ensayos Slug y prueba de bombeo**

Adicionalmente a los ensayos Lugeon y Lefranc, se realizaron seis ensayos Slug y una prueba de bombeo, como se resumen en las Tabla 5.12 y Tabla 5.13.

**Tabla 5.12 Principales características de los ensayos Slug realizados**

Sondeo	Cota (msnm)	Tramo de filtro		Longitud tramo (m)	Nivel estático (m)	K (cm/s)
UF3-S32A	1656.6	3	35	32	17,327	1,92E-06
UF3-S33	1696.2	6	56	50	40	2,85E-06
UF3-S35	1794.4	40	60	20	69,8	4,28E-07
UF3-S36	1718.4	28	40	12	33,8	1,34E-06
UF3-S37	1699.7	27	45	18	38,79	6,82E-07
UF3-S37A	1712.8	34	64	30	24,96	6,24E-05

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

**Tabla 5.13 Principales características de la Prueba de bombeo y piezómetro**

Sondeo	Tipo	Tramo de filtro	Longitud tramo (m)	Nivel estático (m)	K (cm/s)
--------	------	-----------------	--------------------	--------------------	----------

Sondeo	Tipo	Tramo de filtro		Longitud tramo (m)	Nivel estático (m)	K (cm/s)
UF3-S37A_B2	Pozo de bombeo	38	60	22	17,327	1,24E-03
UF3-S37A3	Piezómetro de observación	34	64	30	24,96	

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

- **Ensayos presiométricos**

Se realizaron 5 ensayos presiométricos a las profundidades y materiales indicados en la Tabla 5.14.

**Tabla 5.14 Ensayos presiométricos realizados**

TÚNEL	Sondeo	Profundidad (m)	Litología
PAMPLONITA	UF3-S32A	34,5	Arenisca
	UF3-S33	25,35	Arenisca
	UF3-S33	59	Arcillolita
	UF3-S36	20	Arcillolita
	UF3-S37	19,5	Arcillolita

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

- **Prospecciones geofísicas**

Como apoyo a las prospecciones directas, así como a la cartografía geológica, se realizó una campaña geofísica consistente en perfiles sísmicos y tomografías eléctricas. La campaña geofísica comprendió la realización tanto de perfiles de sísmica de refracción como de ensayos de tipo MASW; además, longitudinalmente al trazado del túnel se realizaron líneas de tomografía eléctrica. En la Tabla 5.15 se resumen las principales características de las prospecciones geofísicas.

**Tabla 5.15 Ensayos geofísicos realizados para el reconocimiento del Túnel**

ENSAYO	TIPO	INICIO		FINAL		METRADO REALIZADO
		NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	
UF3-PS08AB	Refracción	1315201	1159433	1315234	1159489	65
UF3-PS08CD	Refracción	1315217	1159463	1315272	1159435	65
UF3-PS09AB	Refracción	1314197	1159777	1314233	1159827	65
UF3-PS09CD	Refracción	1314212	1159795	1314160	1159837	70
UF3-PSP01A	MASW	1315217	1159463	1315272	1159435	30
UF3-PSP02A	MASW	1314197	1159777	1314233	1159827	30

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

En la Tabla 5.16 se relacionan las coordenadas de la tomografía eléctrica longitudinal realizada al trazado del túnel.

**Tabla 5.16 Localización de tomografía eléctrica Túnel Pamplonita**

TÚNEL	NOMBRE LÍNEA	INICIO		FIN		LONGITUD
		ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	
PAMPLONITA	Tomografía UF3-TE01	1159623.6	1314709.2	1159624.7	1314708.9	990

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

- **Ensayos de laboratorio**

Sobre las muestras tomadas de las perforaciones se realizaron ensayos de laboratorio. En la Tabla 5.17 se resumen los resultados de dichos ensayos.

Tabla 5.17 Resultados de los ensayos de laboratorio

Prospección	Grupo Geotécnico	Descripción material	Tipo muestra	Prof. De	Prof. a	IDENTIFICACIÓN										ESTADO	
						GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO						L. ATTERBERG			QUÍMICOS		
						Bolos (> 3")	Grava gruesa	Grava fina (Gravilla)	Arena Gruesa	Arena Media	Arcilla	LL	LP	IP	% SO4	% M.O.	
UF3-S32A	Qc	Grava arcillosa con arena de color café	SPT	6.60	6.90	100.0%	100.0%	77.0%	70.0%	61.0%	56.0%	42.1%	29.0	14.0	15.0	0.02%	0%
SONDEO	Prof. Ini (m)	Prof. Fin (m)	Litología	Grupo	Muestra	Densidad (KN/m3)	Compresión simple		Brasileño	Triaxial en roca		Cerchar (Abrasividad)	Corte en discontinuidad		Desgaste/durabilidad		
							sc (MPa)	E (MPa)		st (MPa)	s1 (MPa)		s3 (MPa)	c (MPa)	f (°)	D.L.A. (100 Rev)	Índice de desleimiento (%)
UF3-S32	22,28	22,64	Arenisca	Formación Barco	TP8	2,38	50,00										
UF3-S32	24,10	24,42	Arenisca	Formación Barco	TP9	2,33	31,90										
UF3-S32A	29,60	30,05	Arenisca	Formación Barco	TP10	26	8,10										
UF3-S33	23,57	23,77	Arenisca	Formación Barco	TP7	25,5	64,30										
UF3-S33	28,70	29,20	Arenisca	Formación Barco	TP9							0,113	24,7				
UF3-S33	28,70	29,20	Arenisca	Formación Barco	TP9-1				40,20	1,00							
UF3-S33	28,70	29,20	Arenisca	Formación Barco	TP9-2				47,17	2,00							
UF3-S33	28,70	29,20	Arenisca	Formación Barco	TP9-3				51,42	3,00							
UF3-S33	38,00	43,00	Arenisca	Formación Barco	Muestra Caja									8			
UF3-S33	38,00	43,00	Arenisca	Formación Barco	Muestra Caja										32		
UF3-S33	40,65	41,00	Arenisca	Formación Barco	TP14			6,56			3,6						
UF3-S33	43,1	43,6	Arenisca	Formación Barco	TP15		77,92	20060,33	7,24								
UF3-S33	51,60	51,90	Arenisca	Formación Barco	TP17	2,32	8,80										
UF3-S36	29,00	29,30	Arenisca	Formación Barco	TP8	24,8	52,70										
UF3-S36	34,5	50	Arenisca	Formación Barco	Muestra Caja									11			
UF3-S36	34,5	50	Arenisca	Formación Barco	Muestra Caja										47		
UF3-S36	34,5	50	Arenisca	Formación Barco	Muestra Caja											5,10	
UF3-S36	34,5	34,9	Arenisca	Formación Barco	TP9						1,6						
UF3-S36	36,32	36,78	Arenisca	Formación Barco	TP10	26,1	32,80		2,9								
UF3-S37	26,00	32,00	Arenisca	Formación Barco	Muestra Caja									12			
UF3-S37	26,00	32,00	Arenisca	Formación Barco	Muestra Caja										48		
UF3-S37	27,60	27,92	Arenisca	Formación Barco	TP6				5,62								
UF3-S37	31,5	31,87	Arenisca	Formación Barco	TP7		34,49	9692,80									

SONDEO	Prof. Ini (m)	Prof. Fin (m)	Litología	Grupo	Muestra	Densidad (KN/m3)	Compresión simple		Brasileño	Triaxial en roca		Cerchar (Abrasividad)	Corte en discontinuidad		Desgaste/durabilidad	
							sc (MPa)	E (MPa)		st (MPa)	s1 (MPa)		s3 (MPa)	c (MPa)	f (°)	D.L.A. (100 Rev)
UF3-S37	33,2	33,67	Arenisca	Formación Barco	TP8-1					72,27	2,00					
UF3-S37	33,2	33,67	Arenisca	Formación Barco	TP8-2					78,51	3,00					
UF3-S37A	28,5	28,76	Arenisca	Formación Barco	TP7	26,4	47,70									
UF3-S37A	46,92	47,24	Arenisca	Formación Barco	TP12	26,5	20,40									
UF3-S37A	50,18	50,57	Arenisca	Formación Barco	TP13								0,22	27,4		
UF3-S35	55,2	55,5	Arenisca	Formación Barco		25,6	7,90									
UF3-S35	69,15	69,6	Arenisca	Formación Barco		26,2	26,50					2.2 mm - Abrasividad Alta				
UF3-S32	22,28	22,64	Arenisca	Formación Barco						86,86	2,00					
UF3-S32	22,28	22,64	Arenisca	Formación Barco						92,74	3,00					
UF3-S35	60	70	Arenisca	Formación Barco											9	98,9
UF3-S35	82,2	82,5	Areniscas	Formación Barco		25,1	48,80									
UF3-S34	90,8	91,1	Areniscas	Formación Barco		28,8	12,90		1,41							
UF3-S35	91,4	91,6	Areniscas	Formación Barco		22,2	57,80		3,08							
UF3-S34	55,6	55,9	Arenisca		TP11		16,81	6460,70								
UF3-S34	79,4	79,8	Arenisca				36,29	13919,10					0,009	28,7		
UF3-S35	85,2	85,6	Arenisca		TP33		70,44	20675,40								
UF3-S35	78,2	78,5	Arenisca		TP27 A		74,07	13620,70								
UF3-S35	48,05	48,4	Arenisca		TP19		16,54	8993,30								
UF3-S35	23,5	24	Limolita		TP7		12,26	3822,30								
UF3-S35	33	33,5	Arenisca		TP10	25,1	46,50		2,95				0,045	23		
UF3-S35	60,5	61,3	Areniscas b.		TP23				5,10				0,179	26,6		
UF3-S35	41,3	41,9	Areniscas	Formación Barco	TP17-1					31,03	1					
UF3-S35	41,3	41,9	Areniscas	Formación Barco	TP17-2					35,49	2					
UF3-S35	41,3	41,9	Areniscas	Formación Barco	TP17-3					40,22	3					
UF3-S34	99,68	100	Areniscas	Formación Barco	TP22		20,77	7771,40					0,006	27,5		
UF3-S35	60,5	61,3	Areniscas	Formación Barco	TP23-1					57,54	1					
UF3-S35	60,5	61,3	Areniscas	Formación Barco	TP23-2					62,67	2					
UF3-S35	60,5	61,3	Areniscas	Formación Barco	TP23-3					68,07	3					
UF3-S35	13,5	13,85	Limolitas	Formación Barco		24,9	2,80									
UF3-S36	23	23,3	Limolitas	Formación Barco	TP6	26,3	6,10									

SONDEO	Prof. Ini (m)	Prof. Fin (m)	Litología	Grupo	Muestra	Densidad (KN/m3)	Compresión simple		Brasileño	Triaxial en roca		Cerchar (Abrasividad)	Corte en discontinuidad		Desgaste/durabilidad	
							sc (MPa)	E (MPa)		st (MPa)	s1 (MPa)		s3 (MPa)	c (MPa)	f (°)	D.L.A. (100 Rev)
UF3-S36	17,27	17,49	Arcillolita		TP4								0,045	23		
UF3-S37A	40,1	40,65	Limolitas	Formación Barco	TP10		7,85	6025,67								
UF3-S37	40,2	40,4	Limolitas	Formación Barco	TP9	26,3	27,40									
UF3-S32	13,00	18,00	Arcillolita	Formación Barco	Muestra Caja										12	
UF3-S32	13,00	18,00	Arcillolita	Formación Barco	Muestra Caja										40	
UF3-S32	15,53	15,73	Arcillolita	Formación Barco	TP6				0,33				0,08	20,7		
UF3-S32	13	18	Arcillolita	Formación Barco	Muestra Caja											6,50
UF3-S32	11,87	12,24	Arcillolita	Formación Barco	TP4		0,48	153,80								
UF3-S32	15,53	15,73	Arcillolita	Formación Barco	TP6						1,1					
UF3-S32A	7,5	8,5	Arcillolita		Muestra 10		16,39	8218,29								
UF3-S32A	16	17,5	Limolitas		Muestra 18		15,04	7689,40								
UF3-S32A	19,4	19,77	Arcillolita	Formación Barco	TP6	25,1	3,10						0,074	22,3		
UF3-S32A	21,92	22,14	Arcillolita	Formación Barco	TP7		0,66	166,05								
UF3-S32A	15	20	Arcillolita	Formación Barco	Muestra Caja											3,50
UF3-S32A	23,55	23,75	Arcillolita	Formación Barco	TP8-1					22,19	2,00					
UF3-S32A	23,55	23,75	Arcillolita	Formación Barco	TP8-2					26,32	3,00					
UF3-S33	56,30	56,50	Arcillolita	Formación Barco	TP19	21,1	5,10		1,26							
UF3-S33	54,00	54,25	Arcillolita	Formación Barco	TP18								0,073	21,9		
UF3-S33	54	56	Arcillolita	Formación Barco	Muestra Caja											68,60
UF3-S33	54,00	54,25	Arcillolita	Formación Barco	TP18-1					35,47	1,00					
UF3-S33	54,00	54,25	Arcillolita	Formación Barco	TP18-2					38,44	2,00					
UF3-S33	54,00	54,25	Arcillolita	Formación Barco	TP18-3					48,06	3,00					
UF3-S36	13,3	13,5	Arcillolita	Formación Barco	TP3		3,84	3515,84								
UF3-S37	18,75	18,85	Arcillolita	Formación Barco	TP4	24,1	2,20									
UF3-S37A	21,27	21,60	Arcillolita	Formación Barco	TP5	24,3	0,90									
UF3-S37A	53	60	Arcillolita	Formación Barco	Muestra Caja											96,70
UF3-S35	18,45	18,85	Arcillolita	Formación Barco	TP-5-1					13,33	2		0,086	29,3		

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

### 5.1.4.1.3 Caracterización matriz rocosa o roca intacta

Los materiales que se verán intervenidos por la excavación del túnel y la galería de evacuación corresponden a la formación Barco de edad Terciaria. Estos materiales han sido reconocidos tanto por las estaciones geomecánicas como en los sondeos mecánicos y están compuestos por areniscas de grano medio a fino de tonos ocre y gris claro dispuestos en paquetes métricos con intercalaciones de arcillolita de tonos grises y ocasionalmente limolitas de tonos grises. Los niveles de areniscas constituyen el 67% de la serie mientras de los de arcillolitas un 33%.

A continuación, se analizan los ensayos realizados, diferenciando los tramos compuestos mayoritariamente por niveles de areniscas de los compuestos mayoritariamente por la fracción fina compuestos por arcillolitas.

- **Tramos en litología de areniscas**

Los niveles de areniscas pertenecientes a la formación Barco, de edad terciaria, presentan grano medio y fino de tonalidades grises y amarillentas; las areniscas están dispuestas en paquetes decimétricos a métricos, presentan estratificación cruzada y aparecen alternantes con otros niveles de composición arcillolítica.

La composición mineralógica de la roca se determinó mediante análisis petrográfico realizado a cuatro muestras de lámina delgada, obteniendo la composición que se resume en la Tabla 5.18.

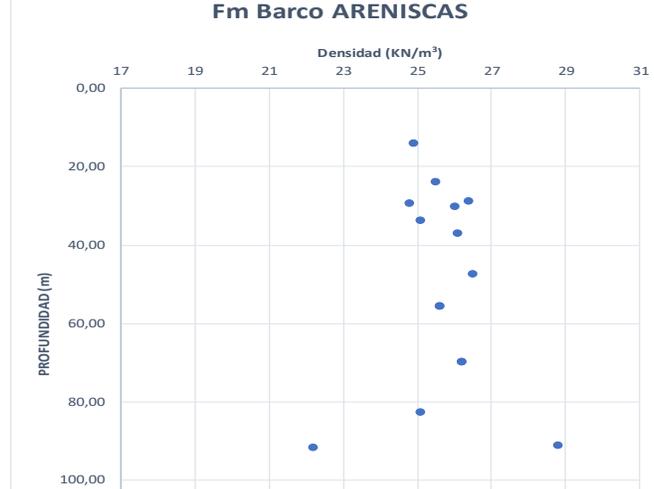
**Tabla 5.18 Valores de composición mineralógica, tramos de Areniscas**

Muestra	ARMAZON								MATRIZ	Minerales secundarios		Materia orgánica (m.o.) (%)
	Cuarzo monocrystalino (%)	Cuarzo metamórfico	Chert (%)	Moscovita (%)	Biotita (%)	Glauconita (%)	Piroxeno (%)	Circón (%)	Minerales arcillosos (%)	Clorita	caolinita	
UF3-S33 de 40.55 a 41.00 m	62		9	2.5	0.3	1.2	0.9	0.6	23.1			0.3
UF3-S33 de 43.10 a 43.60 m	59	0.6	7.8	3.5	1.2	0.8		0.6	23.3	0.3	0.8	2.1
UF3-S35 de 33.0 a 33.50	79.7	0.8	3.5	1.3				0.3	10.9	0.3		
UF3-S35 de 60.50 a 61.30	45	3.4	7	1.8		0.7		0.5	38.9		0.2	0.9

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

Para determinar el peso específico aparente de los estratos de arenisca se realizaron 15 ensayos, en los que se obtuvieron valores que oscilan entre 28.8 kN/m<sup>3</sup> y 22.2 kN/m<sup>3</sup>, con un valor medio de 26.0 kN/m<sup>3</sup>. En la Figura 5.2 se grafican los valores de densidad vs la profundidad.

**Figura 5.2 Peso específico aparente vs profundidad, en muestras de Arenisca Fm Barco ARENISCAS**

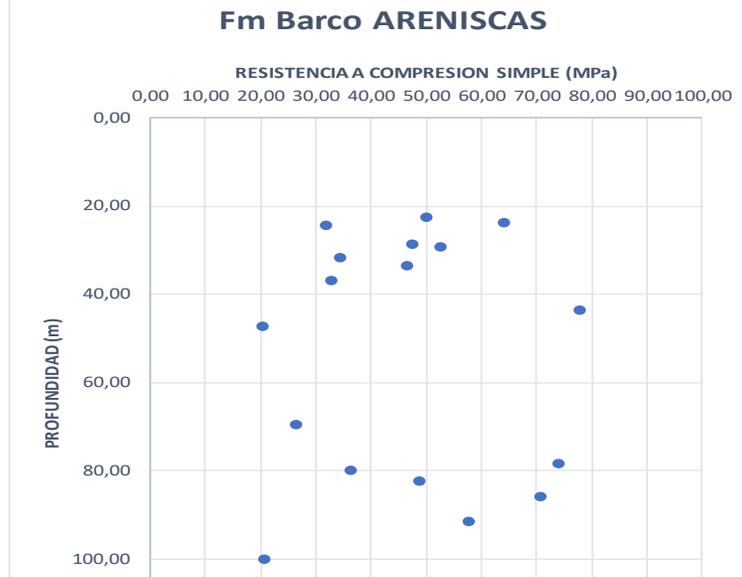


Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

La resistencia a compresión simple de la roca intacta se estimó mediante ensayos de resistencia a compresión uniaxial confinada, resistencia con bandas extensiométricas y triaxiales; en total se realizaron pruebas a 16 muestras, obteniendo valores que oscilan entre máximos de 77.9 MPa y mínimos de 20.4 MPa, con valor medio de 47.68 MPa.

En la Figura 5.243 se muestra la distribución de la resistencia a compresión simple en función de la profundidad.

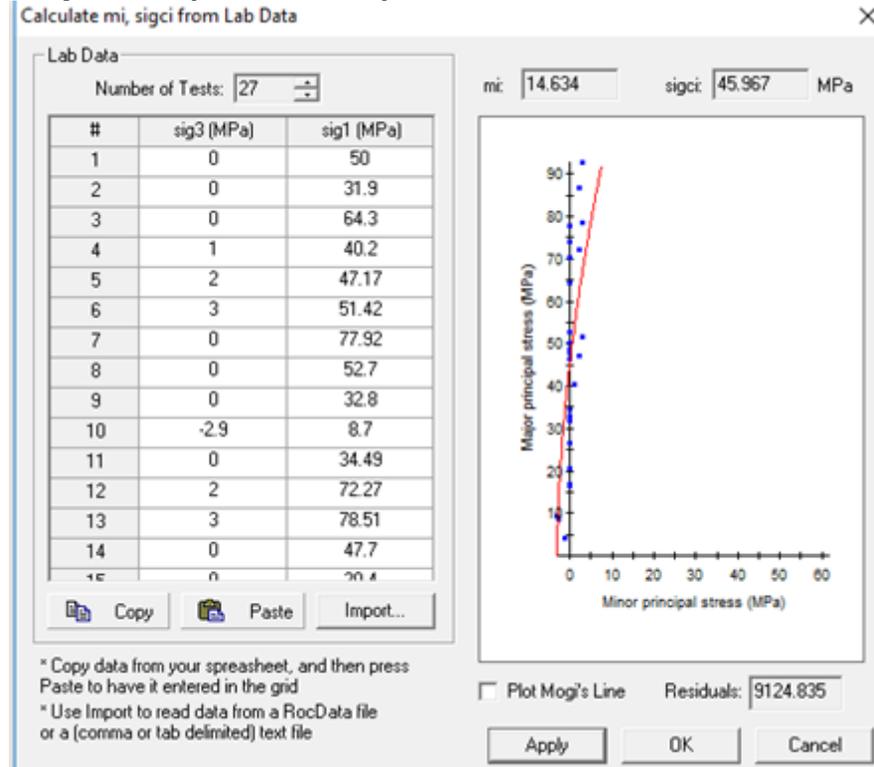
**Figura 5.3 Resistencia a la compresión vs profundidad, muestras de Arenisca Fm Barco ARENISCAS**



Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona – Cúcuta

Se realizaron 13 ensayos triaxiales, cuyos resultados de resistencia oscilan entre valores de 92 MPa a 31 MPa, con valor medio de 46 MPa. El valor característico de resistencia a compresión simple de la unidad se determinó con el uso del Software Roclab (Figura 5.4) considerando tanto las compresiones uniaxiales, tracciones y triaxiales; considerando los resultados del análisis se adoptó un valor resistencia de 44 MPa.

**Figura 5.4 Ajuste del parámetro  $m_i$  para los niveles de Areniscas de la Fm Barco**



Fuente (Roclab), Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

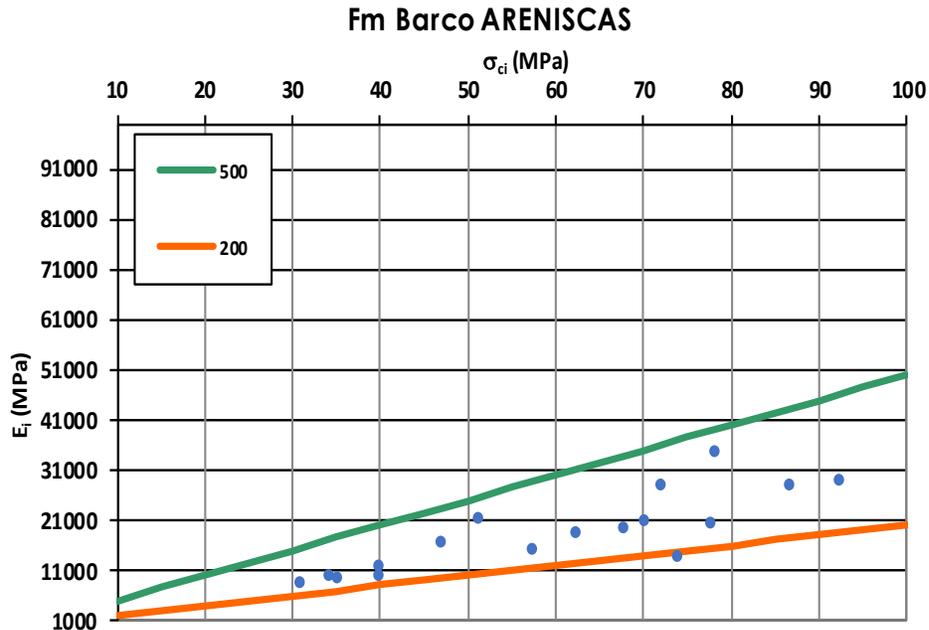
También se realizó ensayo de resistencia a la tracción indirecta (brasileño) a 7 muestras, obteniéndose valores que oscilan entre máximos de 6.56 MPa y mínimo de 1.41MPa, con valor medio de 3.95 MPa.

En relación con los parámetros siguiendo el criterio de Hoek y Brown, además de la resistencia a la compresión uniaxial, para determinar el parámetro  $m_i$  de este material se emplearon los datos de los ensayos triaxiales. Las presiones de confinamiento utilizados fueron de 1,2 MPa y 3 MPa; también se consideraron los resultados de los ensayos de compresión uniaxial y tracciones; se adoptó como valor característico  $m_i$  de 13.

Los parámetros deformacionales se obtuvieron mediante ensayos con bandas extensométricas. Y ensayos triaxiales. Con base en los resultados se adoptó como valor característico del módulo de deformación de roca intacta un valor de 12100 MPa.

En la Figura 5.5 se incluye la distribución de valores de resistencia a compresión simple en relación con los módulos de deformación obtenidos en los ensayos con bandas extensométricas y triaxiales. Los valores obtenidos en los ensayos están dentro de los rangos establecidos por Deere y Miler, y por tanto se considera que los valores de los ensayos y los adoptados como característicos son adecuados.

Figura 5.5 Relación de la RCS con el módulo de deformación, tramos de Areniscas



Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

Para adoptar el valor de MR, y en base a los ensayos de laboratorio disponibles, una vez desestimados los valores anómalos, se obtuvo valores de entre 438 y 193, con valor promedio de 318, que se encuentra dentro del rango propuesto por la bibliografía para estos materiales ( $275 \pm 75$ ).

A partir del análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio, en la Tabla 5.19 se resumen los valores característicos de la arenisca intacta.

**Tabla 5.19 Valores característicos de los tramos de Arenisca**

Parámetro	Valor
Resistencia a la compresión simple - RCS	44 MPa
Peso específico aparente - D	26 kN/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad - Ei	12100 MPa
Relación de Poisson - $\nu$	0.25
Parámetro - mi	13

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

- **Tramos en litología de arcillolitas**

Para los tramos de litología arcillolítica se realizaron análisis petrográficos a dos muestras de lámina delgada, obteniendo la composición mineralógica de la Tabla a continuación.

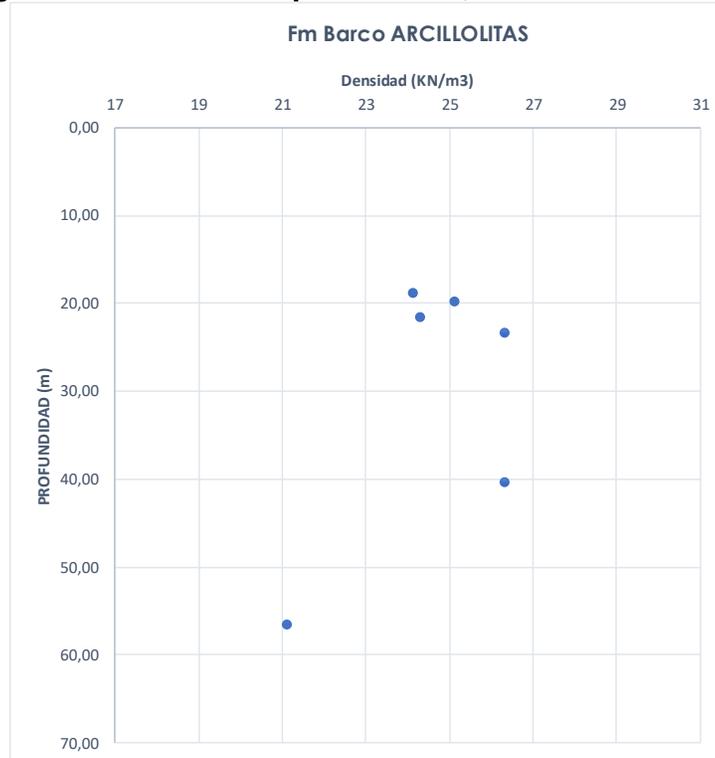
**Tabla 5.20 Valores de composición mineralógica, tramos de Arcillolitas**

Muestra	ARMAZON								MATRIZ	Minerales secundarios		Materia orgánica (m.o.) (%)
	Cuarzo monocristalino (%)	Cuarzo metamórfico	Chert (%)	Moscovita (%)	Biotita (%)	Glauconita (%)	Piroxeno (%)	Circón (%)	Minerales arcillosos (%)	Clorita	caolinita	
UF3-S37 de 40.20 a 40.4	39.2		8.4	2.3		0.6		0.2	45			0.5
UF3-S37A de 50.18 a 50.57m	32		5.7	3.1		2.2		0.4	52			1.7

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

De acuerdo con los resultados del muestreo, la densidad de la roca presenta valores máximos de 25.1 KN/m<sup>3</sup> y mínimos de 24.1 KN/m<sup>3</sup>, con valor medio de 24.6 KN/m<sup>3</sup>. En la Figura 5.6 se muestran los valores obtenidos de densidad vs la profundidad.

**Figura 5.6 Densidad vs profundidad, tramos de Arcillolitas**

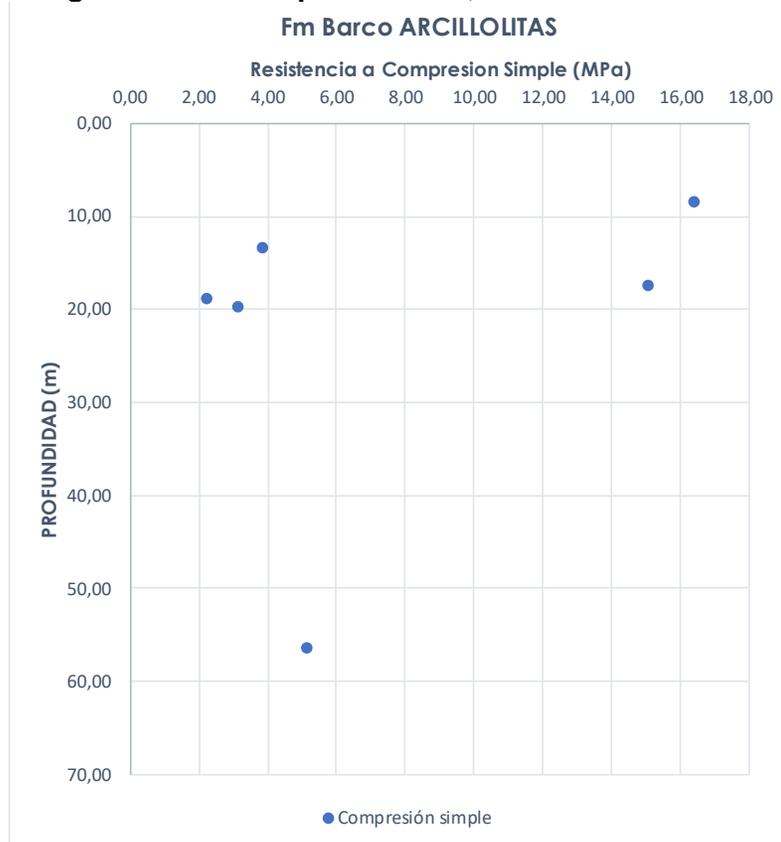


Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

La resistencia a la compresión simple de la roca intacta se determinó mediante ensayos de compresión uniaxial inconfiada y resistencia con bandas extensiométricas. En total se realizaron 8 ensayos, de los que se desestimaron 2 resultados por presentar valores muy bajos debido probablemente a la falla de la muestra siguiendo un plano de discontinuidad; las demás

muestras presentan valores máximos de 5.1 MPa, mínimos de 2.2 MPa y medio de 3.41 MPa. En la Figura 5.7 se muestra la distribución de la resistencia a compresión simple en función de la profundidad.

**Figura 5.7 RCS vs profundidad, tramos de Arcillolita**

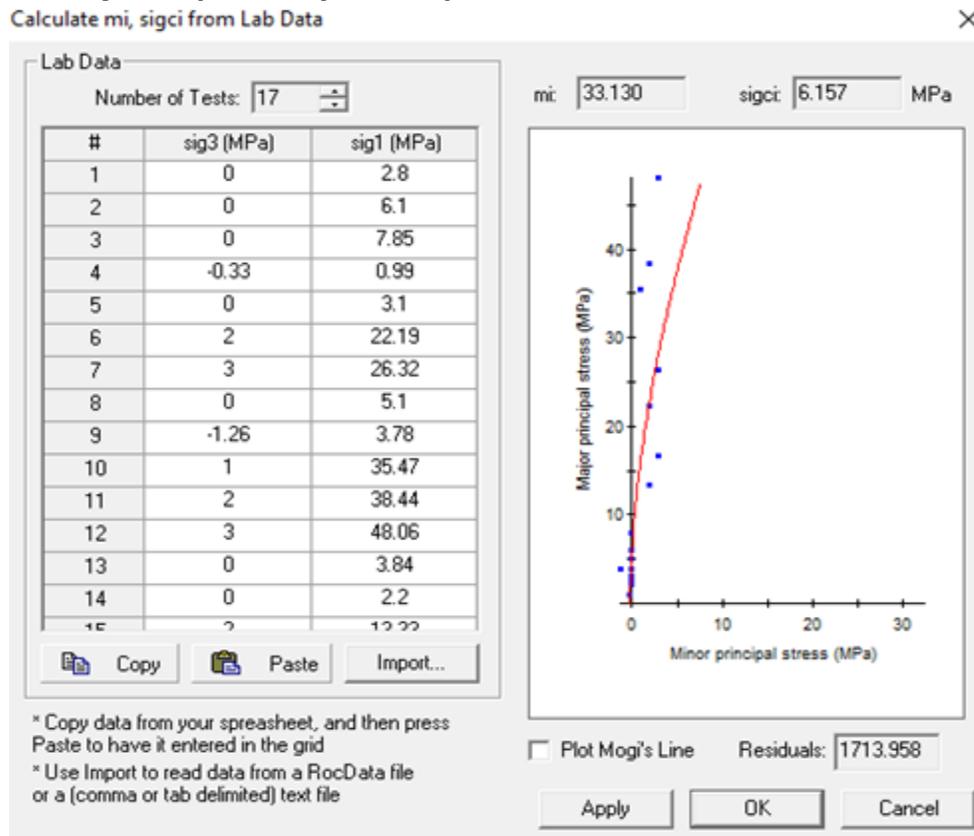


Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

Para el análisis se realizaron también 7 ensayos triaxiales, en los que se obtuvieron valores de 48 MPa y 13 MPa y un valor medio de 12 MPa.

El rango de valores de resistencia a la compresión obtenidos de ensayos de compresión confinada y triaxiales es bastante amplio, por lo que para adoptar el valor característico de la resistencia confinada se representaron los ensayos junto con los de tracción indirecta efectuándose un ajuste de la envolvente de rotura de Hoek y Brown. El ajuste, realizado en el software Roclab, arroja un valor de SCI de 6.15 MPa; valor que se decidió adoptar como representativo a la vista de los resultados de ensayos con confinamiento (Figura 5.8).

**Figura 5.8 Ajuste tipo Hoek y Brown para los niveles en Arcillolita de la Fm Barco**



Fuente (Roclab-Geoconsult). Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

La adopción del parámetro  $m_i$  del criterio Hoek y Brown considerando el ajuste obtenido en el software Roclab significa un valor excesivamente elevado, por lo que se decidió adoptar un valor de 10, de acuerdo con los valores propuestos por la bibliografía para este tipo de materiales.

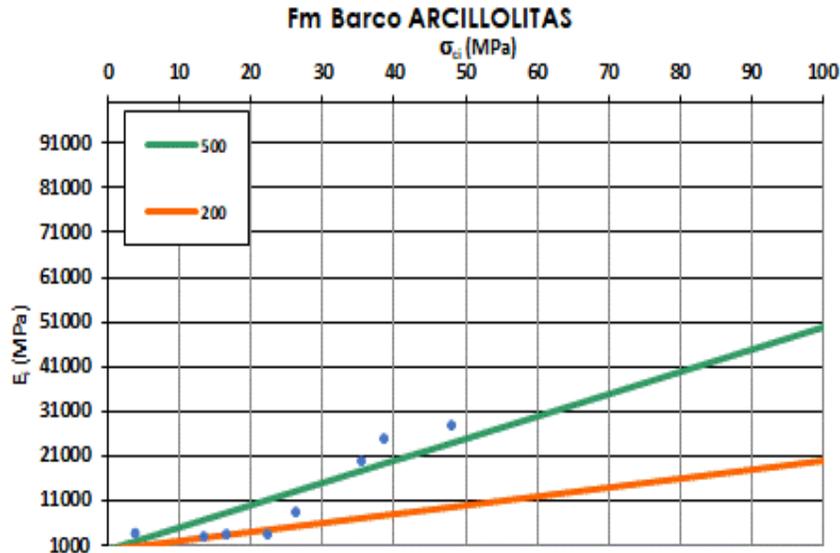
Para determinar los parámetros deformacionales a nivel de matriz rocosa, se cuenta con módulos de deformación obtenidos de ensayos con bandas extensométricas; se realizaron tres ensayos, de los cuales se desestimaron dos por presentar rotura a favor de una discontinuidad de la muestra. El ensayo restante presentó un valor de 3515 MPa.

Los módulos de deformación obtenidos en los triaxiales, 7 en total, muestran un valor máximo de 28050 MPa y mínimo de 3590 MPa, con valor medio de 17043 MPa.

En la Figura 5.9 se incluye la distribución de valores de resistencia a compresión simple en relación con los módulos de deformación obtenidos con ensayos con bandas extensométricas y triaxiales. Algunos de estos valores son algo elevados y se sitúan fuera del rango de

distribución establecidos por Deere y Miler; esto en gran medida puede ser debido a que se representan valores correspondientes a ensayos con confinamiento.

**Figura 5.9 Relación de la RCS con los módulos de deformación, tramos de Arcillolitas**



Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

Teniendo en cuenta lo anterior, se consideró razonable adoptar como referencia una relación de módulo/compresión inconfiada de 250; coherente con esto se adopta como umbral inferior del módulo de deformación de roca intacta un valor superior a 875 MPa.

Finalmente, a partir del análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio, en la Tabla 5.21 se resumen los valores característicos de este litotipo.

**Tabla 5.21 Valores característicos de los tramos de Arcillolitas**

Parámetro	Valor
Resistencia a la compresión simple - RCS	6.2 MPa
Peso específico aparente - D	2.46 kN/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad - Ei	>875 MPa
Relación de Poissin - ν	0.30
Parámetro - mi	10

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

#### 5.1.4.1.4 Caracterización del macizo rocoso

La caracterización geomecánica del macizo se realizó a partir de los datos procesados de estaciones geomecánicas realizadas. En primer lugar, se analizaron los resultados de las estaciones agrupando las medidas realizadas discriminadas por litotipo y por grado de alteración; en la Tabla 5.22 se resumen los resultados obtenidos. Se debe tener en cuenta que

las calidades obtenidas son de muestras en superficie y que en profundidad su calidad aumentará progresivamente al disminuir la meteorización

**Tabla 5.22 Caracterización en Estaciones Geomecánicas**

EG	Litología	Formación	GM	RMRb		GSI	RMRb				GSI		
				Valor	Categoría		Max.	Min.	Caract	Categoría	Max.	Min.	Caract
EG-GC-5	Areniscas	E1b	III	58	II (Buena)	-	69	51	60	II (Buena)	63	40	55
EG-GC-6	Areniscas	E1b	III	59	II (Buena)	55							
EG-GC-7	Lutitas	E1lc	III	51	II (Buena)	40							
EG-GC-8	Areniscas	E1b	III	64	II (Buena)	60							
EG-GC-9	Areniscas	E1b	III	64	II (Buena)	60							
EG-GC-10	Areniscas	E1b	III	51	III (Media)	45							
EG-GC-11	Areniscas	E1b	III	65	II (Buena)	60							
EG-GC-12	Areniscas	E1b	III	69	II (Buena)	63							
EG-GC-13	Areniscas	E1b	III	69	II (Buena)	60							
EG-A-28	Areniscas	E1b	III	69	II (Buena)	-							
EG-A-29	Areniscas	E1b	III	57	III (Media)	-							
EG-A-99	Areniscas	E1b	III	63	II (Buena)	-							

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

Del mismo modo, se realizó un análisis de la calidad geomecánica característica a cada uno de los litotipos reconocidos en función del grado de meteorización, así como de la longitud perforada en cada calidad geomecánica con todos los sondeos. El resultado de dicho análisis se resume en la Tabla 5.23.

**Tabla 5.23 Calidades geomecánicas en función del litotipo y el grado de alteración**

SONDEO	LITOTIPO	GM	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS					
			RQD			RMR BÁSICO		
			Rango		Valor Caract.	Rango		Valor Caract.
UF3-S32A	Arcillolitas	3	80	30	64	60	40	55
	Areniscas	3	90	30	68	70	40	58
UF3-S32	Arcillolitas	3	90	50	75	65	55	59
	Areniscas	3	90	90	90	65	65	65
UF3-S33	Arcillolitas	3	90	0	57	60	25	50
	Areniscas	3	95	10	76	65	35	58
UF3-S34	Arcillolitas	3	95	0	45	65	30	43
	Areniscas	3	100	0	71	65	35	56
UF3-S35	Arcillolitas	3	90	10	59	63	30	48
	Areniscas	3	95	0	67	70	30	55
UF3-S36	Arcillolitas	3	90	10	45	55	30	44
	Areniscas	3	95	0	58	60	0	46
UF3-S37	Arcillolitas	3	95	10	47	60	35	47
	Areniscas	3	95	0	64	60	0	49
UF3-S37A	Arcillolitas	3	95	0	50	55	25	39
	Areniscas	3	95	0	28	55	25	24

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

Este análisis permitió conocer la calidad geomecánica de cada litotipo de forma global, así como por sectores de influencia de cada uno de los sondeos mecánicos realizados. Los resultados son similares a los obtenidos mediante el análisis de la calidad geomecánica obtenido a partir de las estaciones geomecánicas. En los sondeos se encontraron tramos con fracturación mayor produciendo zonas con RMR y RQD más bajos de los característicos.

- **Parámetros deformacionales del macizo rocoso**

Puesto que los macizos rocosos son medios no homogéneos, sus módulos de deformación presentan grandes diferencias respecto a los valores de deformación obtenidos en laboratorio para la roca matriz (efecto escala). Ello obliga a medir in situ en sondeo este parámetro. En este caso, la determinación del módulo de deformación in situ se realizó mediante ensayos presiométricos.

El ensayo presiométrico consiste en aplicar presiones crecientes al terreno a través de una camisa elástica en el interior de un sondeo. Una vez obtenida la curva desplazamiento-carga, se puede realizar incluso un ciclo de descarga de la presión aplicada. El ensayo permite determinar el módulo de deformación del macizo rocoso en carga y, posiblemente, en descarga.

Para la obtención del módulo de deformación del macizo rocoso (E) a partir del módulo presiométrico, Ménard (1975) propone la siguiente relación empírica:

$$E = E_p \cdot \alpha$$

Donde  $\alpha$  es un factor de corrección que tiene en cuenta la influencia de la trayectoria de tensiones y los problemas de microdeformaciones.

Los valores de  $\alpha$  están en función del tipo de terreno. En la Tabla 5.24 se muestran los valores propuestos por Ménard (1975), a partir de observaciones empíricas, para macizos rocosos.

**Tabla 5.24 Valor  $\alpha$  en función del terreno Según Ménard (1975).**

Rocas	Muy Fracturada	Sanas	Muy fracturadas
$\alpha$	1/3	1/2	2/3

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

En las Tabla 5.25 se incluyen los valores medios de los parámetros de deformabilidad obtenidos in situ para cada una de las litologías ensayadas y en la Tabla 5.26 se muestran los resultados de ensayos presiométricos.

**Tabla 5.25 Resultados de los ensayos presiométricos, en los niveles de Areniscas.**

Sondeo	Profundidad (m)	Carga		Descarga		Recarga		Presión Límite (MPa)	Presión Fluencia (MPa)	E terreno
		Gp (MPa)	Ep (MPa)	Gp (MPa)	Ep (MPa)	Gp (MPa)	Ep (MPa)			
UF3-S32A	34,5	11,84	30,79	40,94	106,43	29,74	77,33	9-13	1,57	231,99
UF3-S33	25,35	10,78	28,04	9,3	24,19	22,85	59,4	9-13	1,2	178,2

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

**Tabla 5.26 Resultados de los ensayos presiométricos, en los niveles de Arcillolitas.**

Sondeo	Profundidad (m)	Carga		Descarga		Recarga		Presión Límite (MPa)	Presión Fluencia (MPa)	E terreno
		Gp (MPa)	Ep (MPa)	Gp (MPa)	Ep (MPa)	Gp (MPa)	Ep (MPa)			
UF3-S33	59	4,85	12,62	21,5	55,89	10,99	28,58	2.1-2.4	0,92	85,74
UF3-S36	20	2,47	6,41	2,5	6,49	2,27	5,89	2.2-4	1,05	17,67
UF3-S37	19,5	4,93	9,85	17,45	34,89	18,41	36,82	5.8-9.5	1,19	110,46

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

En la Tabla 5.27 se presentan los valores característicos del macizo adoptados:

**Tabla 5.27 Resultados de los ensayos presiométricos, en los niveles de Arcillolitas.**

Litología	E (MPa)
Areniscas	200
Arcillolitas	100

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

### 5.1.4.1.5 Sectorización geotécnica del túnel de pamplonita

A partir del análisis estadístico de datos de calidad geomecánica obtenidos tanto en las estaciones geomecánicas como en las perforaciones diamantinas, y del análisis estereográfico de las mismas que permitió la definición de un dominio estructural, se procedió a realizar la sectorización geomecánica del túnel y de la Galería de Emergencia. En primer lugar se sectorizó el túnel de acuerdo con la estratificación dividiéndolo en sectores con litología predominante de areniscas y en sectores con litología predominante de arcillolitas; luego, cada sector litológico se subdividió de acuerdo con las propiedades geomecánicas de los materiales, en especial la clasificación geomecánica por tramos considerando el Índice Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski (1989, Sistema CSIR-Consejo de África del Sur para la Investigación Científica e Industrial).

En el presente acápite se presenta la clasificación geomecánica por tramos homogéneos del túnel Pamplonita y la galería de emergencia. El RMR básico se estableció para cada tramo, incluyendo la corrección por la orientación de la discontinuidad principal, correspondiente a la estratificación al ser la discontinuidad más penetrativa y que pueden tener una mayor incidencia durante la excavación del túnel. La corrección del RMR (Tabla 5.28 y Tabla 5.29) se determinó de acuerdo a los criterios establecidos por Bieniawski.

**Tabla 5.28 Orientación de las discontinuidades en túnel**

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		buz. 0-20°. Cualquier dirección.
Excavación hacia buz.		Excavación contra buz.				
buz. 45-90°	buz. 20-45°	buz. 45-90°	buz. 20-45°	buz. 45-90°	buz. 20-45°	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

**Tabla 5.29 Corrección por orientación de las discontinuidades**

Dirección y buzamiento		Muy Favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy Desfavorable
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentac.	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

En el Túnel de Pamplonita, al conformar un ángulo entre la dirección de la estratificación y la traza de entre 20 y 45°, se aplica una corrección de -5 puntos.

En la Tabla 5.30 se presenta la sectorización geotécnica del túnel de Pamplonita y en la Tabla 5.31 la sectorización geotécnica de la galería. En general, la excavación subterránea tendrá lugar en una litología estratificada entre areniscas y arcillolitas de la formación Barco, con ocho sectores en arcillolita intercalados con 7 sectores en arenisca. Los tramos en arcillolita suman una longitud de 355 m, que representan el 33% de la longitud total; el restante 67%, corresponde a los tramos en arenisca, que suman un total de 705 m. Cada tramo de túnel según su litología, se subdividió de acuerdo con la caracterización del macizo, incluyendo tanto la valoración del RMR como los parámetros de resistencia y deformación. En el Anexo 3. Diseño (4. Diseño Túnel) se presenta el

informe de diseño definitivo del túnel de Pamplonita y los planos de perfil con la sectorización geotécnica.

 <b>Unión Vial</b> <b>Río Pamplonita</b> <small>INGENIERÍA E INFRAESTRUCTURAS</small> <small>Una Compañía de Sacyr Concesiones</small>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN</b> <b>DOBLE CALZADA PAMPLONA-CÚCUTA, UF 3 - 4 - 5</b> <b>SECTOR PAMPLONITA - LOS ACACIOS</b> <b>CAPITULO 5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA-</b> <b>MEDIO ABIÓTICO</b>									
	<b>Centro: Corredor Vial Doble Calzada Pamplona - Cúcuta</b>									

**Tabla 5.30 Sectorización geotécnica del Túnel de pamplonita**

Inicio	47140	47220	47230	47240	47295	47305	47415	47425	47515	47525	
Litología	Fm Barco (E1b). Arcillolitas grises	Fm Barco (E1b). Areniscas						Fm Barco (E1b). Arcillolitas		Fm Barco (E1b). Areniscas	
Long	80	10	10	55	10	110	10	90	10	115	
Montera	51,00	58,00	74,00	98,00	99,00	110,00	105,00	105,00	89,00	98,00	
Presión litostática (Mpa)	1,25	1,51	1,92	2,55	2,57	2,86	2,73	2,58	2,19	2,55	
Dominio estructural	Dominio estructural1 (E:088/41, J1:192/73, J2:272/45, J3: 342/76)										
RMR Básico	60-50(52%) 50-40(48%)	70-60(56%) 60-50(38%) 50-40(4%) 40-30(2%)	50-40(50%) 40-30(50%)	70-60(56%) 60-50(38%) 50-40(4%) 40-30(2%)	40-30(50%)	70-60(46%) 60-50(48%) 50-40(6%)	50-40(100%)	70-60(30%) 60-50(0%) 50-40(70%)	50-40(95%) 40-30(5%)	70-60(60%) 60-50(30%) 50-40(7%) 40-30(3%)	
Corrección RMR	-5										
RMR Corregido	60-50(48%), 50-40(45%), 40-30(7%)	70-60(26%), 60-50(62%), 50-40(6%), 40-30(6%)	40-30(70%), 30-20(30%)	70-60(26%), 60-50(62%), 50-40(6%), 40-30(6%)	40-30(80%), 30-20(20%)	70-60(26%), 60-50(68%), 50-40(6%)	40-30(80%), 30-20(20%)	60-50(23%), 40-30(77%)		70-60(4%), 60-50(77%), 50-40(9%), 40-30(10%)	
Densidad aparente (KN/m <sup>3</sup> )	24,6	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	24,6	24,6	26,0	
RCS	6,2	44	44	44	44	44	44	6,2	6,2	44	
$\sigma_{cm}$ (MPa)	0.77-1.21	7.81-12.12	5.52-7.81	7.81-12.12	4.82-6.25	7.81-12.12	6.25-7.81	0.77-1.53	0.77-0.97	7.81-12.12	
$E_m$ (MPa)	99.23-357.25	2706.16-7643.8	984.74-2706.16	2706.16-7643.8	724.25-1372.22	2706.16-7643.8	1372.22-2706.16	99.23-552.75	99.23-195.69	2706.16-7643.8	
$\sigma_{cm}/P_0$	0.61-0.96	5.18-8.03	2.87-4.06	3.07-4.75	1.87-2.43	2.73-4.24	2.29-2.86	0.3-0.59	0.35-0.44	3.07-4.75	
Proceso típico (*)	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rs	

Inicio	47640	47690	47700	47750	47760	47970	47980	48075	48085	48150	48160
Litología	Fm Barco (E1b). Arcillolitas		Fm Barco (E1b). Areniscas				Fm Barco (E1b). Arcillolitas		Fm Barco (E1b). Areniscas	Fm Barco (E1b). Arcillolitas	Fm Barco (E1b). Areniscas
Long	50	10	50	10	210	10	95	10	65	10	40
Montera	91,00	92,00	93,00	85,00	135,00	78,00	74,00	42,00	41,00	29,00	27,00
Presión litostática (Mpa)	2,24	2,26	2,42	2,21	3,51	2,03	1,82	1,03	1,07	0,71	0,70
Dominio estructural	Dominio estructural1 (E:088/41, J1:192/73, J2:272/45, J3: 342/76)										
RMR Básico	70-60(40%) 60-50(16%) 50-40(15%) 40-30(29%)	40-30(100%)	70-60(48%) 60-50(19%) 50-40(30%) 40-30(3%)	50-40(40%) 40-30(60%)	70-60(47%) 60-50(46%) 50-40(7%)	50-40(50%) 40-30(45%) 30-20(5%)	70-60(32%) 60-50(18%) 50-40(26%) 40-30(24%)	30-20(100%)	70-60(40%) 60-50(2%) 50-40(47%) 40-30(11%)	60-50(34%) 50-40(50%) 40-30(16%)	60-50(80%) 50-40(3%) 40-30(15%) 30-20(2%)
Corrección RMR	-5										
RMR Corregido	70-60(23%), 60-50(23%), 50-40(20%), 40-30(24%), 30-20(10%)	30-20(100%)	70-60(32%), 60-50(26%), 50-40(22%), 40-30(19%), 30-20(1%)	50-40(29%), 40-30(66%), 30-20(5%)	70-60(15%), 60-50(65%), 50-40(8%), 50-40(8%), 40-30(12%)	40-30(90%), 30-20(10%)	60-50(32%), 50-40(27%), 40-30(27%), 30-20(14%)	30-20(100%)	60-50(40%), 50-40(11%), 40-30(39%), 30-20(10%)	60-50(15%), 50-40(30%), 40-30(40%), 30-20(15%)	60-50(78%), 50-40(5%), 40-30(12%), 30-20(5%)
Densidad aparente (KN/m³)	24,6	24,6	26,0	26,0	26,0	26,0	24,6	24,6	26,0	24,6	26,0
RCS	6,2	6,2	44	44	44	44	6,2	6,2	44	6,2	44
$\sigma_{cm}$ (MPa)	0.59-1.53	0.59-0.77	6.25-12.12	4.82-7.81	7.81-12.12	4.82-7.81	0.59-1.53	0.42-0.59	6.25-12.12	0.59-1.21	4.82-9.68
$E_m$ (MPa)	52.37-552.75	52.37-99.23	1372.22-7643.8	724.25-2706.16	2706.16-7643.8	724.25-2706.16	52.37-552.75	31.89-52.37	1372.22-7643.8	52.37-357.25	724.25-4940.2
$\sigma_{cm}/P_0$	0.26-0.68	0.26-0.34	2.58-5.01	2.18-3.53	2.23-3.45	2.38-3.85	0.32-0.84	0.4-0.57	5.86-11.36	0.83-1.69	6.86-13.79
Proceso típico (*)	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs	Ch, Wg, Rs

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

(\*) Riesgos

Ch: Roturas por formación de chimeneas

 	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DOBLE CALZADA PAMPLONA-CÚCUTA, UF 3 - 4 - 5 SECTOR PAMPLONITA - LOS ACACIOS CAPITULO 5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA- MEDIO ABIÓTICO</b>
	<b>Centro: Corredor Vial Doble Calzada Pamplona - Cúcuta</b>

Wg: Formación de cuñas  
Sh: roturas por cizalla  
Rv: Desprendimientos progresivos o desmoronamientos  
ZF: zona de fractura  
RS: Riesgo sísmico

**Tabla 5.31 Clasificación geomecánica de la Galería**

Inicio	0-20	115	125	180	195	205	320
Litología	Fm Barco (E1b). Areniscas	Fm Barco (E1b). Arcillolitas			Fm Barco (E1b). Areniscas		
Long	20	95	10	55	15	10	115
Montera	90	112	110	104	110	112	148
Presión litostática (Mpa)	2,34	2,7552	2,706	2,5584	2,86	2,912	3,848
Dominio estructural	Dominio estructural1 (E:088/41, J1:192/73, J2:272/45, J3: 342/76)						
RMR Básico	70-60(45%) 60-50(45%) 50-40(10%)	70-60(28%) 60-50(12%) 50-40(60%)	30-20(100%)	70-60(25%) 60-50(20%) 50-40(55%)	70-60(60%) 60-50(30%) 50-40(5%)40-30(5%)	50-40(100%)	70-60(60%) 60-50(30%) 50-40(10%)
Corrección RMR	-5						
RMR Corregido	70-60(20%) 60-50(60%) 50-40(20%)	60-50(30%) 50-40(20%)40-30(50%)	30-20(100%)	60-50(30%) 50-40(10%)40-30(60%)	70-60(10%) 60-50(75%) 50-40(10%)40-30(5%)	40-30(100%)	70-60(10%) 60-50(75%) 50-40(10%)40-30(5%)
Densidad aparente (KN/m <sup>3</sup> )	26	24,6			26		
RCS	44	6,2			44		
$\sigma_{cm}$ (MPa)	6.246-12.115	0.771-1.528	0.416-0.591	0.771-1.528	4.817-12.115	6.246-7.812	6.246-12.115
$E_m$ (MPa)	1372.22-7643.8	192.79-1073.92	61.96-101.75	192.79-1073.92	724.25-7643.8	1372.22-2706.16	1372.22-7643.8
$\sigma_{cm}/P_0$	2.669-5.177	0.280-0.555	0.154-0.218	0.301-0.597	1.684-4.236	2.145-2.683	1.623-3.148
Proceso típico (*)	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rs

 <b>Unión Vial</b> <b>Río Pamplonita</b> <small>Una Compañía de Sacyr Concesiones</small>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN</b> <b>DOBLE CALZADA PAMPLONA-CÚCUTA, UF 3 - 4 - 5</b> <b>SECTOR PAMPLONITA - LOS ACACIOS</b> <b>CAPITULO 5.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA-</b> <b>MEDIO ABIÓTICO</b>						
	<b>Centro: Corredor Vial Doble Calzada Pamplona - Cúcuta</b>						

Inicio	340	400	410	510	520	600	645
Litología	Fm Barco (E1b). Arcillolitas	Fm Barco (E1b). Areniscas					Fm Barco (E1b). Arcillolitas
Long	20	60	10	100	10	80	45
Montera	116	110	92	88	64	64	30
Presión litostática (Mpa)	2,8536	2,86	2,392	2,288	1,664	1,664	0,738
Dominio estructural	Dominio estructural1 (E:088/41, J1:192/73, J2:272/45, J3: 342/76)						
RMR Básico	70-60(45%) 60-50(35%) 50-40(20%)	70-60(40%) 60-50(30%) 50-40(30%)	50-40(100%)	70-60(42%) 60-50(46%) 50-40(12%)	40-30(80%) 30-20(20%)	70-60(42%) 60-50(50%) 50-40(8%)	60-50(30%) 50-40(10%) 40-30(45%) 30-20(15%)
Corrección RMR	-5						
RMR Corregido	70-60(30%) 60-50(30%) 50-40(25%) 40-30(15%)	70-60(30%) 60-50(25%) 50-40(20%) 40-30(25%)	40-30(60%) 30-20(40%)	70-60(20%) 60-50(63%) 50-40(10%) 40-30(7%)	40-30(60%) 30-20(40%)	70-60(20%) 60-50(63%) 50-40(10%) 40-30(7%)	60-50(35%) 50-40(25%) 40-30(10%) 30-20(30%)
Densidad aparente (KN/m <sup>3</sup> )	24,6	26					24,6
RCS	6,2	44					6,2
$\sigma_{cm}$ (MPa)	0.771-1.528	6.246-12.115	6.246-7.812	6.246-12.115	3.415-6.246	7.812-12.115	0.416-1.207
$E_m$ (MPa)	192.79-1073.92	1372.22-7643.8	1372.22-2706.16	1372.22-7643.8	441.03-1372.22	2706.16-7643.8	61.96-694.08
$\sigma_{cm}/P_0$	0.270-0.535	2.184-4.236	2.611-3.266	2.730-5.295	2.052-3.754	4.695-7.281	0.564-1.636
Proceso típico (*)	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rs, ZF	Ch, Wg, Sh, Rs	Ch, Wg, Sh, Rv, Rs
(*) Proceso típico	Ch: Roturas por formación de chimeneas	Wg: Formación de cuñas	Sh: roturas por cizalla	Rv: Desprendimientos progresivos o desmoronamientos	ZF: zona de fractura	RS: Riesgo sísmico	

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

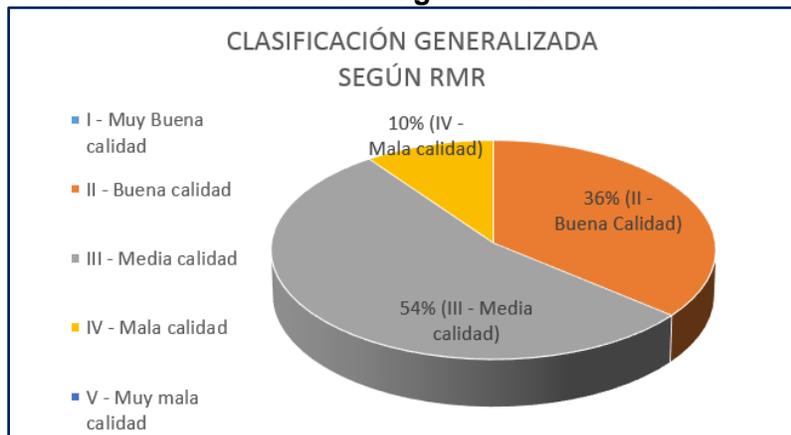
La clasificación generalizada del túnel considerando únicamente la calidad del macizo rocosos según el RMR, sin discriminar por litología entre areniscas y arcillolitas, indica que un 54% de la longitud del túnel, correspondiente a 575.9 m, clasifica como macizo rocoso de calidad media; un 36% de lo longitud, 383.5 m, presentan buena calidad en el macizo; y el restante 10%, equivalente a 100.6m, presenta mala calidad (Tabla 5.32 y Figura 5.10).

**Tabla 5.32 Análisis a la clasificación generalizada del túnel de Pamplonita**

Clase	Calidad del macizo	Valor RMR	Longitud (suma) m	Porcentaje
I	Muy Buena	81 a 100	0	0%
II	Buena	61 a 80	383.5	36%
III	Media	41 a 60	575.9	54%
IV	Mala	21 a 40	100.6	10%
V	Muy Mala	< 20	0	0%

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

**Figura 5.10 Análisis a la clasificación generalizada del túnel de Pamplonita**



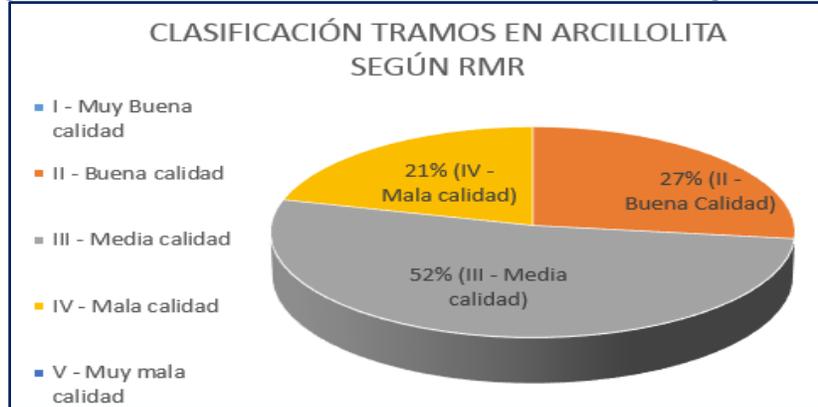
Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

Los tramos en rocas arcillosas presentan subsectores con RMR corregido que van desde 20 hasta 70. El 52% de la longitud en tramos de este litotipo, con longitudes que suman los 141.8m, clasifica como de media calidad (Clase III); el 27% (73.8m) clasifica como de buena calidad (Clase II) y el restante 21%, correspondiente a 59.4m, presentan mala calidad geotécnica (Clase IV) (Ver Tabla 5.33 y Figura 5.11).

**Tabla 5.33 Clasificación de sectores en arcillolita según el RMR**

Clase	Calidad del macizo	Valor RMR	Longitud (suma)	Porcentaje
I	Muy Buena	81 a 100	0	0%
II	Buena	61 a 80	73.8	27%
III	Media	41 a 60	141.8	52%
IV	Mala	21 a 40	59.4	21%Figura 5.11
V	Muy Mala	< 20	0	0%

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta  
**Figura 5.11 Clasificación de sectores en arcillolita según el RMR**



Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona - Cúcuta

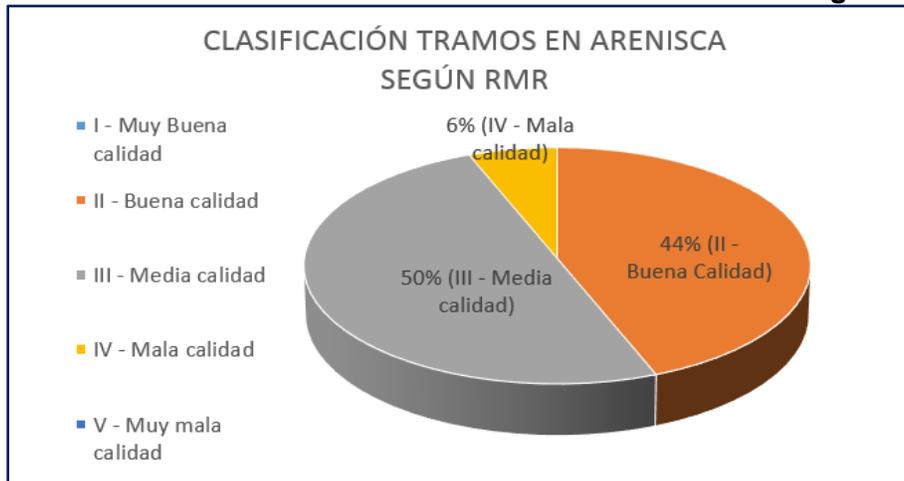
Por otra parte, los tramos en arenisca también presentan subsectores con RMR corregido que van desde 20 hasta 70. El 44% de la longitud en tramos de este litotipo, con longitudes que suman los 309.7 m, clasifica como de media calidad (Clase III); el 50% (354.1 m) clasifica como de buena calidad (Clase II) y el restante 6%, correspondiente a 41.2 m, presentan mala calidad geotécnica (Clase IV) (Ver Tabla 5.34 y Figura 5.12).

**Tabla 5.34 Clasificación de sectores en arenisca según el RMR**

Clase	Calidad del macizo	Valor RMR	Longitud (suma) m	Porcentaje
I	Muy Buena	81 a 100	0	0%
II	Buena	61 a 80	309.7	44%
III	Media	41 a 60	354.1	50%
IV	Mala	21 a 40	41.2	6%
V	Muy Mala	< 20	0	0%

Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona – Cúcuta

**Figura 5.12 Análisis a la clasificación de sectores en arenisca según el RMR**



Fuente: Estudios y Diseños Definitivos del Corredor Vial Pamplona – Cúcuta

#### 5.1.4.2 Zonificación geotécnica del Área de Influencia

Para las Unidades Funcionales 3, 4 y 5, la metodología de Zonificación Geotécnica utilizada consiste en la división del terreno en zonas geotécnicamente homogéneas, calificadas de acuerdo con las condiciones de estabilidad que pueden afectar la construcción y operación de la vía, para lo cual en un ambiente SIG, se definieron áreas con características similares en cuanto a litología (geología), geomorfología, cobertura de la tierra, hidrogeología, densidad de drenajes, densidad de fallas, pendientes y morfodinámica.

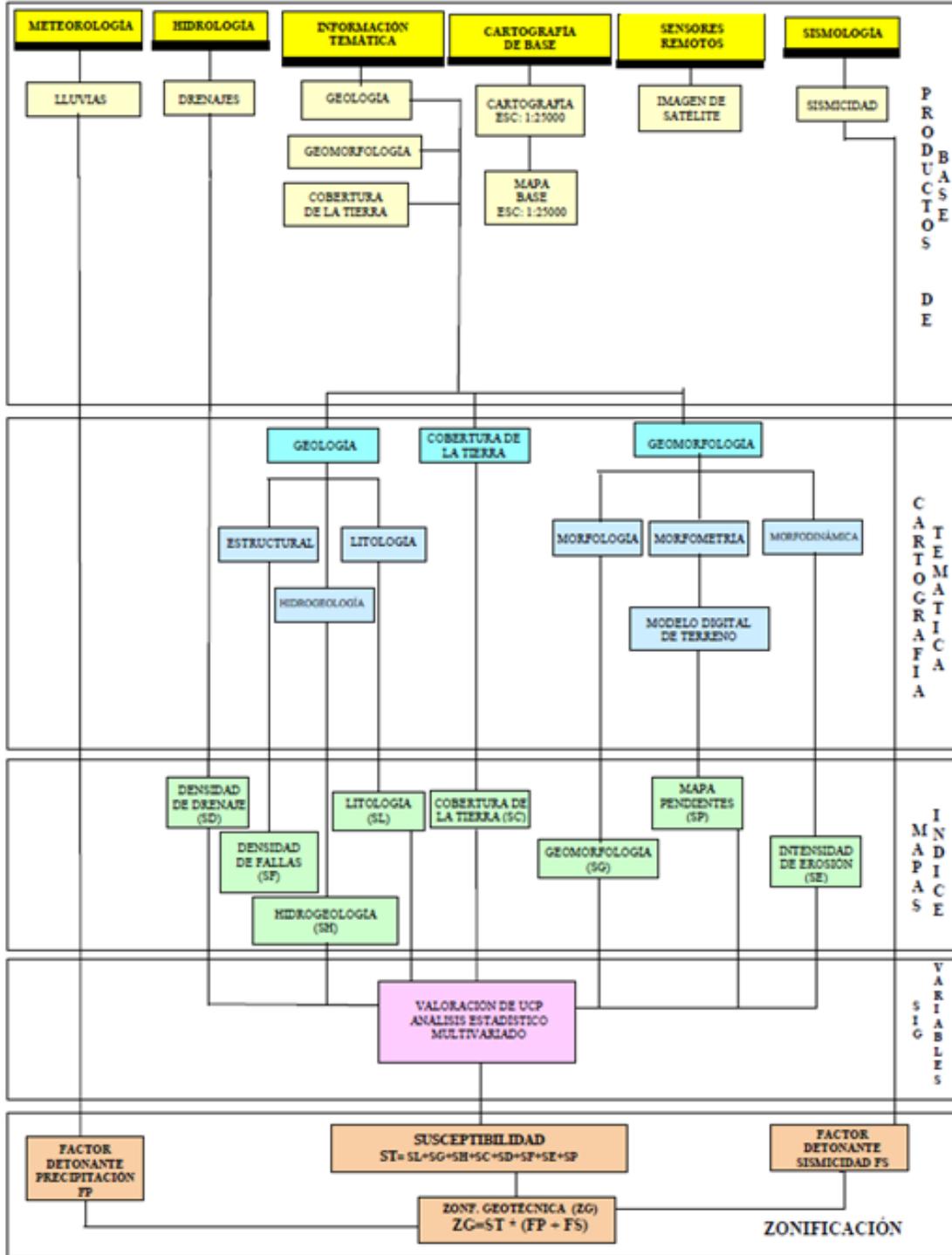
Esta metodología incorpora dos factores detonantes: precipitación y amenaza sísmica; y se obtiene la amenaza relativa (zonificación geotécnica) a la ocurrencia de procesos erosivos y de remoción en masa, calificada desde muy baja a muy alta, de acuerdo con el esquema metodológico modificado de VARGAS (1.999)<sup>1</sup> Figura 5.13.

Para el desarrollo del estudio se adelantaron las siguientes etapas:

- Recopilación y análisis de información existente. En esta etapa de trabajo se realizó el análisis de la información existente que se incorporó al modelo de análisis (información topográfica e información temática).
- Elaboración del mapa base digital, escala 1:10.000 del IGAC; incluyendo curvas de nivel, drenajes, vías y zonas urbanas entre otras.
- Estudio de las variables geoambientales o factores del terreno. Análisis y cartografía de variables como geología, geomorfología, fallas, cobertura de la tierra, pendientes, morfodinámica, drenajes, precipitación y sismicidad.
- Implementación del SIG. Sobre el mapa base digital del área de influencia se digitalizó la información temática georreferenciada.
- Evaluación de variables. Se evaluó la información obtenida y se determinaron los pesos de las variables para la determinación de la estabilidad geotécnica.
- Modelación de susceptibilidad. Con base en la calificación semicuantitativa de las Unidades Cartográficas de Parámetro (UCP), se realizó la modelación multivariada de variables en función de la susceptibilidad, para la obtención de la zonificación geotécnica. La susceptibilidad es el grado de propensión de un terreno a generar uno o varios procesos amenazantes.
- Identificación de factores detonantes. Se consideraron como factores externos que pueden detonar procesos de remoción en masa, las variables de Precipitación y Amenaza Sísmica.

<sup>1</sup> Estudio Geoambiental y Zonificación de Amenazas por Erosión y Remoción en Masa en la Cuenca del Río Teusacá. Sabana de Bogotá. Colombia. X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería. Sociedad Colombiana de Ingenieros, Santa Fe de Bogotá, D.C., Noviembre de 1999.

Figura 5.13 Diagrama metodológico para la obtención de la zonificación geotécnica



Fuente: AECOM - ConCol, 2018

La zonificación geotécnica se establece en cinco categorías, las cuales reflejan la conjugación de las variables incorporadas al análisis, incluyendo los factores intrínsecos de precipitación y sismicidad.

Para el análisis de las variables geoambientales se estableció un criterio semicuantitativo, donde se asignó a cada unidad de parámetro un valor de susceptibilidad de 1 a 5, como se presenta en la Tabla 5.35.

**Tabla 5.35 Categoría y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables**

Categoría de susceptibilidad	Peso
Muy baja	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy Alta	5

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

A continuación, se presentan los resultados de valoración de Susceptibilidad para cada variable de análisis.

#### 5.1.4.2.1 Modelación de Variables

Una vez establecidos semicuantitativamente los diferentes valores de susceptibilidad para cada UCP en cada una de las ocho variables que se incorporaron al análisis, se obtuvieron los mapas de susceptibilidad temática. Este proceso se realizó en un formato raster en el cual cada UCP está conformada por un conjunto de píxeles de igual valor.

Este valor asociado a un atributo cartográfico (nombre de la unidad cartográfica de parámetro), se recodificó o se reemplazó en un SIG (ArcGis10), por el valor asignado en las tablas de susceptibilidad, de tal forma que las imágenes mapas de susceptibilidad temática resultantes representan un rango de valores entre 1 y 5. A continuación se presentan los valores de susceptibilidad para cada una de las variables.

##### 5.1.4.2.1.1 Litología (SL)

Es uno de los principales factores a considerar en la determinación de la estabilidad, debido a que la génesis, composición y estructura de las rocas, incide en la susceptibilidad del terreno a la meteorización y desarrollo de procesos erosivos y/o procesos de remoción en masa. En la Tabla 5.36 se relacionan las diferentes litologías que componen el área de influencia, su descripción y peso.

**Tabla 5.36 Valores de susceptibilidad por litología**

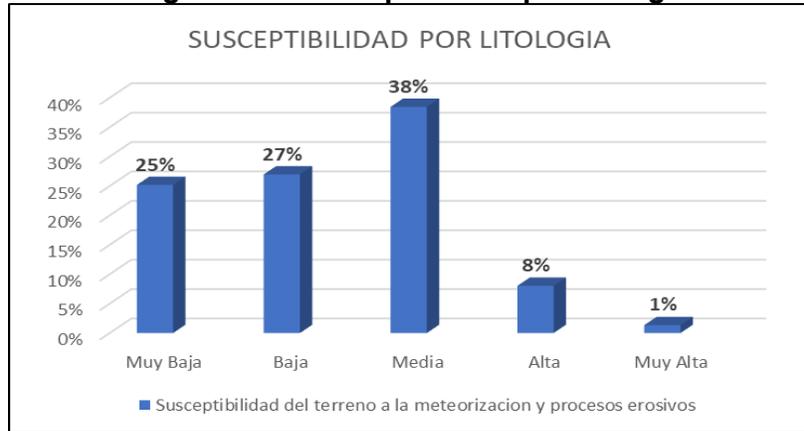
Unidad Cartográfica de parámetro (UCP)	Símbolo	Peso
Río	-	5
Depósito coluvial	Qc	4
Minería Carbón	Mc	4

Unidad Cartográfica de parámetro (UCP)	Símbolo	Peso
Minerías materiales de construcción	Mmc	4
Relleno antrópico	Rt	4
Abanico aluvial	Qaa	2
Abanico terraza	Qat	2
Abanico terraza, nivel 1	Qat1	2
Abanico terraza, nivel 2	Qat2	2
Depósitos aluviales	Qal	2
Depósitos aluviales, abanico aluvial	Qaa	2
Formación Barco	E1b	3
Formación Capacho	Kic	3
Formación Carbonera	E2c	3
Formación Colón-Mito Juan	Kscm	3
Formación La Luna	K2l	3
Formación León	E3l	3
Formación Los Cuervos	E1lc	3
Lago	-	3
Terraza aluvial	Qt	2
Terraza aluvial, nivel 1	Qt1	2
Terraza aluvial, nivel 2	Qt2	2
Formación Mirador	E2m	2
Formación Tibú y Mercedes	Kitm	2
Formación aguardiente	Kia	1
Formación Bocas	Kb o TRb	1
Formación Girón	Jg	1
Formación Guineales	E3N1g	1
Granito de Durania	Tjgd	1

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.14 se grafican los resultados porcentuales de la sectorización del área de influencia según los pesos establecidos para las litologías presentes. El 25% del área se determina como de muy baja susceptibilidad a procesos de erosión y remoción en masa, correspondiendo a las formaciones geológicas Aguardiente (Kia), Bocas (Kb o TRb), Girón (Jg), Guineales (E3N1g) y Granito de Durania (Yjgd); un 27% del área, con litología de las formaciones Mirador (E2m) y Tibú Mercedes (Kitm), y de depósitos cuaternarios de terrazas, abanicos y depósitos aluviales, presenta susceptibilidad baja; un 39%, conformado por materiales de las formaciones Barco (E1b), Capacho (E2c), Colón – Mito Juan (Kscm), La Luna (K2l), León (E3l), Los Cuervos (E1lc) y Carbonera (E2c), presenta susceptibilidad moderada; un 8% del área de influencia presenta susceptibilidad alta en relación con la litología, correspondiente a depósitos coluviales (Qc), depósitos de minería de carbón (Mc), de explotación de materiales de construcción (Mmc) y rellenos antrópicos (Rt); el 1% del área de influencia restante presenta susceptibilidad muy alta a procesos erosivos y de remoción en masa, correspondiente a materiales aluviales sueltos dispuestos en el cauce de ríos, expuestos permanentemente a la corriente de agua.

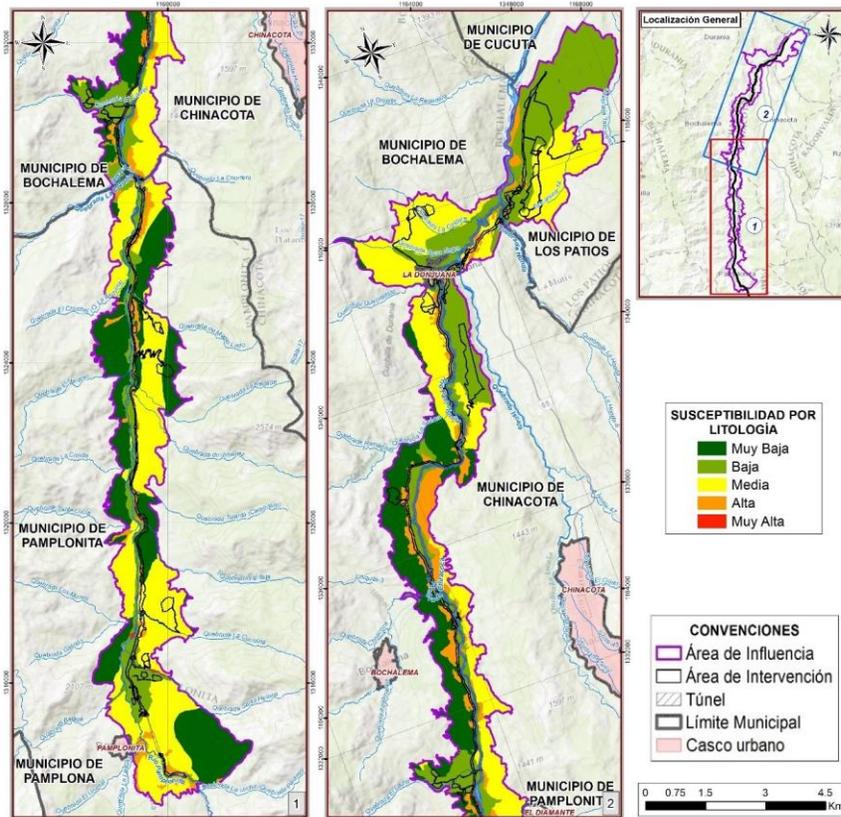
**Figura 5.14 Susceptibilidad por litología**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.15 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y de remoción en masa para el área de influencia de acuerdo con la sectorización por litología.

**Figura 5.15 Mapa de susceptibilidad por litología**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

#### 5.1.4.2.1.2 Geomorfología (SG)

La calificación de susceptibilidad para las diferentes unidades geomorfológicas se infiere sobre la base de dos factores que favorecen la remoción, los cuales corresponden a la topografía, entendida como la pendiente del terreno y los aspectos edáficos, representados por los procesos erosivos de los suelos, que se presentan de forma generalizada o focalizada.

La remoción en masa incluye de forma integral un conjunto de factores adicionales que favorecen su generación, los cuales están relacionados con la naturaleza de los materiales, clima y vegetación; éstos no son tenidos en cuenta para esta calificación de susceptibilidad desde esta perspectiva, pero implícitamente son evaluados desde otras temáticas que entran en concurso para la zonificación.

Teniendo en cuenta lo anterior y sobre la base de los dos factores caracterizados en las unidades geomorfológicas (pendiente del terreno y erosión), se estableció la susceptibilidad del área de influencia frente a los procesos de remoción en masa.

Las unidades geomorfológicas calificadas de mayor susceptibilidad a movimientos en masa corresponden a valles estrechos coluvioaluviales (Fvea), flujos de detritos (Dft), conos de talus (Dct), conos de deslizamiento traslacional (Ddct) y de conos de deslizamiento indiferenciado (Ddi), considerados de muy alta susceptibilidad. En segundo lugar, calificadas como susceptibilidad alta se encuentran las geoformas asociadas a la explotación minera. En tercer lugar, con carácter de susceptibilidad moderada se encuentran las geoformas de sierras de barra estructural (Ssbe), sierras (Ss), planos inundables (Fpac), mesetas (Sme), lomos (Sl), lomeríos estructurales (Sloe), llenos antrópicos (All), laderas de contrapendiente (Alcp) y cuevas (Sc). Finalmente, en cuarto lugar, se encuentran las geoformas de susceptibilidad baja que corresponden a abanicos aluviales subcrecientes (Faas), Abanicos aluviales actuales (Faaac) abanicos aluviales (Faa), terrazas de acumulación (Ttas) y terrazas de acumulación subcreciente (Ftas). En la Tabla 5.37 se presenta la calificación de susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa, de acuerdo con las unidades geomorfológicas en el área de influencia.

**Tabla 5.37 Valores de susceptibilidad por geomorfología**

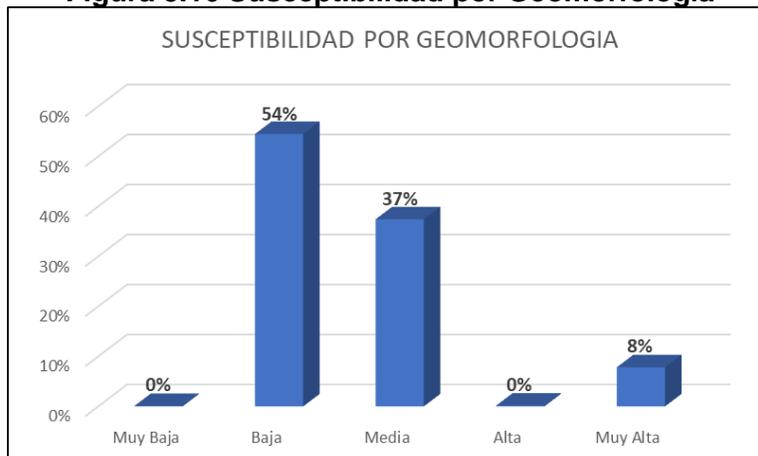
SÍMBOLO	Unidad Cartográfica de parámetro (UCP)	Peso
Ddi	Cono de deslizamiento indiferenciado	5
Ddtr	Cono de deslizamiento traslacional	5
Dct	Cono de talus	5
Dfd	Flujo de detritos	5
Fvea	Valle estrecho aluviocoluvial	5
Qemc	Explotación minera	4
Ttas	Terraza de acumulación	2
Ftas	Terraza de acumulación subcreciente	2

SÍMBOLO	Unidad Cartográfica de parámetro (UCP)	Peso
Faa	Abanico Aluvial	2
Faac	Abanico aluvial actual	2
Faas	Abanico aluvial subreciente	2
Sc	Cuesta	3
Slcp	Ladera contrapendiente	3
All	Lleno antrópico	3
Sloe	Lomeríos estructurales	3
Sl	Lomos	3
Sme	Meseta	3
Fpac	Plano inundable	3
Ss	Sierra	3
Ssbe	Sierras de barra estructurales	3
Sle	Ladera estructural	2
Sm	Meseta estructural	2

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

La Figura 5.256 muestra que por la variable de Geomorfología el 8% del área de influencia se localiza en terrenos de muy alta susceptibilidad a procesos de erosión y movimientos en masa; el 37% de la zona se encuentra en terrenos de moderada susceptibilidad a dichos procesos, y el 54% del área presenta susceptibilidad baja.

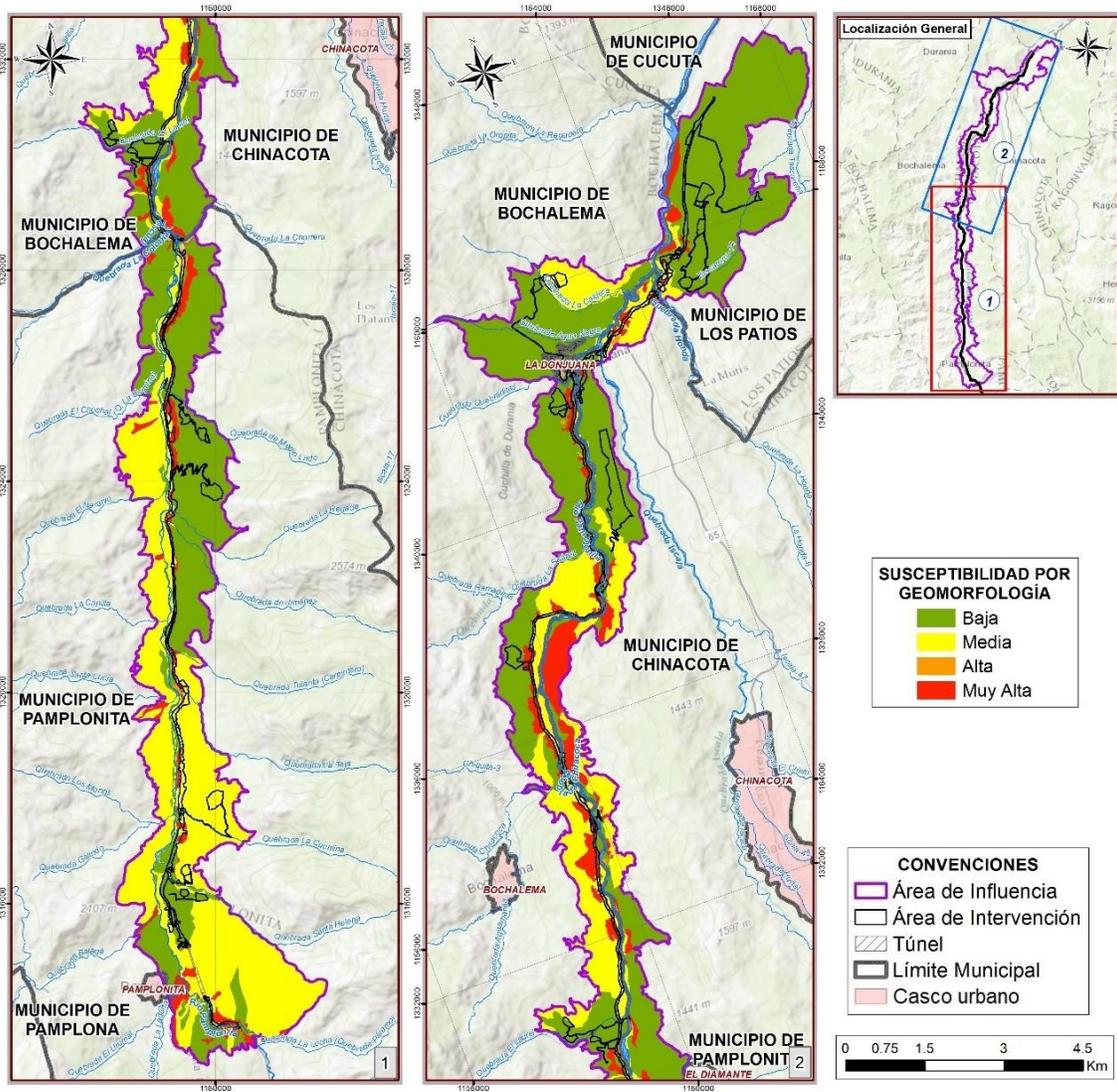
**Figura 5.16 Susceptibilidad por Geomorfología**



Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado UVRP - SACYR, 2019

En la Figura 5.17 se presenta el mapa de susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa para el área de influencia de acuerdo con la sectorización por geomorfología.

**Figura 5.17 Mapa de susceptibilidad por geomorfología**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

### 5.1.4.2.1.3 Hidrogeología (SH)

Las diferentes formaciones geológicas se consideran a nivel de este análisis como complejo hidrogeológico independiente; luego, cada uno de estos complejos se agrupa de acuerdo con su comportamiento hidrogeológico más probable frente a las actividades que se deriven de la construcción y operación de la vía.

Los valores de susceptibilidad por hidrogeología tienen en cuenta además del tipo de porosidad de las formaciones (primaria o secundaria), su grado de consolidación, su resistencia a la degradación por presencia de agua y su permeabilidad. En la Tabla 5.38 se relacionan los pesos establecidos de susceptibilidad por hidrogeología.

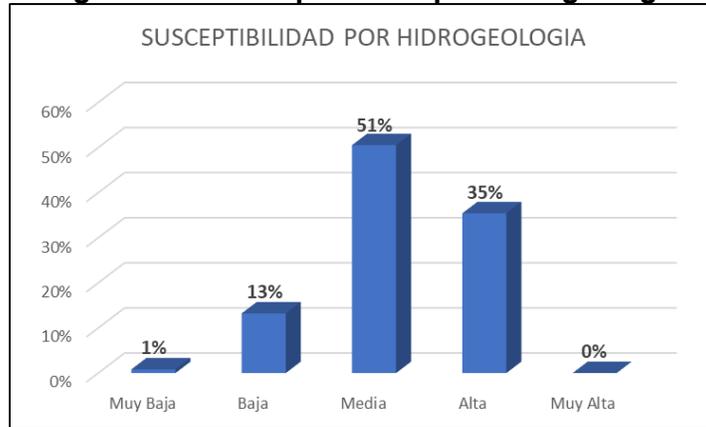
**Tabla 5.38 Valores de susceptibilidad por hidrogeología**

Símbolo	Unidad Cartográfica de parámetro (UCP)	Peso por comportamiento hidrogeológico
-	Río	5
Qaa	Abanico aluvial	4
Qat	Abanico terraza	4
Qat1	Abanico terraza, nivel 1	4
Qat2	Abanico terraza, nivel 2	4
Qc	Depósito coluvial	4
Qal	Depósitos aluviales	4
Qaa	Depósitos aluviales, abanico aluvial	4
Qt	Terraza aluvial	4
Qt1	Terraza aluvial, nivel 1	4
Qt2	Terraza aluvial, nivel 2	4
-	Lago	4
Mmc	Minerías materiales de construcción	4
Kic	Formación Capacho	3
Kscm	Formación Colón-Mito Juan	3
K2l	Formación La Luna	3
Kitm	Formación Tibú y Mercedes	3
Rt	Relleno antrópico	3
Kia	Formación aguardiente	3
E2c	Formación Carbonera	3
E3l	Formación León	3
E1lc	Formación Los Cuervos	3
E2m	Formación Mirador	3
Mc	Minería Carbón	3
E1b	Formación Barco	2
Kb o TRb	Formación Bocas	2
Jg	Formación Girón	2
E3N1g	Formación Guineales	2
Tjgd	Granito de Durania	1

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.18 se muestra la susceptibilidad a movimientos en masa por la variable hidrogeología. Se puede observar que aproximadamente la mitad del AI (51%) presenta susceptibilidad moderada; el 34% del área susceptibilidad alta; el 13% susceptibilidad baja; el 1% presenta susceptibilidad muy baja y el 1% susceptibilidad muy alta.

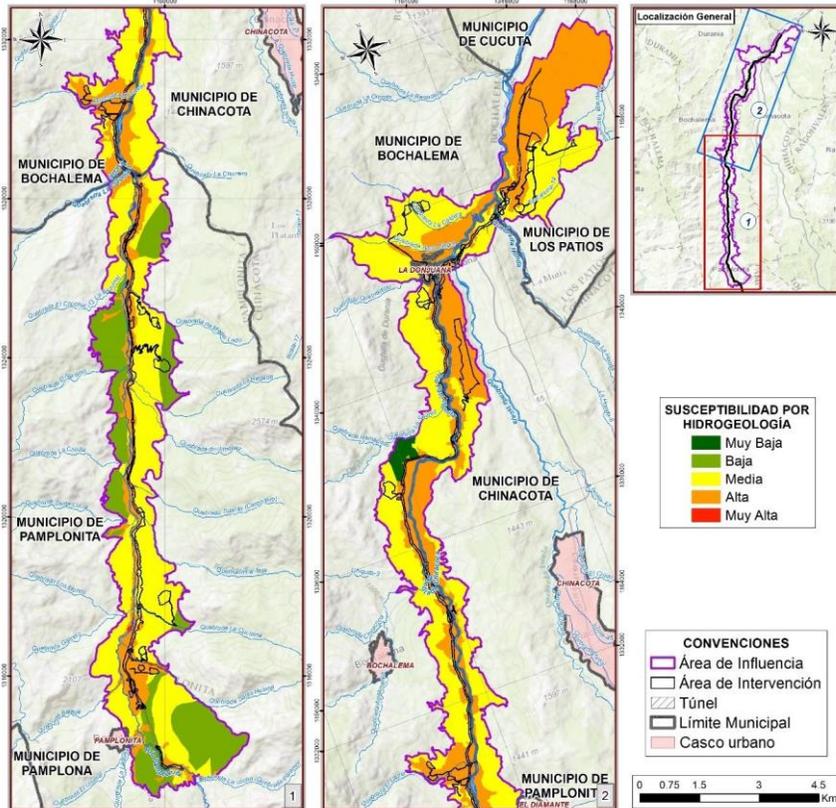
**Figura 5.18 Susceptibilidad por hidrogeología**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.19 se presenta el mapa de susceptibilidad a los procesos erosivos y de remoción en masa para el área de influencia de acuerdo con la variable hidrogeológica.

**Figura 5.19 Mapa de susceptibilidad por hidrogeología**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

#### 5.1.4.2.1.4 Cobertura de la tierra (SC)

Las coberturas vegetales son elementos naturales de protección del suelo contra la erosión; según Roldan (2.005; citado por Lianes, 2.008), la vegetación juega un papel muy importante en el proceso de erosión hídrica, pues controla la energía de las gotas de lluvia, mejora la capacidad de infiltración del suelo y disminuye la escorrentía. Los componentes aéreos como hojas y tallos absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de esta manera, su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo.

De igual forma, los componentes subterráneos, como los sistemas radiculares, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan, 1.997; citado por Lianes, 2.008); de este modo, la cantidad y calidad de la cobertura vegetal (protección vertical) disminuye notablemente los procesos erosivos (Marchamalo, 2.004; citado por Lianes, 2.008).

Por lo anterior, zonas que presentan coberturas boscosas muestran más estabilidad del relieve y menor susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa, que otras con suelos expuestos sin cobertura vegetal (canteras y lechos de ríos) o que áreas de cobertura dominada por pastos usualmente utilizadas en labores de ganadería extensiva. En la Tabla 5.39 se relacionan los valores de susceptibilidad por cobertura de la tierra en las Unidades Funcionales 3, 4 y 5.

**Tabla 5.39 Valores de susceptibilidad por cobertura de la tierra**

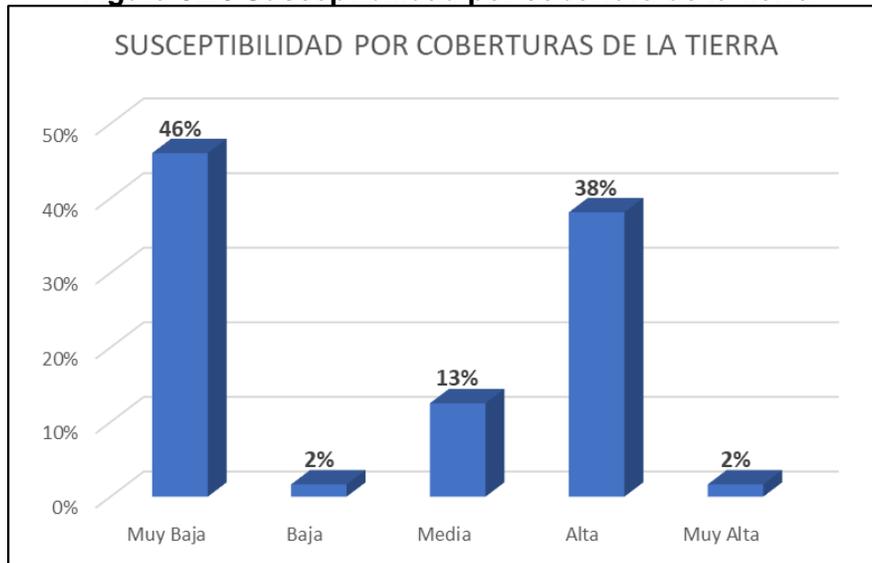
Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso
Cuerpos de agua artificiales	5
Explotación de materiales de construcción	5
Río	5
Tierras desnudas y degradadas	5
Zonas arenosas naturales	5
Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales	4
Mosaico de pastos con espacios naturales	4
Mosaico de pastos y cultivos	4
Pastos arbolados	4
Pastos limpios	4
Afloramientos rocosos	4
Explotación de carbón	4
Otros cultivos permanentes herbáceos	4
Otros cultivos transitorios	3
Pastos enmalezados	3
Avicultura	3
Condominios	3
Construcciones Rurales	3
Fincas recreativas	3
Instalaciones recreativas	3
Obras hidráulicas	3
Red vial	3
Tejido urbano discontinuo	3
Zonas comerciales	3
Zonas industriales	3

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso
Café con sombrero	3
Cítricos	3
Cultivos confinados	3
Maíz	3
Mosaico de cultivos	3
Mosaico de cultivos con espacios naturales	3
Tejido urbano continuo	2
Otros cultivos permanentes arbustivos	2
Arbustal denso alto	1
Arbustal denso bajo	1
Bosque de galería y ripario	1
Bosque denso bajo de tierra firme	1
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1
Cultivos permanentes arbustivos	1
Vegetación secundaria alta	1
Vegetación secundaria baja	1

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

La Figura 5.20 muestra que el 46% del Área de Influencia de las Unidades Funcionales 3, 4 y 5 presenta susceptibilidad muy alta a procesos erosivos y de remoción por cobertura de la tierra; el 38% presenta susceptibilidad alta; el 13% del área presenta susceptibilidad moderada; el 2% presenta susceptibilidad baja y el 2% susceptibilidad muy alta.

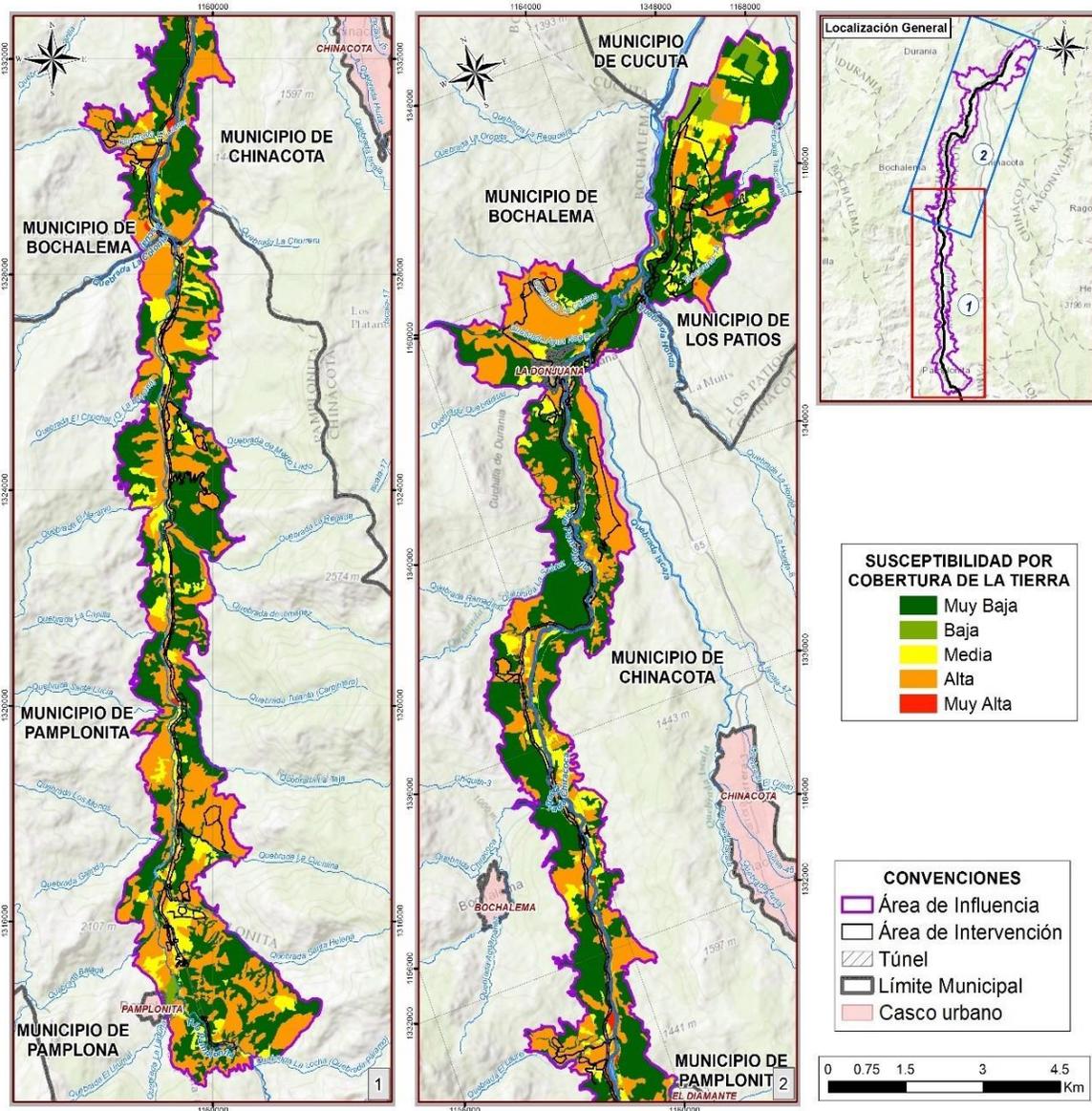
**Figura 5.20 Susceptibilidad por cobertura de la tierra**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.21 se presenta el mapa de susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa para el área de influencia de acuerdo con la sectorización por cobertura de la tierra.

**Figura 5.21 Mapa de susceptibilidad por cobertura de la tierra**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

**5.1.4.2.1.5 Densidad de drenajes (SD)**

El cálculo de densidad de drenaje se realizó mediante procesamiento de la red en SIG; calculando la densidad de drenajes por unidad de área ( $m/m^2$ ), con un radio de influencia de 100m. El resultado de esta operación permitió clasificar cada punto del mapa dentro de cinco categorías de la siguiente manera (ver Tabla 5.40).

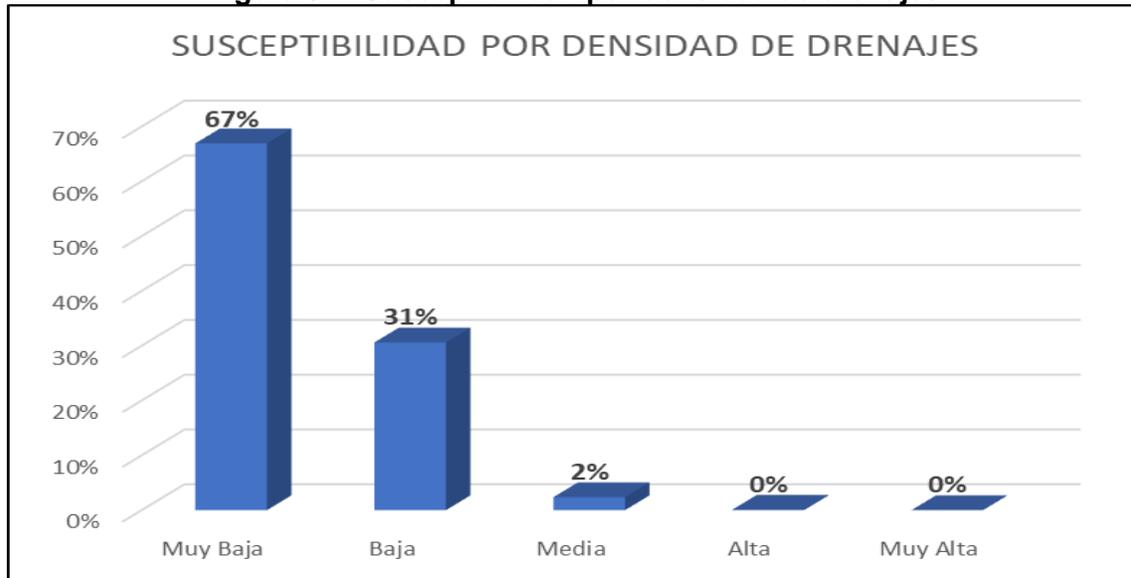
**Tabla 5.40 Valores de susceptibilidad por densidad de drenajes**

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP) (m/m²)	Peso
0.000 – 0,006	1
0,007 – 0,019	2
0,020– 0,032	3
0,033 – 0,045	4
> 0.045	5

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.22 se muestra que el 67% del área de influencia presenta muy baja susceptibilidad a fenómenos de remoción por densidad de drenajes, el 31% es de susceptibilidad baja, el 2% es de susceptibilidad moderada y valores del 0% para áreas con susceptibilidad alta y muy alta.

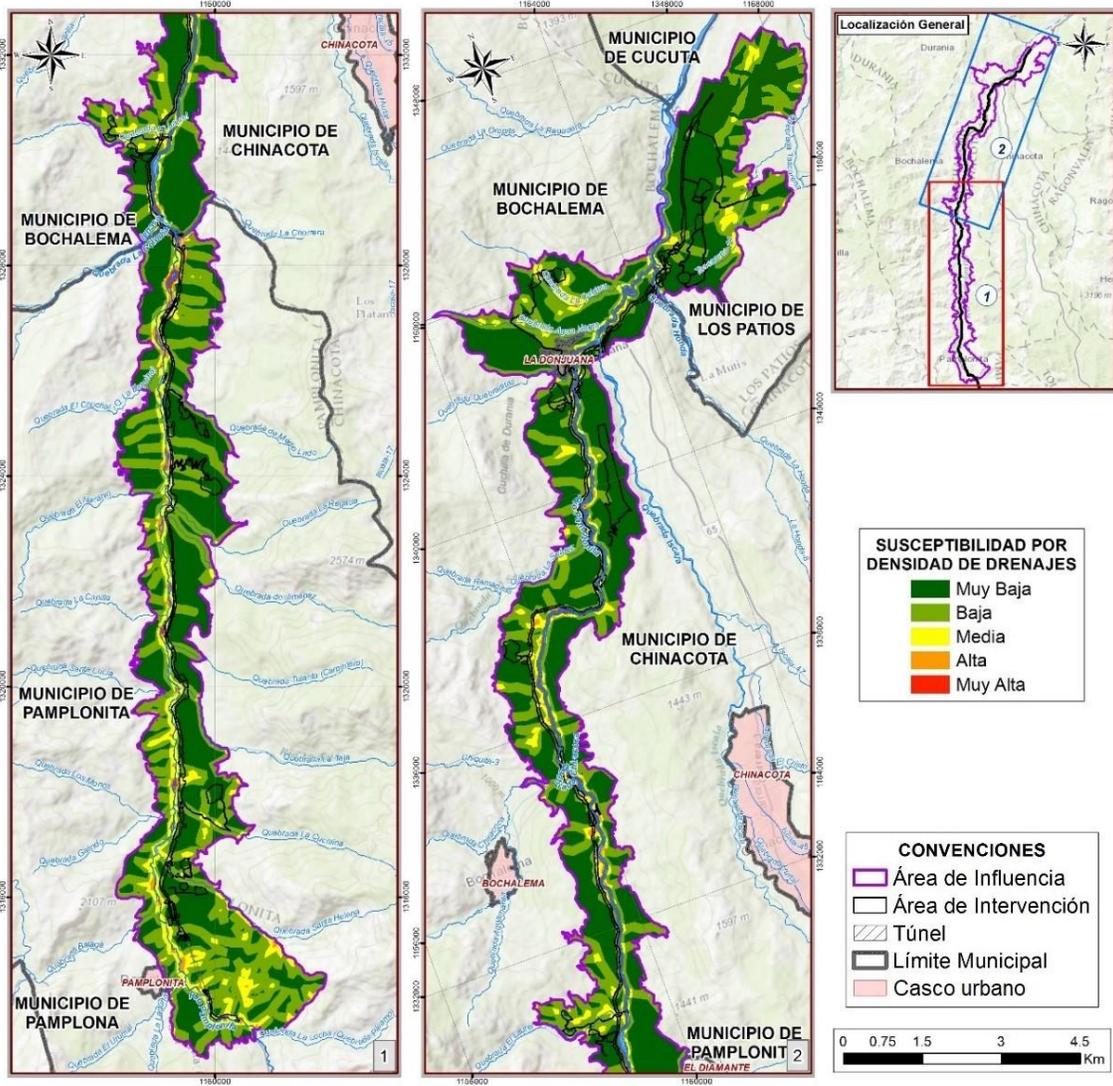
**Figura 5.22 Susceptibilidad por densidad de drenajes**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.263 se presenta el mapa de susceptibilidad a procesos erosivos y de remoción en masa para el área de influencia de acuerdo con la sectorización por densidad de drenajes.

**Figura 5.23 Mapa de susceptibilidad por densidad de drenajes**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

**5.1.4.2.1.6 Densidad de Fallas Geológicas (SF)**

El estado de fracturación de las rocas depende de la presencia y magnitud de las fallas geológicas, fracturas y sistemas de diaclasamiento, las cuales permiten en los macizos rocosos el desarrollo de procesos de meteorización y de zonas de debilidad, que las hacen más susceptibles a fallamiento e inestabilización del terreno. La calificación se estableció considerando la densidad de fallas en cada punto del Área de Influencia, considerando un radio de 1000m, utilizando los valores de ponderación de la Tabla 5.175.

**Tabla 5.41 Ponderación de fallas según su tipo**

Tipo de falla o pliegue	Ponderación
Falla de rumbo sinestral	4
Falla definida	4
Falla inversa de cabalgamiento	4
Falla transversal sistema NE-E	4
Discontinuidad estructural	4
Falla Inferida	3
Falla inversa de cabalgamiento Inferida	3
Fracturamiento	3
Lineamiento fotogeológico	3
Eje de sinclinal con cabeceo	2
Falla cubierta	2

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

Mediante el procesamiento de la información en SIG se hizo el cálculo de la densidad de fallas por unidad de área (m/m<sup>2</sup>), estableciendo el radio de influencia mencionado de 1000 m. El resultado de esta operación permitió clasificar cada punto del mapa dentro de cinco categorías como se ilustran en la Tabla 5.42.

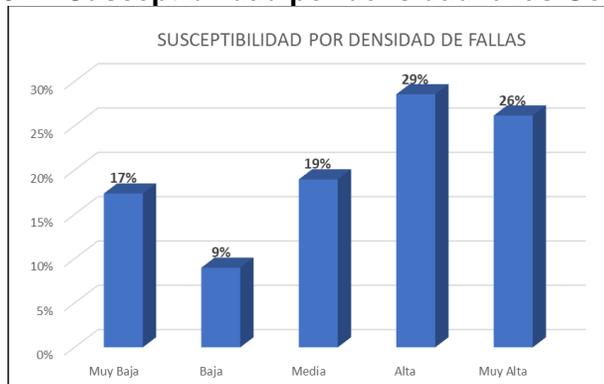
**Tabla 5.42 Valores de susceptibilidad por densidad de fallas geológicas**

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP) (m/m <sup>2</sup> )	Peso
0.0000 – 0,0010	1
0,0011 – 0,0020	2
0,0021– 0,0040	3
0,0041 – 0,0060	4
0,0061- 0,0200	5

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.24 se muestra que el 29% del Área de Influencia de las Unidades Funcionales 3, 4 y 5 presenta susceptibilidad alta a procesos erosivos y de remoción por densidad de fallas geológicas; el 26% del área es de muy alta susceptibilidad; el 19% de moderada susceptibilidad; el 17% de muy baja susceptibilidad y el 9% de baja susceptibilidad.

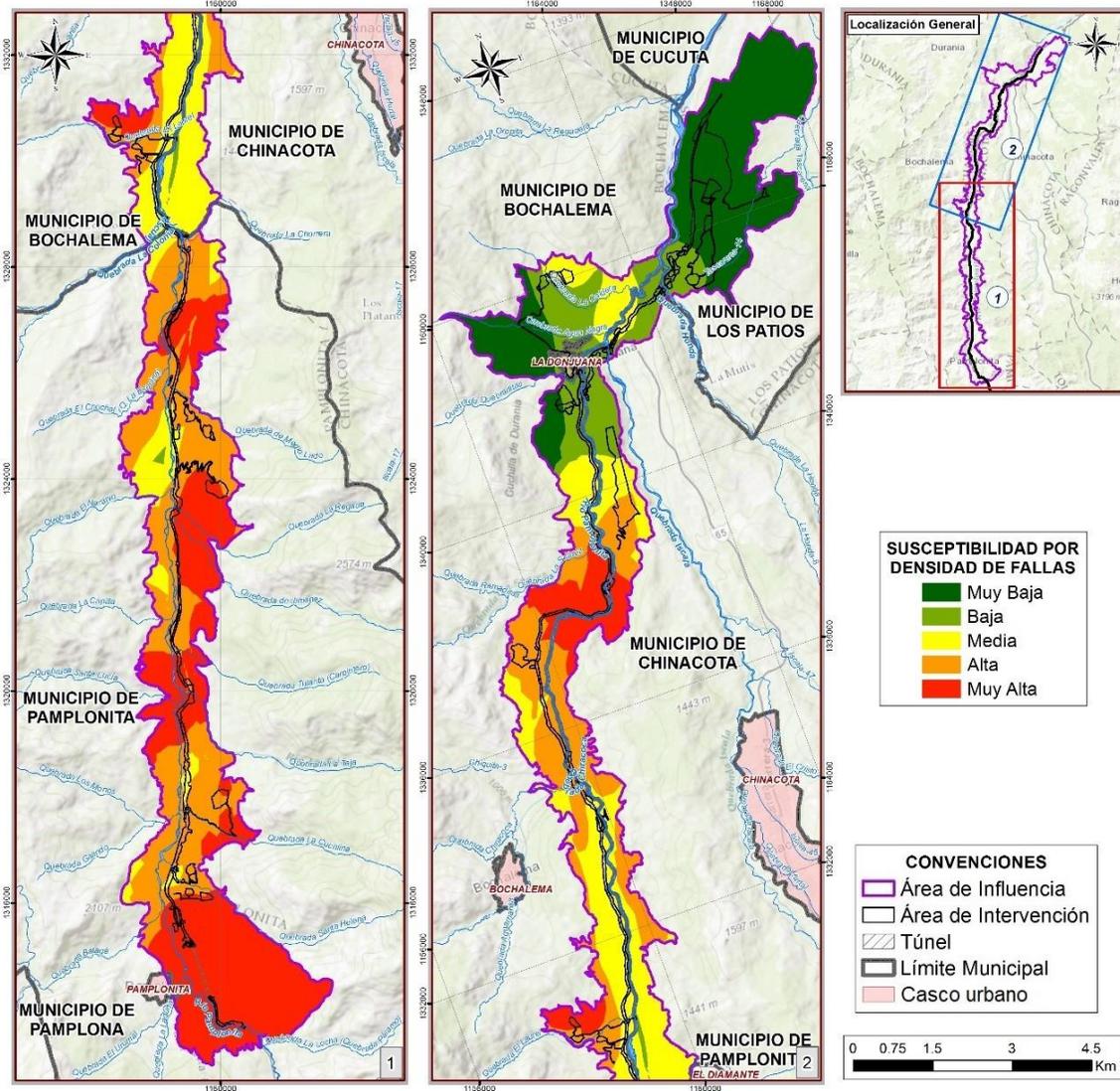
**Figura 5.24 Susceptibilidad por densidad fallas Geológicas**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.25 se presenta el mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa por la variable densidad de fallas.

**Figura 5.25 Mapa de susceptibilidad por densidad de fallas**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

#### 5.1.4.2.1.7 Pendientes del Terreno (SP)

El grado de inclinación de las laderas naturales favorece o disminuye la resistencia al corte de los diferentes materiales que conforman los taludes sobre el área de influencia. Se establecieron cinco categorías (con pesos de 1 a 5), donde a las pendientes escarpadas y muy escarpadas se les asignó el peso más alto, mientras que a los terrenos ligeramente planos y planos se les asignó el peso más bajo. Ver Tabla 5.43

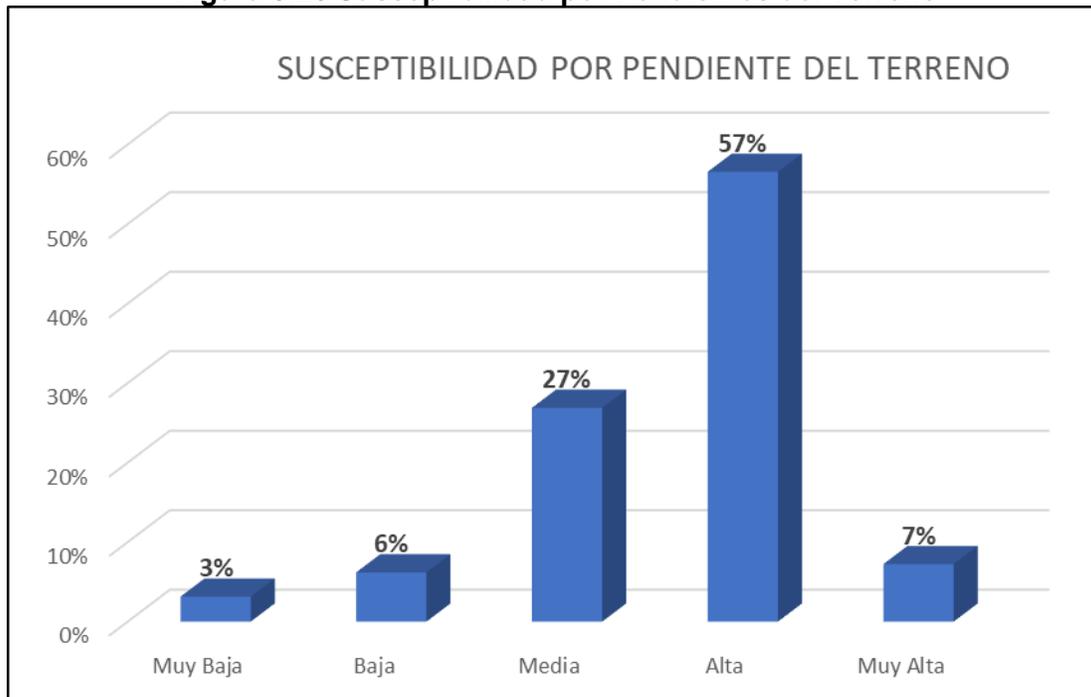
**Tabla 5.43 Valores de susceptibilidad por pendientes**

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)		Peso	Susceptibilidad
0-1%	Plano	1	Muy Baja
1-3%	Plano a Ligeramente Plano	1	Muy Baja
3-7%	Ligeramente Inclinado	2	Baja
7 -12%	Moderadamente Inclinado	3	Moderada
12-25%	Fuertemente Inclinado	3	Moderada
25-50%	Ligeramente Escarpado o Ligeramente Empinado	4	Alta
50-75%	Moderadamente Escarpado o Moderadamente Empinado	4	Alta
>75%	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada	5	Muy Alta

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

La Figura 5.26 muestra que el 57% del Área de Influencia presenta alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa según la inclinación del terreno (pendientes entre 25-75%), el 27% es de susceptibilidad moderada (pendientes entre 7-25%), el 7% es de muy alta susceptibilidad (pendientes >75%) y del orden de 9% presenta baja o muy baja susceptibilidad (pendientes <7%).

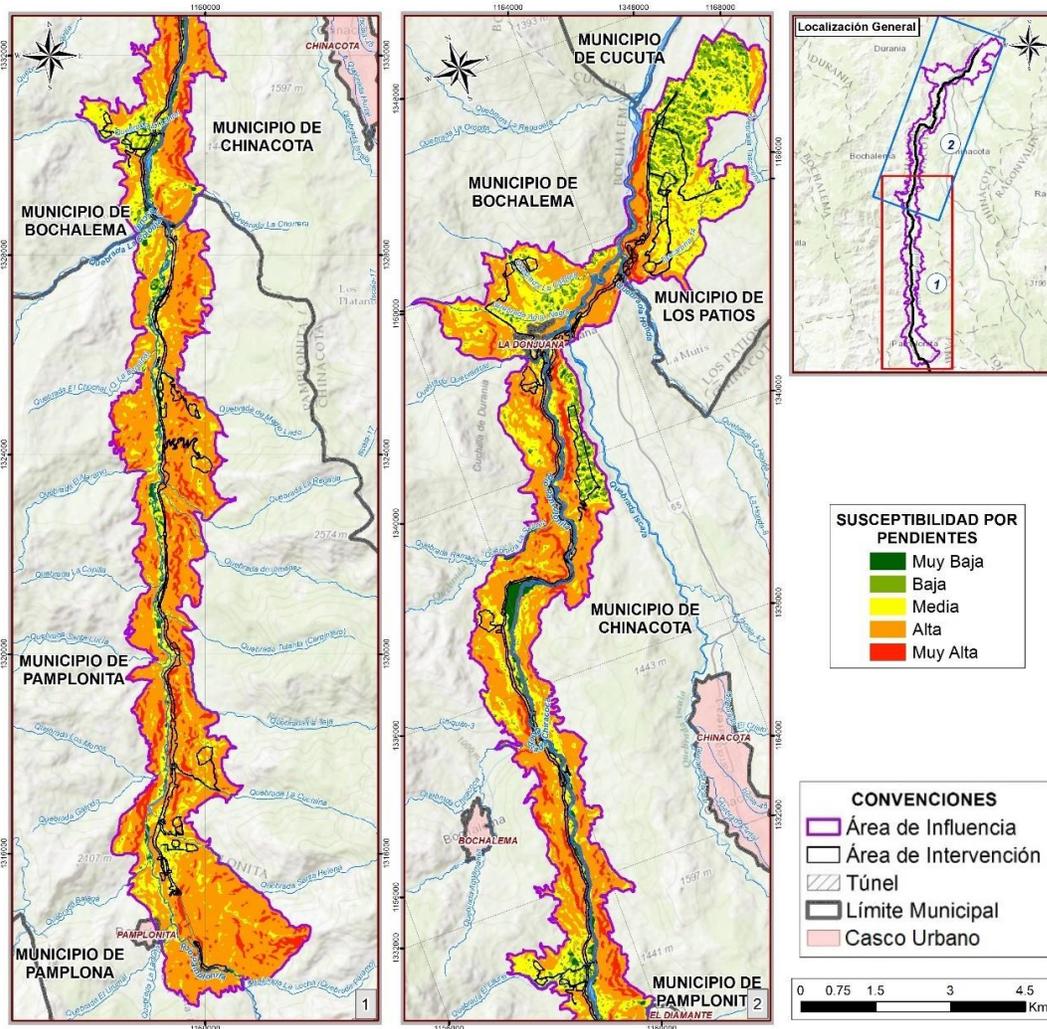
**Figura 5.26 Susceptibilidad por Pendientes del Terreno**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.27 se presenta el mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa de acuerdo con la clasificación por pendientes.

**Figura 5.27 Mapa de susceptibilidad por pendientes del Terreno**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

#### 5.1.4.2.1.8 Morfodinámica (SE)

Mediante la interpretación de imágenes y trabajo de campo se realizó la cartografía de procesos erosivos y fenómenos de remoción en masa; esto permitió establecer áreas y tipos de procesos erosivos que caracterizan el área de influencia; las Unidades Funcionales 3, 4 y 5 se trabajaron con imágenes Lidar (2013 y 2017), Google Earth (2017) y de Bing, contrastadas con fotografías aéreas del año 1984, 1990 y 1992, suministradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Para la evaluación de la morfodinámica se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Interpretación de imágenes georreferenciadas y fotografías aéreas.

- Trabajo de campo. Se hicieron recorridos de campo en el área de influencia y se obtuvo un inventario de procesos morfodinámicos, debidamente georreferenciados.
- Para la cartografía de los procesos asociados a deslizamientos activos e inactivos se obtuvieron unidades de área.
- Se identificaron procesos morfodinámicos asociados a deslizamientos activos, deslizamientos inactivos, deslizamientos estabilizados con obras de contención, flujos de tierra, campos aterrazados, desprendimientos de rocas, socavación lateral, erosión, y explotación de canteras; delimitando aproximadamente las áreas que encierran dichos procesos mediante polígonos y resaltando con líneas los escarpes y cicatrices de deslizamiento.

Las áreas más susceptibles a procesos de erosión y remoción en masa son precisamente las actualmente afectadas por deslizamientos activos y flujos de tierra, consideradas de susceptibilidad muy alta. En segundo lugar, de acuerdo con la susceptibilidad del terreno se encuentran los deslizamientos inactivos, los procesos de socavación lateral y la caída de rocas, cuya susceptibilidad es alta. Las áreas estabilizadas con obras civiles, que corresponden a sitios con deslizamientos estabilizados con obras como muros de concreto y anclajes, se consideran de susceptibilidad moderada, al igual que las canteras y los campos aterrazados que presentan microdeslizamientos o creep superficial. Las áreas de erosión en cárcavas, socavación estabilizada, campo aterrazado y de depósito minero; se clasifican como de susceptibilidad baja. Las áreas con erosión laminar se consideran de susceptibilidad muy baja. (Ver Tabla 5.44).

**Tabla 5.44 Susceptibilidad de procesos morfodinámicos**

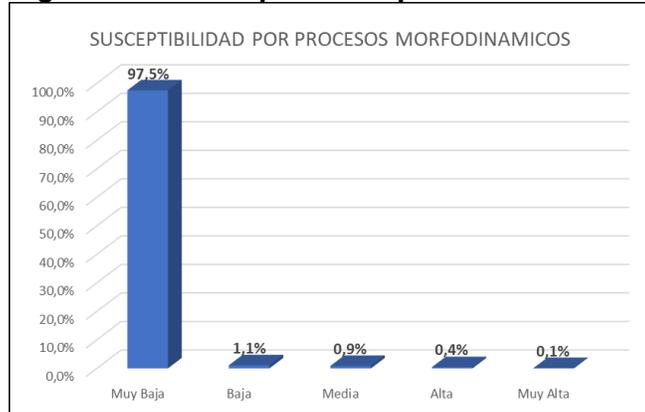
Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso
Deslizamiento activo	5
Flujo de tierra	5
Deslizamiento inactivo	4
Socavación lateral	4
Caída	4
Campo aterrazado, con microdeslizamientos o creep superficial	3
Cantera	3
Deslizamiento estabilizado	3
Erosión en cárcavas	2
Socavación estabilizada	2
Campo aterrazado	2
Depósito minero	2
Erosión laminar	1

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.28 se muestra que la mayor parte del área, con un 97.5% del total es de muy baja susceptibilidad debido a que no presentan ningún proceso erosivo relevante o de remoción en masa. A penas el 0.1% del área presenta susceptibilidad muy alta, relacionada con deslizamientos activos y flujos de tierra; el 0.4% del Área de Influencia presenta susceptibilidad alta; debida a áreas con deslizamientos inactivos, socavación

lateral o caída de rocas. El 0.9% del Área de Influencia presenta susceptibilidad moderada, relacionada con áreas de deslizamientos estabilizados, canteras, campos aterrizados con presencia de microdeslizamientos o creep superficial. El 1.1% del área presenta susceptibilidad baja a procesos denudativos relacionada con zonas con erosión en cárcavas, de socavación estabilizada, campos aterrizados o depósitos mineros.

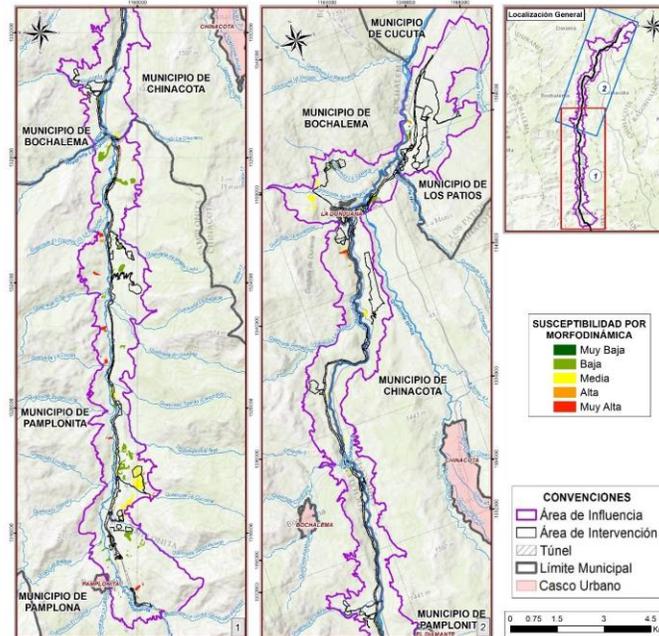
**Figura 5.28 Susceptibilidad por Morfodinámica**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.29 se presenta el mapa del Área de influencia de las Unidades Funcionales 3, 4 y 5; en el que se muestran las áreas con procesos erosivos o de remoción en masa resaltadas con colores según el grado de susceptibilidad.

**Figura 5.29 Mapa de susceptibilidad por Morfodinámica**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

#### 5.1.4.2.1 Susceptibilidad General del Terreno (ST)

El mapa de susceptibilidad general del terreno se elaboró mediante análisis estadístico multivariado (Sistema de Evaluación Numérica), sumando digitalmente los ocho mapas de susceptibilidad (Superposición de Mapas e Integración Espacial de Información), que representan los factores intrínsecos que condicionan la generación y reactivación de procesos de erosión y remoción en masa. Este procedimiento se realizó utilizando el SIG ArcGis10, así:

$$ST = SL + SG + SH + SC + SD + SF + SP + SE$$

Dónde:

- ST = Susceptibilidad del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa.
- SL = Susceptibilidad del parámetro litología.
- SG = Susceptibilidad del parámetro geomorfología.
- SH = Susceptibilidad del parámetro hidrogeología.
- SC = Susceptibilidad del parámetro cobertura de la tierra.
- SD = Susceptibilidad del parámetro densidad de drenajes.
- SF = Susceptibilidad del parámetro densidad de fallas.
- SP = Susceptibilidad del parámetro pendiente.
- SE = Susceptibilidad del parámetro morfodinámica.

El procesamiento de información en SIG generó un rango de valores entre 11 y 36. Se establecen los intervalos para la categorización del mapa de susceptibilidad general del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa, como se muestra a continuación en la Tabla 5.45.

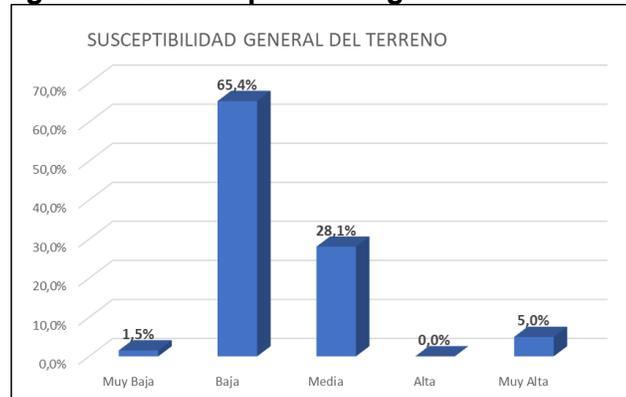
**Tabla 5.45 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno**

Intervalos	Peso	Categorías de susceptibilidad
1 – 15	1	Muy Baja
16 – 21	2	Baja
22 – 27	3	Moderada
28 – 32	4	Alta
> 32	5	Muy Alta

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Figura 5.30 se observa la distribución de las categorías de susceptibilidad general del terreno dentro del área de influencia.

**Figura 5.30 Susceptibilidad general del terreno**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

El 65.4% del área presenta baja susceptibilidad; relacionada con zonas que presentan escasos y menores procesos de remoción en masa o de erosión acentuada, en donde la combinación de parámetros geológicos, geomorfológicos y de cobertura vegetal favorecen la estabilidad geotécnica haciendo poco susceptible el terreno a procesos denudativos. Los parámetros que pueden favorecer la estabilidad son litologías resistentes sin presencia de alta humedad, distancia a fallas geológicas, geoformas de pendientes suaves, densidad de drenaje baja y cobertura del terreno arbórea.

El 28.1 % es de moderada susceptibilidad a procesos denudativos, relacionada con zonas con procesos de remoción en masa menores, inactivos o esporádicos, y zonas no indicadas de inestabilidad al presente, pero potencialmente inestables y susceptibles a movimientos del terreno por registros geomorfológicos y desfavorables factores geológicos o de cobertura vegetal. Estas zonas por lo general incluyen tanto parámetros favorables como desfavorables que al interactuar generan una susceptibilidad moderada. Las condiciones favorables regularmente están relacionadas con litologías resistentes,

poco fracturamiento del macizo rocoso y coberturas vegetales boscosas; mientras que las condiciones desfavorables están relacionadas con depósitos cuaternarios, macizos de rocas blandas muy fracturados, o coberturas vegetales escasas que facilitan la generación de procesos erosivos y de remoción en masa.

El 1.5% del área presenta muy baja susceptibilidad; correspondiente a relieves planos no expuestos a socavación fluvial o a laderas con litología resistente, poco fracturada y con buena cobertura conformada principalmente por vegetación boscosa, donde no se encuentran procesos erosivos o de remoción en masa

El 0.0% del área tiene alta susceptibilidad correspondiente a zonas afectadas por procesos erosivos o de remoción en masa y/o con suelos no consolidados de origen coluvial y/o aluvial susceptibles a remoción; donde la combinación de factores geológicos, geomorfológicos y de cobertura del suelo no es favorable a la estabilidad geotécnica. Por lo general incluye suelos de depósitos coluviales o aluviales recientes, zonas de suelos residuales arcillosos húmedos o rocas blandas muy meteorizadas en donde han tenido lugar procesos erosivos severos o de remoción en masa.

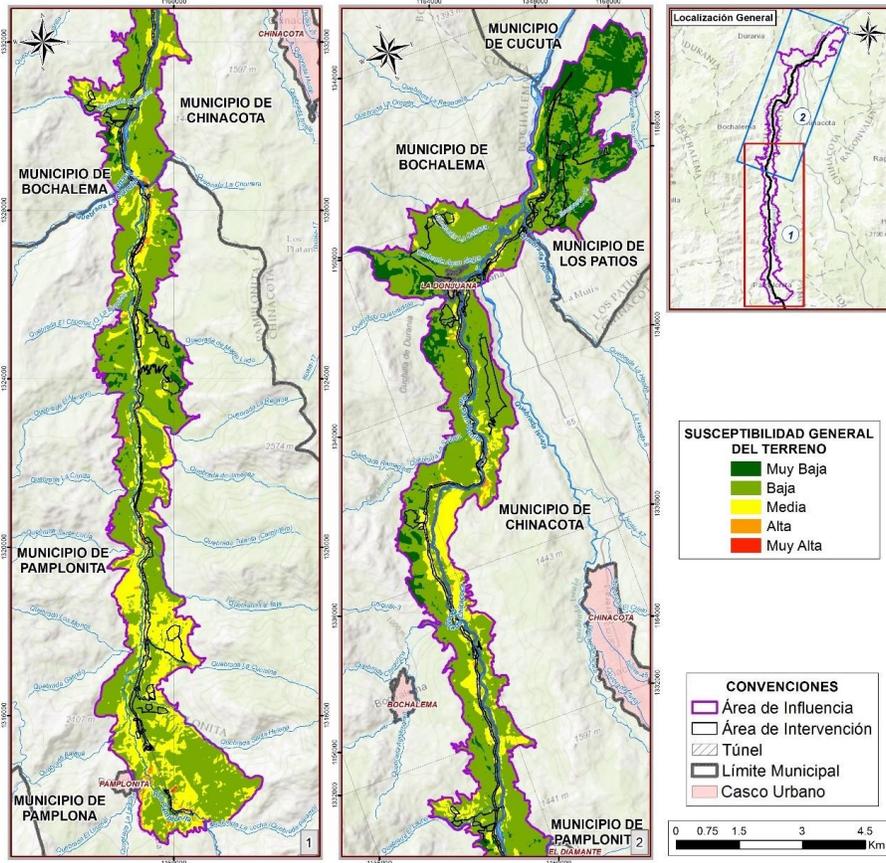
Finalmente, el 5.0% del Área de Influencia presentan muy alta susceptibilidad a la generación de denudativos, correspondiente a zonas afectadas por fenómenos de remoción en masa o con suelos no consolidados de origen coluvial muy susceptibles a remoción; donde la combinación de factores geológicos, geomorfológicos y de cobertura del suelo no es favorable a la estabilidad geotécnica.

En la Figura 5.31 se presenta el mapa de susceptibilidad general del terreno a procesos erosivos y de remoción en masa.

#### **5.1.4.2.2 Factores detonantes**

Los factores desencadenantes o detonantes que se contemplaron en la ejecución del modelo son precipitación y sismicidad.

**Figura 5.31 Mapa de Susceptibilidad General del Terreno**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

**5.1.4.2.2.1 Precipitación (FP)**

La precipitación, principalmente en periodos invernales, se define por su intensidad, duración y distribución espacial. La relación lluvia-deslizamiento varía de un sitio a otro dependiendo de las condiciones locales de la zona, como la humedad, el tipo y uso del suelo, y topografía, entre otros.

El componente de escorrentía de la precipitación, usualmente es considerado un agente de erosión superficial o de erosión lineal con formación de surcos y cárcavas. La escorrentía tiene un efecto importante en la movilización de los materiales arrancados por los deslizamientos someros y profundos y en la generación de deslizamientos en las márgenes de las corrientes, por erosión lateral y socavación de orillas, que aumenta el valor de sus pendientes hasta hacerlas inestables. En la Tabla 5.46 se presentan los rangos de precipitación y su calificación asociados como factor detonante de procesos erosivos y de remoción en masa.

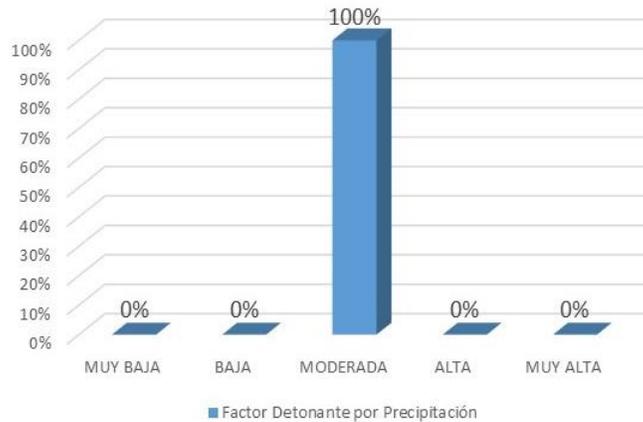
**Tabla 5.46 Intervalos de categoría de precipitación**

Rango de Precipitación(mm)	Categoría	Calificación
0 a 200	Muy Baja	1
200 – 800	Baja	2
800 – 1500	Moderada	3
1500 – 2500	Alta	4
>2500	Muy Alta	5

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

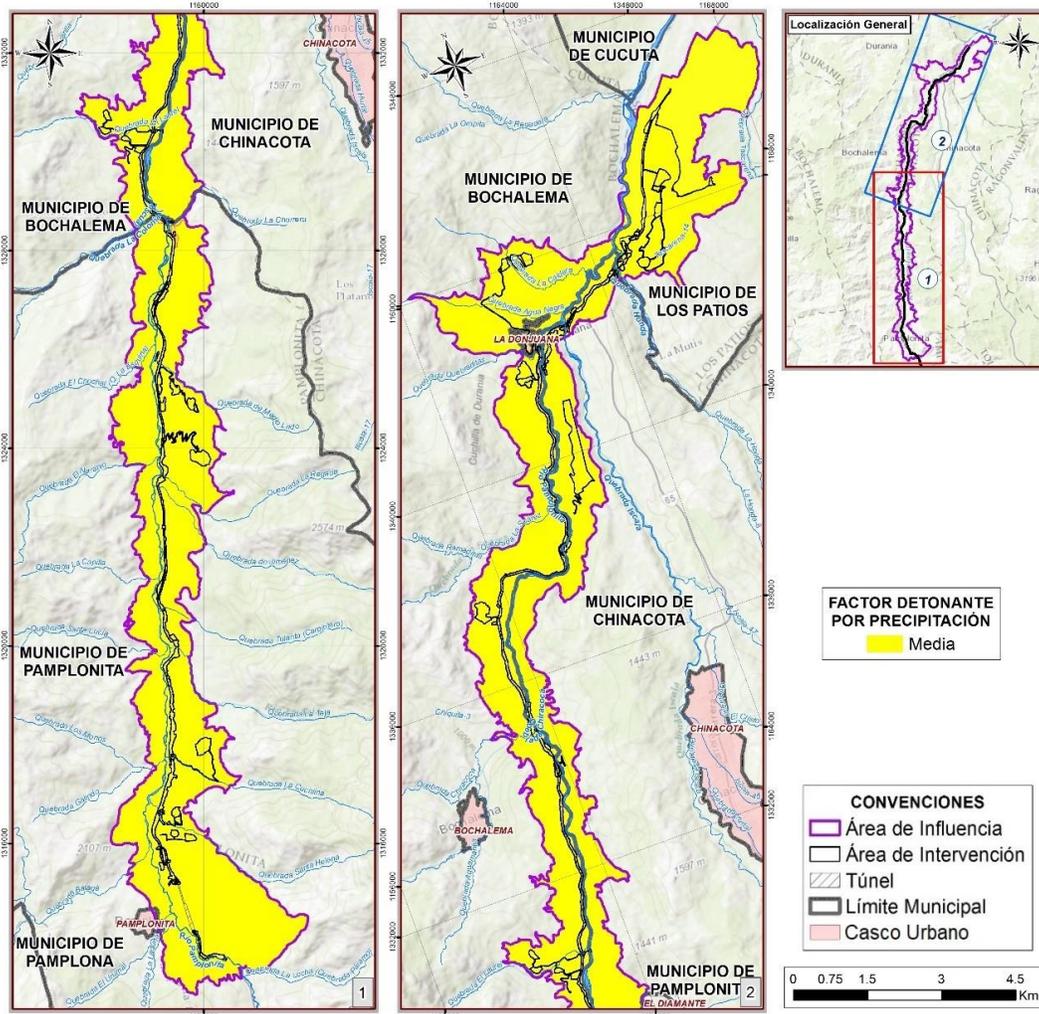
La Figura 5.32 y Figura 5.33 muestran la influencia de la precipitación como factor detonante de procesos erosivos y de remoción en masa en las Unidades Funcionales 3, 4 y 5; con el 100% del área con factor detonante moderado.

**Figura 5.32 Factor detonante por Precipitación**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

**Figura 5.33 Factor detonante por precipitación**

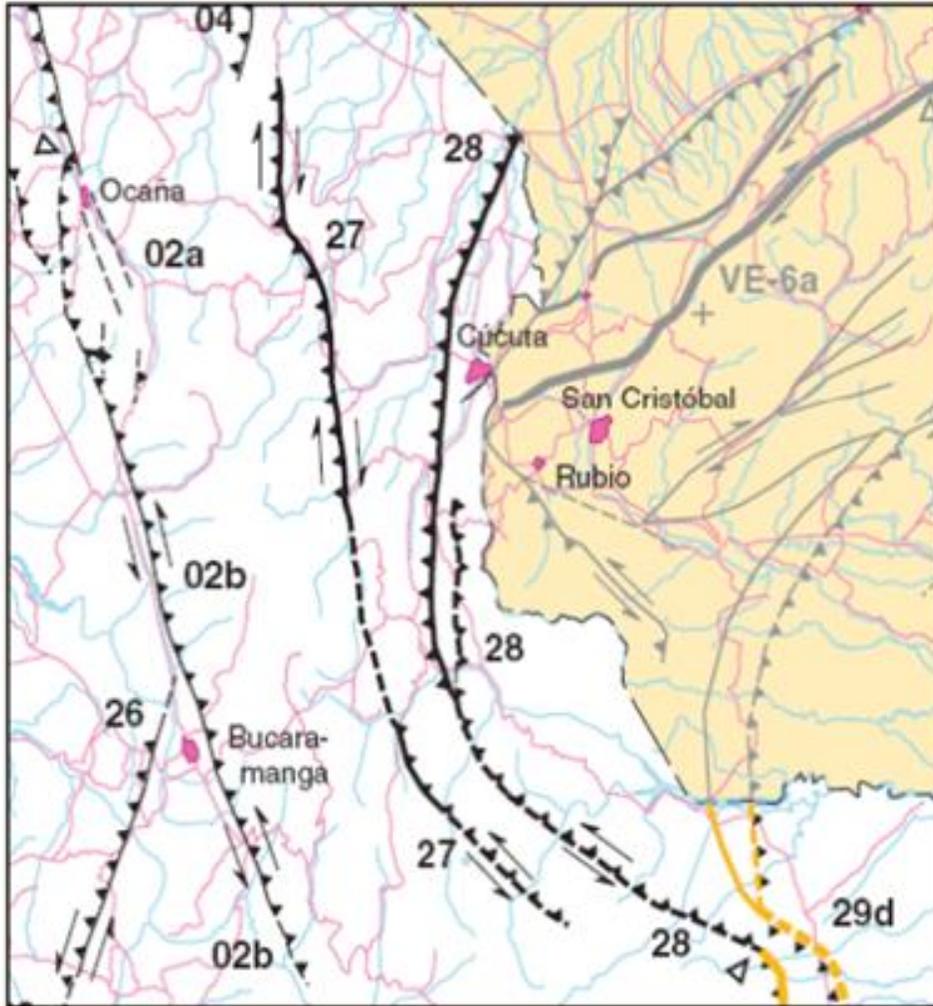


Fuente: AECOM - ConCol., 2018

#### 5.1.4.2.2.2 Sismicidad (FS)

El Área de Influencia de las Unidades Funcionales 3, 4 y 5 se encuentra dentro de una región geográfica afectada por la interacción de las placas tectónicas Nazca, Caribe y Suramérica, con la consecuente generación de eventos sísmicos. El área de influencia se encuentra dentro de una zona con fallas inversas de cabalgamiento de dirección predominante N-S, que conforman bloques y pliegues en dirección NNE-SSW. Esta área, ubicada en el departamento del Norte de Santander, corresponde a la provincia tectonoestratigráfica de dicho departamento, considerada subprovincia geológica de la cordillera oriental, y donde se encuentran rocas sedimentarias de edades desde el Jurásico hasta el Terciario-Paleoceno. En la Figura 5.34 se puede observar el fallamiento geológico de la zona, notándose que el área de estudio es cruzada por el sistema de fallas Pamplona – Chitagá.

**Figura 5.34 Sistema Regional de fallas Pamplona-Chitagá (28)**

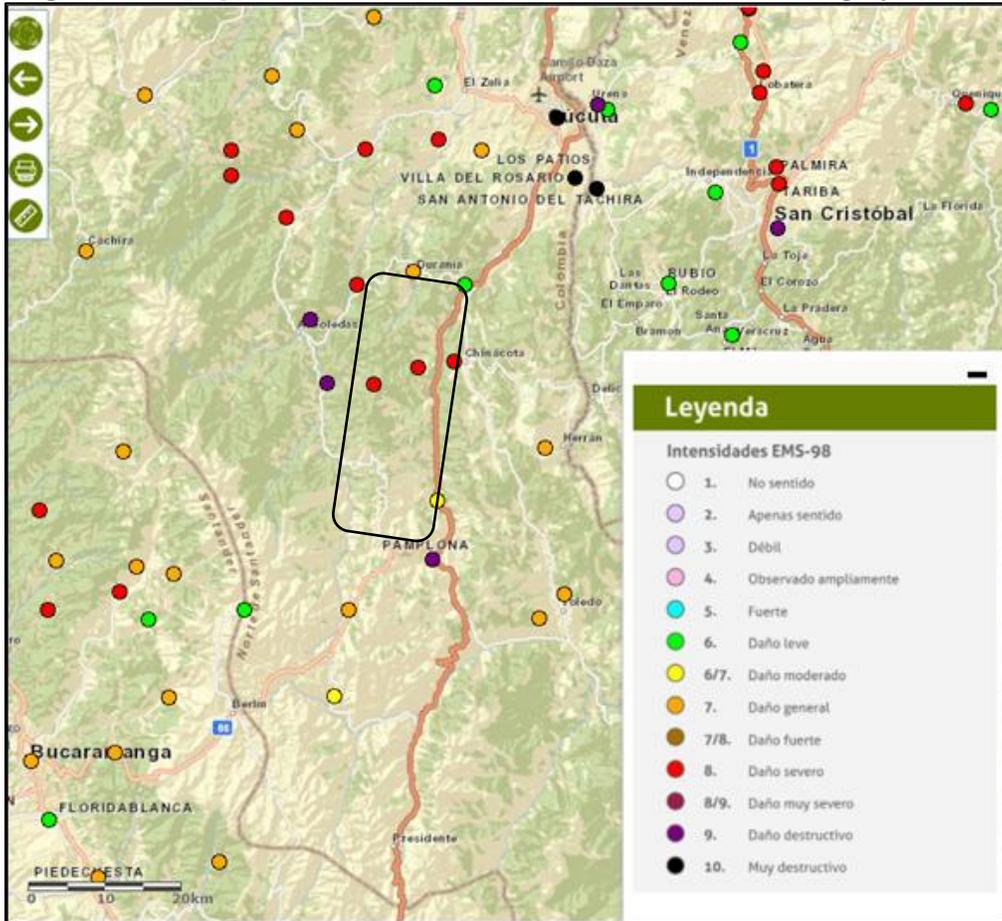


Fuente: Modificado del (SGC, 2011)

La historia de Colombia registra más de un centenar de sismos destructores, ubicados principalmente en la región andina, el piedemonte oriental de la Cordillera Oriental y el Océano Pacífico, y con menor frecuencia en el Caribe. Las extensas fallas que delimitan las cadenas montañosas, y las zonas de convergencia de placas litosféricas que se hallan en el territorio colombiano, muestran también evidencias de actividad sísmica en el pasado geológico reciente, sugiriendo posibles zonas de generación de sismos.

La Figura 5.35 muestra el mapa de sismicidad histórica en Colombia suministrado en su página Web por el Servicio Geológico Colombiano, en la región que cubre la zona entre Bucaramanga y Cúcuta. Las zonas de intervención quedarán emplazadas en el sector cercano a la actual vía Cúcuta Pamplona entre los municipios de Pamplonita y Los Patios. Se destaca el registro histórico de sismos con intensidades de daño general, severo y destructivo en la región.

**Figura 5.35 Mapa de Sismicidad Histórica entre Bucaramanga y Cúcuta**



Fuente: Mapa sismicidad histórica de Colombia – Servicio Geológico Colombiano

El Servicio Geológico Colombiano en el mapa nacional de amenaza sísmica integra los avances en el conocimiento de la tectónica regional, de la actividad de las estructuras sismogénicas en Colombia, y de los efectos de la atenuación en la transmisión de ondas sísmicas. Estos conocimientos provienen de las nuevas fuentes locales de información instrumental, de los estudios de las manifestaciones en el terreno de grandes eventos, de la información más completa de los efectos de sismos históricos y de la disponibilidad de bases de datos globales estandarizadas y, en general, de los avances en el conocimiento en el tema de la amenaza sísmica.

Para este estudio de impacto ambiental el factor detonante por sismicidad se determinó con base en los resultados del Mapa de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & UNAL, 2010), el cual presenta una zonificación de la amenaza sísmica en términos de aceleración horizontal máxima en roca (PGA por sus siglas en inglés), que representa un modelo probabilístico para el movimiento del terreno que podría esperarse por la ocurrencia de sismos en Colombia. El Mapa de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS &

UNAL, 2010), considera valores de PGA ( $\text{cm/s}^2$ ) en un rango desde 50 hasta 450 PGA, como se ilustra en la Tabla 5.47.

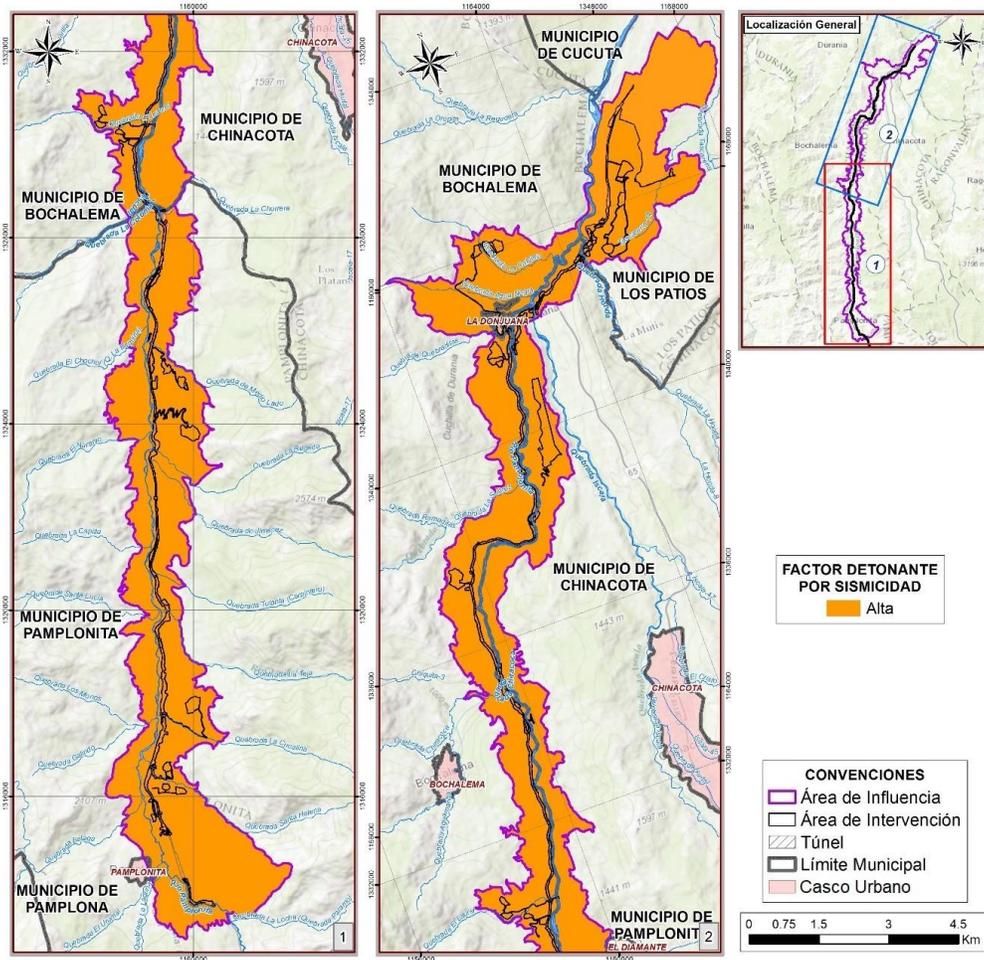
**Tabla 5.47 Intervalos de categorías de sismicidad**

Unidad Cartográfica de Parámetro (UCP)	Peso	Susceptibilidad
0 – 50 PGA ( $\text{cm/s}^2$ )	1	Muy baja
50 – 100 PGA ( $\text{cm/s}^2$ )	2	Baja
100 – 250 PGA ( $\text{cm/s}^2$ )	3	Moderada
250 – 350 PGA ( $\text{cm/s}^2$ )	4	Alta
>350 PGA ( $\text{cm/s}^2$ )	5	Muy alta

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

El Área de Influencia de las Unidades Funcionales 3, 4 y 5 se ubica en una región con PGA entre 250 a 350  $\text{cm/s}^2$ ; que corresponde a amenaza sísmica alta. (Ver Figura 5.36), Esto va en línea con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, que cataloga los municipios de Pamplonita, Cúcuta, Bochalema y Los Patios como de amenaza sísmica alta (determinada entre un rango de amenaza sísmica baja, intermedia y alta), con coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva para diseño Aa de 0.35.

**Figura 5.36 Mapa de factor detonante por sismicidad**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

**5.1.4.2.3 Amenaza geotécnica del terreno (ZG)**

La amenaza relativa del terreno se establece considerando la interacción de los factores intrínsecos y los factores desencadenantes o detonantes que intervienen en la generación de procesos de remoción en masa y erosivos. Para la elaboración del mapa de amenaza relativa se emplearon como factores detonantes la precipitación y la amenaza sísmica, empleando el siguiente algoritmo:

$$ZG = ST * (FP + FS)$$

Donde:

ZG = Zonificación Geotécnica (Amenaza relativa del terreno por procesos erosivos y de remoción en masa).

ST = Susceptibilidad total del terreno a los procesos erosivos y de remoción en masa.

FP = Factor detonante por precipitación.

FS = Factor detonante por sismicidad.

La zonificación geotécnica del área de estudio se dividió en cinco categorías de amenaza (Tabla 5.48), que van desde muy alta a muy baja (IA, IB, II, IIIA y IIIB) y corresponden a la agrupación metodológica de zonas homogéneas de los factores de ponderación evaluados.

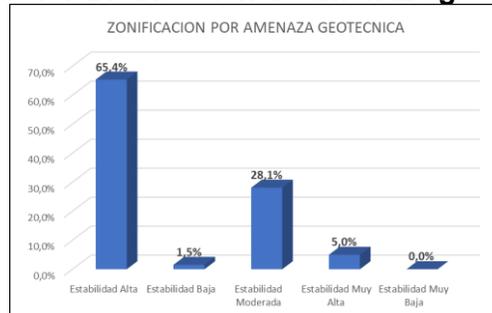
**Tabla 5.48 Categorías para la zonificación geotécnica**

Rangos de valores	Símbolo	Amenaza Relativa	Estabilidad Geotécnica	Peso
1 – 6	IIIB	Muy Baja	Muy Alta	1
7 – 12	IIIA	Baja	Alta	2
13 – 18	II	Moderada	Moderada	3
19 – 24	IB	Alta	Baja	4
>24	IA	Muy Alta	Muy Baja	5

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

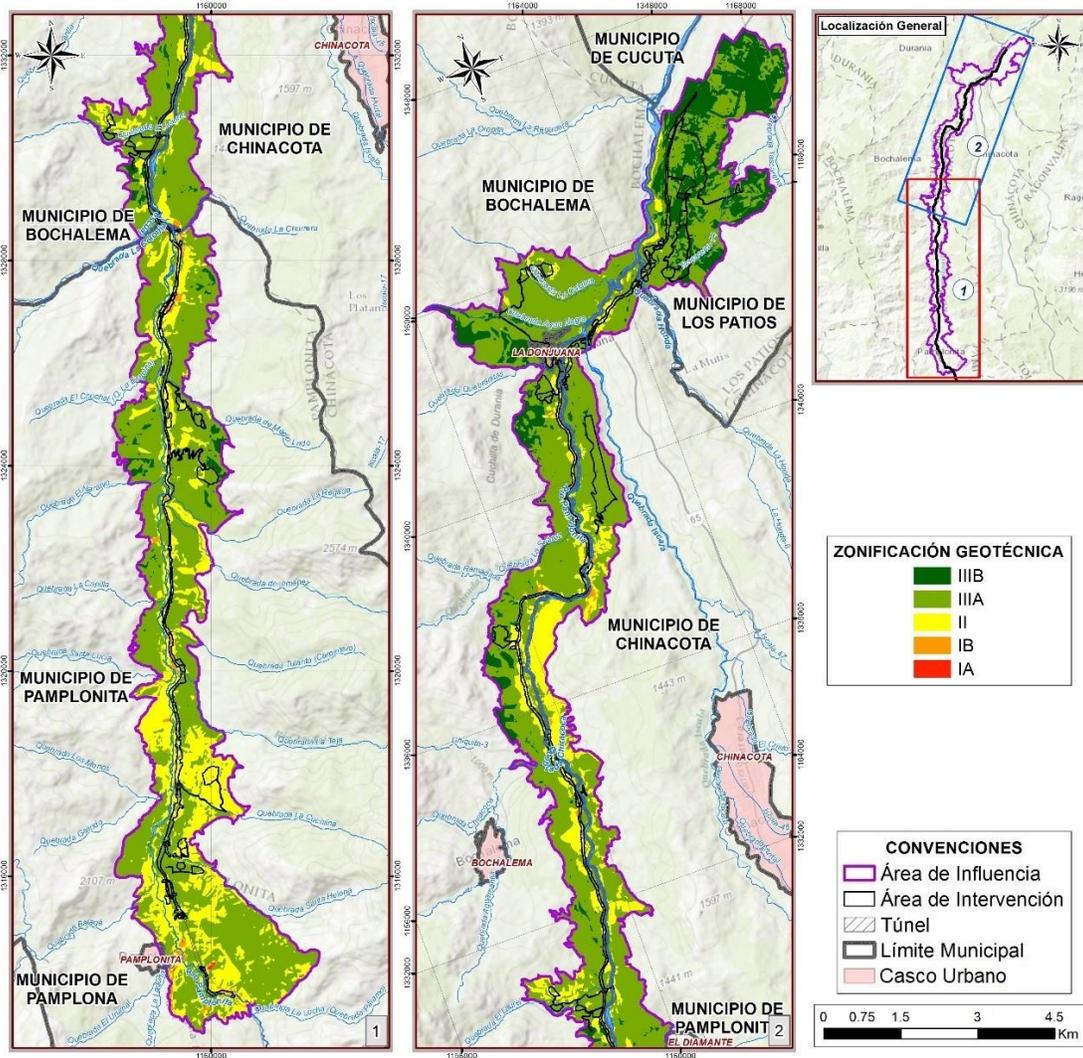
En la Figura 5.37 y la Figura 5.38 se observa la distribución de las categorías de amenaza geotécnica dentro del área de influencia, donde el 65.4% es de amenaza baja y estabilidad geotécnica alta (Zona IIIA); el 28.1% amenaza relativa moderada y estabilidad geotécnica moderada (Zona II); el 5% presenta amenaza relativa muy baja y estabilidad geotécnica muy alta; y el 1.5% presenta amenaza relativa alta y estabilidad geotécnica baja (IB).

**Figura 5.37 Distribución de amenaza geotécnica**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

**Figura 5.38 Mapa amenaza geotécnica**



Fuente: AECOM - ConCol., 2018

En la Tabla 5.49 se muestran los resultados de las características de las áreas resultantes en la clasificación de zonificación geotécnica por procesos erosivos y de remoción en masa.

**Tabla 5.49 Leyenda del mapa de zonificación geotécnica**

Símbolo	Amenaza Relativa	Estabilidad geotécnica	Descripción	Área influencia (ha)	Área intervención (Ha)
IIIB	Muy Baja	Muy Alta	Áreas no sujetas a movimientos en masa. Relieves planos no expuestos a socavación fluvial o laderas con litología resistente, poco fracturada y con buena cobertura conformada principalmente por vegetación boscosa, donde no se encuentran procesos erosivos o de remoción en masa.	287.97	8,79
IIIA	Baja	Alta	Zonas con escasos y menores procesos de remoción en masa o de erosión acentuada, en donde la combinación de parámetros geológicos, geomorfológicos y de cobertura vegetal favorece la estabilidad geotécnica. Los parámetros que pueden favorecer la estabilidad son litologías resistentes sin presencia de alta humedad, distancia a fallas geológicas, geoformas de pendientes suaves, densidad de drenaje baja y cobertura del terreno arbórea.	3784.15	168,00
II	Moderada	Moderada	Zonas con procesos de remoción en masa menores, inactivos o esporádicos, y zonas no indicadas de inestabilidad al presente, pero potencialmente inestables y susceptibles a movimientos del terreno por registros geomorfológicos y desfavorables factores geológicos o de cobertura vegetal. Estas zonas por lo general incluyen tanto parámetros favorables como desfavorables que al interactuar generan una condición de amenaza relativa moderada. Las condiciones favorables regularmente están relacionadas con litologías resistentes, poco fracturamiento del macizo rocoso y coberturas vegetales boscosas; mientras que las condiciones desfavorables están relacionadas con depósitos cuaternarios, macizos de rocas blandas muy fracturados, o coberturas vegetales escasas que facilitan la generación de procesos erosivos y de remoción en masa.	1626.44	110,25

Símbolo	Amenaza Relativa	Estabilidad geotécnica	Descripción	Área influencia (ha)	Área intervención (Ha)
IB	Alta	Baja	Zonas afectadas por procesos erosivos o de remoción en masa y/o con suelos no consolidados de origen coluvial y/o aluvial susceptibles a remoción; donde la combinación de factores geológicos, geomorfológicos y de cobertura del suelo no es favorable a la estabilidad geotécnica. Por lo general incluye suelos de depósitos coluviales o aluviales recientes, zonas de suelos residuales arcillosos húmedos o rocas blandas muy meteorizadas en donde han tenido lugar procesos erosivos severos o de remoción en masa.	87.26	9,71
IA	Muy Alta	Muy Baja	Zonas afectadas por procesos de remoción en masa o con suelos no consolidados de origen coluvial muy susceptibles a remoción; donde la combinación de factores geológicos, geomorfológicos y de cobertura del suelo no es favorable a la estabilidad geotécnica. Generalmente destacan las áreas más susceptibles dentro de zonas inestables que se enmarcan en la categoría de estabilidad geotécnica baja (IB).	0.57	0,02
<b>TOTAL</b>				<b>5786,39</b>	<b>296,77</b>

Fuente: AECOM - ConCol., 2018

#### 5.1.4.2.4 Descripción geotécnica del corredor vial

La descripción geotécnica del corredor vial considera una subdivisión según los materiales predominantes a intervenir y los resultados de la zonificación geotécnica a partir del procesamiento de datos en SIG relacionados con parámetros cartográficos por litología, geomorfología, hidrogeología, cobertura de la tierra, densidad de drenajes, densidad de fallas geológicas, pendientes del terreno, precipitación en la zona y amenaza sísmica.

- **Sectorización UF5**

- Sector del K10+300 al K 13+760

Tramo con expresión geomorfológica de terraza aluvial donde el corredor avanza cerca del borde oriental de la terraza entre el K10+300 y el K13+760 (en el sector de cambio de pendiente entre la zona plana y la ladera escarpada), y por la ladera de la terraza entre el K13+000 y el K13+760. Dicha terraza aluvial está conformado por materiales detríticos heterométricos; correspondientes a gravas, cantos y bloques polimícticos, redondeados a subredondeados, embebidos en una matriz arcillolimososa de color habano y consolidación media a alta. La estabilidad geotécnica se ve favorecida en la zona plana principalmente por su topografía y la zona de ladera por el carácter de material consolidado de los suelos que constituyen la terraza y por la cobertura vegetal. Este sector presenta estabilidad geotécnica alta a muy alta (Zonas geotécnicas IIIA y IIIB)

- Sector del K 13+760 al K14+600

En este sector el corredor intervendrá laderas con macizos rocosos de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, ligeramente conglomeráticas, carbonosas y con algunos intraclastos lodolíticos. En menor grado se intervendrán depósitos coluviales matrizsoportados y materiales de terraza aluvial que en pequeños sectores se encuentran suprayaciendo el macizo rocoso. Este sector presenta en general amenaza relativa baja y estabilidad geotécnica alta (Zona IIIA) relacionada con los materiales de litología arenosa de la formación Mirador; con sectores de amenaza relativa y estabilidad geotécnica moderadas (Zona II), en los pequeños tramos con materiales coluviales o aluviales.

- Sector del K14+600 al K15+900

Tramo donde el corredor avanza por una ladera de topografía moderadamente escarpada; con sectores de macizos rocosos arcillosos parcialmente limosos, con escasas capas de areniscas arcillosas, que presentan amenaza baja y estabilidad geotécnica alta (Zona IIIA); y sectores con materiales de depósitos cuaternarios de coluvión conformados por gravas, cantos y bloques angulares a subredondeados en matriz limo-arcillosa, que presentan amenaza relativa moderada y estabilidad geotécnica moderada (Zona II).

- Sector del K15+900 al K17+120

Sector con predominio de depósitos de terraza conformados por materiales detríticos, heterométricos y muy consolidados, donde el corredor se proyecta en laderas con pendiente escarpada favorecidas por coberturas vegetales principalmente de bosques densos; donde la amenaza relativa es baja y la estabilidad geotécnica es alta (Zona IIIA). Presenta tramos aislados cubiertos por depósitos aluviales recientes caracterizados por ser materiales inconsolidados asociados a corrientes de agua recientes y depósitos coluviales conformados por gravas, cantos y bloques angulares a subredondeados en matriz limo-arcillosa; donde la amenaza relativa y la estabilidad son moderadas (Zona II).

A la altura del K16+850 se presenta un deslizamiento estabilizado, donde la actual vía Cúcuta Pamplona fue estabilizada en su margen occidental con pantalla y anclajes ante la

socavación del río Pamplonita y deslizamiento de la ladera. La doble calzada se construirá por el costado interno, interviniendo parte de las obras de estabilización.

- **Sectorización UF4**

- Sector del K17+120 al K19+740

En este sector la segunda calzada se proyecta avanzando por la parte inferior de la ladera del costado occidental del río Pamplonita interviniendo principalmente suelos heterogéneos matrizsoportados de depósito coluvial y ocasionalmente macizos rocosos muy fracturados conformados por calizas grises en capas delgadas fosilíferas, lodolitas calcáreas, capas plano paralelas de chert, lodolitas silíceas y capas fosfáticas, o lutitas grises oscuras a negras, con calizas grises, masivas y fosilíferas. En general este tramo presenta amenaza relativa moderada y estabilidad geotécnica moderada (Zona II), a excepción de pequeños tramos de amenaza relativa baja y estabilidad alta (Zona IIIA) y del sector entre el K19+240 y el K19+420, donde se observa un deslizamiento activo, que presenta amenaza relativa alta y estabilidad geotécnica baja (Zona IB).

Entre el K17+650 y el K17+850 ladera arriba del eje de la vía se presentan taludes naturales escarpados afectados por erosión en surcos y cárcavas, desde los cuales se desprenden materiales de la superficie a manera de caídas de detritos.

Entre el K19+300 y el K19+460 el trazado de la nueva calzada cruzará un deslizamiento activo con suelos de depósito coluvial y saprolito del substrato rocoso, influenciado por fallamiento geológico y afectado por socavación lateral del río Pamplonita.

- Sector del K19+740 al K21+260

Entre el K19+740 y el K21+260 la doble calzada se proyecta paralela al río Pamplonita en su costado occidental, interviniendo generalmente un terreno con expresión geomorfológica de terraza aluvial, conformado por suelos granulares con cantos, gravas, arenas y bloques. Ocasionalmente se proyecta la intervención de suelos heterogéneos de depósito coluvial que suprayacen los suelos granulares. La zonificación geotécnica del tramo presenta sectores con amenaza relativa moderada y estabilidad moderada (Zona II) y sectores con amenaza relativa baja y estabilidad alta (Zona IIIA); perteneciendo a Zona II los sectores de topografía desfavorable al intervenir áreas escarpadas, o los sitios donde se intervendrán suelos coluviales; y correspondiendo a Zona IIIA los tramos de topografía plana.

- Sector del K21+260 al K25+600

Desde el K21+260 hasta el K25+600 el trazado discurre paralelo al río Pamplonita por el sector de contacto geomorfológico entre la parte inferior de la ladera con materiales

rocosos o suelos coluviales y zonas de topografía suave con materiales de origen aluvial. Este sitio presenta sectores de cobertura boscosa y sectores con pastos arbolados.

En este sector la doble calzada intervendrá macizos rocosos fracturados conformados por areniscas compactas en los tramos del K21+360 al K21+560, del K21+820 al K21+860, del K21+890 al K21+980, y del K22+030 al K22+180; suelos heterogéneos matrizsoportados en los tramos del K21+260 al K21+360, del K21+560 al K21+820, del K21+860 al K21+890, del K21+980 al K22+030, del K22+180 al K22+30, y del K22+700 al K22+920; suelos residuales de textura arenosa gruesa y macizos meteorizados de origen ígneo entre el K22+440 y el K22+700; y depósitos de suelos granulares en los sectores del K22+300 al K22+440 y del K22+920 al K25+600.

La zonificación geotécnica en general indica amenaza relativa baja y estabilidad alta (Zona IIIA) para los sectores de intervención en macizo rocoso, de suelo residual o de depósitos aluviales; y amenaza relativa moderada y estabilidad moderada (Zona II) para los sectores que intervienen suelos de depósito coluvial.

- Sector del K25+600 al K26+520

Entre el K25+600 y el K26+520 la segunda calzada intervendrá un sector de topografía plana con materiales granulares de origen aluvial (gravas, cantos, arenas y bloques), que presenta amenaza relativa entre baja a moderada y estabilidad geotécnica entre moderada y alta (Entre Zona II y IIIA). En este sector la vía cruzará el río Pamplonita en dos oportunidades (en el K25+620 y en el K25+870).

- Sector del K26+520 al K30+380

En este tramo va vía intervendrá la parte inferior de una ladera de pendiente escarpada y cobertura vegetal arbórea, conformada por un macizo rocoso de areniscas compactas que en general presentan amenaza relativa baja y estabilidad alta (Zona IIIA); y por depósitos coluviales con suelos heterométricos matrizsoportados, que presentan amenaza relativa moderada y estabilidad moderada (Zona II).

- Sector del K30+380 al K31+480

Entre el K30+380 y el K31+480 el trazado va sobre un terreno plano, cobertura principal de pastos y expresión geomorfológica de abanico aluvial, con suelos granulares (gravas, arenas, cantos y bloques). En este tramo la estabilidad geotécnica es alta (Zona IIIA).

- Sector del K31+480 al K32+040

Entre el K31+480 y el K32+040 la doble calzada tendrá lugar en una ladera de pendiente moderadamente escarpada, de macizo de areniscas estratificadas y escasos sectores de depósitos coluviales heterométricos matrizsoportados. La zonificación geotécnica para este tramo es variable entre estabilidad moderada (Zona II) y muy alta (Zona IIIB); siendo

moderada en los sectores de depósitos coluviales y alta a muy alta en los tramos donde la intervención tendrá lugar en macizo rocoso.

- Sector del K32+040 al K33+060

En este tramo el trazado tendrá lugar por un terreno plano con cobertura principal de pastos y expresiones geomorfológicas de terraza aluvial y de abanico aluvial, conformado por suelos granulares (gravas, arenas, cantos y bloques); donde la estabilidad geotécnica es alta (Zona IIIA).

- Sector del K33+060 al K34+160

Del K33+060 al K33+240 la doble calzada se conformará interviniendo un macizo rocoso de estratificación centimétrica conformado por lutitas y calizas, donde la zonificación geotécnica corresponde a Zona II (de amenaza relativa y estabilidad moderadas).

A partir del K33+240 hasta el K34+160 el alineamiento se proyecta por zonas de topografía suave con áreas escarpadas y de cobertura vegetal de pastos, correspondiente a geoformas de terrazas y abanicos aluviales; la vía cruzará el río Pamplonita en el K33+250. La litología de este tramo corresponde a suelos granulares de origen aluvial (gravas, arenas, cantos y bloques). La zonificación geotécnica de este sector corresponde a zonas de estabilidad moderada (Zona II) a alta (Zona IIIA).

- **Sectorización UF3**

- Sector del K34+160 al K45+020

Tramo en el que la vía avanza paralela al río Pamplonita por su costado oriental, localizada en proximidades a la zona de contacto entre unidades geomorfológicas de laderas montañosas y áreas de topografía suave de origen aluvial; proyectándose ocasionalmente sobre laderas rocosas o con depósitos coluviales y ocasionalmente sobre terrenos aluviales.

La zonificación geotécnica en este tramo es variable entre zonas de estabilidad alta y zonas de estabilidad baja. En primer lugar, presenta zonas de amenaza relativa baja y estabilidad alta (Zona IIIA) en sectores conformados por suelos granulares de origen aluvial (gravas, arenas, cantos y bloques), que regularmente exhiben topografías suaves; o zonas de topografía ligeramente escarpada conformadas por macizos con predominancia de arenisca en unos casos y de lutita en otros, regularmente con buena cobertura vegetal; que no presentan procesos erosivos importantes ni de remoción en masa.

En segundo lugar, presenta zonas de estabilidad geotécnica moderada y estabilidad moderada (Zona II) relacionadas principalmente con suelos heterogéneos matrizsoportados de origen coluvial. En tercer lugar, presenta zonas que de acuerdo con el análisis de unidades cartográficas de parámetros realizado en SIG son de amenaza

relativa alta y estabilidad baja (Zona IB), influenciadas en algunos casos por parámetros relacionados con la existencia de procesos denudativos que han tenido que ser atendidos por el concesionario mediante la implementación de obras de contención para la estabilización de procesos de remoción en masa en la ladera o por la pérdida de la banca de la vía actual por socavación lateral del río Pamplonita; las zonas clasificadas como de estabilidad geotécnica baja (Zona IB) están entre los tramos del K34+260 al K34+720, del K34+920 al K35+080 (Sitio donde se presentó socavación del río Pamplonita), del K35+640 al K35+690, del K37+380 al K37+440, del K37+900 al K38+000 y del 38+440 al K38+530, del K39+880 al K40+180, del K40+360 al K40+460, del K41+120 al K41+760, K42+370 al K42+440 y del K43+450 al K43+390.

- Sector del K45+020 al K47+100

En este sector la segunda calzada se proyecta interviniendo principalmente materiales granulares (gravas, arenas, cantos y bloques) que conforman una zona de topografía suave a ondulada con cobertura por lo general de pastos y cultivos. La combinación de parámetros evaluados determina que este tramo presenta amenaza relativa baja y estabilidad alta (Zona IIIA), con sitios puntuales que presentan amenaza y estabilidad moderada (Zona II).

- Sector del K47+100 al K49+040

Entre el K47+100 y el K48+940 el alineamiento se proyecta interviniendo un macizo rocoso con paquetes intercalados de areniscas y arcillolitas, suprayacido en algunos tramos por suelos heterogéneos matrizsoportados de origen coluvial; en un sector montañoso con laderas de pendiente ligeramente escarpada a ligeramente empinada y con cobertura boscosa; que presenta estabilidad geotécnica alta (Zona IIIA) a moderada (Zona II), a excepción de los sectores con suelos coluviales donde la amenaza relativa aumenta afectando la estabilidad geotécnica y haciéndola baja (Zona IB) a moderada (Zona II).

En el tramo final entre el K48+940 y el K49+040, el alineamiento tendrá lugar interviniendo suelos granulares de origen aluvial (gravas, arenas, cantos y bloques) y un depósito coluvial con suelos heterogéneos matrizsoportados. Este sector presenta amenaza relativa y estabilidad moderadas (Zona II), a excepción de un sitio puntual en el K49+010 donde la doble calzada cruzará el río Pamplonita con lecho de materiales sueltos expuestos permanentemente a la corriente del río, que presenta estabilidad baja (Zona IB).

- **Zonificación Geotécnica para Ingeniería**

Las diferentes formaciones y materiales identificados en campo se han agrupado en ocho unidades geotécnicas con características homogéneas desde el punto de vista geotécnico. En la siguiente Tabla se resumen sus condiciones; en la última columna se indican las unidades geológicas que agrupan; para mantener la coherencia con el resto de Unidades Funcionales del Proyecto.

**Tabla 5.50 Definición de Unidades Geotécnicas homogéneas**

UNIDAD GEOTÉCNICA	DEFINICIÓN	UNIDAD GEOLÓGICAS	
UG1	Depósito cuaternario poco consolidado, generalmente saturado, con condiciones de estabilidad deficientes. Corresponde a depósitos coluviales o indiferenciados	Qc	Suelo de granulometría heterométrica; mezcla de grava, cantos y bloques decimétricos o métricos en matriz de fracción fina en general matrizsoportados. Depósito coluvial.
UG2	Depósitos granular de origen aluvial en cauce activo o terraza inferior. Saturado, con nivel freático superficial	Qal	Material detrítico transportado por una corriente de agua, inconsolidada y heterométrico. Depósito aluvial.
		Qt	Material detrítico transportado por una corriente de agua, heterométrico, muy consolidado. Depósito de Terraza
UG3	Depósitos granular antiguo de origen aluvial (terrazza aluvial, abanico aluvial o conos de deyección), mezcla de grava y bolos redondeados o subredondeados en matriz areno limosa, en general consolidado.	Qcd	Mezcla de gravas, cantos y bloques decimétricos o métricos en matriz de fracción fina, matrizsoportado. Posible presencia de nivel freático de carácter estacional. Depósito de cono de deyección
		Qaa	Suelo de granulometría heterométrica; mezcla de grava y cantos redondeados en matriz de Fracción fina, matriz-soportado. Depósito de Abanico Aluvial
UG4	Lodolitas, arcillolitas o limolitas con intercalaciones de arenisca, en estratos centimétricos o decimétricos, en general meteorizadas grado III a IV, bastante fracturadas a muy fracturadas. Ocasionalmente puede presentar niveles carbonosos. Superficialmente recubiertas por suelos coluviales de espesor en general inferior a dos metros	Kscm	Shale - arcillolitas negras laminadas micáceas, intercaladas con capas de arenisca gris y verdosa de grano fino. En general meteorizada grado III, muy fracturada. Puede encontrarse cubierta por suelos de origen residual de varios metros de espesor, o suelos coluviales de espesor inferior a dos metros. Formación Colón Mito Juan
		E1b	Secuencia granocreniente constituida por estratos de arcillolitas y limolitas de color gris azulado en estratos métricos, intercalados con estratos delgados de arenisca de grano fino de color gris claro hacia la base. Hacia el techo, los estratos de areniscas se van haciendo más potentes y los estratos de arcillolitas más delgados. Formación Barco
		E1c	Alternancia decimétrica de arenisca de grano fino de color gris claro, meteorizada grado II y III, limolitas rojizas muy fracturadas y arcillolitas de color gris azulado. Presenta niveles de carbón de espesor decimétrico o métrico. Puede encontrarse cubierta por suelos coluviales de hasta 2 metros de espesor. Formación Los Cuervos

UNIDAD GEOTÉCNICA	DEFINICIÓN	UNIDAD GEOLÓGICAS	
UG5	Areniscas cuarzosas feldespáticas, color blanco, bien seleccionadas, con intercalaciones de capas de limolita gris y lodolitas. En general, meteorizada grado II, localmente cubierta por suelos coluviales de menos de dos metros de potencia	Kia	Arenisca de grano medio a grueso, cuarzosas, con matriz feldespática, color blanquecino y rosado, con grados de cementación variable entre fuertemente cementada ("meteorizada" grado II) y medianamente cementada ("meteorizada" grado III). Se dispone en estratos decimétricos o métricos. Puede presentar intercalaciones de lodolitas de color gris oscuro y marrón claro, muy fracturada, más frecuentes hacia la base y prácticamente inexistentes hacia el techo. Hacia el techo se identifican pátinas carbonosas en general de espesor centimétrico. Se encuentra recubierta por suelos de escaso espesor. Formación Aguardiente
UG6	Niveles de chert con concreciones, alternando con lutita negra y localmente, caliza gris, estratificada en capas en general de espesor centimétrico o decimétrico. Meteorizada grado II, muy fracturada. Formación La Luna	Ksl	Niveles de chert con concreciones, alternando con lutita negra y localmente, caliza gris, estratificada en capas en general de espesor centimétrico o decimétrico. Meteorizada grado II, muy fracturada. Formación La Luna
UG7	Rellenos antrópicos. Requieren consideración especial en el diseño geotécnico	Rt	Relleno estructural de la vía actual
		Rm	Relleno. Escombros de minería
UG8	Zona crítica. Afección del proyecto a sectores críticos identificados y descritos en el documento.		

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado UVRP - SACYR, 2019

- **Zonificación geotecnica de UF3**

Se destruye como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 5.51 Porcentaje de las diferentes unidades geotécnicas de la UF3**

UNIDAD GEOTÉCNICA	DEFINICIÓN	LONGITUD (m) (*)	%
UG1	Depósito cuaternario poco consolidado, generalmente saturado, con condiciones de estabilidad deficientes. Corresponde a depósitos coluviales o indiferenciados	4665	30,1%
UG2	Depósitos granular de origen aluvial en cauce activo o terraza inferior. Saturado, con nivel freático superficial	2766	17,8%
UG3	Depósitos granular antiguo de origen aluvial (terracea aluvial, abanico aluvial o conos de deyección), mezcla de grava y bolos redondeados o subredondeados en matriz areno limosa, en general consolidado.	5678	36,6%
UG4	Lodolitas, arcillolitas o limolitas con intercalaciones de arenisca, en estratos centimétricos o decimétricos, en general	2045	13,2%

UNIDAD GEOTÉCNICA	DEFINICIÓN	LONGITUD (m) (*)	%
	meteorizadas grado III a IV, bastante fracturadas a muy fracturadas. Ocasionalmente puede presentar niveles carbonosos. Superficialmente recubiertas por suelos coluviales de espesor en general inferior a dos metros		
UG7	Rellenos antrópicos.	356	2,3%
TOTAL		15.510	100%

(\*) Longitud medida en el eje de la vía

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado UVRP - SACYR, 2019

- **Zonificación geotecnica de UF4**

Se distribuye como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 5.52 Porcentaje de las diferentes unidades geotécnicas de la UF4**

UNIDAD GEOTÉCNICA	DEFINICIÓN	LONGITUD (m) (*)	%
UG1	Depósito cuaternario poco consolidado, generalmente saturado, con condiciones de estabilidad deficientes. Corresponde a depósitos coluviales o indiferenciados	5512	30,8%
UG2	Depósitos granular de origen aluvial en cauce activo o terraza inferior. Saturado, con nivel freático superficial	7640	42,7%
UG3	Depósitos granular antiguo de origen aluvial (terrazza aluvial, abanico aluvial o conos de deyección), mezcla de grava y bolos redondeados o subredondeados en matriz areno limosa, en general consolidado.	560	3,13%
UG4	Lodolitas, arcillolitas o limolitas con intercalaciones de arenisca, en estratos centimétricos o decimétricos, en general meteorizadas grado III a IV, bastante fracturadas a muy fracturadas. Ocasionalmente puede presentar niveles carbonosos. Superficialmente recubiertas por suelos coluviales de espesor en general inferior a dos metros	2398	13,4%
UG5	Areniscas cuarzosas feldespáticas, color blanco, bien seleccionadas, con intercalaciones de capas de limolita gris y lodolitas. En general, meteorizada grado II, localmente cubierta por suelos coluviales de menos de dos metros de potencia	1710	9,6%
UG7	Rellenos antrópicos.	80	0,5%

(\*) Longitud medida en el eje de la vía

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado UVRP - SACYR, 2019

- **Zonificación geotecnica de UF5**

Puede observarse el trazado de esta UF5, se reparte de la siguiente manera:

**Tabla 5.53 Porcentaje de las diferentes unidades geotécnicas de la UF5**

UNIDAD GEOTÉCNICA	DEFINICIÓN	LONGITUD (m) (*)	%
UG1	Depósito cuaternario poco consolidado, generalmente saturado, con condiciones de estabilidad deficientes. Corresponde a depósitos coluviales o indiferenciados	1436	23%
UG2	Depósitos granular de origen aluvial en cauce activo o terraza inferior. Saturado, con nivel freático superficial	3970	64%
UG4	Lodolitas, arcillolitas o limolitas con intercalaciones de arenisca, en estratos centimétricos o decimétricos, en general meteorizadas grado III a IV, bastante fracturadas a muy fracturadas. Ocasionalmente puede presentar niveles carbonosos. Superficialmente recubiertas por suelos coluviales de espesor en general inferior a dos metros	350	6%
UG5	Areniscas cuarzosas feldespáticas, color blanco, bien seleccionadas, con intercalaciones de capas de limolita gris y lodolitas. En general, meteorizada grado II, localmente cubierta por suelos coluviales de menos de dos metros de potencia	340	5%
UG7	Rellenos antrópicos	150	2%
TOTAL		6246	100%

(\*) Longitud medida en el eje de la vía

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado UVRP - SACYR, 2019

La cartografía de la zonificación geotécnica se presenta el ANEXO 3. DISEÑO 9. Geología/Zonificación Geotécnica.

Para las UF 3, 4 y 5, se realizó una prospección geotécnica de cada una de las estructuras del proyecto, que se relacionan en la siguiente tabla.

**Tabla 5.54 Viaductos con prospección geológico-geotécnica**

No.	DESCRIPCIÓN
1	VIA 301
2	VIA 304
3	VIA 305
4	VIA 310
5	VIA 315
6	VIA 320
7	VIA 325
8	VIA 327
9	VIA 401
10	VIA 405

No.	DESCRIPCIÓN
11	VIA 412
12	VIA 415
13	VIA 420
14	VIA 425
15	VIA 430
16	VIA 435
17	VIA 437
18	VIA 440
19	VIA 501
20	VIA 505
21	VIA 510
22	VIA 515

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

La cartografía de los viaductos se presenta en el ANEXO para cada unidad funcional 3. DISEÑO\7. Estructuras\UF-3,4,5\Volumen VIII. Diseño de Estructuras - UF3,4,5 \Anexos

- **Sitios críticos uf3**

Los principales sitios críticos detectados a lo largo del corredor de la UF3 y sus principales características se muestran en las siguientes tablas, habiéndose diferenciado los sitios críticos donde existen actuaciones de sostenimiento, de las que no presentan ninguna actuación.

En la tabla siguiente se presenta una descripción general de la zona, actuaciones realizadas y problemática encontrada.

**Tabla 5.55 Principales características de los Sitios Críticos principales de la UF3 con obras de estabilización.**

Denominación	PK Análisis	PK Inicio	PK Fin	Long. (m)	Problemática encontrada	Sostenimiento existente
Sitio crítico PR 92+150	37+900	37+900	37+955	55	Interferencia con las medidas de sostenimiento existentes	- Sistema de 3 filas de anclajes activos (40 t y L=35 m apoyados en dados de concreto) en las proximidades del río - Bulones en malla 2x2 m - Cunetas de drenaje revestidas
Sitio crítico PR 88+600	41+380	41+325	41+480	155	Interferencia con las medidas de sostenimiento existentes	- Sistema de 3 filas de anclajes activos (40 t y L=35 m apoyados en dados de concreto) - Muro anclado para protección frente a la socavación

Denominación	PK Análisis	PK Inicio	PK Fin	Long. (m)	Problemática encontrada	Sostenimiento existente
Sitio crítico PR 88+400	41+540 y 41+700	41+540	41+780	240	Interferencia con las medidas de sostenimiento existentes	- Seis filas de anclajes activos, cada 4 m aproximadamente. - Cinco bermas con pendiente 2H1V y drenaje. - Red de cunetas en forma de espina de pez.
Sitio crítico PR 87+586	42+400	42+350	42+430	80	Interferencia con las medidas de sostenimiento existentes	- Anclajes activos en malla 2mx3m. - Soil-nailing (bulones en malla 2x2 m y capa de hormigón proyectado). - Drenes horizontales.
Sitio crítico PR 85+600	43+920, 43+990, 44+070, 44+260	43+870	44+370	500	Interferencia con las medidas de sostenimiento existentes	- Siete filas de anclajes activos. - Soil-nailing (bulones en malla 2x2 m y capa de hormigón proyectado). - Drenes horizontales.
Sitio crítico PR 85+150	44+680	44+650	44+730	80	Interferencia con las medidas de sostenimiento existentes	- Muro anclado para protección frente a la socavación - Muro convencional - Siete filas de anclajes activos.

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

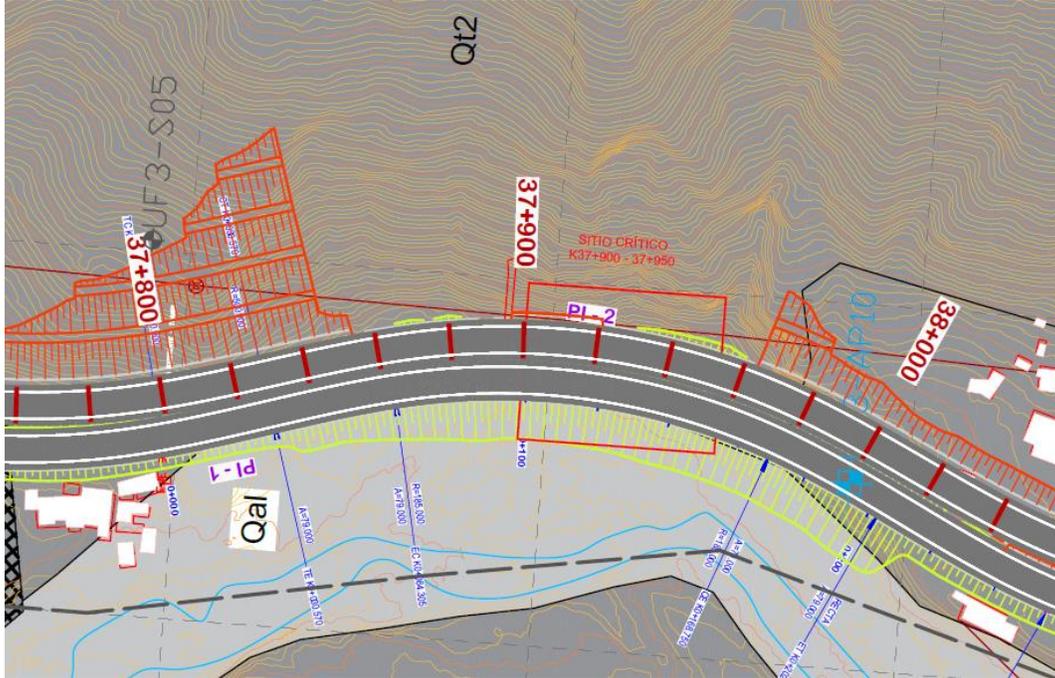
A continuación se presenta la geología con Planos Planta-Perfil y las actuaciones realizadas para controlar la zona inestable.

- Sitio Crítico K37+900-K37+955 (PR 92+150)

En este sector, de 55 m de longitud, la nueva calzada se ubicará parcialmente sobre las medidas de estabilización ejecutadas en el área, y que consisten básicamente en: cuatro filas de anclajes activos de 40 toneladas, anclajes pasivos tipo GEWI cada 2 m con malla TECCO, fila de drenes horizontales al pie del talud, red de cunetas de drenaje de la ladera natural y box coulvert bajo vial actual para dar salida al agua drenada. Además, existe un muro de concreto reforzado en la margen externa de la banca para protección frente a la socavación del río Pamplonita cuya construcción fue anterior a las actuaciones de la ANI del año 2014-2016.

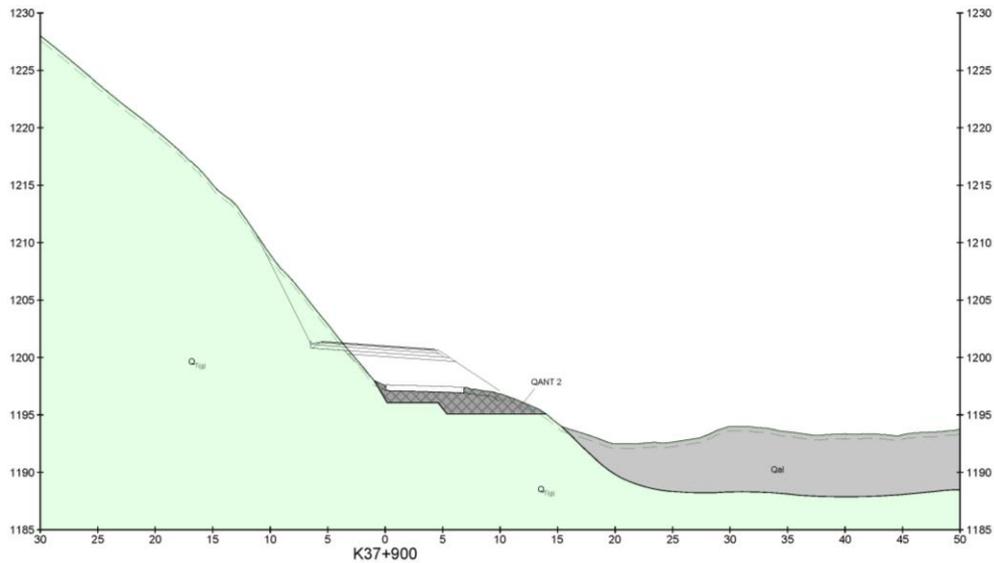
La zona donde se ubica el presente punto crítico se encuentra ocupada por un importante depósito de terraza aluvial (QT) constituida a su vez, por la subunidad granular (QT-G) de gravas heterométricas, poligénicas y redondeadas en una matriz areno-limosa. El espesor de estos depósitos supera ampliamente los 40 m, por lo que el sustrato rocoso no se verá afectado por el nuevo trazado en estudio. Estos depósitos se encuentran secos, no habiéndose detectado nivel freático. No obstante, en épocas lluviosas la acción del agua de escorrentía puede generar procesos erosivos y arrastres de material, lo que explicaría los sistemas de drenaje superficial actualmente construidos. En la siguiente Figura se muestra la planta geológica de esta zona.

**Figura 5.39 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**



Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

**Figura 5.40 Sección transversal geológica por el K37+900**



Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

**Actuaciones existentes**

Las actuaciones existentes y realizadas por la ANI en este punto crítico formaron parte del desarrollo del Contrato No. 136 de 2014 para la Reconstrucción y estabilización de sitios críticos en la vía Cúcuta-Pamplona. Las actuaciones realizadas se denominaron como punto crítico del PR93+000, si bien las actuaciones finalmente se ejecutaron en un tramo de unos 100 m entre las abscisas 92+125 y 92+225.

En la siguiente Figura se presentan la ubicación de los diferentes tipos de sostenimiento ejecutados para la estabilización de punto crítico.

**Figura 5.41 Esquema en planta de los sostenimientos dispuestos en el punto crítico PR92+150.**



Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

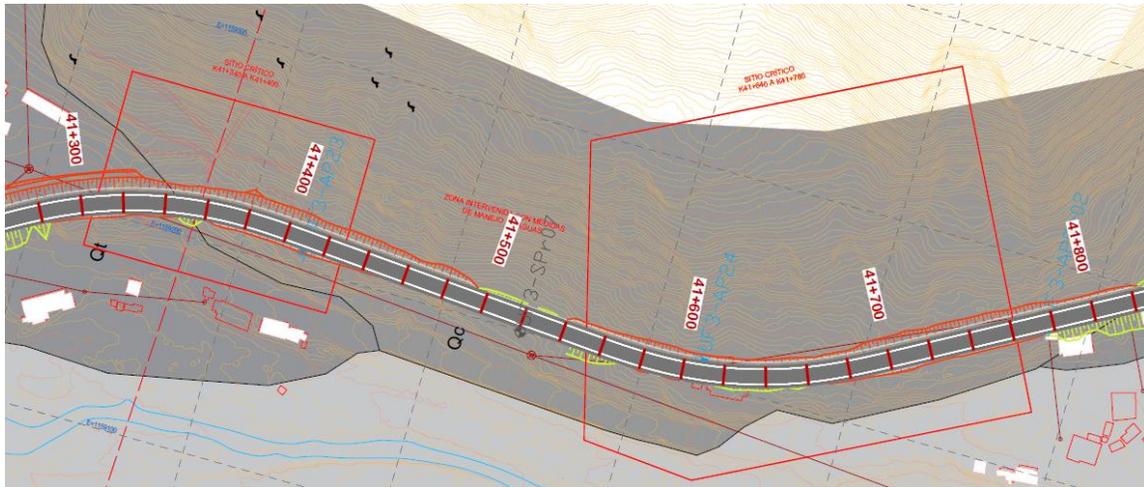
Las actuaciones realizadas comprenden:

Sistema de cuatro filas de anclajes activos de 40t cada 3 m. Longitud aproximada de cada anclaje de 30-35 m, apoyados sobre zapatas de concreto reforzado de 1,5x1,5x0,4 m y dados de apoyo de Sika de concrelito de 0,3x0,3x0,1 m. Longitud de bulbos de 15 m. Diámetro de perforación de 4" (10 cm) e inclinación de cada anclaje de 15°.

- Sitio Crítico K41+325- K41+480 (PR 88+600)

Sitio crítico con coluvial estabilizado mediante un re-perfilado del terreno en bancas de 4-5 m de altura, separadas por bermas de 3 m, y con pendientes de 2H/1V, anclada mediante un sistema de tres filas activas de unas 40 toneladas, separadas de 4 a 6 m. También se observan cunetas en espina de pez, así como un sistema de drenes horizontales en cada berma, que ayudan a drenar el coluvial inestable, mitigando futuros movimientos de ladera.

**Figura 5.42 Planta geológica del punto crítico K41+400 (izquierda) y punto crítico K41+640 (derecha)**



Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

Actuaciones existentes

Las actuaciones realizadas se pueden resumir en:

Sistema de anclajes dispuestos en tres filas irregulares

Sistema de cunetas en coronación

Muro de contención de 9 m de altura estabilizado con una fila de anclajes activos de 40t y 18 m de longitud cada uno y protección mediante hexápodos de hormigón para minimizar la socavación del río en época invernal.

Perfilado del terreno en cinco bancadas

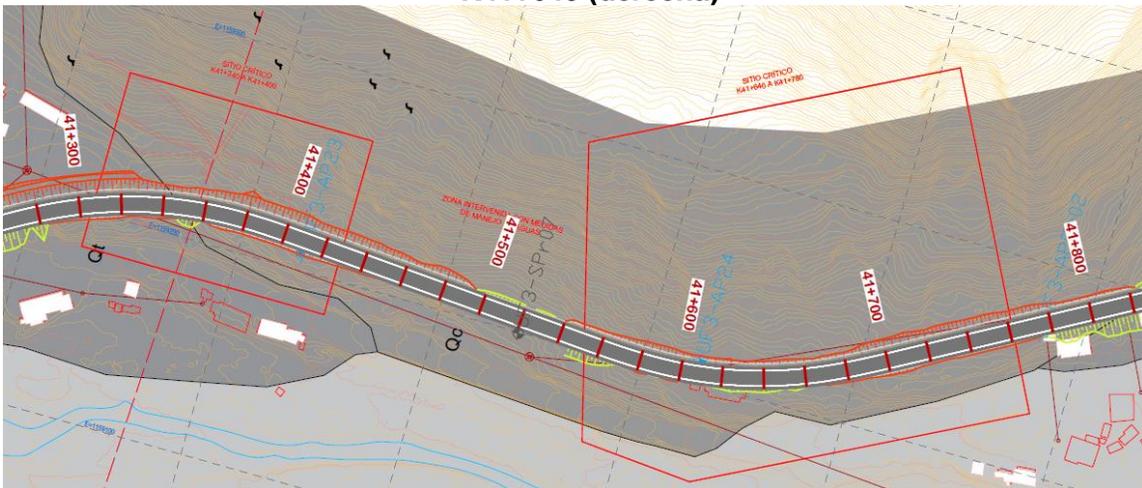
Drenes horizontales en cada berma y red de cunetas en espina de pez

- Sitio Crítico K41+540-K41+780 (PR 88+400)

Este sitio crítico se localiza entre las abscisas K41+540-K41+780, donde el trazado discurre en corte de excavación afectando a depósitos coluviales (Qc). La ladera afectada se encuentra estabilizada mediante un re-perfilado del terreno en bancas de 4-5 m de altura, separadas por bermas de 3 m, y con pendientes de 2H/1V, anclada mediante un sistema de seis filas activas de unas 40 toneladas, separadas de 4 a 6 m. También se encuentran cunetas en espina de pez, así como un sistema de drenes horizontales en cada berma, que ayudan a drenar el coluvial inestable, mitigando futuros movimientos de ladera. En la margen derecha de la calzada existe un muro anclado, protegido con escollera, para evitar la socavación del río Pamplonita.

Esta área la conforma un depósito coluvial de unos 10 m de espesor constituido por gravas heterométricas y subangulosas englobadas en una matriz limo-arenosa algo arcillosa (QC-G). este depósito descansa sobre la terraza aluvial del río Pamplonita, la cual presenta espesores elevados, no viéndose afectado el sustrato rocoso de la zona. En la siguiente Figura se muestra la planta geológica de esta zona.

**Figura 5.43 Planta geológica del punto crítico K41+400 (izquierda) y punto crítico K41+640 (derecha)**



Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

Actuaciones existentes

Las actuaciones realizadas se pueden resumir en:

Sistema de cunetas en coronación y bajante escalonada.

Perfilado del terreno en cinco bancadas

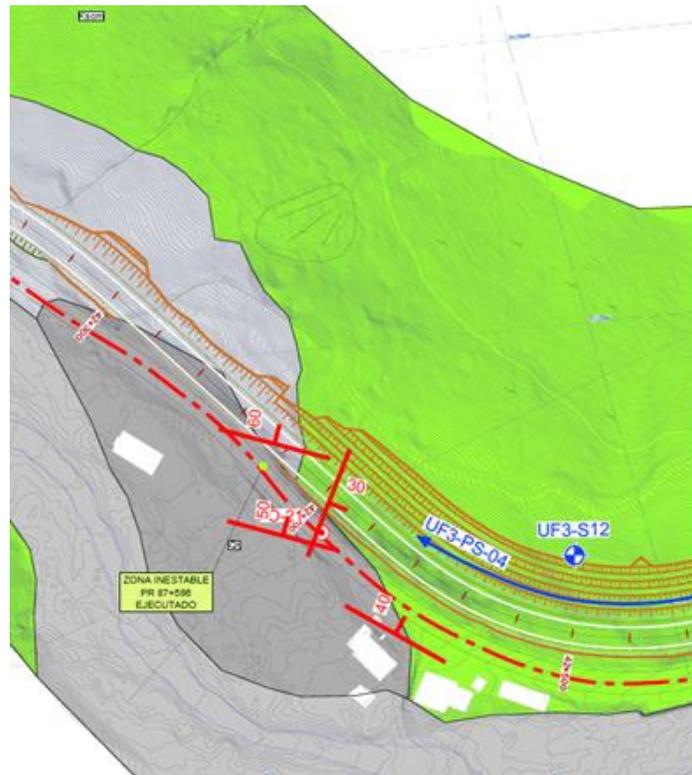
Drenes horizontales en cada berma y red de cunetas en espina de pez

- Sitio Crítico K42+350-K42+430 (PR 87+586)

Este sitio inestable se encuentra localizado entre las abscisas K42+350 y K42+430, a lo largo de 80 metros sobre el trazado de la vía actual. El talud del margen izquierdo, que será intervenido por el proyecto para la construcción de la nueva calzada, se encuentra excavado en coluvión (QC). Actualmente presenta una intervención de estabilización importante, consistente en un sistema de anclajes con dados de concreto y concreto lanzado, además de un sistema de manejo de aguas con cunetas en concreto en la parte más alta. Dicha obra se ve claramente afectada por el nuevo trazo de la vía en este sector.

Como ya se ha mencionado, la ladera afectada se encuentra constituida por un depósito coluvial formado por gravas y bolos de areniscas en matriz limo-arenosa (unidad QC-G) de consistencia medianamente densa a densa. El espesor de este depósito coluvial alcanza los 14 m en el eje del nuevo trazado. Bajo estos depósitos coluviales se encuentra un importante nivel de terrazas aluviales compuestas por gravas y bolos poligénicos y heterométricos redondeados englobados en una matriz areno-limosa muy densa (unidad QT-G). En la siguiente Figura se muestra la planta geológica de esta zona.

**Figura 5.44 . Planta geológica del sitio crítico.**



Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019



con bajantes escalonadas y una alcantarilla de 36" para el descole del agua proveniente de estos canales. En la siguiente imagen se muestra un detalle de estos drenajes. Instalación de 87 anclajes activos de 50 t (4 torones), de unos 30 m de longitud total, con 15 m de bulbo, 4" de diámetro de perforación, inclinados 15° y dispuestos en la zona inferior del talud. Estos anclajes se distribuyen en 3 filas con separaciones entre anclajes de unos 2 m y separación entre filas variable. En cabeza de cada anclaje se dispone una zapata de concreto reforzado de 1.5x1.5x0.4 m y dado de anclaje de 0.3x0.3x0.10-0.18 m.

Acompañando a la fila de anclajes inferior, se ejecutó una batería de drenes horizontales o californianos de 30 m de longitud, separados 3 m y con inclinación ascendente de 5°. En la mayor parte del sector ocupada por los anclajes activos, se dispuso también de un tratamiento mediante pernos pasivos de 4 m de longitud (soil nailing), malla Q4 y concreto lanzado de 3000 psi.

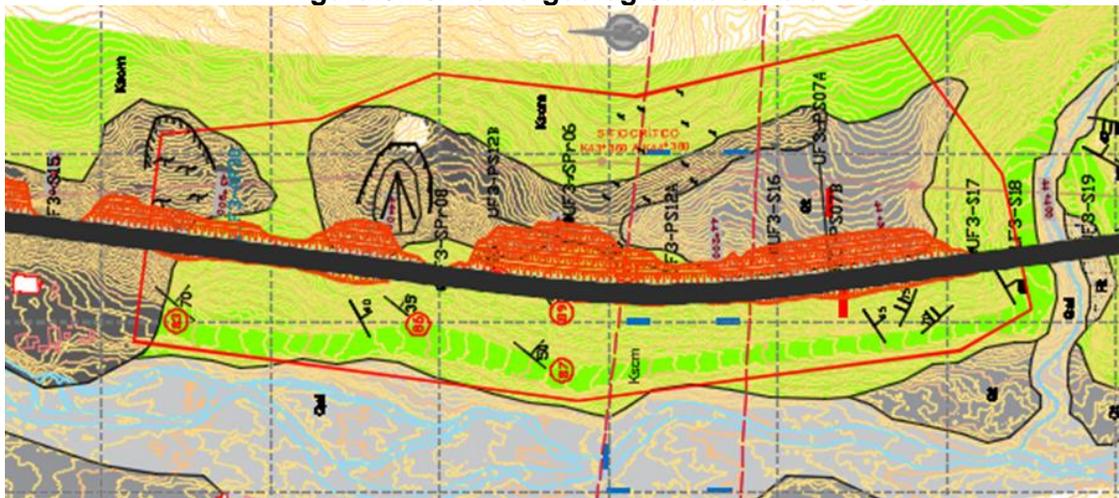
Finalmente, se repuso la cuneta al pie del talud y se ejecutó una nueva alcantarilla con caja colectora, tubería de 36" y descole al otro lado de la vía para dar salida a las aguas de escorrentía y las procedentes de los drenes horizontales.

- Sitio Crítico K43+870-K44+370 (PR 85+600)

Este sitio se localiza entre las abscisas K43+870 y K 44+370, a lo largo de 500 metros de longitud sobre el trazado de la vía (ver siguiente Figura). De todas las afecciones del proyecto a obras de estabilización existente, ésta se puede considerar la más importante a lo largo de la UF3.

En este sector se aprecia un sustrato rocoso perteneciente a la Fm. Colón Mito Juan (Kscm), cubiertos por depósitos coluviales (Qc) y de terraza aluvial (Qt). Adicionalmente, se evidencian dos coronas de deslizamiento (una de ellas con un lóbulo de material deslizado); además de mostrar superficies con reptación superficiales. En la siguiente Figura se muestra la planta geológica de esta zona.

**Figura 5.46 Planta geológica del sitio crítico.**



Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

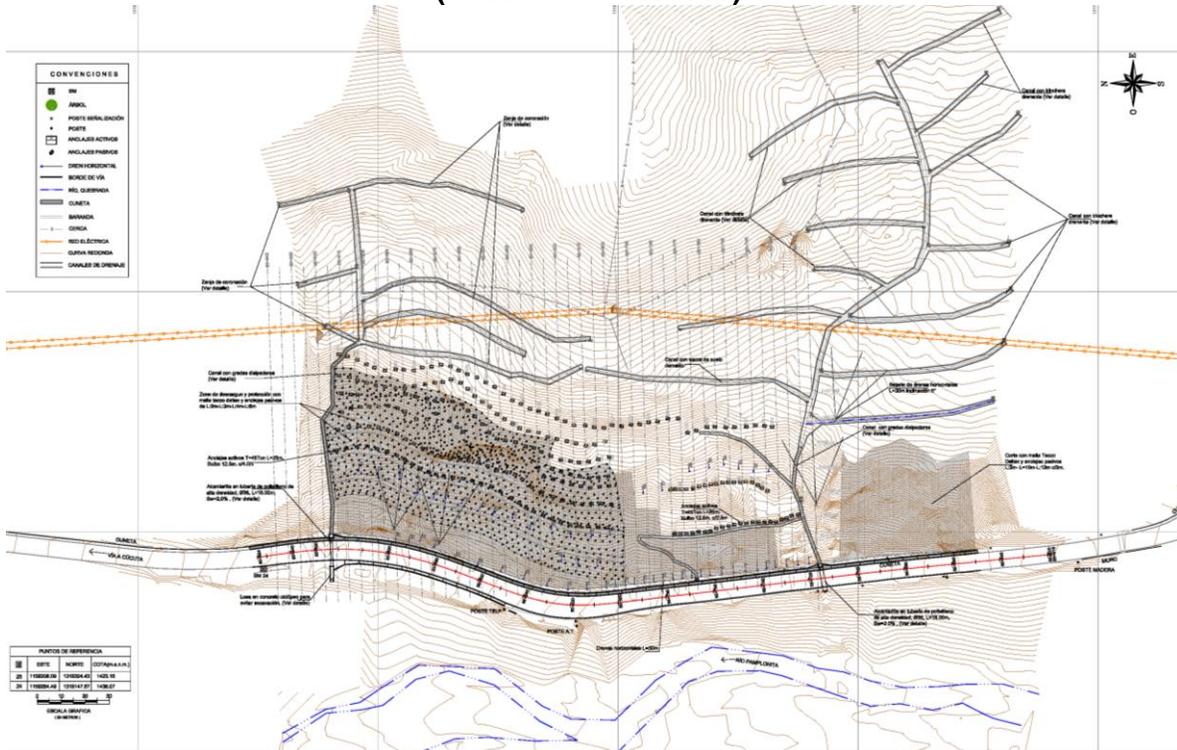
**Actuaciones existentes**

En este punto crítico se han efectuado distintas actuaciones, las cuales se concentran en el sector situado entre las abscisas K44+030-K44+230 (PR 85+600 al PR 85+950). A continuación, se describen estas actuaciones.

La estabilización del talud se realizó mediante la perforación de pernos pasivos y protección con el sistema de malla DELTAX G80-2 mm con accesorios TECCO (incluyendo Agromanto), perforación de anclajes activos (257 en total) y una serie de canales de drenaje distribuidos en la parte superior del talud. El manejo de las aguas de escorrentía de estos canales se culmina mediante dos bajantes principales, al inicio y fin de la zona de actuación, mediante escalonado o gradas disipadoras. Finalmente, estas dos bajantes desaguan a sus correspondientes alcantarillas (K85+720 y K85+922) ejecutadas con tubería de polietileno de 36" bajo la calzada de la vía actual. Además, se instalaron 61 drenes horizontales de 2" de diámetro para drenaje de aguas subterráneas las cuales circulan a las cunetas de borde de la vía actual entre los PR 85+720 y PR85+920.

En la siguiente Figura se muestran todas las actuaciones realizadas:

**Figura 5.47 Actuaciones realizadas por la ANI en el punto crítico K43+890-K44+380 (PR85+600-PR85+950).**



Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

De manera más detallada, las actuaciones realizadas son las siguientes:

Re-perfilado del talud en depósito coluvial en bancadas de unos 5-7 m de altura al 1H/1V con bermas intermedias de 2-3 m de anchura. La inclinación de las bancadas en roca alcanza inclinaciones del 1H/3V.

Excavación de zanjas y canales de drenaje, entre los que se distinguen: canales principales con sacos de suelo cemento, zanjas de coronación s y zanjas de coronación drenantes.

Bajantes escalonadas (disipadores) con sacos de suelo cemento en la zona alta del talud y bajantes escalonadas de concreto reforzado en la zona baja de mayor pendiente:

Distintas filas de anclajes activos de 4 torones de ½" de diámetro, 4" diámetro de perforación, 45t de capacidad, 12,5 m de bulbo y 25 m de longitud total. En cabeza, se dispone zapata o dado de apoyo de concreto reforzado de 1.5x1.5x0.4 m.

Pernos pasivos de barra de 25 mm de diámetro con longitudes variables de 3 a 12 m en malla triangular de 3 m de lado, dispuestos junto a malla metálica TECCO-DELTA.

Batería de drenes horizontales (drenes californianos) de 30 m de longitud y 5° de inclinación ascendente dispuestos en una fila al pie del talud con separaciones de 8 a 10 m entre cada uno.

Dos alcantarillas de desagüe con tubería de polietileno de alta densidad de 36" y L=8 m e inclinación al 2%, con losa en concreto ciclópeo para evitar socavación.

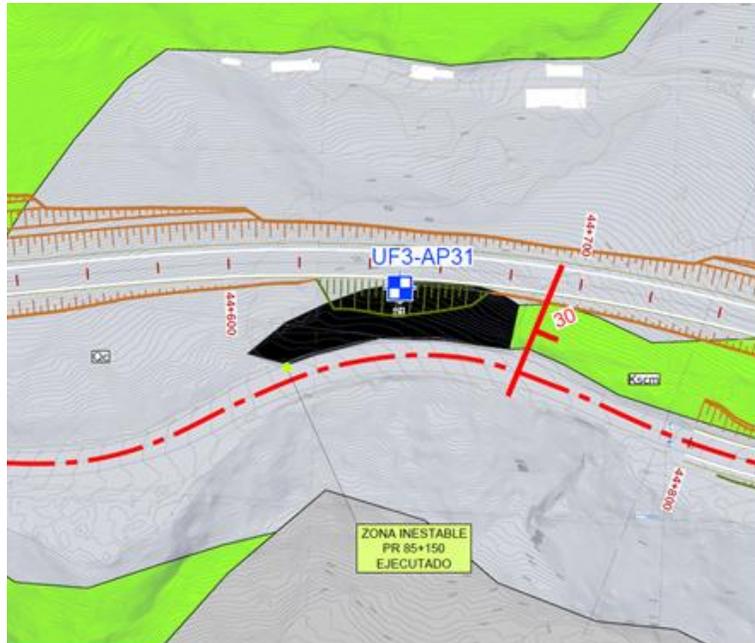
- Sitio Crítico K44+650-K44+730 (PR 85+150)

Este sitio se localiza entre las abscisas K44+650 y K44+730, a lo largo de 80 metros de longitud sobre el trazado de la vía (ver siguiente Figura).

En este sector se aprecia un sustrato rocoso perteneciente a la Fm. Colón Mito Juan (Kscm) formado por estratos de arcillolitas de color gris azulado con fracturación intensa ortogonal a la estratificación. En este sector también se aprecia un depósito de coluvión generado a partir de desprendimiento de los materiales correspondientes a las arcillolitas mencionadas y un relleno antrópico sobre el cual hay un cultivo.

El depósito coluvial se estima con un espesor de 5 a 8 m y previsiblemente constituido por gravas de lutitas en una matriz limo-arcillosa (QC-C).

**Figura 5.48 Planta geológica del punto crítico**



Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

Por su parte, el depósito antrópico empleado como suelo de cultivo se estima en espesor de 1 a 2 m máximo, con una composición limo-arcillosa poco consolidada.

No se prevé la presencia de nivel freático dentro del coluvial, si bien los riegos de la zona sembrada harán que el material del coluvial infrayacente se encuentre normalmente saturado.

#### Actuaciones existentes

En este sitio crítico se han ejecutado dos muros de concreto, el de la margen derecha anclado, y el de la margen izquierda en ménsula. Además, hay siete anclajes en fila, por encima del muro ménsula, que refuerzan una parte de la ladera que tiene procesos de inestabilidad.

- Sitios críticos UF4

A lo largo del corredor de la UF4 se han detectado cuatro sitios críticos. Sus principales características se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 5.56 Principales características del Sitio Crítico situado en la UF4.**

Denominación	PK Análisis	PK Inicio	PK Fin	Long. (m)	Problemática encontrada	Actuaciones realizadas
Sitio Crítico K19+300-K19+460	19+340 19+390	19+300	19+480	260	Deslizamiento activo y socavación de pie de ladera	Ninguna
Sitio Crítico K25+130-K25+600	25+170	25+130	25+600	470	Relleno en llanura de inundación	Ninguna
Sitio Crítico K26+820-K26+880	26+840	26+820	26+880	60	Socavación del margen del río	Ninguna
Sitio Crítico K30+000-K30+160	30+050	30+000	30+160	160	Caída de bloques	Ninguna
Sitio Singular K21+000-K21+100	-	21+000	21+100	100	Proximidad a fuentes de aguas termales	Ninguna

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

A continuación, se presenta una descripción general de la zona, actuaciones realizadas y problemática encontrada.

- Sitio Crítico K19+300-K19+460

Se trata de un sector de 160 m de longitud del trazado de la calzada de nueva construcción que se ve afectado por movimientos de ladera activos de considerable proporción. El sector afectado se encuentra flanqueado por dos fallas que condicionan el cauce del río Pamplonita. Además, el hecho de que el río Pamplonita forme un quiebro en esta zona genera un proceso de socavación del río en el pie de la ladera afectada.

En la zona no se han ejecutado ningún tipo de actuación o de medida correctora hasta la fecha.

El presente punto crítico se ubica en una ladera en el cauce del río Pamplonita sobre materiales de la Fm. Capacho (unidad Kic). En la ladera se pueden encontrar cuerpos coluviales (Qc) resultado de la removilización de suelos residuales del sustrato rocoso.

En la siguiente Figura se muestra la planta geológica de esta zona.

**Figura 5.49 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**

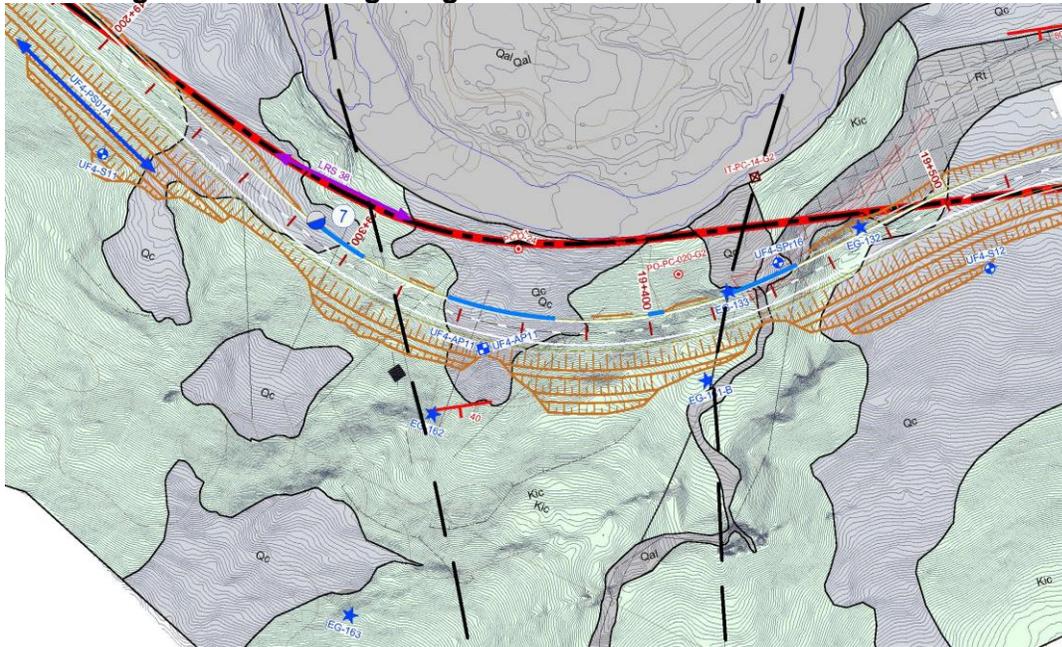


Figura 1. Planta geológica del sitio crítico K19+220 - K19+480

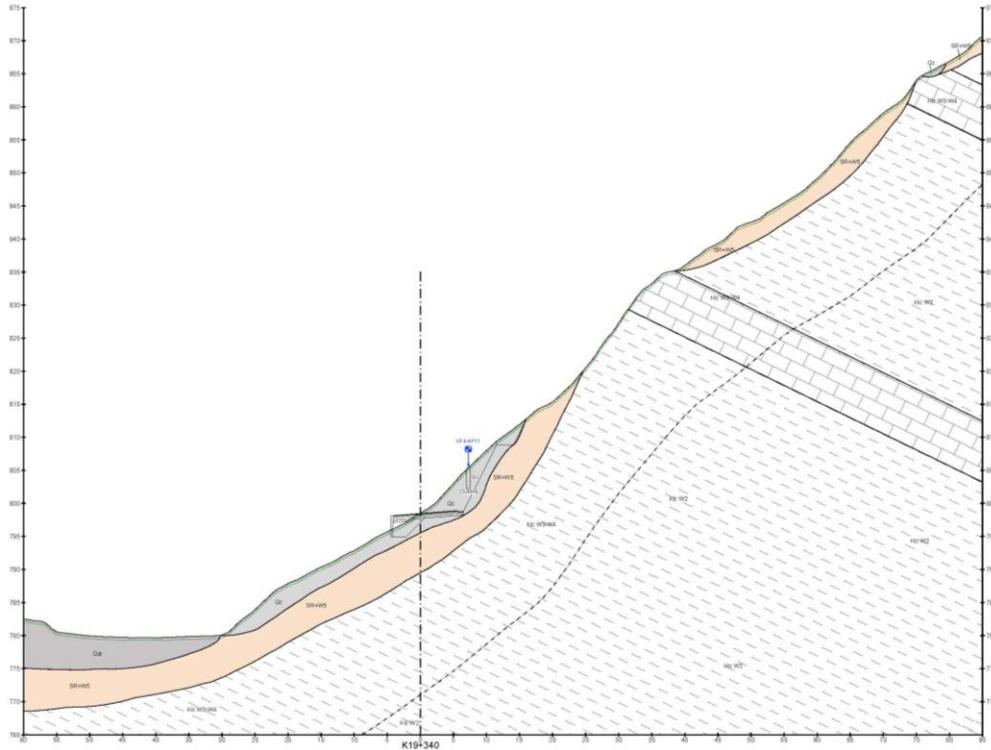
Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

En general, desde el punto de vista litológico, el sustrato rocoso está formado por una alternancia de areniscas de grano fino, lutitas carbonosas, físis y limolitas con micas diseminadas correspondientes a la Fm. Capacho.

La zona se encuentra afectada por dos fallas cuyo juego ha desplazado 130m el curso del río Pamplonita hacia el Oeste. La confluencia de las dos fallas definidas genera una zona fuertemente descomprimida. No se aprecian estructuras de compresión, tipo franjas milonitizadas.

En las siguientes ilustraciones se muestra la sección geológica de esta zona.

**Figura 5.50 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**



**Figura 2. Sección transversal geológica en K19+340**

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

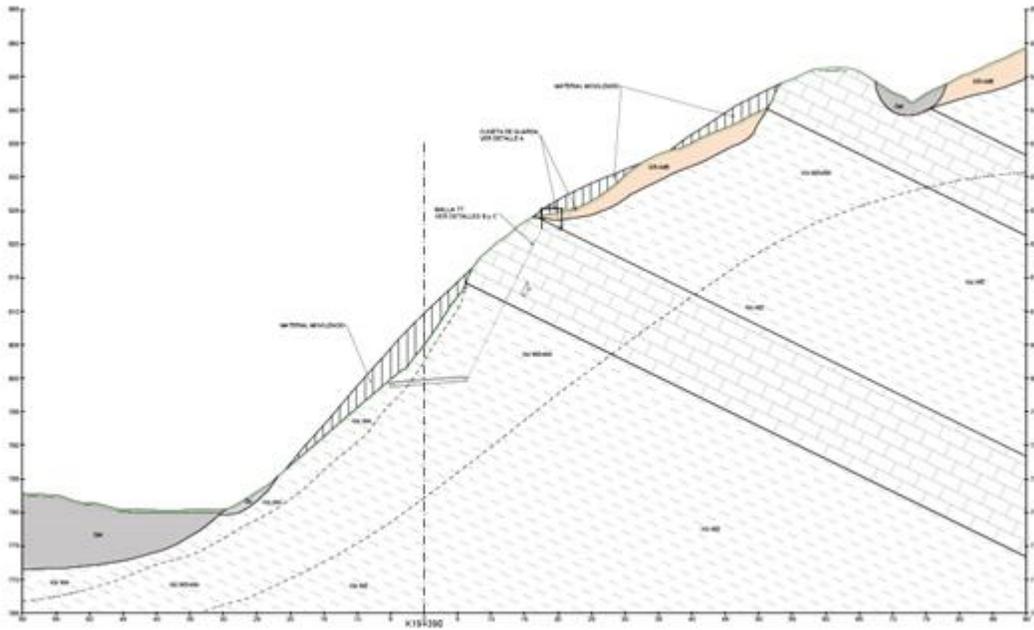


Figura 3. Sección transversal geológica en K19+390

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

**Figura 5.51 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**

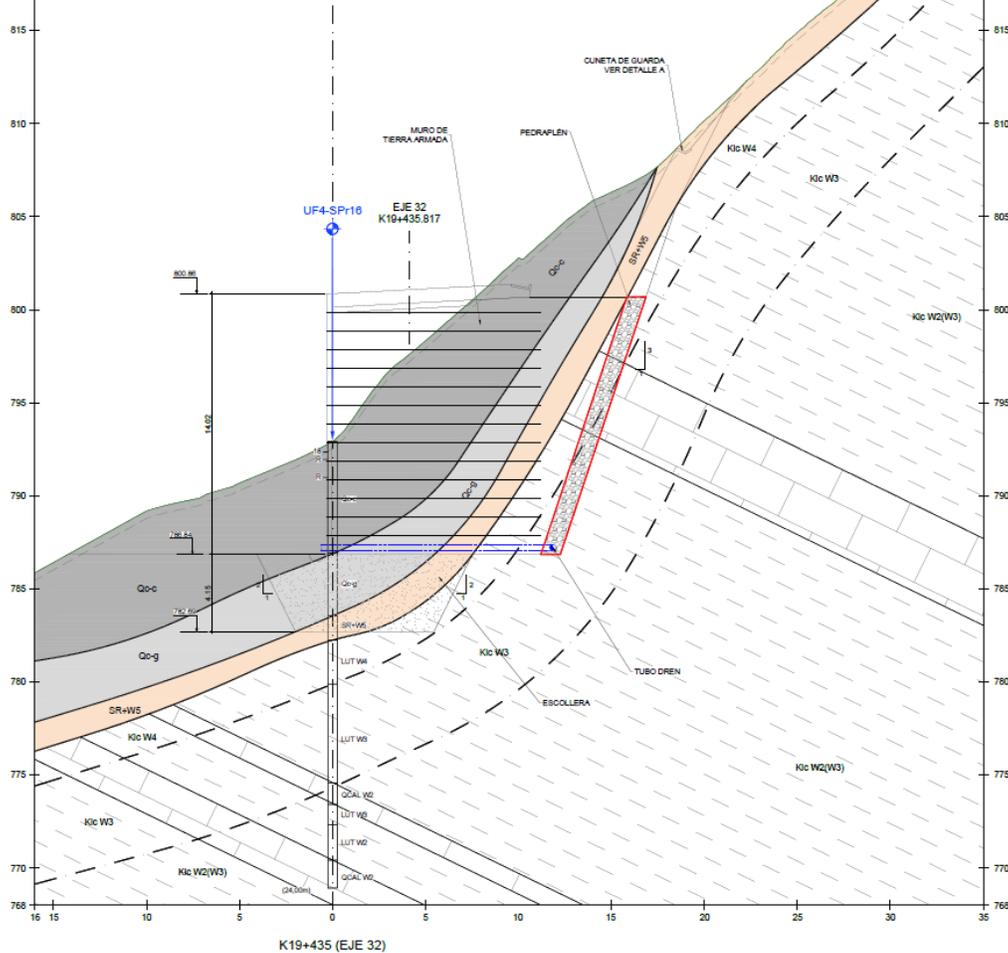


Figura 4. Sección transversal geológica en K19+435 Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

**Actuaciones existentes**

En la zona no se ha realizado ninguna actuación para remediar el deslizamiento activo dado que éste no afecta a ninguna infraestructura existente.

Dentro del sitio crítico, se han distinguido tres tramos:

19+300-19+350: en esta zona de la vía se construirá sobre una masa de suelo coluvial junto a suelos eluviales que aún no han deslizado.

19+350-19+425: en esta otra zona, aflora el sustrato rocoso como se ve en la fotografía inferior, dado que la socavación del río ha movilizado con anterioridad la capa de suelos coluviales y residuales inestables que cubrían la ladera.

19+425-19+460: aquí aparece un coluvial que llega a alcanzar los 10m de espesor en su zona central y sobre el que se ha proyectado un muro de suelo reforzado.

Además de estos tres tramos pertenecientes al trazado proyectado, se deberá abordar el problema detonante de los deslizamientos actualmente existentes en la ladera, es decir, la socavación al pie de la ladera producida por el encajamamiento del río Pamplonita en este sector.

Sitio Singular K21+000-K21+100

Descripción general

Se incluye dentro de este capítulo este enclave singular, más que crítico, caracterizado por la presencia de varias surgencias de aguas termales; en concreto, se han identificado tres en las siguientes coordenadas

Desde el punto de vista geológico, en el emplazamiento localiza sobre rocas muy fracturadas correspondientes a areniscas y limolitas, de a la Formación Capacho de Durania, que se muestran a continuación. Se idéntica la presencia de una falla que favorece la circulación y aparición de las surgencias indicadas. En la siguiente Figura se muestra la planta geológica de esta zona.

**Figura 5.52 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**



Figura 5. Detalle de la litología y la falla observada en el sitio singular. (Fuente: Elaboración propia).

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

Actuaciones existentes

En la zona no se han ejecutado ningún tipo de actuación o medida de protección de estos manantiales. No obstante, el trazado discurre suficientemente alejado como para no afectar a los mismos.

Sitio Crítico K25+480-K26+040

#### Descripción general

La actuación prevista en este sitio crítico consiste en un terraplén de altura máxima 8,6 m, proyectado para la nueva vía y emplazado sobre la llanura aluvial actual del río Pamplonita. Los estudios de inundabilidad realizados determinan que el riesgo de inundación se extiende en este relleno en una longitud de 560m

En la zona del terraplén se encuentra la llanura aluvial actual del río Pamplonita que se dispone al Este de la nueva vía. Al Oeste se encuentra una ladera en la que aparece la secuencia sedimentaria correspondiente a la Fm. Aguardiente (Kia), compuesta por estratos de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, lutitas negras micáceas y limolita gris, dura y con costras de oxidación rojizas en la parte alta del talud. En la parte baja de la ladera se localizan importantes depósitos de derrubios. En las siguientes ilustraciones se muestra la planta geológica de esta zona.

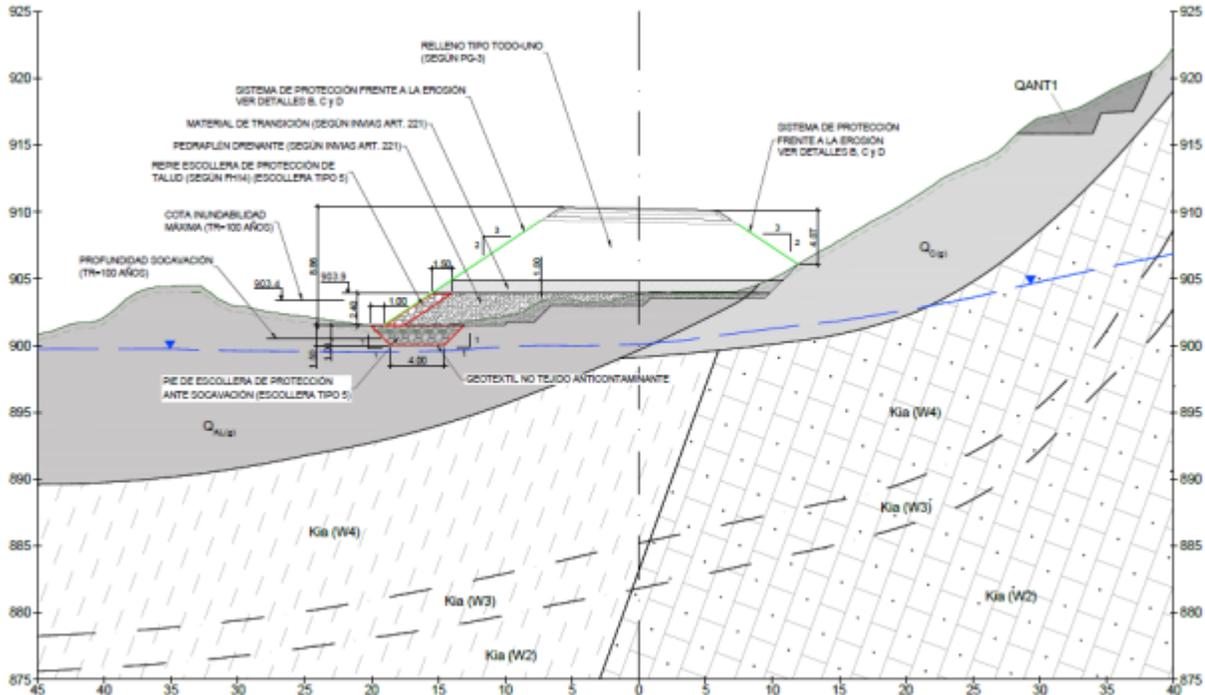
**Figura 5.53 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**



Figura 6. Planta geológica del sitio crítico K25+480 – K26+040

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

**Figura 5.54 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**



**Figura 7. Sección transversal geológica en el Sitio Crítico 25+480-26+040 (K25+540)**

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

**Actuaciones existentes**

En la zona no se ha realizado ninguna actuación dado que el terraplén es de nueva construcción.

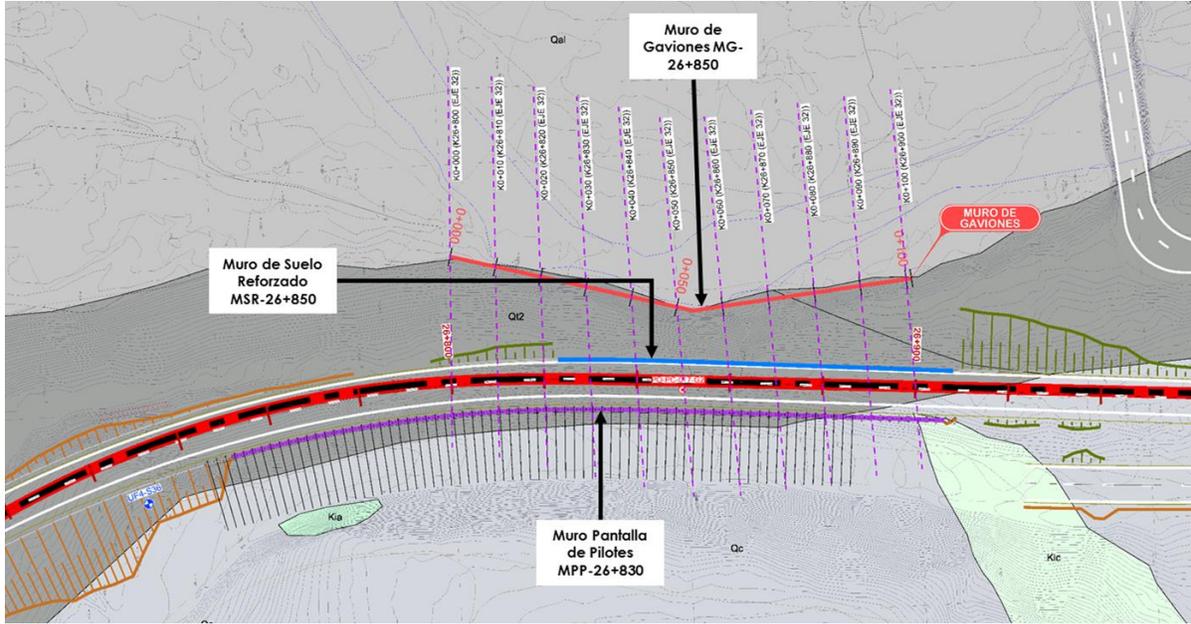
**Sitio Crítico K26+820-K26+880**

**Descripción general**

El presente sitio crítico consiste en un sector de 60m en el que el trazado de la nueva vía se emplaza en el margen externo de un meandro del río Pamplonita. Dicho margen es una ladera en la que aparecen depósitos de terraza aluvial y en cuyo pie se está produciendo socavación por acción del río.

En este sector el trazado de la vía transcurre sobre depósitos cuaternarios de terraza aluvial (Qt), hacia el oeste, en la parte alta del talud se tienen depósitos de coluvión. En la siguiente Figura se muestra la planta geológica de esta zona.

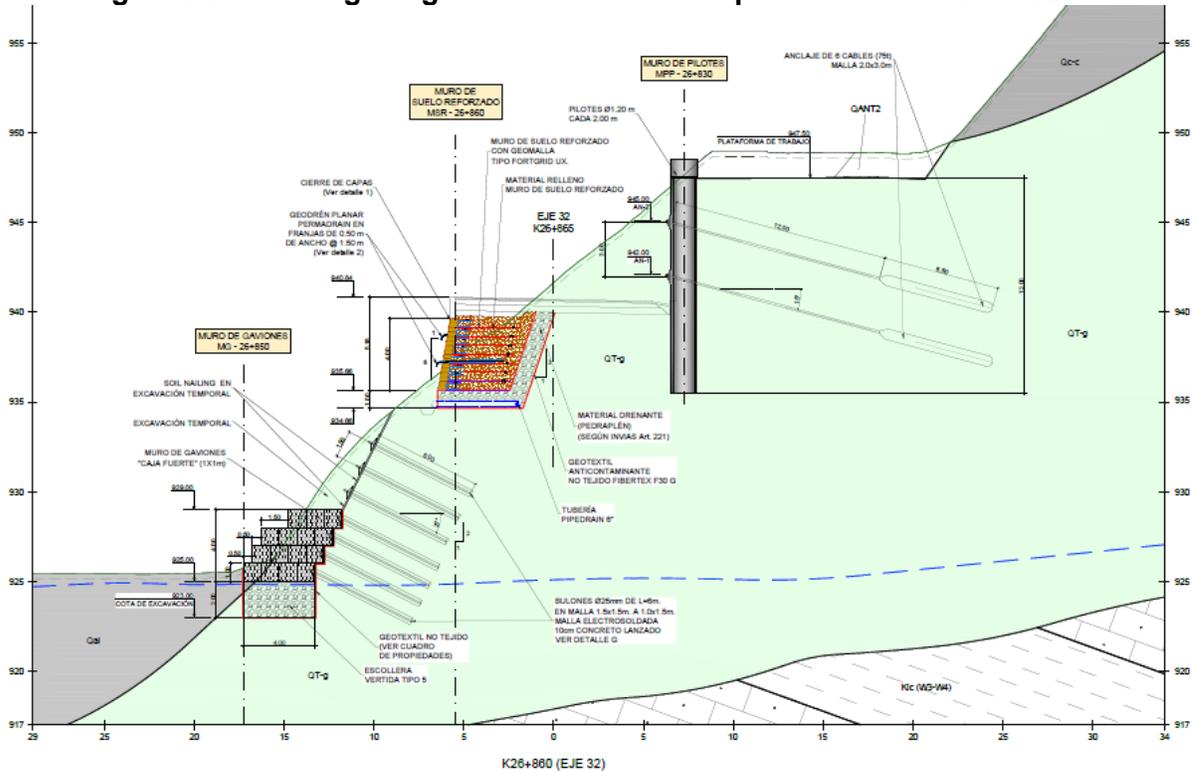
**Figura 5.55 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**



**Figura 8. Planta geológica del sitio crítico K26+820 – K26+880**

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

**Figura 5.56 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**



**Figura 9. Sección transversal geológica en K26+860**  
Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

**Actuaciones existentes**

En la zona no se han ejecutado ningún tipo de actuación de defensa del margen del río.

**Sitio Crítico K30+000-K30+160**

**Descripción general**

Se trata de un sector de 160 metros de longitud en que el trazado en el que se prevé un desmonte mayoritariamente afectando al macizo rocoso, de altura superior a 50m, sobre los niveles de lutitas, areniscas y calizas de la Fm. Capacho.

Se han identificado secuencias de caliza en estratos de espesor métrico con presencia de juntas abiertas con buzamiento de unos 40° - 60° hacia el corte. Se trata de planos con gran continuidad lateral (métrica a decamétrica) que pueden originar desprendimientos por formación de bloques. Se recomienda especial atención en el diseño del talud. En la siguiente Figura se muestra la planta geológica de esta zona.

**Figura 5.57 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**

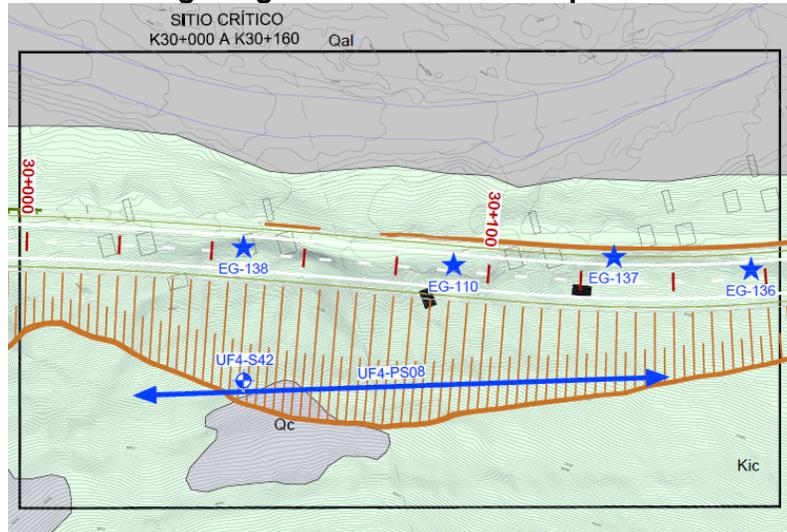


Figura 10. Planta geológica del sitio crítico K30+000 – K30+160

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

#### Actuaciones existentes

En la zona no se han ejecutado ningún tipo de actuación o de medida correctora de sostenimiento previa.

#### SITIOS CRITICOS UF5

El único sitio crítico detectado a lo largo del corredor de la UF5 y sus principales características se muestran en la siguiente tabla.

Denominación	PK Análisis	PK Inicio	PK Fin	Long. (m)	Movimientos de ladera	Sostenimiento
Sitio crítico PR 113+200	16+895 16+865	16+825	16+925	100	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pantalla inferior (L=90 m) de micropilotes de concreto (D=25 cm y L=11.60 m a 2 m entre ejes) y anclado (39 anclajes activos 40 t y L=20 m) atada por viga de concreto en coronación.</li> <li>- Pantalla superior (L=76 m) de pilotes perforados (38 pilotes de D=1.20 m y L=20 m a 2 m entre ejes) y anclados (38 anclajes activos de 50 t y L=35 m) atada por viga de concreto en coronación.</li> <li>- Muro de 3 m de altura sobre la pantalla de pilotes</li> <li>- Sistema de 2 filas de 65 anclajes activos cada una (50 t y L=35 m apoyados en losa de concreto) en la margen izquierda de la calzada.</li> <li>- Cunetas de drenaje revestidas</li> <li>- Batería de drenes (L=30 m cada 3 m).</li> </ul>

Tabla 57. Principales características del Sitio Crítico situado en la UF5.

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

A continuación, se presenta una descripción general de la zona, actuaciones realizadas y problemática encontrada.

- Sitio Crítico K16+825-K16+925 (PR 113+200)

En este sector de 100 m de longitud se encuentra prevista la construcción de una nueva calzada cuya localización coincide con la presencia de una zona en la que existen medidas de estabilización importantes, las cuales se verán afectadas con su construcción. En concreto, se han identificado dos pantallas ancladas en la margen izquierda de la vía - una inferior de micropilotes y otra de pilotes - un muro de tres metros de altura sobre la pantalla de pilotes, un sistema de 2 filas de anclajes, una batería de drenes horizontales, inyecciones de lechada de cemento y una red de canales de drenaje de sacos de suelo-cemento.

La zona donde se ubica el presente punto crítico se encuentra ocupada por un importante depósito de terraza aluvial (QT) constituida a su vez, por la subunidad granular (QT-G) de gravas heterométricas, poligénicas y redondeadas en una matriz areno-limosa. En la

siguiente Figura se muestra un extracto de la planta geológica de este punto crítico. El espesor de estos depósitos supera ampliamente los 40 m ladera arriba, presentando espesores bastante más reducidos en la zona de actuación, donde apenas alcanza los 3 m de espesor (ver perfil transversal en las ilustraciones siguientes). Bajo este depósito de terraza se detectan unos 4 m de suelos residuales y saprolitos desarrollados sobre el sustrato rocoso lutítico muy alterado (W4) de la Fm. Colón Mito-Juan (unidad Kscm) hasta una profundidad de unos 10-12 m, donde se detecta el sustrato rocoso moderadamente alterado (Kscm W3-W2). En la siguiente Figura se muestra la planta geológica de esta zona.

**Figura 5.58 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**

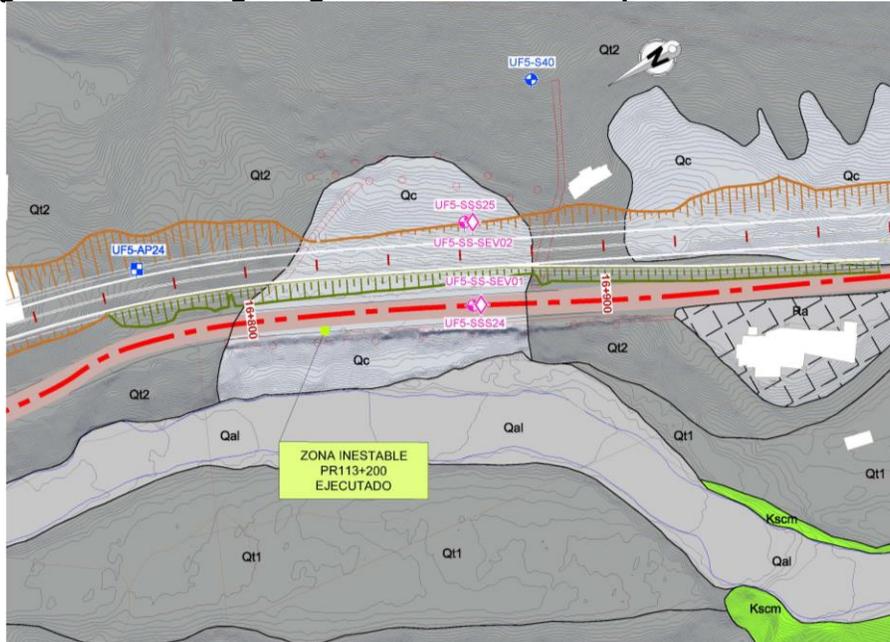
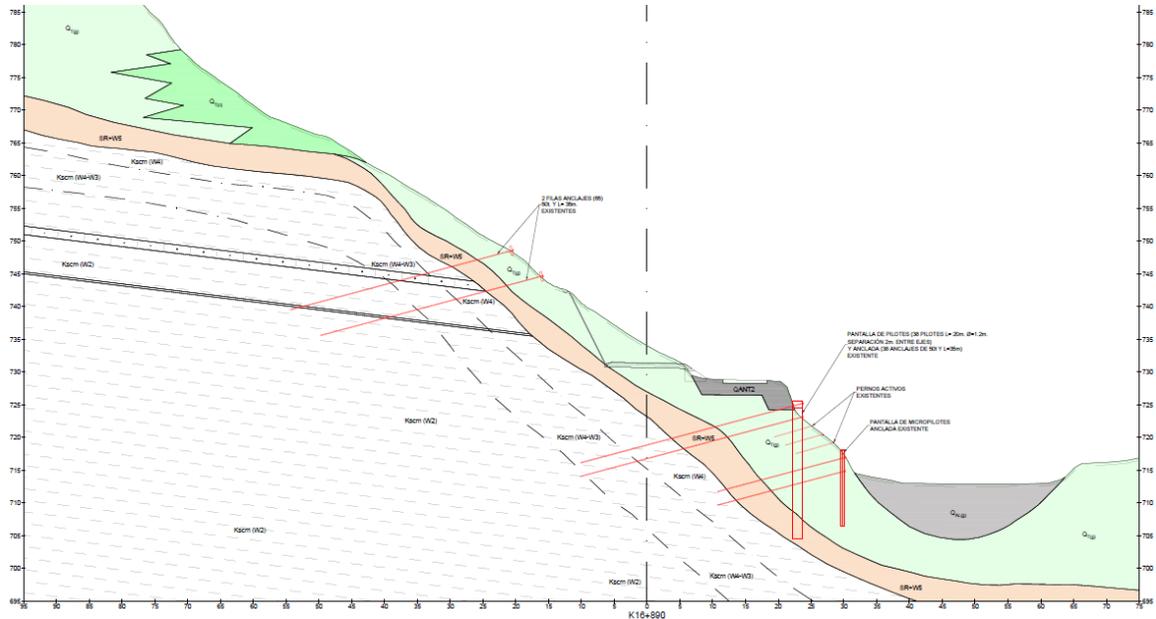


Figura 11. Localización y vista en planta del sitio crítico K16+800 (PR113+200).

**Figura 5.59 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**



**Figura 12. Sección transversal geológica en K16+895 (con los sostenimientos ejecutados por la ANI en rojo).**

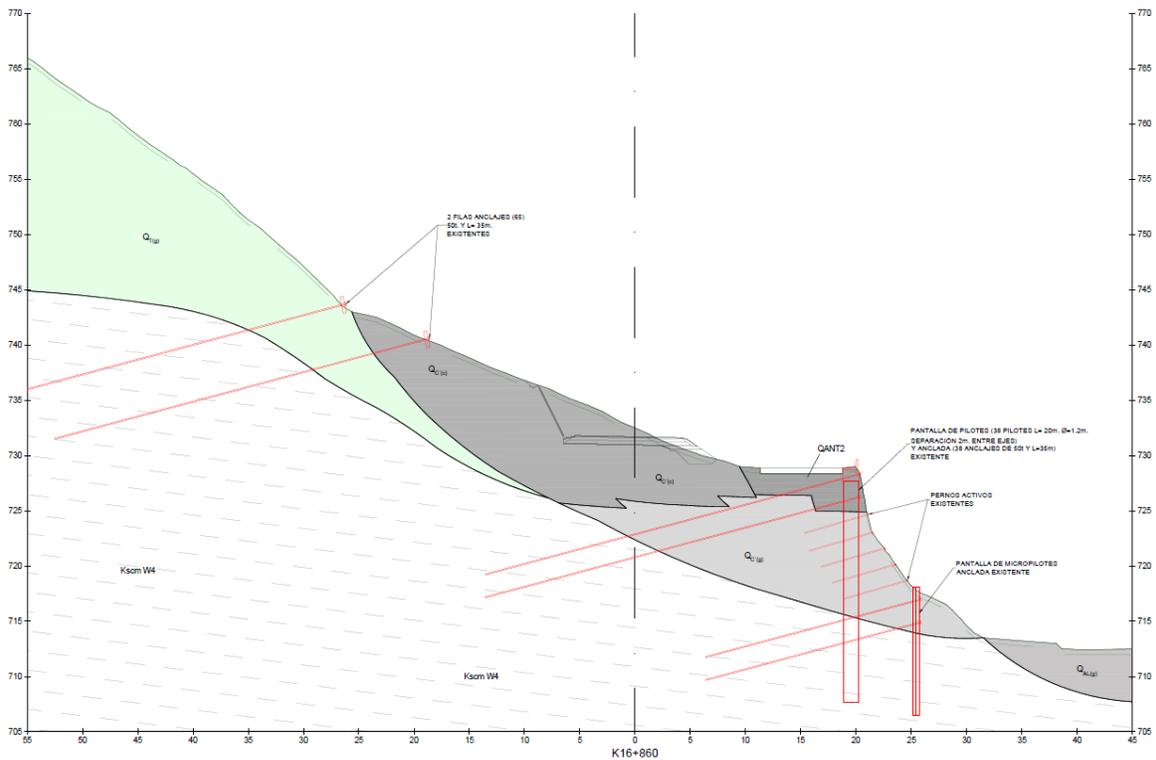


Figura 13. Sección transversal geológica en K16+865 (con los sostenimientos ejecutados por la ANI en rojo).

Actuaciones existentes

Las actuaciones existentes y realizadas por la ANI en este punto crítico formaron parte del desarrollo del Contrato No. 078 de 2013 para la Reconstrucción y Estabilización de sitios críticos en la vía Cúcuta-Pamplona. Las actuaciones realizadas se denominaron como punto crítico del PR113+200 y fueron ejecutadas a raíz de un deslizamiento acaecido en la zona que afectó a la calzada actual.

En la siguiente Figura se presentan la ubicación de los diferentes tipos de sostenimiento ejecutados para la estabilización de punto crítico.

**Figura 5.60 Planta geológica con situación del punto crítico PR92+150**

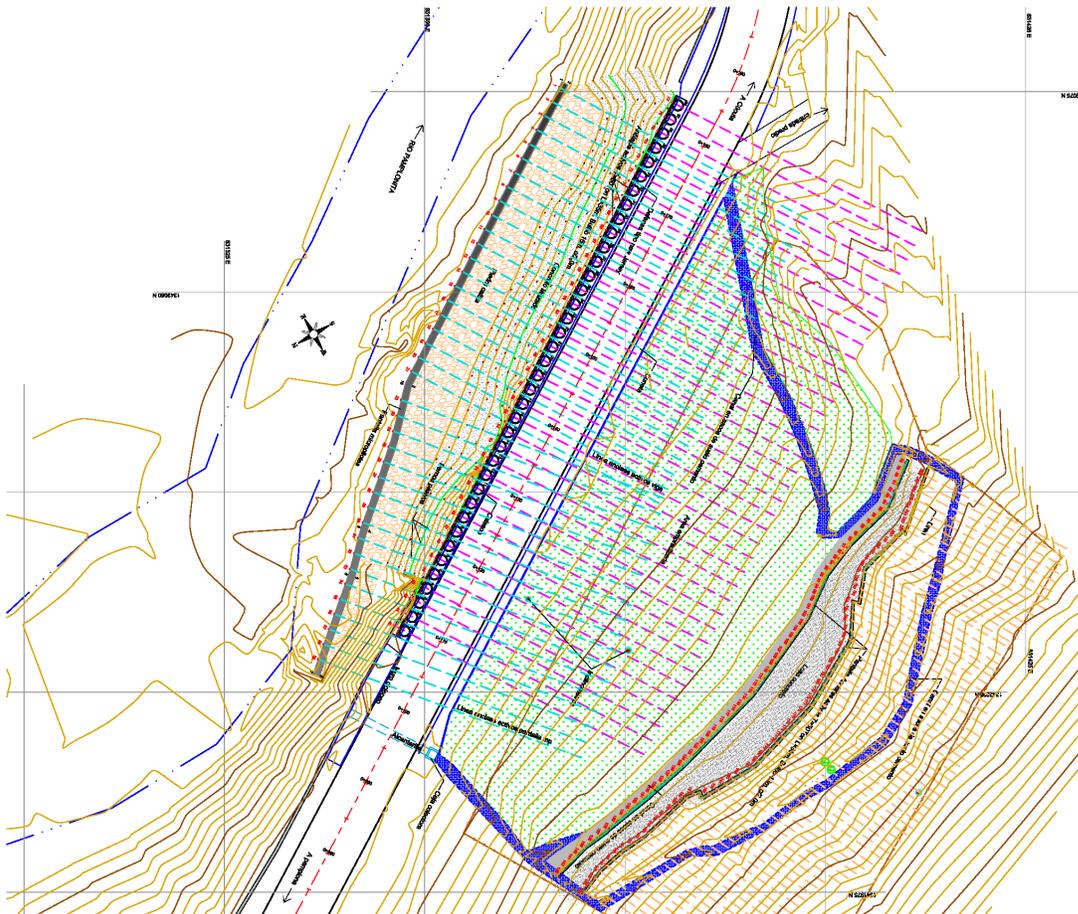


Figura 14. Esquema en planta de los sostenimientos dispuestos en el punto crítico PR113+200.

Fuente: Aecom – Concol, 2018 / Ajustado/ECOGERENCIA/ UVRP - SACYR, 2019

Las actuaciones realizadas comprenden:

Muro (L=76 m) pilotado (38 pilotes de L=20 m y D=1.20 m a 2 m entre ejes) y anclado (38 anclajes activos 50 t y L=35 m) sobre viga de atado. Muro ubicado en el hombro externo de la calzada actual,

Pantalla de micropilotes (L=90 m) de concreto (D=25 cm y L=11.60 m) y anclado (39 anclajes activos 40 t y L=20 m) dispuesta en la margen del río Pamplonita, por debajo de la pantalla de pilotes anclada.

Sistema de 2 filas de 65 anclajes activos (50 t y L=35 m apoyados en losa de concreto) dispuestos en la ladera (por encima de la calzada)

Cunetas de drenaje revestidas  
Batería de drenes (L=30 m cada 3 m)

#### 5.1.4.3 Conclusiones

- La sectorización geotécnica del túnel consideró la alternancia litológica del terreno con tramos en areniscas y tramos en arcillolitas de la formación Barco; dichos tramos litológicos se subdividieron según la caracterización del macizo de acuerdo con el "Rock Mass Ratio - RMR" considerando además en la subdivisión parámetros geomecánicos que incluyen análisis al macizo y a la roca intacta según el Índice de Resistencia Geológica GSI.
- La clasificación generalizada del túnel considerando únicamente la calidad del macizo rocosos según el RMR, sin discriminar por litología entre areniscas y arcillolitas, indica que un 54% de la longitud del túnel, correspondiente a 575.9 m, clasifica como macizo rocoso de calidad media; un 36% de la longitud, 383.5 m, presentan buena calidad en el macizo; y el restante 10%, equivalente a 100.6m, presenta mala calidad.
- Los tramos de túnel en rocas arcillosas presentan subsectores con RMR corregido que van desde 20 hasta 70. El 52% de la longitud en tramos de este litotipo, con longitudes que suman los 141.8m, clasifica como de media calidad (Clase III); el 27% (73.8m) clasifica como de buena calidad (Clase II) y el restante 21%, correspondiente a 59.4m, presentan mala calidad geotécnica (Clase IV).
- Los tramos de túnel en arenisca presentan subsectores con RMR corregido que van desde 20 hasta 70. El 44% de la longitud en tramos de este litotipo, con longitudes que suman los 309.7 m, clasifica como de media calidad (Clase III); el 50% (354.1 m) clasifica como de buena calidad (Clase II) y el restante 6%, correspondiente a 41.2 m, presentan mala calidad geotécnica (Clase IV)

- La zonificación geotécnica del Área de Influencia se desarrolló siguiendo la metodología de Vargas modificada, considerando en el análisis la susceptibilidad general del terreno determinada a partir de parámetros de susceptibilidad a la generación de procesos erosivos y de remoción en masa por litología, geomorfología, hidrogeología, cobertura de la tierra, densidad de drenajes, densidad de fallas, pendientes del terreno y morfodinámica; y considerando la precipitación y la sismicidad como factores detonantes de procesos de remoción en masa.
- La zonificación geotécnica del Área de Influencia se dividió en cinco categorías de amenaza relativa y estabilidad geotécnica, que van desde muy alta a muy baja estabilidad (IA, IB, II, IIIA y IIIB) y corresponden a la agrupación metodológica de zonas homogéneas de los factores de ponderación evaluados.
- La Zona IA, de estabilidad muy baja y amenaza muy alta, corresponde a terrenos afectados por procesos de remoción en masa o con suelos no consolidados de origen coluvial muy susceptibles a remoción; donde la combinación de factores geológicos, geomorfológicos y de cobertura del suelo no es favorable a la estabilidad geotécnica. Generalmente destacan las áreas más susceptibles dentro de zonas inestables que se enmarcan en la categoría de estabilidad geotécnica baja (IB).
- La Zona IB, de estabilidad baja y amenaza alta, corresponde a áreas afectadas por procesos erosivos o de remoción en masa y/o con suelos no consolidados de origen coluvial y/o aluvial susceptibles a remoción; donde la combinación de factores geológicos, geomorfológicos y de cobertura del suelo no es favorable a la estabilidad geotécnica. Por lo general incluye suelos de depósitos coluviales o aluviales recientes, zonas de suelos residuales arcillosos húmedos o rocas blandas muy meteorizadas en donde han tenido lugar procesos erosivos severos o de remoción en masa.
- La Zona II, de estabilidad moderada y amenaza moderada, corresponde a zonas con procesos de remoción en masa menores, inactivos o esporádicos, y zonas no indicadas de inestabilidad al presente, pero potencialmente inestables y susceptibles a movimientos del terreno por registros geomorfológicos y desfavorables factores geológicos o de cobertura vegetal. Estas zonas por lo general incluyen tanto parámetros favorables como desfavorables que al interactuar generan una condición de amenaza relativa moderada. Las condiciones favorables regularmente están relacionadas con litologías resistentes, poco fracturamiento del macizo rocoso y coberturas vegetales boscosas; mientras que las condiciones desfavorables están relacionadas con depósitos cuaternarios, macizos de rocas blandas muy fracturados, o coberturas vegetales escasas que facilitan la generación de procesos erosivos y de remoción en masa.
- La Zona IIIA, de estabilidad alta y amenaza baja, corresponde a Zonas con escasos y menores procesos de remoción en masa o de erosión acentuada, en

donde la combinación de parámetros geológicos, geomorfológicos y de cobertura vegetal favorecen la estabilidad geotécnica. Los parámetros que pueden favorecer la estabilidad son litologías resistentes sin presencia de alta humedad, distancia a fallas geológicas, geoformas de pendientes suaves, densidad de drenaje baja y cobertura del terreno arbórea.

- La Zona IIIB, de estabilidad muy alta y amenaza muy baja; corresponde a áreas no sujetas a movimientos en masa. Relieves planos no expuestos a socavación fluvial o laderas con litología resistente, poco fracturada y con buena cobertura conformada principalmente por vegetación boscosa, donde no se encuentran procesos erosivos o de remoción en masa.
- La distribución de las categorías de amenaza geotécnica dentro del Área de Influencia indica que el 66% del área presenta amenaza baja y estabilidad geotécnica alta (Zona IIIA); el 22% exhibe amenaza relativa moderada y estabilidad geotécnica moderada (Zona II); el 10% presenta amenaza relativa muy baja y estabilidad geotécnica muy alta (Zona IIIB); y el 2% registra amenaza relativa alta y estabilidad geotécnica baja (IB).
- El mapa de zonificación geotécnica procede de una rigurosa evaluación de actividades de campo a lo largo del corredor del proyecto vial, utilizando la información existente en los diferentes medios, y con el análisis de diferentes profesionales y especialistas en la materia, de igual manera se trabajó con escalas de mejor detalle a nivel regional y local.