PROYECTO: **"PROYECTO SEGUNDA CALZADA POPAYÁN – SANTANDER DE QUILICHAO, UNIDAD FUNCIONAL 3, PESCADOR - MONDOMO"**

INFORME FINAL

VERSIÓN 2

JUNIO DE 2017

Elaborado por:	**Revisado por:**	**Aprobado por:**
Consorcio CCA CONSULTORÍA-PLYMA	Grupo Técnico Principal	Consorcio Nuevo Cauca
Fecha:	**Fecha:**	**Fecha:**
Junio de 2017	Junio de 2017	Junio de 2017

TABLA DE CONTENIDO

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA 5.1
5.1 MEDIO ABIÓTICO 5.1
5.1.1 Geología 5.1
5.1.1.1 Estratigrafía 5.3
5.1.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 5.6
5.1.1.3 GEOLOGÍA LOCAL 5.12
5.1.1.4 Estudio de fuentes de materiales 5.39
5.1.1.5 Zonas potenciales de disposición de materiales 5.41
5.1.1.6 Sitios de ponteadero 5.42
✓ Formación Popayán Miembro medio – Ngpc3: 5.42
✓ Formación Popayán Miembro medio – Ngpc4: 5.42
✓ Formación Popayán Ngpfg: 5.42
5.1.1.7 Amenazas Geológicas 5.47
5.1.2 Geomorfología 5.51
5.1.2.1 Unidades Geomorfológicas del Área de Influencia de la Unidad Funcional 3. ..... 5.51
5.1.2.2 Procesos Morfodinámicos. 5.66
5.1.3 Paisaje 5.81
5.1.3.1 Resultados 5.81
5.1.3.2 Unidades de Paisaje 5.82
5.1.3.3 Calidad Visual del paisaje 5.84
5.1.3.4 Percepción social del paisaje 5.92
5.1.3.5 Apreciación e importancia de los sitios culturales 5.95
5.1.3.6 Percepción de las comunidades como referente de su entorno físico en términos culturales. 5.96
5.1.3.7 Incidencia del proyecto sobre las costumbres de los pobladores 5.97
5.1.4 Suelos y usos de la tierra 5.98

5.1.4.1 Unidades cartográficas de suelos 5.98
5.1.4.2 Uso actual de la tierra 5.106
5.1.4.3 Uso potencial 5.115
5.1.4.4 Conflictos de uso 5.125
5.1.5 Hidrología 5.128
5.1.5.1 Área de Influencia 5.128
5.1.5.2 Sistemas lénticos, lóticos, y cuencas hidrográficas 5.129
5.1.5.3 Patrones de drenaje 5.135
5.1.5.4 Régimen hidrológico y caudales característicos 5.136
5.1.5.5 Caudales Medios 5.140
5.1.5.6 Caudales Máximos 5.142
5.1.5.7 Caudales mínimos 5.169
5.1.5.8 Identificación de la dinámica fluvial y posibles alteraciones de su régimen . 5.171
5.1.6 Calidad del agua 5.171
5.1.6.1 Cuerpos de agua continentales 5.171
5.1.6.2 Cuerpos de agua marino-costeros 5.245
5.1.7 Usos del agua 5.245
5.1.7.1 Generalidades de usos y usuarios del agua en los municipios intervenidos por el área de influencia 5.245
5.1.7.2 Descripción de usos y usuarios en el área de influencia 5.247
5.1.7.3 Estimación de la demanda doméstica actual en el área de influencia 5.272
5.1.7.4 Identificación de posibles conflictos por uso del agua en el área de influencia directa. 5.275
5.1.8 Hidrogeología 5.277
5.1.8.1 Metodología 5.278
5.1.8.2 Análisis de Información Previa 5.279
5.1.8.3 Inventario de Puntos de Agua Subterránea 5.291
5.1.8.4 Definición de zonas potenciales de recarga 5.300

5.1.8.5 Definición de Unidades Hidrogeológicas 5.301
5.1.8.6 Perfil Hidrogeológico 5.309
5.1.8.7 Vulnerabilidad intrinseca a la contaminación de acuíferos 5.310
5.1.9 Geotecnia 5.315
5.1.9.1 Zonificación geotécnica – modelo geológico- geotécnico 5.316
5.1.9.2 Investigación del subsuelo 5.319
5.1.9.3 Estabilidad de taludes. 5.323
5.1.10 Atmósfera 5.325
5.1.10.1 Meteorología 5.325
5.1.10.2 Identificación de fuentes de emisiones 5.363
5.1.10.3 Calidad de aire 5.363
5.1.10.4 Ruido 5.397
5.1.10.5 Mapas de ruido finales 5.413

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1. Unidades litológicas presentes en el corredor vial de la UF-3 ..... 5.13
Tabla 5.2 Estaciones de control geológico UF3 ..... 5.25
Tabla 5.3 Sondeos geotécnicos intersección 5.44
Tabla 5.4 Sondeos río Ovejas 5.46
Tabla 5.5 Rangos de Pendientes. 5.53
Tabla 5.6Distribución de rangos dependientes para el Área de Influencia directa de la Unidad Funcional 3. ..... 5.55
Tabla 5.7 Unidades geomorfológicas 5.56
Tabla 5.8 Unidades de paisaje presentes en el área de estudio 5.82
Tabla 5.9 Unidades del paisaje con calidad visual alta 5.86
Tabla 5.10 Unidades de paisaje con calidad visual media 5.88
Tabla 5.11 UNIDADES DE PAISAJE CON CALIDAD VISUAL BAJA 5.91
Tabla 5.12. Leyenda de suelos para el área de influencia. 5.100

Tabla 5.13. Síntesis de las propiedades físico-químicas de los suelos de la Asociación Typic Hapludands - Humic Pachic Dystrudepts, fase moderadamente inclinada, severamente erosionada (AQAc3). 5.104

Tabla 5.14. Síntesis de las propiedades físico-químicas de los suelos de la Asociación Typic Dystrudepts – Oxic Dystrudepts, fase ligeramente escarpada, severamente erosionada (AQBe3). 5.105

Tabla 5.15. Leyenda de cobertura terrestre y uso actual de la tierra. 5.107

Tabla 5.16. Uso actual de la tierra. 5.112

Tabla 5.17. Indicadores para la evaluación del uso potencial de la tierra. 5.115

Tabla 5.18. Evaluación de la fertilidad de los suelos. 5.116

Tabla 5.19. Indicadores utilizados en la determinación del uso principal de la tierra… 5.120

Tabla 5.20. Definición de usos potenciales del suelo en el área de influencia. 5.122

Tabla 5.21. Uso potencial de la tierra. 5.123

Tabla 5.22. Categorías definidas para los conflictos de uso del área de influencia. 5.125

Tabla 5.23. Conflictos de uso en el área de influencia. 5.128

Tabla 5.24 Parámetros morfométricos de las cuencas de interés. 5.134

Tabla 5.25 Generalidades de las estaciones de caudal. 5.137

Tabla 5.26 Caudales medios estaciones de interés. 5.140

Tabla 5.27 Caudales medios para las cuencas de interés. 5.142

Tabla 5.28 Valores de Pd para la estación considerada en la UF-3 en función del periodo de retorno. 5.144

Tabla 5.29 Valores de CN para cada tipo de uso del suelo considerado. 5.146

Tabla 5.30 Número de curva para los usos del suelo. 5.147

Tabla 5.31 Precipitaciones máximas promedio anual en 24 h para la estación seleccionada en la UF-3. ..... 5.150

Tabla 5.32Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de la curva intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia. 5.150

Tabla 5.33 Metodologías para la estimación de los tiempos de concentración 5.152

Tabla 5.34 Estimación de los tiempos de concentración. 5.153

Tabla 5.35 Caudales máximos método racional. 5.154

Tabla 5.36Método McMath - Caudales Máximos Instantáneos Anuales Para Diferentes Periodos De Retorno. 5.155

Tabla 5.37 Método Burkli-Ziegler - Caudales Máximos Instantáneos Anuales Para Diferentes Periodos De Retorno, ... 5.157

Tabla 5.38 Caudales obtenidos para cuencas con una superficie entre 2,5 y 20 km^2. 5.161

Tabla 5.39 Caudales obtenidos para cuencas con una superficie superior a 20 km^2. . 5.165

Tabla 5.40 Parámetros de regresión logarítmica..... 5.166

Tabla 5.41 Caudales Máximos Instantáneos Anuales Para Diferentes Periodos De Retorno..... 5.166

Tabla 5.42 Caudales microcuencas obras existentes y proyectadas. 5.167

Tabla 5.43 Caudales mínimos cuencas de interés. 5.170

Tabla 5.44 Valores típicos en aguas crudas superficiales..... 5.172

Tabla 5.45 Valores de Índice de Calidad del Agua ICAfa..... 5.174

Tabla 5.46 Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo ubicadas en el área de influencia del Proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3. ..... 5.175

Tabla 5.47 Análisis fisicoquímicos in situ y ex situ de las estaciones de muestreo del área de influencia directa del Proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao Unidad Funcional 3..... 5.198

Tabla 5.48 Análisis fisicoquímicos in situ y ex situ de las estaciones de muestreo del área de influencia directa del Proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao Unidad Funcional 3..... 5.200

Tabla 5.49 Clasificación de las aguas en términos de conductividad..... 5.207

Tabla 5.50 Clasificación de de la calidad del agua, con base en la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5) y la demanada química de oxígeno (DQO) 5.211

Tabla 5.51 Principales cationes que causan dureza en el agua y los principales aniones asociados con ellos 5.214

Tabla 5.52 Índice de calidad de agua (ICA/NFS) y parámetros de calidad de las estaciones de monitoreo ubicadas en el área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3..... 5.220

Tabla 5.53 ICA/ENA en las estaciones de monitoreo de calidad del agua de la Segunda Calzada Popayán – Santander de Quilichao UF3..... 5.225

Tabla 5.54. Datos hidráulicos de la modelación. 5.229

Tabla 5.55. Balance de masas para Sólidos Suspendidos Totales 5.230
Tabla 5.56. Balance de masas para La DBO_5 ..... 5.230
Tabla 5.57. Balance de masas para DQO 5.231
Tabla 5.58. Balance De Masas Para Sólidos Suspendidos Totales 5.232
Tabla 5.59. Balance de masas Para DBO_5 ..... 5.233
Tabla 5.60. Balance de masas para la DQO. 5.233
Tabla 5.61. Balance de masas para Sólidos Suspendidos Totales. 5.234
Tabla 5.62. Balance De Masas Para DBO_5. ..... 5.235
Tabla 5.63. Balance de masas para DQO 5.235
Tabla 5.64. Balance de masas para Sólidos Suspendidos Totales. 5.236
Tabla 5.65. Balance de masas para DBO_5 ..... 5.237
Tabla 5.66. Balance de masas para DQO 5.237
Tabla 5.67. Balance de masas para Sólidos Suspendidos Totales 5.238
Tabla 5.68. Balance de masas para DBO_5 ..... 5.239
Tabla 5.69. Balance de masas para DQO 5.239
Tabla 5.70. Balance de masas para Sólidos Suspendidos Totales 5.240
Tabla 5.71. Balance de masas para DBO_5 ..... 5.241
Tabla 5.72. Balance de masas para la DQO 5.241
Tabla 5.73. Balance De Masas Para Sólidos Suspendidos Totales 5.242
Tabla 5.74. Balance De Masas Para DBO_5 ..... 5.243
Tabla 5.75. Balance de masas para la DQO 5.243
Tabla 5.76. Descripción técnica del sistema de acueducto de la vereda La Chapa 5.247
Tabla 5.77. Descripción técnica del Acueducto Veredal Bellavista 5.249
Tabla 5.78. Descripción técnica acueducto El Rosal – El Tablón 5.252
Tabla 5.79 Descripción técnica del acueducto del centro poblado Pescador 5.255
Tabla 5.80 Descripción técnica del acueducto El Pital 5.257
Tabla 5.81. Descripción técnica del acueducto de la vereda El Crucero 5.261

Tabla 5.82 Descripción técnica del acueducto veredal Mondomito. 5.264

Tabla 5.83. Descripción técnica del sistema de acueducto del centro poblado de Mondomo..... 5.267

Tabla 5.84. Usuarios individuales identificados en el AID de la UF3 ..... 5.268

Tabla 5.85 Nivel de Complejidad del Sistema 5.272

Tabla 5.86 Demanda individual estimada en el AI de la UF3 ..... 5.272

Tabla 5.87 Demanda hídrica total en el AI UF3..... 5.274

Tabla 5.88 Usuarios sobre las fuentes a solicitar concesión de aguas..... 5.276

Tabla 5.89 Relación de las redes de acueductos que intersectan la vía panamericana, discriminada por diámetro y material. 5.276

Tabla 5.87. Información secundaria recolectada. 5.280

Tabla 5.88 Geología local de la Unidad Funcional 3. ..... 5.281

Tabla 5.89. Geomorfología Local de la Unidad Funcional 3. ..... 5.283

Tabla 5.90 Caudales medios estaciones de interés. 5.286

Tabla 5.91 Valores de temperatura anual [°C]. 5.287

Tabla 5.92. Valores anuales de precipitación [mm/año]. 5.288

Tabla 5.93. Evapotranspiración media anual [mm/año]. 5.290

Tabla 5.94. Puntos de agua inventariados 5.293

Tabla 5.95. Puntos inventariados respecto a la geología y geomorfología 5.298

Tabla 5.96. Rangos de variación de permeabilidad [m/d] en sedimentos no consolidados según fuentes bibliográficas..... 5.307

Tabla 5.97. Categorías de vulnerabilidad para el método GOD. 5.312

Tabla 5.98. Clasificación de las unidades hidrogeológicas y asignación de valores para el desarrollo del método GOD. 5.313

Tabla 5.99 Unidades geológico- geotécnicas..... 5.317

Tabla 5.100 Exploración geotécnica en la unidad funcional 3 ..... 5.319

Tabla 5.101 Localización de líneas de refracción sísmica..... 5.321

Tabla 5.102 Resumen de la velocidad de la onda P mediante refracción sísmica 5.322

Tabla 5.103 Resumen de las propiedades de los materiales según líneas sísmicas .. 5.322

Tabla 5.104 Recomendaciones geométricas de taludes 5.324
Tabla 5.105 Recomendaciones taludes en terraplén 5.324
Tabla 5.106. Estaciones hidrometeorológicas. 5.325
Tabla 5.107. Valores mensuales de temperatura [°C]. 5.326
Tabla 5.108. Valores de temperatura anual [°C]. 5.329
Tabla 5.109. Valores mensuales de temperatura de punto de rocío [°C]. 5.330
Tabla 5.110. Valores de temperatura de punto de rocio anual [°C 5.333
Tabla 5.111. Valores de presión atmosférica anual [kPa]. 5.334
Tabla 5.112. Valores mensuales de presión de vapor [mb]. 5.335
Tabla 5.113. Valores mensuales de humedad relativa [%]. 5.339
Tabla 5.114. Valores mensuales de brillo solar [horas]. 5.341
Tabla 5.115. Valores mensuales de nubosidad [Octas]. 5.343
Tabla 5.116. Valores medios, máximos y mínimos mensuales [m/s]. 5.345
Tabla 5.117. Datos faltantes estaciones de precipitación. 5.347
Tabla 5.118. Precipitación de las series reconstruidas. 5.354
Tabla 5.119. Valores anuales de precipitación [mm/año]. 5.357
Tabla 5.120Valores mensuales de evaporación [mm]. 5.358
Tabla 5.121. Evapotranspiración media anual [mm/año]. 5.363
Tabla 5.122 Ubicación estaciones 5.366
Tabla 5.123Resultados del monitoreo de calidad de aire – Unidad Funcional 3. ..... 5.373
Tabla 5.124 Condiciones climáticas estación 2. Pescador 5.386
Tabla 5.125 Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio 5.390
Tabla 5.126 Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio 5.390
Tabla 5.127 Resumen concentraciones halladas para material particulado PM10-PST 5.391
Tabla 5.128 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio 5.394
Tabla 5.129 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio 5.395

Tabla 5.130 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental, expresados en decibeles dB(A) 5.397

Tabla 5.131 Relación de los puntos monitoreados de ruido ambiental. 5.399

Tabla 5.132 Resumen Ajustes K – Ruido Ambiental 5.403

Tabla 5.133 Niveles de presión sonora corregidos – Diurno semana. 5.404

Tabla 5.134 Niveles de presión sonora corregidos – Nocturno semana. 5.404

Tabla 5.135 Niveles de presión sonora corregidos – Diurno Festivo. 5.404

Tabla 5.136 Niveles de presión sonora corregidos – Nocturno Festivo. 5.405

Tabla 5.137 Aforo vehicular, Medicion de línea base Febrero - Marzo de 2016 ..... 5.408

Tabla 5.138 Condiciones climáticas. 5.409

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 Geología regional del Proyecto. 5.2

Figura 5.2 Columna estratigráfica generalizada de la Formación Popayán 5.5

Figura 5.3 Esquema de distribución de fallas geológicas en el sector del Valle interandino Cauca – Patía 5.9

Figura 5.4 Fallas activas del Sistema Cauca - Romeral (15) en la zona del trazado de la vía Popayán – Santander de Quilichao. 15d: Falla Piendamó. 15e: Falla Rosas – Julumbito 5.11

Figura 5.14 Unidades Geologicas de la Unidad Funcional 3 ..... 5.14

Figura 5.5 Perfil estratigráfico puente costado izquierdo río Pescador 5.43

Figura 5.6 Perfil geológico costado izquierdo río Mondomo 5.45

Figura 5.7 Perfil geológico costado derecho río Mondomo 5.46

Figura 5.8 Columna estratigráfica sondeos geotécnicos río Ovejas 5.47

Figura 5.9 Mapa de zonificación sísmica de Colombia 5.48

Figura 5.10 Mapa de zonificación sísmica de Colombia 5.49

Figura 5.11 Mapa de valores Aa 5.50

Figura 5.12 Distribución por rangos de pendientes para el AID de la Unidad Funcional 3. ..... 5.54

Figura 5.13. Patrón de drenaje controlado por la estructura o pendiente 5.56
Figura 5.14 Unidades Geomorfológicas de la Unidad Funcional 3. Escala 1: 17.000.... 5.65
Figura 5.15 Unidades Geomorfológicas de la Unidad Funcional 3. ..... 5.74
Figura 5.16 Leyenda geomorfología 5.75
Figura 5.17 Procesos morfodinámicos Km 41 + 000 a Km 43 + 000..... 5.76
Figura 5.18 Procesos morfodinámicos Km 43 + 200 a Km 45 + 400..... 5.77
Figura 5.19 Procesos morfodinámicos Km 45 + 400 a Km 48 + 200..... 5.78
Figura 5.20 Procesos morfodinámicos Km 48 + 300 a Km 51 + 300..... 5.79
Figura 5.21 Procesos morfodinámicos Km 51 + 300 a Km 54 + 300..... 5.80
Figura 5.22 Procesos morfodinámicos Km 54 + 400 a Km 56 + 600..... 5.81
Figura 5.23 Calidad visual del paisaje en el área de estudio del proyecto..... 5.85
Figura 5.24 CALIDAD VISUAL DEL PAISAJE 5.86
Figura 5.25 Nivel de importancia de los recursos naturales 5.94
Figura 5.26 Nivel de importancia de los sitios culturales 5.95
Figura 5.27 Actividades que han generado cambios en el paisaje en los últimos años 5.97
Figura 5.28. Ubicación de los puntos de muestreo de suelos. 5.99
Figura 5.29. Unidades cartográficas de suelos del proyecto. 5.102
Figura 5.30. Mapa del uso actual de la tierra. 5.114
Figura 5.31. Mapa del uso potencial de la tierra..... 5.124
Figura 5.32. Mapa de conflictos de uso en el área de influencia. 5.127
Figura 5.33 Área de la unidad Funcional 3..... 5.129
Figura 5.34 Ubicación de los sistemas lóticos. 5.131
Figura 5.35 Modelo de elevación digital UF 5.132
Figura 5.36 Localización de las cuencas existentes en la UF-3. ..... 5.133
Figura 5.37 Esquema de patrón de drenajes del área de influencia. 5.135
Figura 5.38 Patrón de drenaje de la UF-3 ..... 5.136
Figura 5.39 Ubicación geográfica de las estaciones de caudal. 5.137

Figura 5.40 Ciclo de caudales medios para las estaciones hidrológicas de interés..... 5.138

Figura 5.41 Precipitaciones..... 5.139

Figura 5.42 Esquema del balance hidrológico sobre una cuenca..... 5.141

Figura 5.43 Coberturas vegetales de la zona de influencia. 5.146

Figura 5.44Polígonos de Thiessen Estaciones de Influencia Vía Popayán – Santander de Quilichao..... 5.149

Figura 5.45 Curvas IDF estación Ovejas abajo alerta. 5.151

Figura 5.46 Estación Mondomo. Hietograma para T=100 años. 5.159

Figura 5.47 Hidrograma de respuesta a hietograma de lluvia, generado por el HEC-HMS. 5.160

Figura 5.48 Estación Mondomo. Hietograma para T=100 años. 5.162

Figura 5.49 Esquema de configuración de conexiones en HEC-HMS para la cuenca del río Pescador. 5.163

Figura 5.50 Esquema de configuración de conexiones en HEC-HMS para la cuenca del río Ovejas. 5.164

Figura 5.51 Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo evaluados para el componente fisicoquímico y microbiológico del proyecto. 5.176

Figura 5.52 Estación UF3EH1, esquema del sitio de muestreo 5.178

Figura 5.53 Estación UF3EH2 Quebrada El Rosal, esquema del sitio de muestreo.... 5.180

Figura 5.54 Estación UF3EH5 Quebrada del Colegio, esquema del sitio de muestreo 5.182

Figura 5.55 Estación UF3EH6 Río Ovejas, esquema del sitio de muestreo..... 5.183

Figura 5.56 Estación UF3EH8 Quebrada Las Lajas, esquema del sitio de muestreo.. 5.185

Figura 5.57 Estación UF3EH9 Nacimiento, esquema del sitio de muestreo..... 5.186

Figura 5.58 Estación UF3EH13, esquema del sitio de muestreo 5.189

Figura 5.59 Estación UF3EH14, esquema del sitio de muestreo 5.191

Figura 5.60 Estación UF3EH15 Cañería Mondomo, esquema del sitio de muestreo .. 5.192

Figura 5.61 Estación UF3EH18 Río Pescador, esquema del sitio de muestreo 5.194

Figura 5.62 Estación UF3EH19 Río Ovejas, esquema del sitio de muestreo..... 5.195

Figura 5.63 Estación UF3EH20 Río Mondomo, esquema del sitio de muestreo 5.197

Figura 5.64 Variación de la Temperatura y el Oxígeno Disuelto en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3 5.204

Figura 5.65 Variación de pH de las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3 ..... 5.206

Figura 5.66 Variación de los sólidos disueltos y la conductividad en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3 ..... 5.208

Figura 5.67 Variación del color de las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3 ..... 5.209

Figura 5.68 Variación de la DBO5 y DQO de las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3 ..... 5.211

Figura 5.69 Variación de los SST y la Turbidez en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3..... 5.213

Figura 5.70 Variación de la dureza y la alcalinidad de las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3..... 5.215

Figura 5.71 Variación del nitrógeno total y fósoforo total en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3 ..... 5.216

Figura 5.72 Variación de las grasas y aceites en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3..... 5.218

Figura 5.73 Variación de los coliformes totales y fecales en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3 ..... 5.219

Figura 5.74 Valores del índice de calidad del agua (ICA/NFS) para las estaciones de monitoreo ubicadas en el área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3..... 5.224

Figura 5.75 Descripción de variables de para la estimación del ICA/ENA del IDEAM. 5.225

Figura 5.76 Valores del índice de calidad del agua (ICA/ENA) para las estaciones de monitoreo ubicadas en el área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3..... 5.226

Figura 5.77. Cobertura del acueducto veredal La Chapa 5.248

Figura 5.78. Cobertura acueducto Veredal Bellavista 5.250

Figura 5.79. Cobertura del acueducto Multiveredal El Rosal El Tablón 5.253
Figura 5.80. Cobertura del acueducto del centro poblado Pescador 5.256
Figura 5.81. Cobertura del acueducto veredal El Pital 5.259
Figura 5.82 Cobertura del acueducto veredal El Crucero 5.262
Figura 5.83. Cobertura de acueducto para el sistema de abastecimiento de la vereda Mondomito. 5.265
Figura 5.84 Cobertura del acueducto del centro poblado de Mondomo 5.268
Figura 5.85 Distribución de usos del agua en el AI de la UF3 ..... 5.271
Figura 5.86. Demanda estimada para usuarios individuales en el AID de la UF2 ..... 5.274
Figura 5.87 Distribución de las demandas hídricas en el AI de la UF3 ..... 5.275
Figura 5.86. Teoría de los ciclos crecientes en los sistemas de aguas subterráneas .. 5.278
Figura 5.87. Metodología de trabajo que se desarrollará para la definición del componente hidrogeológico. 5.279
Figura 5.88. Mapa geológico Unidad Funcional 3. ..... 5.282
Figura 5.89 Mapa geomorfológico de la Unidad Funcional 3. ..... 5.285
Figura 5.90 Mapa de temperatura media anual. 5.287
Figura 5.91. Mapa de precipitación media anual [mm/año]. 5.288
Figura 5.92. Mapa de evapotranspiración real por el método Cenicafé-Budyko. 5.289
Figura 5.93. Mapa de evapotranspiración real por el método de Turc. 5.290
Figura 5.94. Localización de los puntos de agua subterránea inventariados en la Unidad Funcional 3. ..... 5.292
Figura 5.95. Distribución de valores de temperatura. 5.294
Figura 5.96 Distribución de valores de conductividad eléctrica. 5.295
Figura 5.97. Distribución de valores de solidos disueltos totales. 5.296
Figura 5.98 Distribución de valores de pH. 5.297
Figura 5.99. Diagrama de tortas de puntos de agua y geología. 5.298
Figura 5.100. Geología y puntos de agua 5.299
Figura 5.101. Zonas potenciales de recarga. 5.301

Figura 5.102. Provincias hidrogeológicas para el área de estudio..... 5.303
Figura 5.103. Sistemas acuíferos de la zona de estudio. 5.304
Figura 5.104. Mapa de unidades hidrogeológicas Unidad Funcional 3. ..... 5.306
Figura 5.105. Perfil hidrogeológico A-A' Unidad Funcional 3..... 5.309
Figura 5.106 Método GOD..... 5.312
Figura 5.107. Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca..... 5.313
Figura 5.108. Mapa de vulnerabilidad método GOD para la Unidad Funcional 3. Simbología basada en MAVDT (2010)..... 5.314
Figura 5.109 Ficha de Investigación en puntos geológicos específicos..... 5.316
Figura 5.111. Unidades Geotecnicas. 5.318
Figura 5.110. Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas (Falta). 5.326
Figura 5.111. Comparación grafica de la variable temperatura para las estaciones de interés..... 5.327
Figura 5.112. Temperatura máxima, media y mínima mensual. 5.328
Figura 5.113. Mapa de temperatura media anual. 5.329
Figura 5.114. Comparación grafica de la variable temperatura para las estaciones de interés..... 5.331
Figura 5.115. Temperatura de punto de rocío máxima, media y mínima mensual. 5.332
Figura 5.116. Mapa de temperatura de rocío media anual. 5.333
Figura 5.117. Distribución espacial de la presión atmosférica. 5.334
Figura 5.118. Presión de vapor máxima, media y mínima mensual. 5.336
Figura 5.119. Comparación grafica de la variable Nubosidad para las estaciones de interés..... 5.337
Figura 5.120. Distribución espacial de la presión de vapor [mb]. 5.338
Figura 5.121. Distribución espacial de la presión de vapor saturada [mb]. 5.339
Figura 5.122. Comparación grafica de la variable humedad relativa para las estaciones de interés..... 5.340
Figura 5.123. Humedad relativa máxima, media y mínima mensual. 5.341

Figura 5.124. Comparación grafica de la variable Brillo solar para las estaciones de interés..... 5.342

Figura 5.125. Brillo solar máximo, medio y mínimo mensual..... 5.343

Figura 5.126. Comparación grafica de la variable Nubosidad para las estaciones de interés..... 5.344

Figura 5.127. Nubosidad máxima, media y mínima mensual. 5.344

Figura 5.128. Valores mensuales de la velocidad del viento [m/s]. 5.346

Figura 5.129. Rosa de los vientos estación 26035030 Apto Valencia (IDEAM, 2016). 5.347

Figura 5.130. Ciclo anual de precipitación. 5.348

Figura 5.131. Ciclo anual de anomalías de precipitación. 5.349

Figura 5.132. Efectos del ENSO en las estaciones. 5.351

Figura 5.133. Variación porcentual de la precipitación para las fases El Niño y La Niña, con respecto a la fase normal de las estaciones..... 5.353

Figura 5.134. Ubicación de las estaciones mensuales de precipitación (Hurtado, 2009). 5.355

Figura 5.135. Variograma ajustado con modelo tipo Efecto pepita + Esférico..... 5.356

Figura 5.136. Mapa de precipitación media anual [mm/año]. 5.357

Figura 5.137. Evaporación mensual [mm]..... 5.359

Figura 5.138. Comparación grafica de la variable evaporación para las estaciones de interés..... 5.360

Figura 5.139. Mapa de evapotranspiración real por el método Cenicafé-Budyko..... 5.361

Figura 5.140. Mapa de evapotranspiración real por el método de Turc..... 5.362

Figura 5.141 Ubicación estaciones de monitoreo..... 5.367

Figura 5.142 Punto 3. Mondomo..... 5.370

Figura 5.143 Punto 4. Pescador 5.371

Figura 5.144 Concentración material particulado PM_{10} Vs Límite permisible diario..... 5.375

Figura 5.145 Concentración material particulado PST Vs Límite permisible diario..... 5.376

Figura 5.146 Concentración SO2 Vs Límite permisible diario. 5.377

Figura 5.147 Concentración NO2 Vs Límite permisible diario. 5.378

Figura 5.148 Concentración de Monóxido De Carbono (CO). Vs Límite permisible diario. 5.379

Figura 5.149 Promedio aritmético de PM10 vs. Límite permisible anual 5.380

Figura 5.150 Promedio geométrico de PST vs. Límite permisible anual..... 5.380

Figura 5.151 Promedio aritmético de SO_2 vs. Límite permisible anual 5.381

Figura 5.152 Promedio aritmético de NO_2 vs. Límite permisible anual 5.382

Figura 5.153 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas 5.383

Figura 5.154 Frecuencia y distribución de velocidades para la estación meteorológica No.2 Pescador. 5.384

Figura 5.155 Rosa de vientos 24 horas, para la estación meteorológica No.2 Pescador 5.385

Figura 5.156 Precipitación de lluvia acumulada (mm) por cada 12 horas (horario diurno y nocturno) estación 2. Pescador 5.387

Figura 5.157 Temperatura promedio (°C) para 12 horas (horario diurno y nocturno) estación 2. Pescador 5.387

Figura 5.158 Humedad promedio (%) para 12 horas (horario diurno y nocturno) estación 2. Pescador 5.388

Figura 5.159 Velocidad del viento promedio (m/s) para 12 horas (horario diurno y nocturno) estación 2. Pescador 5.388

Figura 5.160 Presión barométrica (mm Hg) para 12 horas (horario diurno y nocturno) estación 2. Pescador 5.389

Figura 5.161 Concentraciones máximas diarias, material particulado PM10 y PST. ... 5.392

Figura 5.162 Concentraciones promedio anual, material particulado PM10 y PST. 5.393

Figura 5.163 Ubicación geográfica de las estaciones de ruido ambiental 5.400

Figura 5.164 Resultados de niveles de ruido Corregidos – Línea Base – horario diurno semana. 5.406

Figura 5.165 Resultados de niveles de ruido Corregidos – Línea Base – horario nocturno semana. 5.406

Figura 5.166 Resultados de niveles de ruido Corregidos – Línea Base – horario diurno festivo. 5.407

Figura 5.167 Resultados de niveles de ruido Corregidos – Línea Base – horario nocturno festivo. 5.407

Figura 7.39 Representación en 3D del modelo para Línea base diurno – Crucero el Pescador. 5.410

Figura 7.40 Representación en 3D del modelo para Línea base diurno – Mondomo. . 5.411

Figura 7.41 Representación en 3D del modelo para proyección Doble Calzada diurno – Crucero el Pescador. 5.412

Figura 7.42 Representación en 3D del modelo para proyección Doble Calzada diurno – Mondomo..... 5.413

Figura 7.45 Mapa de ruido en representación de curvas isófonas - Línea base - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Diurno. 5.414

Figura 7.46 Mapa de ruido en representación raster – Línea base - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Diurno. 5.415

Figura 7.47 Mapa de ruido en representación de curvas isófonas - proyección Doble calzada Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Diurno..... 5.416

Figura 7.48. Mapa de ruido en representación raster – proyección Doble calzada - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Diurno. 5.417

Figura 7.53 Mapa de ruido en representación de curvas isófonas - Línea base - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Nocturno. 5.418

Figura 7.54 Mapa de ruido en representación raster – Línea base - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Nocturno. 5.419

Figura 7.55 Mapa de ruido en representación de curvas isófonas - proyección Doble calzada Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Nocturno.. 5.420

Figura 7.56 Mapa de ruido en representación raster - proyección Doble calzada - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Nocturno. 5.421

LISTA DE FOTOS

Foto 5.1 Lutitas y shales carbonosos meteorizados de la Formación Esmita meteorizados 5.15

Foto 5.2 Lutitas y shales carbonosos meteorizados de la Formación Esmita..... 5.16

Foto 5.3 Intercalación de flujos de lodo y flujos de escombros de origen vulcano-sedimentario de la unidad Ngpfg / Npfg en el conjunto medio de la Formación Popayán 5.18

Foto 5.4 Intercalación de flujos de lodo y flujos de escombros de origen vulcano-sedimentario de la unidad Ngpfg / Npfg en el Conjunto Medio de la Formación Popayán 5.19

Foto 5.5Estación 1060000 E y 804615 N – Río Ovejas. Intercalación de flujos de lodo y flujos de escombros de origen vulcano-sedimentario de la unidad Ngpfg / Npfg en el Conjunto Medio de la Formación Popayán 5.20

Foto 5.6 Cenizas de caída Formación Popayán..... 5.21

Foto 5.7 Características cenizas de caída 5.22

Foto 5.8 Depósitos de flujo de escombros fresco..... 5.23

Foto 5.9 Depósitos de flujo de escombros fresco..... 5.23

Foto 5.10Depósitos de flujo de escombros alterado 5.24

Foto 5.11 Depósitos de flujo de escombros alterado..... 5.24

Foto 5.12 Material limo arcilloso baja plasticidad 5.27

Foto 5.13 Material tobáceo 5.27

Foto 5.14 Limos de baja plasticidad..... 5.28

Foto 5.15 Deslizamiento ocasionado por la erosión..... 5.28

Foto 5.16 Limo amarillo- naranja con plasticidad 5.29

Foto 5.17 Corte en cajón en material limoso..... 5.30

Foto 5.18 Limos arcillosos 5.31

Foto 5.19 Taludes conformados por Flujo de ceniza y bloques..... 5.31

Foto 5.20 Aglomerado heterométrico..... 5.32

Foto 5.21 Secuencia volcano- sedimentaria 5.33

Foto 5.22 Secuencia sedimentaria..... 5.34

Foto 5.23 Zonas húmedas 5.35

Foto 5.24 Manantiales en el talud 5.36

Foto 5.25 Depósitos aluviales 5.37

Foto 5.26 Vía sobre terraplén 5.38

Foto 5.27 Terrazas erosionadas y sitio inestable 5.39

Foto 5.28 Características de la fuente río Ovejas 5.40

Foto 5.29 Características globales de la fuente río Ovejas 5.41

Foto 5.30 Relieve de lomerío. 5.58

Foto 5.31. Abanicos (Ab) conformados por flujos de escombros removidos y muy meteorizados asociados a la Falla Piendamó dentro de la Unidad UFP-5. (Coordenadas estación 1061786mE y 787899mN - Corregimiento de Túnia). 5.59

Foto 5.32 Relieve ondulado 5.61

Foto 5.33 En segundo plano el relieve montañoso característico de la UF-9 correlacionable con la Formación Esmita (Ngme). (Coordenadas estación 1057865mE y 813721mN). 5.64

Foto 5.34Características morfológicas del Proceso de Remoción en Masa en el Sector de Los Rosales (Coordenadas estación 10558711mE y 807007mN). 5.70

Foto 5.35 Erosión en forma de surcos en el Proceso de Remoción en Masa en el sector de Los Rosales (Coordenadas estación 10558711mE y 807007mN). 5.71

Foto 5.36Flujos de lodo altamente meteorizados sobre flujos frescos de lodo en la zona del Proceso de Remoción en Masa en el sector de Los Rosales (Coordenadas estación 10558711mE y 807007mN). 5.72

Foto 5.37 Nacimiento de agua y obra de control en el sector de Los Rosales. Al fondo, corona del deslizamiento (Coordenadas estación 10558711mE y 807007mN). 5.73

Foto 5.38 Bosque de galería o ripario en unidad de depósitos fluviales 5.88

Foto 5.39 Mosaico de cultivos y espacios naturales en unidad de depósitos fluviales .. 5.90

Foto 5.40 Tejido urbano discontinuo en unidad de montañas altas y pendientes empinadas y alargadas 5.92

Foto 5.41 Estación UF3EH1 ..... 5.177

Foto 5.42 Estación UF3EH2 Quebrada el Rosal 5.179

Foto 5.43 Estación UF3EH3 ..... 5.180

Foto 5.44 Estación UF3EH4 ..... 5.181

Foto 5.45 Estación UF3EH5 Quebrada del Colegio 5.182

Foto 5.46 Estación UF3EH6 Río Ovejas 5.183

Foto 5.47 Estación UF3EH7 ..... 5.184
Foto 5.48 Estación UF3EH8 Quebrada las Lajas 5.184
Foto 5.49 Estación UF3EH9 Nacimiento 5.186
Foto 5.50 Estación UF3EH10 ..... 5.187
Foto 5.51 Estación UF3EH11 ..... 5.187
Foto 5.52 Estación UF3EH12 Quebrada Llanito 5.188
Foto 5.53 Estación UF3EH12 Quebrada Llanito, esquema del sitio de muestreo 5.188
Foto 5.54 Estación UF3EH13 ..... 5.189
Foto 5.55 Estación UF3EH14 ..... 5.190
Foto 5.56 Estación UF3EH15 Cañería Mondomo 5.191
Foto 5.57 Estación UF3EH16 ..... 5.192
Foto 5.58 Estación UF3EH17 ..... 5.193
Foto 5.59 Estación UF3EH18 Río Pescador 5.194
Foto 5.60 Estación UF3EH19 Río Ovejas 5.195
Foto 5.61 Estación UF3EH20 Río Mondomo 5.196
Foto 5.62 Bocatoma 1 Acueducto Bellavista 5.251
Foto 5.63 Bocatoma 2 Bellavista 5.251
Foto 5.64 Tanque de almacenamiento Acueducto Bellavista 5.251
Foto 5.65 Bocatoma El Rosal 5.254
Foto 5.66 Desarenador El Rosal 5.254
Foto 5.67 Tanque de almacenamiento 5.254
Foto 5.68 Viaductos 5.254
Foto 5.69 Fime Centro Poblado Pescador 5.257
Foto 5.70 Filtros en la PTAP del sistema 5.257
Foto 5.71 Bocatoma El Pital 5.260
Foto 5.72 Tanque almacenamiento El CEDRIL 5.260
Foto 5.73 PTAP El Pital 5.260

Foto 5.74 Tanque de almacenamiento El Pital 5.260
Foto 5.75 Bocatoma el Crucero 5.263
Foto 5.76 Desarenador 5.263
Foto 5.77Tanque de almacenamiento 5.263
Foto 5.78 Tanque de almacenamiento 5.263
Foto 5.79 Bocatoma Mondomito 5.266
Foto 5.80 Desarenador Mondomito 5.266
Foto 5.81 PTAP en construcción 5.266
Foto 5.82 Tanque de almacenamiento 5.266
Foto 5.83 Uso industrial (rallanderia) en la UF3 ..... 5.271
Foto 5.84 Almacenamiento de agua en la UF3 ..... 5.271
Foto 5.85 Condiciones de la zona Punto de monitoreo 4 – Pescador. 5.368
Foto 5.86Condiciones de la zona Punto de monitoreo 3 – Mondomo 5.369

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

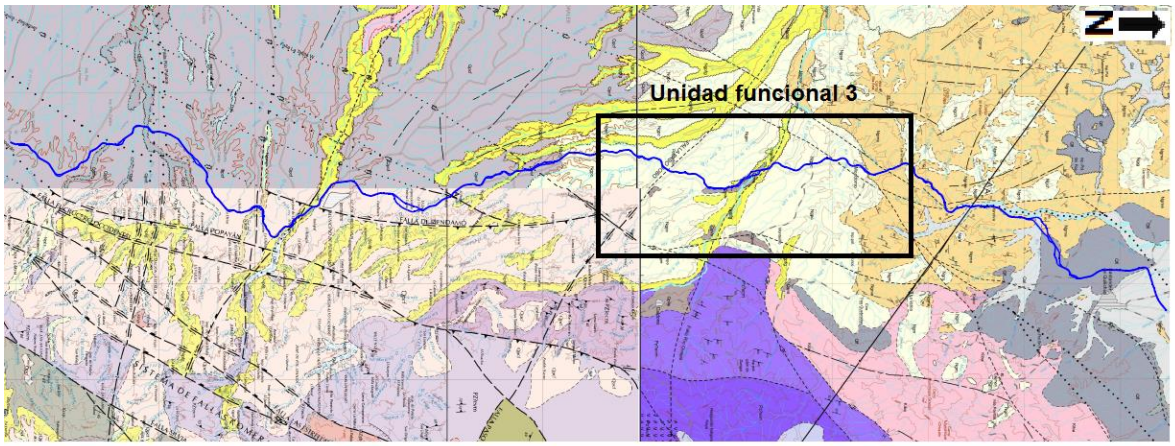
5.1 MEDIO ABIÓTICO

5.1.1 Geología

El corredor de interés se localiza en el ámbito septentrional del departamento del Cauca, en los alrededores de las poblaciones de Popayán, al Sur y Santander de Quilichao, al Norte. El indicador vial -la carretera Panamericana- discurre íntegramente por la provincia geomorfológica del valle interandino Cauca-Patía, conformado por formas estrechas y deprimidas, como en los sectores de Juananbú y Pubenza o Popayán, y mesetas como la de Mercaderes, rasgos morfológicos disectados por un drenaje de dirección preferente sureste - noroeste.

El basamento local es de edad Cretácica Inferior y está suprayacido por una secuencia sedimentaria terciaria, de edad Eoceno a Mioceno. Ambas unidades son intuidas por cuerpos ígneos de composición calco-alcalinos neógenos. La Formación Popayán y otros depósitos correlacionables con ella, recubren discordantemente a los materiales terciarios descritos.

El conjunto de rocas está afectado por los sistemas de fallas Romeral y Cali-Patía, así como por otras grandes fracturas de rumbo NO-SE y E-O. Tanto los datos estratigráficos como los de geología estructural del área, que se exponen en los siguientes epígrafes, han sido tomados de las memorias de las planchas geológicas 320 (Buenos Aires), 321 (Santander de Quilichao), 342 (Popayán) y 343 (Silvia), de INGEOMINAS. En la Figura 5.1, se presenta la Geología General del Proyecto tomando como base las Planchas geológicas de INGEOMINAS (1999):



Unidades	Descripción	Edad
	Aluviones recientes de ríos. Niveles de limos y arenas-limosas, gravas redondeadas y, ocasionalmente, arcillas.	Cuaternario. Holoceno
	Flujos de Lodo. Fragmentos sub-redondeados de cuarzo, sedimentitas, metamorfitas y porfiritas, envueltos en matriz arcillosa.	Cuaternario. Pleistoceno.
	Formación Popayán. **Conjunto Superior**. Flujos de cenizas y cenizas de caída. Epiclastitas intercaladas con flujos de ceniza y bloques. Flujos de lodo con cantos.	Plio-Pleistoceno.
	Formación Popayán. **Conjunto Medio**. Flujos grises de cenizas y bloques. Cenizas de caída. Tobas soldadas. Flujos de cenizas y pómez. Acúmulos de pómez fibrosa.	
	Formación Popayán. **Conjunto Inferior**. Lavas andesíticas.	
	Formación Esmita. Limolitas, argilitas, areniscas, shales carbonáceos y un conglomerado en la base.	Terciario. Mioceno.
	Stock de La Chapa. Tonalitas-Dioritas.	

Figura 5.1 Geología regional del Proyecto.
Fuente: INGEOMINAS (1999)

5.1.1.1 Estratigrafía

En el área del estudio afloran unidades geológicas representadas por roca y sedimentos, cuya edad abarca desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. El proyecto discurre en su totalidad sobre rocas terciarias y depósitos cuaternarios y tendrán interacción durante el proceso constructivo proyectado.

A continuación, se presenta la descripción de las unidades geológicas que afloran en el área.

5.1.1.1.1 Formación Esmita

Se localiza el Este de la falla de Cali-Patía y está constituida por limolitas de color negro, a veces con estratificación de fina a gruesa, argilitas oscuras, areniscas grises o verdosas, también oscuras y de tamaño de grano de medio a grueso, areniscas fosilíferas, shales carbonáceos. Hacia la base, suele presentar una fina capa de conglomerado cuarzoso.

El contacto inferior no ha podido ser observado –ni en la localidad tipo- a causa de presencia de la falla de Cali-Patía, y el superior subyace discordantemente a la Formación Popayán. Su espesor aproximado se estima en unos 340 m.

Tanto la composición como la textura de la unidad parecen indicar que esta unidad se formó en un ambiente de transición, marino-continental, en el que las áreas fuente de aporte de sedimentos fueron las cordilleras Occidental y Central.

5.1.1.1.2 Stock intrusivo de la Chapa

Aflora en pequeñas porciones del terreno hacia el norte de la población de Mondomo, intruyendo lar cobertura de rocas sedimentarias. Está constituido fundamentalmente por tonalitas y microtonalitas que, hacia el Norte, evolucionan a dioritas, teniendo como minerales esenciales cuarzo, feldespato y máficos. Su textura varía desde hipidiomorfa inequigranular a porfídica.

5.1.1.1.3 Formación Popayán. Conjunto Inferior

Está constituido por lavas andesíticas cuyos minerales esenciales son la plagioclasa y la augita. La matriz de estas rocas, es microcristalina a criptocristalina y está formada por diminutos cristales de plagioclasa y piroxeno.

En algunas quebradas, al este de la población de Silvia, este conjunto está siendo recubierto por bloques y depósitos de ceniza del conjunto medio.

5.1.1.1.4 Formación Popayán. Conjunto Medio

Está constituido de flujos grises de cenizas y bloques, intercalados con epiclastitas, tobas soldadas, cenizas de caída, y flujos de ceniza y pómez.

- ✓ Flujos grises de cenizas y bloques que aparecen en los ríos Pedregosa, Tunía, Bermejal y Ovejas, se componen de fragmentos líticos andesíticos, angulosos y heterométricos, envueltos en una matriz de cenizas, conformada por cristales rotos de plagioclasa, biotita y hornblenda. Localmente se observan capas de epiclastitas conformadas por arenas, gravas y arcillas.
- ✓ Tobas soldadas están ampliamente distribuidas en los alrededores de Popayán y presentan una matriz grisácea –formada por vidrio cloritizado que envuelve cristales de biotita, plagioclasa, fragmentos de obsidiana, pómez, cuarzo, piroxeno y líticos angulares de andesitas porfídicas.
- ✓ Cenizas de caída se encuentran meteorizadas y presentan tonalidades desde rojo hasta amarillo intenso.
- ✓ Flujos de ceniza y pómez se localizan a lo largo de los ríos Piedras, Cajibío. Están compuestos por pómez fibrosa redondeada o angulosa y líticos de rocas metamórficas, envueltos en una matriz blanquecina de cristales de plagioclasa, hornblenda y biotita.

Otras unidades menos, frecuentes son las llamadas, como Miembro Sombrerillo y Miembro Cajibío, conformados por cenizas grises con bloques, y por pómez fibrosa, consecutivamente.

5.1.1.1.5 Formación Popayán Conjunto Superior

- ✓ Depósitos de flujos de ceniza y cenizas de caída se disponen fundamentalmente en los alrededores de Popayán, concretamente a la altura de la población de Morales. Están compuestos por material meteorizado, fino, integrado por mica blanca, granos de plagioclasa, magnetita y cuarzo bipiramidal.
- ✓ Secuencias de epiclastitas intercaladas con flujos de cenizas y bloques andesíticos aparecen en las quebradas de Puente Alta y Gregorio, formadas por gravas, arenas y arcillas.
- ✓ Los flujos de lodo se localizan en los ríos Palace, Cauca, Molino, Ejido, Piedras y Hondo. Incluyen cantos de andesitas, basaltos y esquistos, soportados en una matriz arcillo-arenosa.

La Formación Popayán representa, un vulcanismo asociado a una tectónica de margen continental activo. Conforma depósitos sin continuidad vertical ni horizontal, a pesar de que sus límites se pueden definir con relativa precisión. Además, se observa que corresponden a depósitos que rellenan paleo-canales y, en consecuencia, no se corresponden con unidades lito-estratigráficas en sentido estricto, debiendo ser consideradas más propiamente como unidades alo-estratigráficas.

En la Figura 5.2 se presenta la columna estratigráfica generaliza de la Formación Popayán.

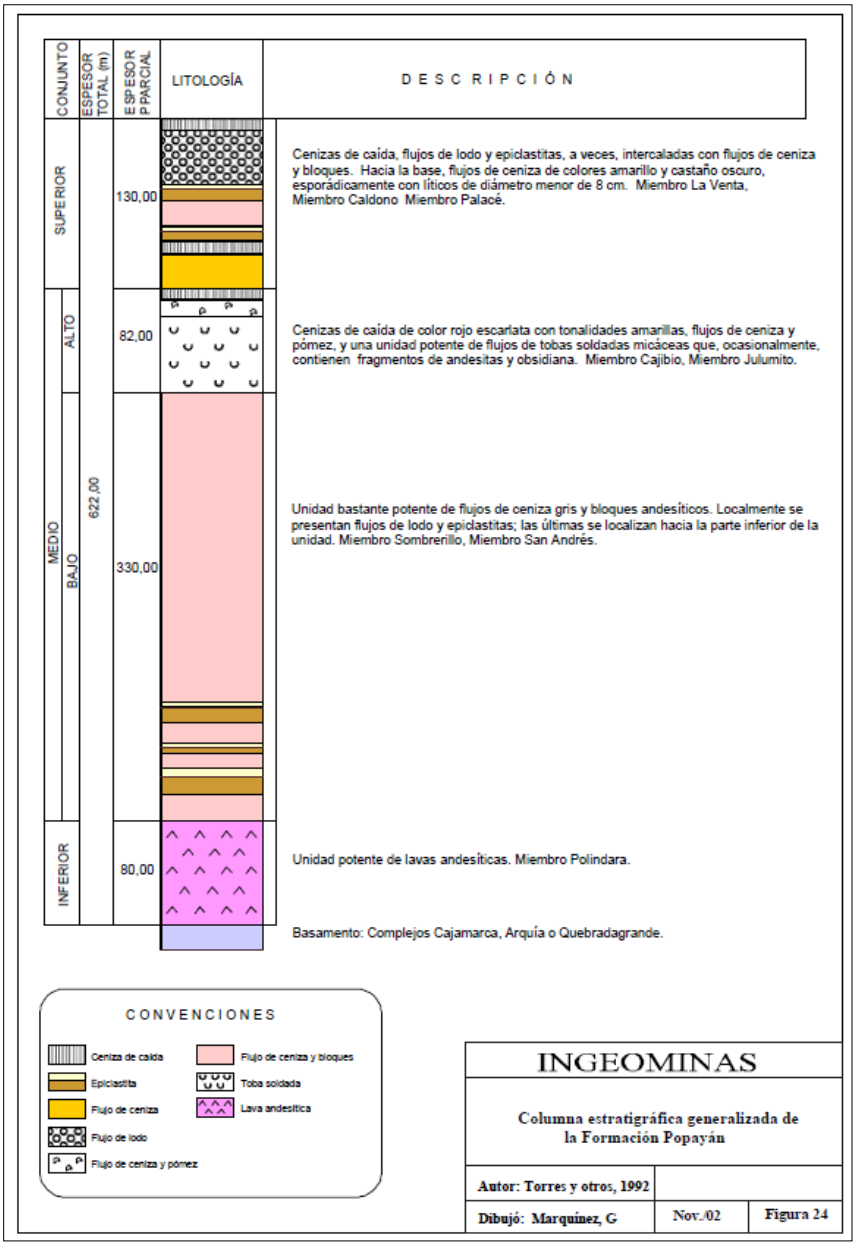


Figura 5.2 Columna estratigráfica generalizada de la Formación Popayán
Fuente: INGEOMINAS, 2003.

5.1.1.1.6 Depósitos de Flujos de Lodo

Estos depósitos se localizan a poniente del cerro Munchique y al sureste del caserío Robles. Los primeros están integrados por fragmentos sub-redondeados de cuarzo, rocas sedimentarias, metamórficas y pórfidos, engastados en matriz arcillosa.

La génesis de estos depósitos está relacionada, muy probablemente, con periodos de lluvias intensas durante el levantamiento de las cordilleras. Su datación, cuaternaria, se basa sobre todo en argumentos morfológicos, como el desarrollado drenaje.

5.1.1.1.7 Depósitos aluviales

Los depósitos aluviales, se localizan en las márgenes de los ríos y quebradas de mayor rango, constituyendo superficies –planas y deprimidas entre el relieve circundante- originadas por los procesos deposicionales de las corrientes fluviales. Están constituidos por niveles de arenas, gravas redondeadas y, ocasionalmente, arcillas, alcanzando un espesor máximo del orden de 50 m.

5.1.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El basamento rocoso del sector está representa por las rocas de afinidad continental correspondientes a las metamórficas paleozoicas y pre-cámbricas de la Cordillera Central y las rocas oceánicas básicas y sedimentarias del Cretáceo, situadas al oeste. Estas unidades están separadas entre sí, por el sistema falla de Romeral.

Superpuestas a estas dos unidades litoestratigráficas, se presenta el magmatismo y vulcanismo Mesozoico y Cenozoico y el desarrollo de las cuencas de la molasa terciaria.

En este desarrollo tectónico y magmático ha intervenido la actividad de dos zonas de subducción, de las cuales la más antigua y oriental está enmascarada por los procesos de acreción continental y cuyo eje principal ocupa la margen occidental de la Cordillera Central. La segunda, es el resultado del salto hacia el oeste de la primera zona, y cuyo eje se encuentra actualmente en actividad, situado debajo de la planicie costera del Pacífico.

A continuación, se describen las principales estructuras del área donde se emplaza el proyecto.

5.1.1.2.1 Fallas Geológicas Regionales

A. Sistema de fallas de Romeral

El sistema de fallas de Romeral, posiblemente tuvo su desarrollo con posterioridad al Cretáceo inferior con un movimiento de rumbo y dextral que transportó desde el sur, rocas oceánicas del Cretáceo superior, situadas al oeste de dicha falla y que conforman gran parte de la Cordillera Occidental.

En el suroccidente colombiano, las fallas de dirección aproximada norte – sur y localizadas hacia la parte occidental de la Cordillera Central conforman el Sistema de Fallas de Romeral,

que pone en contacto rocas de ámbito oceánico al occidente con rocas de ambiente continental al oriente. Las características generales de las fallas del Sistema Romeral, son:

- ✓ Las estructuras son fallas con amplia zona de deformación y pueden extenderse desde el Ecuador hasta el norte de Colombia.
- ✓ El rumbo en general es norte-sur y según varios autores, su plano de inclinación presenta buzamiento al este con ángulo alto, mayor a 60º. Localmente el plano se encuentra inclinado al oeste posiblemente por razones de plegamiento.
- ✓ Presenta estructuras marcadas, como zonas de brechas, espejos o lisos y rasgos geomorfológicos como alineamientos de ríos y quebradas.
- ✓ Generalmente existen zonas de inestabilidad o zonas de deslizamientos asociados.
- ✓ Afectan rocas de edades comprendidas entre el Paleozoico hasta el Holoceno.
- ✓ Varias fallas del sistema tienen un movimiento de desplazamiento horizontal o de rumbo.
- ✓ El sistema es interceptado por estructuras similares de dirección E-W y N 60º W, donde el rumbo de algunas fallas cambia localmente al N-S de su dirección general.1

El sistema de fallas de Romeral se compone de tres grandes estructuras que siguen el tren estructural de la Cordillera Central por varios centenares de kilómetros. A cada falla principal, están asociadas unas estructuras satélites de igual importancia. Las fallas principales del sistema son: San Jerónimo, Silvia-Pijao y Cauca-Almaguer.

- ✓ Falla San Jerónimo: A lo largo de su traza atraviesa depósitos recientes de la Formación Popayán, afectándolos tectónicamente en algunas zonas. Presenta componente lateral inverso y representa el contacto entre rocas oceánicas cretácicas del Complejo Quebradagrande al occidente y metamórficas paleozoicas del Complejo Cajamarca al oriente.
- ✓ Falla Silvia-Pijao: Presenta una inclinación al Este, con movimiento en rumbo de componente dextral y también inverso. Representa el contacto entre rocas metamórficas del Complejo de Arquía al occidente y rocas de corteza oceánica del Complejo Quebradagrande al oriente. En los alrededores de la población de Timbío se evidencia el desplazamiento de depósitos de cenizas cuaternarias de la Formación Popayán a lo largo de esta estructura.

Algunas trazas asociadas a la falla Silvia Pijao son:

- ✓ Las Fallas Las Estrellas y El Crucero buzan al este y presentan movimientos horizontales. Sirven de límite tectónico entre rocas del granitoide de Bellones y el Complejo Arquía, o bien afectan a la Formación Popayán presenta rasgos morfológicos como silletas, escarpes y quiebros del terreno a lo largo de su traza.

✓ La Falla El Crucero se evidencia por escarpes que varían entre 80 m y 200 m a lo largo de su traza y conforma morfológicamente el borde occidental de la cordillera central entre los ríos Blanco y Piendamó.

✓ La Falla Popayán, presenta buzamiento hacia el oriente con componente inverso, en los alrededores de la ciudad, dibuja silletas muy marcadas y desplazamientos de depósitos de cenizas, que superan los 10 m.

✓ Falla Cauca-Almaguer: Estas fallas presentan un rumbo de dirección NE-SO, por el borde oriental del valle interandino. Por su similitud en comportamiento estructuras, se asocian a esta estructura las fallas de Piendamó, La Tetilla, Mosquerillo y Rosas-Julumito. Se extiende por centenares de kilómetros y presenta, en algunos sectores, rasgos indicadores de actividad reciente. La Falla de Piendamó afecta depósitos de la Formación Popayán y presenta evidencias de componente inverso. Las fallas de La Tetilla y Mosquerillo presenta componente en rumbo con movimiento dextral. Presentan buzamiento hacia el Este, interceptando también depósitos de la Formación Popayán. A la traza de la falla Rosas-Julumito se le asocia el sismo de Popayán de marzo de 1983. INGEOMINAS (1986).

B. Sistema de Fallas Cali- Patía

Este sistema se localiza en el borde oriental de la cordillera Occidental. Sus fallas son inversas, de ángulo elevado, inclinadas al Este, y de trazado NO-SE; con desplazamientos horizontales. Las trazas de las diferentes fallas se entrecruzan entre sí, generando la conformación de bloques de forma elipsoidal bordeados por fallas.

Las principales estructuras del sistema son las fallas Cali-Patía, Las Badeas, Limoncillo y Guabo. La primera corre siguiendo el curso del río Cauca, con buzamiento hacia el oeste, de componente inverso y horizontal. Las fallas Las Baleas y Limoncillo poseen similares características.

En la Figura 5.3 se esquematiza la distribución de las principales estructuras geológicas en el valle interandino Cauca – Patía

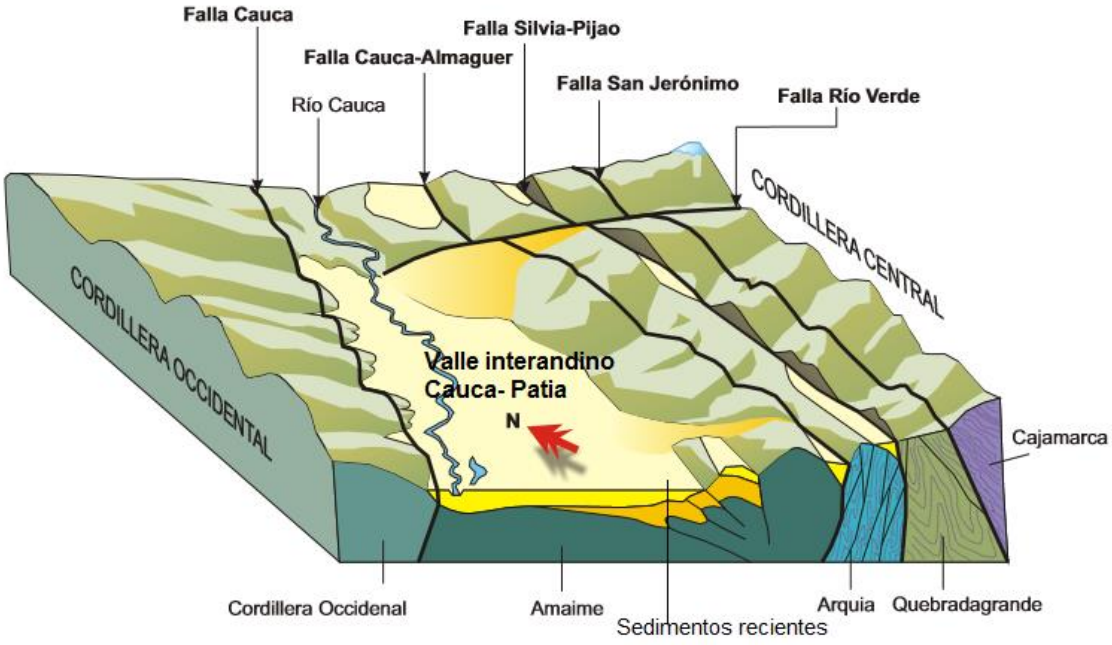


Figura 5.3 Esquema de distribución de fallas geológicas en el sector del Valle interandino Cauca – Patía

Fuente: López, 2006

C. Falla Quebradanueva

Fue cartografiada en la cabecera del río Moras, presenta un componente de rumbo con movimiento dextral y se inclina hacia el oriente con ángulo de buzamiento alto. En el sur presenta un rumbo de N30ºE, que cambia suavemente hacia el norte, con una disposición de N50ºE.

Pone en contacto rocas precámbricas con rocas metamórficas paleozoicas y sedimentarias cretácicas, afectando, además, depósitos de cenizas cuaternarios, evidenciando actividad tectónica en el pasado reciente.

Esta estructura alinea los volcanes Nevado del Huila y Puracé, y se le ha relacionado con el terremoto de Páez (6/06/1994), siendo un indicio adicional para considerarse una falla activa.

D. Falla Bellavista

Pone en contacto las filitas y pizarras del Dagua con rocas basálticas y sedimentarias cretácicas; presenta indicios de componente inverso y se inclina hacia el oeste. Tiene rasgos

que evidencian de desplazamientos laterales. Es posible que se haya reactivado durante el Cenozoico.

E. Fallas de dirección NO-SE

Estas estructuras presentan sutiles rasgos en el campo. Se generaron desde el Mioceno, asociadas a la dinámica tectónica del sector. Presentan ángulo de buzamiento elevado. Al grupo pertenecen las fallas de Paso de Bobo, Montaña Perdida, Río Hondo y Río Piendamó.

5.1.1.2.2 Fallas Geológicas Activas

Según el mapa de fallas y pliegues cuaternarios de Colombia a escala 1:2.500.000, (Paris et al., 2000) mostrado en la Figura 5.4, las fallas del Sistema Cauca - Romeral con registros de actividad en el cuaternario para la zona de la vía Popayán – Santander de Quilichao son:

A. Falla Piendamó

Falla de rumbo N-S a NNE-SSW con buzamiento alto al E y NE, localizada entre el municipio de Piendamó y el Cerro La Chapa, a la base del frente montañoso del flanco occidental de la Cordillera Central entre Popayán y el río Ovejas. Allí constituye el límite oriental del bloque tectónico hundido identificado como la depresión o valle interandino del Cauca – Patía.

Se trata de una falla de movimiento inverso – dextral que desplaza depósitos volcánicos y vulcanoclásticos de la Formación Popayán de edad Terciario – Cuaternario, formando un escarpe de 400 m de altura en las inmediaciones del municipio de Piendamó, que disminuye en altura en dirección del Cerro La Chapa. Basados en el estado de preservación de los rasgos morfo tectónicos de la falla, de la altura del escarpe y de la edad de la litología afectada, Paris et al., (2000), consideran que la tasa de actividad de esta falla es media a baja (0.2 – 1 mm/año). Son desconocidos su intervalo de recurrencia, el sismo máximo que puede generar y la edad del último movimiento.

B. Falla Rosas – Julumbito

La Falla Rosas – Julumito se localiza a 5 km al W de la ciudad de Popayán, correlacionable con la Falla Popayán. Se trata de una falla de rumbo NNE, ángulo de buzamiento al W y movimiento inverso – dextral. Cruza los depósitos volcánicos y volcano-sedimentarios de la Formación Popayán de edad Terciario – Cuaternario. Su expresión geomorfológica se caracteriza por silletas de falla, empozamientos de valles aluviales, deflexiones de drenajes, desplazamientos de drenajes, cuchillas rectilíneas, lomos de obturación, entre otros.

Paris et al., (2000) han determinado que el segmento activo de esta falla tiene una longitud de 17 km, sismos con un intervalo de recurrencia de 7000 a 70000 años, actividad media a baja (0.2 – 1 mm/año) y sismo de magnitud 6.8. A esta falla es asignado el terremoto de Popayán del 31 de marzo 1983, con magnitud de Mb de 5.5.

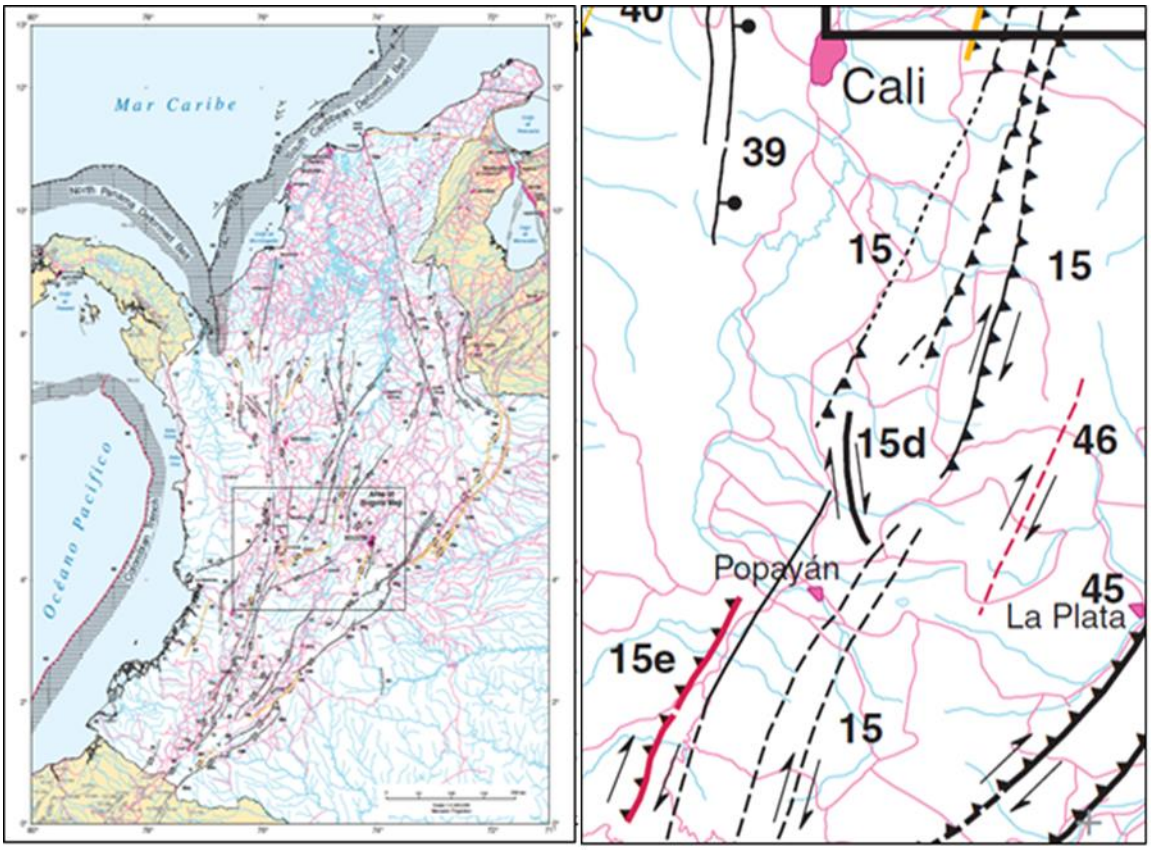


Figura 5.4 Fallas activas del Sistema Cauca - Romeral (15) en la zona del trazado de la vía Popayán – Santander de Quilichao. 15d: Falla Piendamó. 15e: Falla Rosas – Julumbito
Fuente: Paris et al., 2000

5.1.1.2.3 Pliegues

Las unidades pre-pliocenas del entorno se encuentran replegadas, cuyos ejes de deformación, planos de esquistosidad y/o estratificación, están dispuestos paralelamente a los de las cordilleras Occidental y Central. Se presentan pliegues amplios como el anticlinal Marilopito, los sinclinales Aguablanca y Aguaclara, que afectan las rocas del Cretácico Superior. El sinclinorio Seguenguito que se desarrolla sobre rocas terciarias.

Las fases de plegamiento principales estuvieron probablemente relacionadas, con movimientos de las placas Nazca y Farallones a principios del Neógeno.

5.1.1.2.4 Discordancias

Los contactos discordantes más evidentes y reconocibles, a nivel regional, son los que se indican a continuación:

- ✓ El existente entre las rocas oceánicas del Cretácico Superior y la Formación Chimborazo del Paleógeno.
- ✓ El contacto inferior de la Formación Guachinte.
- ✓ El contacto inferior de la Formación Popayán o de las vulcanitas del Galeón.

El origen de estas superficies discordantes estaría relacionado con periodos importantes de levantamiento de las cordilleras. La primera de ellas respondería a una elevación de la cordillera Occidental, con posteriores efectos erosivos durante el Eoceno-Oligoceno, mientras que la última se enmarcaría dentro del Plioceno en ambas cordilleras, con efectos de vulcanismo andesítico, cuyos depósitos se acumularían sobre una superficie de meteorización y erosión de edad también pliocena.

5.1.1.3 GEOLOGÍA LOCAL

5.1.1.3.1 Metodología

La metodología para la descripción local de la geología correspondiente a la unidad funcional 3 del área en estudio, se realizó a partir de la descripción de 13 estaciones georreferenciadas, donde se realizó el diligenciamiento de formatos que contienen toda la información relevante de cada sitio y la toma de fotografías.

La unidad funcional 3, se caracteriza principalmente por estar conformada por aglomerados de Flujos de lodo, compuestos por fragmentos sub-redondeados de cuarzo, rocas sedimentarias, metamórficas y pórfidos, matriz soportado. Presentan meteorización esferoidal. En superficie estos aglomerados están cubiertos por una capa de ceniza de caída meteorizada, la cual origina limos con espesores variables. Se identifican tres sub-unidades de ceniza de caída denominados Ngpc1, Ngpc2 y Ngpc3, clasificados por su plasticidad y coloración en el presente estudio.

La geología de detalle en planta y secciones para los diferentes tramos del proyecto vial en la unidad funcional 3, se presentan en el Anexo 5.1.1 Planos geología UF3-GEO-02.

Los taludes correspondientes a esta unidad funcional son susceptibles a procesos erosivos, y dado que tienen consolidación moderada, se generan desprendimientos de material y micro deslizamientos, que no afectan la funcionalidad de la vía existente

A continuación, se describen las sub-unidades geológicas:

- ✓ **NGPC1:** Cenizas de caída de color amarillo de baja plasticidad, en estado avanzado de meteorización originando limos
- ✓ **NGPC2**: Cenizas de caída de color amarillo naranja de media plasticidad en estado avanzado de meteorización originando limos
- ✓ **NGPC3:** Cenizas de caída de color rojizo de alta plasticidad, en estado avanzado de meteorización originando limos

5.1.1.3.2 Unidades geológicas del corredor

A continuación, se describen las unidades geológicas que hacen parte del proyecto vial en la Unidad Funcional 3.

Tabla 5.1. Unidades litológicas presentes en el corredor vial de la UF-3

Unidad	Subdivisiones	
Formación Esmita		
Stock Garrapatero		
Fm Popayán	Conjunto Medio	Flujos de ceniza y bloques
		Flujos de Ceniza y Pómez
		Cenizas de Caída
	Conjunto Superior	Flujo de Lodos
		Flujo de cenizas y cenizas de caída
Flujos de lodos y escombros		
Depósitos aluviales		

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

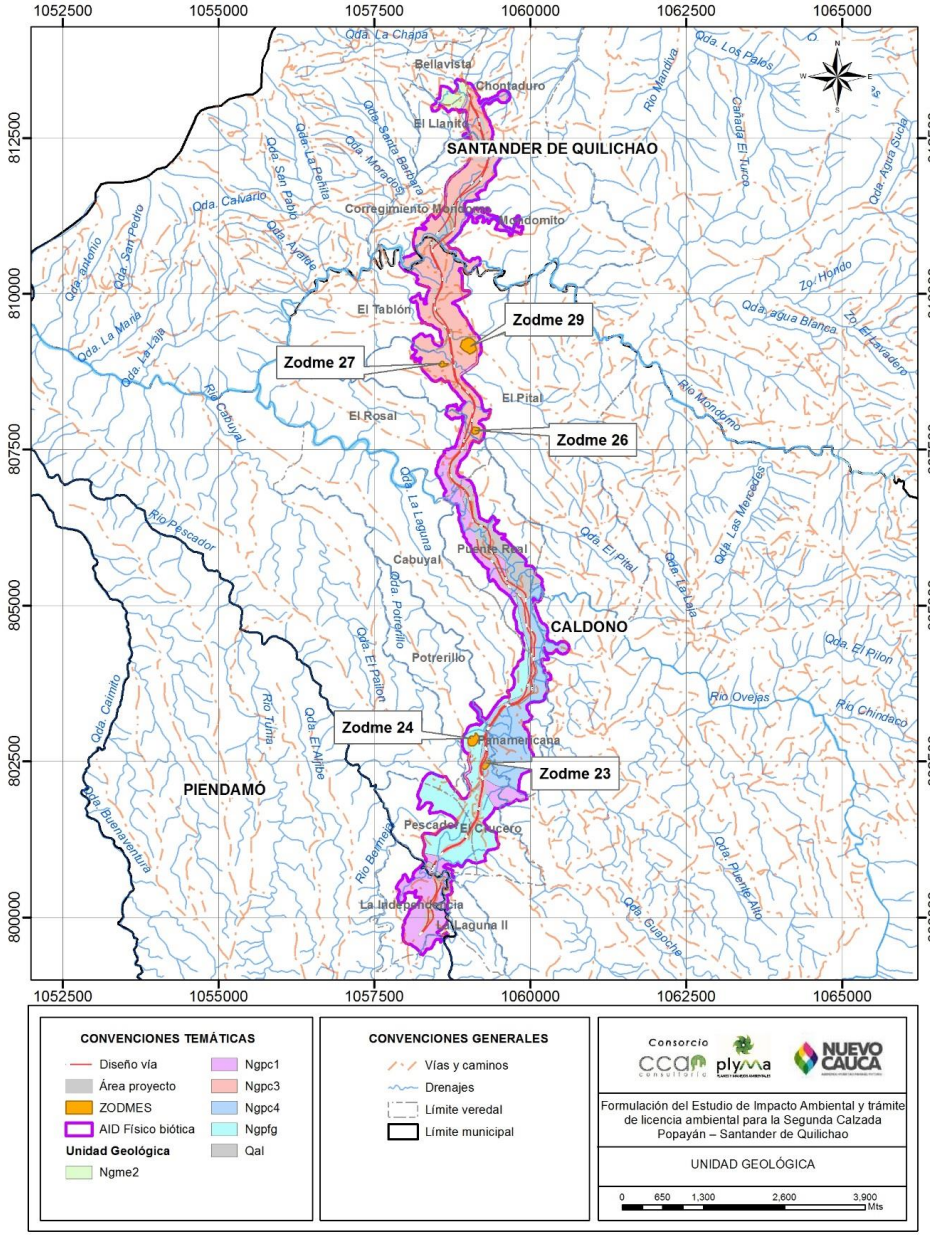


Figura 5.5 Unidades Geologicas de la Unidad Funcional 3

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

A. Formación Esmita (Ngme)

Unidad localizada en el segmento norte de la vía Popayán – Santander de Quilichao, al norte del río Ovejas y del corregimiento de Mondomo, en la jurisdicción del municipio de Santander de Quilichao.

La Formación Esmita es una secuencia de rocas sedimentarias de ambiente transicional marino – continental de 340 m de espesor. Está constituida por limolitas de color negro, arcillolitas oscuras, areniscas de grano medio a grueso de color gris a verde oscura, areniscas fosilíferas, shales carbonáceos y conglomerados cuarzosos en menor proporción. Hacia la base de la secuencia se encuentran capas delgadas de conglomerados cuarzosos seguidas de areniscas fosilíferas con predominio de bivalvos y shales carbonáceos, mientras hacia el techo son comunes las intercalaciones de areniscas verdosas con limolitas.

En las Foto 5.1 y Foto 5.2 se observa un afloramiento de esta formación, donde dominan los estratos de lutitas con intercalaciones de shales carbonosos. En general los afloramientos sobre la vía actual desde Mondomo hasta el río San Francisco en dirección de Santander de Quilichao, exponen roca meteorizada.

El contacto superior de esta unidad es discordante con las rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de la Formación Popayán.



Foto 5.1 Lutitas y shales carbonosos meteorizados de la Formación Esmita meteorizados
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016



Foto 5.2 Lutitas y shales carbonosos meteorizados de la Formación Esmita
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

B. Stock Garrapatero (Ngg)

Ubicado al Oeste de Santander de Qulichao, conformando los cerros de Garrapatero y Garrapaterito. Por las características petrográficas, condición de meteorización, edad e interpretación, se relaciona con el Stock de La Chapa.

C. Formación Popayán (Ngpfg / Npfg, Ngpcp / Npcp, Ngpc, Qpfl y Qpcf)

Esta unidad volcano sedimentaria se encuentra continuamente a lo largo del trazado de la vía Popayán Santander de Quilichao, entre la ciudad de Popayán y el corregimiento de Mondomo, del municipio de Santander de Quilichao, aflorando cerca de tres cuartas partes de la longitud total de la vía.

En general la Formación Popayán representa los diferentes ciclos de la actividad eruptiva de la caldera volcánica Gabriel López en el lapso Plioceno – Cuaternario. Este vulcanismo se da en el marco tectónico de un margen continental activo.

La Formación Popayán consta de tres conjuntos litológicos diferenciados por Torres et al., (1992 en INGEOMINAS, 1999d) en función de la litología y su posición estratigráfica en Miembro Inferior, Miembro Medio y Miembro Superior.

A continuación, se presenta la descripción del Miembro o Conjunto Medio y el Conjunto Superior que afloran en la zona del trazado vial.

- Conjunto Medio

Se compone de flujos grises de ceniza y bloques, intercalados con epiclastitas, tobas soldadas y cenizas de caída. En las planchas geológicas 320 (INGEOMINAS (1999b), 321

(INGEOMINAS, 1999c) y 342 (INGEOMINAS, 1999a) se diferencian las siguientes subunidades:

- ✓ Flujo Gris de Cenizas y Bloques (Ngpfg / Npfg): Flujos compuestos por fragmentos líticos de andesitas, de forma angular y de diferentes tamaños, embebidos en una matriz de ceniza conformada por cristales rotos de plagioclasa, biotita y hornblenda que afloran principalmente en los ríos Piendamó, Pedregosa, Túnia, Bermejal, Ovejas, al sur del corregimiento de Mondomo (Foto 5.3, Foto 5.4 y Foto 5.5).

  En la plancha geológica 343 (INGEOMINAS, 2002 y 2003), esta subunidad se denomina Miembro Sombrerillo. En este sector, ésta unidad está conformada por depósitos piroclásticos y volcano-clásticos que rellenan los principales afluentes del río Cauca. Es de edad Pliocena, determinada por medio de datación radiométrica K/Ar de 4.5 Ma.

- ✓ Flujo de Ceniza y Pómez (Ngpcp / Npcp): Esta unidad aflora en el río Cajibío, donde se caracteriza por depósitos de pómez fibrosa redondeada o angulosa y escasos líticos de rocas metamórficas embebidos en una matriz de ceniza blanca, con cristales rotos de plagioclasa, hornblenda, biotita y vidrio. Estos depósitos varían de color de blanco a rosado.

  Esta unidad se identifica como el Miembro Cajibío en la Plancha 343 (INGEOMINAS, 2002 y 2003).

- ✓ Ceniza de caída muy meteorizada (Ngpc): Se identifica desde el nacimiento del río Los Quingos (afluente del río Bermejal) hasta el corregimiento de Mondomo. Se identifican por su alto grado de meteorización que se manifiesta en la cloración roja con tonalidades de amarillo intenso. Ocasionalmente se diferencian óxidos.



Foto 5.3 Intercalación de flujos de lodo y flujos de escombros de origen vulcano-sedimentario de la unidad Ngpfg / Npfg en el conjunto medio de la Formación Popayán
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016



Foto 5.4 Intercalación de flujos de lodo y flujos de escombros de origen vulcano-sedimentario de la unidad Ngpfg / Npfg en el Conjunto Medio de la Formación Popayán
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016



Foto 5.5Estación 1060000 E y 804615 N – Río Ovejas. Intercalación de flujos de lodo y flujos de escombros de origen vulcano-sedimentario de la unidad Ngpfg / Npfg en el Conjunto Medio de la Formación Popayán
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

- Conjunto Superior

Compuesto por depósitos de flujos de ceniza, cenizas de caída, flujos de ceniza y bloques, además de flujos de lodo. En las planchas geológicas 342 (INGEOMINAS, 1999a) y 343 (INGEOMINAS, 2002) se diferencian las siguientes sub-unidades:

✓ Flujo de Lodo (Qpfl): Estos depósitos afloran en los ríos Palacé, Cauca, Molino, Ejido, Piedra y Hondo. Este depósito también se reconoce como Miembro Palacé en la Plancha 343, donde es descrito como aglomerado lítico con clastos heterométricos, redondeados a sub-redondeados, dispuestos caóticamente, de composición andesita, basalto y en menor proporción esquisto. La matriz es areno arcillosa de color gris o amarillo.

✓ Flujo de Ceniza y Ceniza de Caída (Qpcf): estos depósitos son comunes en los alrededores de la ciudad de Popayán. Los flujos están caracterizados por su grano fino, su meteorización que le imprime color amarillo anaranjado y por la presencia de minerales como mica blanca, plagioclasa y cuarzo bipiramidal.

Los depósitos de ceniza de caída son capas que recubren la topografía, de color amarillo pardo y están constituidas por cristales rotos de cuarzo bipiramidal, plagioclasa y mica, que están embebidos en una matriz arcillosa, producto de la meteorización de las cenizas. Dentro de este

depósito es común la intercalación de paleosuelos. Esta subunidad se reconoce en la Plancha 343 como Miembro La Venta.



Foto 5.6 Cenizas de caída Formación Popayán
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016



Foto 5.7 Características cenizas de caída
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

- Flujos de lodo y flujos de escombros (Qfl)

Afloran en el segmento final de la vía hacia el municipio de Santander de Quilichao, cubriendo desde este municipio hasta el municipio de Caloto al Este y hasta el río Páez en su confluencia con el río Mandiva (en sentido Norte – Sur). Cubren la zona drenada por las quebradas Agua Sucia, El Tajo, Chaquemaque, Cocobe y Gallinazo y los ríos Quilichao y Chiquito.

Estos depósitos de flujos de escombros y de lodo, son muy similares a la unidad Flujo Gris de Cenizas y Bloques (Ngpfg / Npfg) del Conjunto Medio de la Formación Popayán, en cuanto a fábrica, composición de matriz y clastos y grado de meteorización. Se encuentran relativamente frescos hasta muy alterados.



Foto 5.8 Depósitos de flujo de escombros fresco
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016



Foto 5.9 Depósitos de flujo de escombros fresco
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

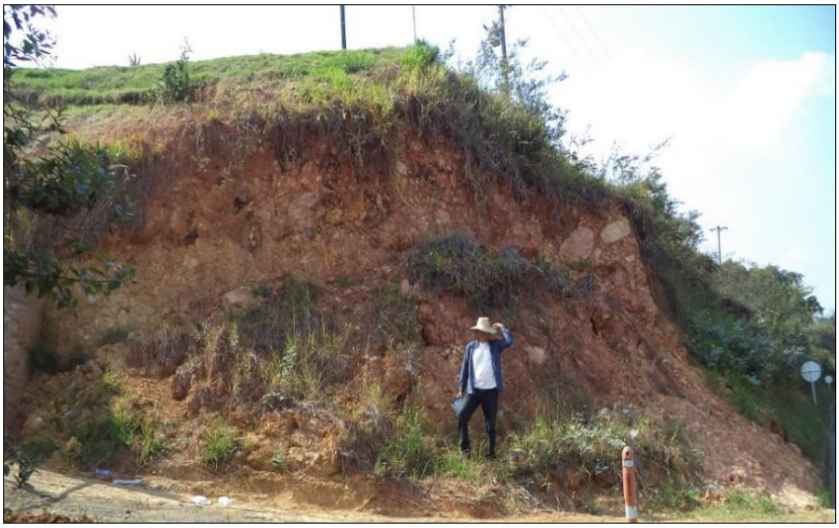


Foto 5.10Depósitos de flujo de escombros alterado
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016



Foto 5.11 Depósitos de flujo de escombros alterado
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

- Depósitos Aluviales (Qal)

Estos depósitos corresponden a la acumulación local de gravas y arenas en algunos segmentos de los principales ríos de la zona de estudio entre la ciudad de Popayán y el municipio de Santander de Quilichao. En la unidad funcional 3, donde la unidad geológica predominante es la Formación Popayán, la composición de las gravas y las arenas aluviales es igual a la de los clastos y matriz de la Formación, es decir rocas volcánicas como andesitas, basaltos y tobas, y fragmentos de líticos, pómez y cristales de origen volcánico. También es posible encontrar en menor cantidad clastos de rocas metamórficas, ígneas intrusivas, ígneas extrusivas e ígneas hipoabisales transportados por ríos que provienen de la Cordillera Central y de algunos cerros en la norte de la zona de estudio.

Los ríos que presentan este tipo de depósitos son el río Cauca en la zona de Popayán, el río Piendamó y los ríos Cauca, Mandivá, Páez y la Teta al oeste y noroeste de Santander de Quilichao.

5.1.1.3.3 Estaciones de control geológico

La Unidad funcional 3, transcurre entre la localidad de Pescador, (PR 42+500) y el corregimiento de Mondomo (PR 55+000), con un total de 12.5 Km de longitud. A continuación, se exponen sus principales características geológicas, geomorfológicas y morfodinámicas.

A partir de la información recolectada en campo se elabora un mapa geológico general de toda el área en estudio y una serie de perfiles donde se evidencian los cambios litológicos importantes.

Para la unidad funcional 3, se realizó el levantamiento geológico de la vía que conduce del municipio de Popayán al municipio de Santander de Quilichao, por medio de 18 estaciones de control geológico, las cuales se relaciona en la Tabla 5.2 . A continuación, se exponen desde este análisis sus principales características, en las estaciones realizadas.

Tabla 5.2 Estaciones de control geológico UF3

Estación	Oeste	Norte	Altura (m.s.n.m.)
27	1058530,148	801345,1131	1522,119
28	1058806,4	801479,0412	1557,734
29	1059231,758	802351,6131	1551,746
30	1059255,158	802487,0864	1544,077
31	1059231,758	802351,6131	1551,746
32	1059311,523	802991,6968	1511,64
33	1059775,212	803427,2704	1552,902
34	1060004,954	803617,688	1546,838
35	1060035,744	803640,261	1523,047

Estación	Oeste	Norte	Altura (m.s.n.m.)
27	1058530,148	801345,1131	1522,119
28	1058806,4	801479,0412	1557,734
29	1059231,758	802351,6131	1551,746
30	1059255,158	802487,0864	1544,077
36	1060074,941	803994,6942	1499,697
37	1060078,497	804475,9484	1469,84
38	1060065,341	804553,6814	1466,095
39	1059988,438	804705,2534	1454,907
40	1059934,095	805121,9008	1429,782
41	1059263,877	806263,6798	1380,191
42	1058721,778	809291,3806	1448,03
43	1058784,783	808888,6708	1441,618
44	1058508,564	809928,7862	1433,276

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

A. Estación 27

Material limo arcilloso color rojizo de plasticidad media – alta, que forma un talud de 6 metros de altura ubicado al costado izquierdo cubierto superficialmente por suelo orgánico, se presenta un fenómeno de erosión retrogresiva lo que puede involucrar la afectación de las viviendas dispuestas sobre este.

B. Estación 28

Material limoso de baja plasticidad, friable, color amarillo, de baja densidad, producto de la meteorización de cenizas volcánicas, formando un talud de 15 metros de altura e inclinación de 60 grados al costado izquierdo de la vía con rumbo N 25° W.



Foto 5.12 Material limo arcilloso baja plasticidad
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

C. Estación 29

Talud ubicado al costado izquierdo de la vía de rumbo N 8° W, compuesto por material tobáceo, se presentan dos eventos diferentes que dan origen a dos secuencias:

Secuencia volcánica: se presenta hacia la parte inferior y tiene un alto grado de meteorización.

Secuencia volcano-clástica: deposito vulcano clástico, dentro de una matriz heterogénea que varía de cenizas meteorizadas a gravas, los bloques mayores están distribuidos erráticamente compuestos por tobas, andesitas y pumitas.

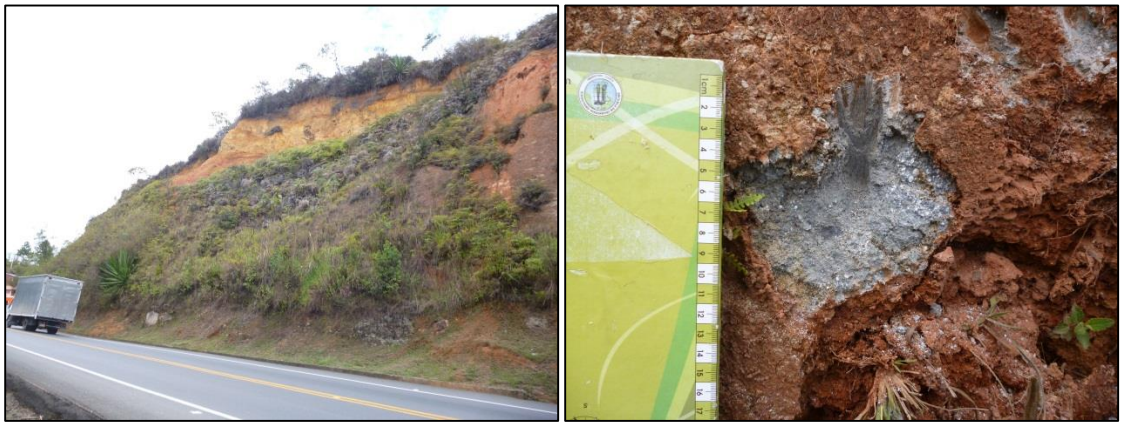


Foto 5.13 Material tobáceo
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

D. Estación 30

Talud al costado izquierdo de la vía de 6 metros de altura compuestos por limos de baja plasticidad e inclinación de 80 grados.



Foto 5.14 Limos de baja plasticidad
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

E. Estación 31

Deslizamiento ocasionado por la erosión afectando un talud de 18 metros de altura y área de 20 metros cuadrados, ubicado al costado izquierdo, compuesto por limos, con rumbo N 5° E y una inclinación de 50 grados.



Foto 5.15 Deslizamiento ocasionado por la erosión
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

F. Estación 32

Terraplén estable, 100 metros adelante se encuentra un talud al costado derecho estabilizado, compuesto por aglomerado de tobas soldadas, embebidas en una matriz limosa de baja plasticidad, ángulo de inclinación 60 grados, rumbo N 30° W. En el área se presentan cultivos permanentes de café.

G. Estación 33

Taludes a los dos costados de la vía, estables a 45 grados con altura de 12 a 15 metros y cubiertos de vegetación cubiertos en la parte superior por una capa de limo amarillo naranja que presenta plasticidad.

Del costado derecho se encuentra el talud descubierto donde se observan arcillas amarillo ocre con presencia de moscovita, lo que indica que son el producto de la meteorización de rocas metamórficas, intercaladas con arcillas rojo escarlata.



Foto 5.16 Limo amarillo- naranja con plasticidad
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

H. Estación 34

Corte en cajón formando taludes de 15 metros de altura, compuestos por material de flujo volcánico, meteorizado a limo, con ángulos de inclinación de 45 grados y rumbo N50° E.



Foto 5.17 Corte en cajón en material limoso
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

I. Estación 35

Taludes a los dos costados de la vía compuestos por material limo – arcilloso, con una altura de 15 metros. Se presenta la aparición de fragmentos de rocas lávicas redondeados, definidos como tobas bien soldadas con granos aciculares (Ignimbritas) duras y pumitas embebidas en una matriz de ceniza con mayor grado de consolidación.



Foto 5.18 Limos arcillosos
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

J. Estación 36

Aparición de los cantos de mayor tamaño, y bloques de tobas andesíticas, bien soldadas en una matriz clasto soportada grava – limo ubicada al costado izquierdo de la vía, con una altura de 18 metros, rumbo N 15° W e inclinación de 60 grados.



Foto 5.19 Taludes conformados por Flujo de ceniza y bloques
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

K. Estación 37

Aglomerados heterométricos de 5 a 30 centímetros de diámetro compuestos por granodioritas tobas andesíticas bien soldadas en matriz grava limosa formando un talud de 20 metros de

altura, rumbo N – S e inclinación de 50 grados. Al costado derecho se encuentran cultivos de café. (km 47+900 abscisado marcado en la vía actual).



Foto 5.20 Aglomerado heterométrico
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

L. Estación 38

Secuencia de eventos vulcano – sedimentarios, sector rio ovejas, (cenizas, bombas y terrazas intercaladas) la cual inicia con conglomerados de terraza, en paleocanales de dos eventos diferentes en los cuales se evidencia dinámica de neotectónica, con un salto de falla de 60 centímetros, suprayaciendolos reposa un depósito de derrubios cubierto en superficie por una capa de ceniza. Los taludes formados por estos materiales tienen un rumbo N 30° E, altura de 20 metros e inclinaciones hasta de 85 grados.

El sector del talud estratificado se encuentra estable, pero donde está dispuesto el deposito presenta mayor grado de susceptibilidad a procesos erosivos y deslizamientos, por esto se le debe dar un tratamiento geotécnico diferente.



Foto 5.21 Secuencia volcano- sedimentaria
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

M. Estación 39

Secuencia sedimentaria compuesta por depósitos de areniscas friables, ligeramente compactadas de grano fino. En la parte superior del talud y suprayaciendo este depósito, están dispuestos conglomerados de terraza.

En el siguiente talud aparecen flujos de lodo con bloques sub angulares, compuestos por rocas ígneas (andesita). En esta área se presentan taludes estables y zonas muy húmedas con manantiales km 48+250.



Foto 5.22 Secuencia sedimentaria
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016



Foto 5.23 Zonas húmedas
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

N. Estación 40

Al costado izquierdo en el km 48+850 (abscisado marcado en la vía actual) se presentan depósitos aluviales con cantos de hasta 30 centímetros, formando taludes moderadamente tendidos y depósitos de derrubios compuestos por cantos, conglomerados y desplome de areniscas en una matriz grava arenosa no muy compactada, lo que provoca un alto grado de vulnerabilidad frente a erosión

O. Estación 41

Talud compuesto por depósitos aluviales, denominados conglomerados de terraza, después del Rio Ovejas, donde se observa un relieve asociado a fallas transversales, y drenajes paralelos.

En la zona existen varios manantiales que durante todo el año presentan condiciones de aporte, están dispuestos al costado derecho de la vía y son utilizados por las viviendas cercanas. km 49+950 (abscisado marcado en la vía actual).

En el km 50+650 (abscisado marcado en la vía actual) hay un corte en cajón con taludes compuestos por depósitos fluviales. Al costado izquierdo, se presenta una arenisca medianamente consolidada cuyo tamaño de granos varía de fino a muy grueso. Del costado derecho se presentan desprendimientos en bloque sobre un depósito de pumita con apariencia

estratificada con cantos de menor tamaño, 5 a 10 centímetros de diámetro, Rumbo N 20°E y Buzamiento 5° NW, se observan bloques producto del desprendimiento, de hasta dos metros de diámetro, taludes negativos y fracturamiento.

En el km 51+100 (abscisado marcado en la vía actual) se observa el cambio de secuencia, aparece la ceniza, aparecen en concordancia, sitios inestables, erosión en cárcavas, en el siguiente talud aparecen depósitos de derrubios con cantos distribuidos erráticamente



Foto 5.24 Manantiales en el talud
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016



Foto 5.25 Depósitos aluviales
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

P. Estación 42

Talud al costado izquierdo compuesto por depósitos aluviales (banco de arenisca conglomerática, bien consolidada), que presenta estructuras de plegamiento. Hacia la base, suprayaciendo este reposa un limo producto de la meteorización de ceniza volcánica, donde el fenómeno de erosión es bastante marcado. De rumbo N 23°W, 18 metros de altura y 70 grados de inclinación.

En el kilómetro 51+250 (abscisado marcado en la vía actual) hay un depósito de areniscas tobáceas.

Q. Estación 43

Colinas bajas compuestas por limos rojizos. En el km 53+200 (abscisado marcado en la vía actual) se encuentra un corte en cajón formando taludes de 3 a 4 metros, con inclinación de 60 grados.

En el km 53+450 (abscisado marcado en la vía actual) la vía está construida sobre un terraplén, donde se presentan pequeñas deformaciones en la superficie del pavimento.



Foto 5.26 Vía sobre terraplén
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

R. Estación 44

Corte en cajón con terrazas en las cuales se presenta erosión y deslizamiento al costado izquierdo en la terraza superior, compuestas por limos rojizos, la parte inferior está compuesta por materiales más competentes, (estratos de areniscas friables ligeramente compactadas) de 20 metros de altura, rumbo N 20° E, e inclinación de 80 grados.



Foto 5.27 Terrazas erosionadas y sitio inestable
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

5.1.1.4 Estudio de fuentes de materiales

A partir de la exploración geológica se identificó la litología en la que se encuentra el eje actual de la vía Popayán – Santander de Quilichao, en la cual se encontró que no cumple con las propiedades mecánicas aptas para ser consideradas como fuentes de material potenciales para la construcción de terraplenes, bases o la fabricación de concretos; por esta razón, se hizo necesario realizar una investigación exhaustiva de las zonas aledañas al área en estudio, que cuenten con explotaciones de material de construcción, y que cumplan con los requerimientos técnicos exigidos por el instituto Nacional de Vías INVIAS.

Se evaluaron las fuentes potenciales identificadas en la Fase II del corredor vial, de donde se decide no tener en cuenta fuentes como, las provenientes de la empresa Arenas de Cauca, ubicada en Jamundí, debido a la distancia a la que se encuentra del proyecto.

Una vez determinadas las fuentes potenciales de materiales, se realizó una visita técnica a cada una de ellas, con el fin de identificar la litología a la que corresponden y las propiedades ingenieriles que poseen por su origen, posteriormente se realizaron los respectivos ensayos de laboratorio y así se verificó que materiales se pueden destinar para la construcción de bases y sub bases granulares, concretos y terraplenes.

Para esta unidad funcional se tiene la Fuente del río Ovejas, que se encuentra en el costado izquierdo de la vía actual en las coordenadas: Este: 1059988,438, Norte: 804705,2534.

Litológicamente está compuesta por una secuencia de eventos vulcano – sedimentarios, sector río Ovejas, (cenizas, bombas y terrazas intercaladas) la cual inicia con conglomerados de terraza, en paleocanales de dos eventos diferentes en los cuales se evidencia dinámica de neotectónica, con un salto de falla de 60 centímetros, suprayaciendo estos reposan un depósito de derrubios cubierto en superficie por una capa de ceniza.

Los taludes formados por estos materiales tienen un rumbo N 30° E, altura de 20 metros e inclinaciones hasta de 85 grados.



Foto 5.28 Características de la fuente río Ovejas
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016



Foto 5.29 Características globales de la fuente río Ovejas
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

Debido a la heterogeneidad de los materiales de esta fuente, se hace necesario realizar una selección de los mismos, los cuales pueden ser aprovechables para la construcción de llenos y terraplenes.

5.1.1.5 Zonas potenciales de disposición de materiales

La ampliación del corredor vial Popayán – Santander de Quilichao, genera gran cantidad de materiales sobrantes provenientes de los cortes realizados en mejoramiento y estabilización de taludes, por lo que es de vital importancia determinar los lugares que más se adecuen para la disposición de materiales sobrantes de excavaciones. Para la selección de sitios se debe tener aspectos como: topografía, geología, procesos morfodinámicos y, presencia de fuentes hídricas.

Una vez generada la topografía a escala 1:1000 de la vía Popayán – Santander de Quilichao se realizó la evaluación, superponiéndola en la imagen satelital del área en estudio (ortofoto), identificando las fuentes hídricas (quebradas, ríos) y delimitándolas.

A partir de la topografía de la vía se generó un modelo digital de elevación (DEM) para cada unidad funcional; en el software Arcgis 10.1. Con el DEM, se genera la red de drenajes del

área en estudio con ayuda de la herramienta Hidrology, Fill – Flow Direction. La red de drenaje indicará las posibilidades de acumulación de agua del área a partir de la topografía, y proporcionará información de esta que no se pueda observar en las fotografías aéreas.

Una vez generada la red de drenaje e identificado el relieve del área, se delimitan los polígonos que cumplan con las características necesarias para destinarlos como zonas de disposición de materiales, es decir que presenten bajas pendientes, que se encuentren a mínimo 30 m de distancia de viviendas, ríos y quebradas, esto con el fin de tener el menor impacto socio ambiental posible.

La descripción y ubicación de las zonas de disposición de material de excavación – ZODMES se encuentran descritas en el capítulo de descripción del proyecto del presente estudio.

5.1.1.6 Sitios de ponteadero

En el sector que comprende el área en estudio los ríos siguen una tendencia morfológica sinuosa, se presentan jóvenes, con transporte de grandes bloques que evidencian la dinámica hídrica, con velocidad y pendiente media. En el Anexo 5.1.1 Planos Geologia_UF3-GEO-02 se presentan la planta y perfil geológico de detalle.

A continuación, se presenta la geología de algunos de los puentes que se construirán en la unidad funcional.

5.1.1.6.1 Río Pescador

El subsuelo está constituido por:

- ✓ Formación Popayán Miembro medio – Ngpc3: Cenizas de caída latamente meteorizadas generando limos de color rojo con presencia de fragmentos de andesita meteorizados en la base.
- ✓ Formación Popayán Miembro medio – Ngpc4: Arcillas caoliníticas amarillas y blancas con presencia de fragmentos de andesita altamente meteorizados en la base.
- ✓ Formación Popayán Ngpfg: Flujos de cenizas grises y bloques heterogéneos (andesita, toba, diorita), heterométricos, hacia la base areniscas tobáceas.

La exploración del subsuelo consistió en tres sondeos a 30 m de profundidad, de los cuales se obtuvo los siguientes resultados:

- ✓ Sondeo 1: Ubicación: Este: 1058544.397, Norte: 800599.063.

0-1 m de profundidad: Cenizas de caída (Ngpc3) altamente meteorizadas generando limos arcillosos de color rojo escarlata.

1-6 m de Profundidad: Arcillas caoliníticas (Ngppc4) amarillas y blancas de alta plasticidad. Presencia de fragmentos de andesita en la base altamente meteorizados.

6-30 m de profundidad: flujos de cenizas y bloques de andesita de la Formación Popayán (Ngpfg).

- ✓ Sondeo 2: Ubicación: Este: 1058525.251, Norte: 800622.126.

0-1 m de profundidad: Cenizas de caída (Ngpc3) altamente meteorizadas generando limos arcillosos de color rojo escarlata.

1-6 m de Profundidad: Arcillas caoliníticas (Ngppc4) amarillas y blancas de alta plasticidad. Presencia de fragmentos de andesita en la base altamente meteorizados.

6-30 m de profundidad: flujos de cenizas y bloques de andesita de la Formación Popayán (Ngpfg).

- ✓ Sondeo 8: Ubicación: Este: 1058454.434, Norte: 800819.601.

0-4 m de profundidad: Cenizas de caída (Ngpc1) altamente meteorizadas generando limos arcillosos de color amarillo ocre de baja plasticidad.

4-8 m de profundidad: Cenizas de caída (Ngpc3) altamente meteorizadas generando limos arcillosos de color rojo escarlata.

8-24 m de Profundidad: Arcillas caoliníticas (Ngppc4) amarillas y blancas de alta plasticidad. Presencia de fragmentos de andesita en la base altamente meteorizados.

24-30 m de profundidad: flujos de cenizas y bloques de andesita de la Formación Popayán (Ngpfg).

A parir de la correlación de las columnas de las perforaciones realizadas se genera el siguiente perfil estratigráfico del río Pescador en el lugar donde se proyecta el puente del costado izquierdo del diseño (Figura 5.6).

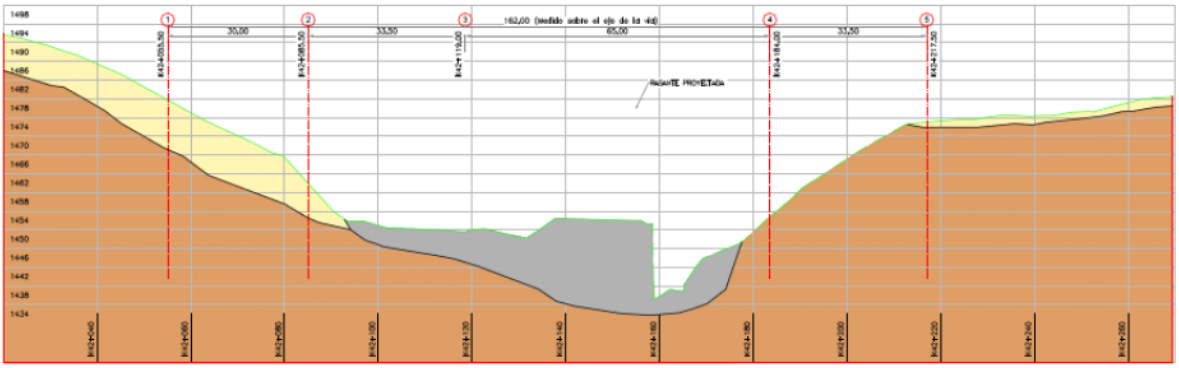


Figura 5.6 Perfil estratigráfico puente costado izquierdo río Pescador
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

5.1.1.6.2 Intersección

En el área de influencia del Río Ovejas afloran las siguientes formaciones geológicas. En el sector de la intersección se encuentra una secuencia que se describe a detalle, con sondeos realizados hasta 30 metros de profundidad (Tabla 5.3) y evaluación geológica de campo, se describe el perfil de meteorización con una capa de cenizas volcánicas de nomenclatura Ngpc1 de color amarillo y baja plasticidad en superficie, continuando con la secuencia estratigráfica concordante.

Tabla 5.3 Sondeos geotécnicos intersección

Sondeo	Código	Este	Norte
1	INTERSECCION S-INK43 (1)	1059210,24	802079,56
2	INTERSECCION S-INK43 (2)	1059229,6	802077,333
3	INTERSECCION S-INK43 (3)	1059249,97	802074,99
1	INTERSECCION S-INK43 (1)	1059210,24	802079,56

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

5.1.1.6.3 Río Mondomo

El subsuelo del sitio de cruce del proyecto vial con el río Mondomo, está constituido por:

- **Deposito Aluvial Qal**: Conformados por capas de arenas, gravas redondeadas, limos y ocasionalmente arcillas.
- **Formación Popayán Ngpfg**: Flujos de cenizas grises y bloques heterogéneos (andesita, toba, diorita), heterométricos, hacia la base areniscas tobáceas.

Los sondeos exploratorios del subsuelo se realizaron en las abscisas 53+849 y 53+849,65, 54+247,88 y 54+262,88. Se ejecutaron cuatro perforaciones con el fin de determinar la variación litológica a profundidad y de esta maneta evaluar de la mejor forma posible, los lugares donde se cimentará el puente aquí proyectado. A continuación, se presenta la descripción de los materiales encontrados.

- ✓ Sondeo 1: Ubicación: Este: 1058432.310, Norte: 810869.580

  0-11 m de profundidad: Deposito aluvial, conformado por bloques heterométricos y heterogéneos embebidos en una matriz arenosa.

  11-30 m de profundidad: Flujos de ceniza y bloques heterométricos de andesita y, diorita especialmente (Ngpfg).

- ✓ Sondeo 2: Ubicación: Este: 1058449.630, Norte 810894.050

  0-17 m de profundidad: Depósito aluvial, conformado por bloques heterométricos y heterogéneos embebidos en una matriz arenosa.

17-30 m de profundidad: Flujos de ceniza y bloques heterométricos de andesita y, diorita especialmente (Ngpfg).

- ✓ Sondeo 3: Ubicación: Este: 1058468.120 Norte: 810917.670

  0-19 m de profundidad: Deposito aluvial, conformado por bloques heterométricos y heterogéneos embebidos en una matriz arenosa.

  19-30 m de profundidad: Flujos de ceniza y bloques heterométricos de andesita y, diorita especialmente (Ngpfg).

- ✓ Sondeo 4: Ubicación: Este: 1058489.840 Norte: 810945.120

  0-15 m de profundidad: Deposito aluvial, conformado por bloques heterométricos y heterogéneos embebidos en una matriz arenosa.

  15-30 m de profundidad: Flujos de ceniza y bloques heterométricos de andesita y, diorita especialmente (Ngpfg).

En las Figura 5.7 y Figura 5.8 se puede observar los perfiles estratigráficos del costado izquierdo y derecho del rio Mondomo en donde se implementará el nuevo puente.

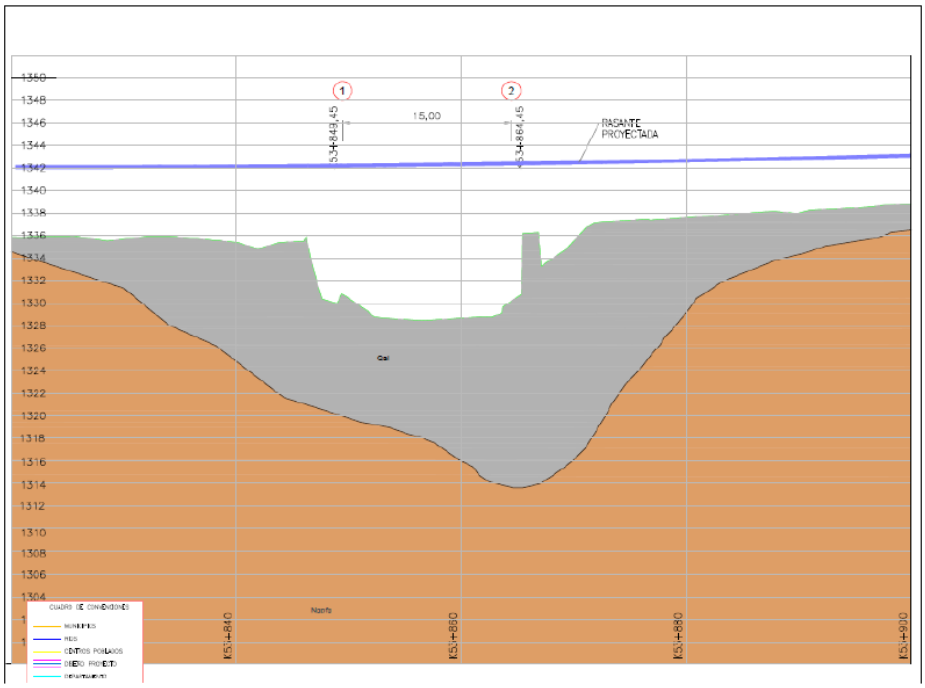


Figura 5.7 Perfil geológico costado izquierdo río Mondomo
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

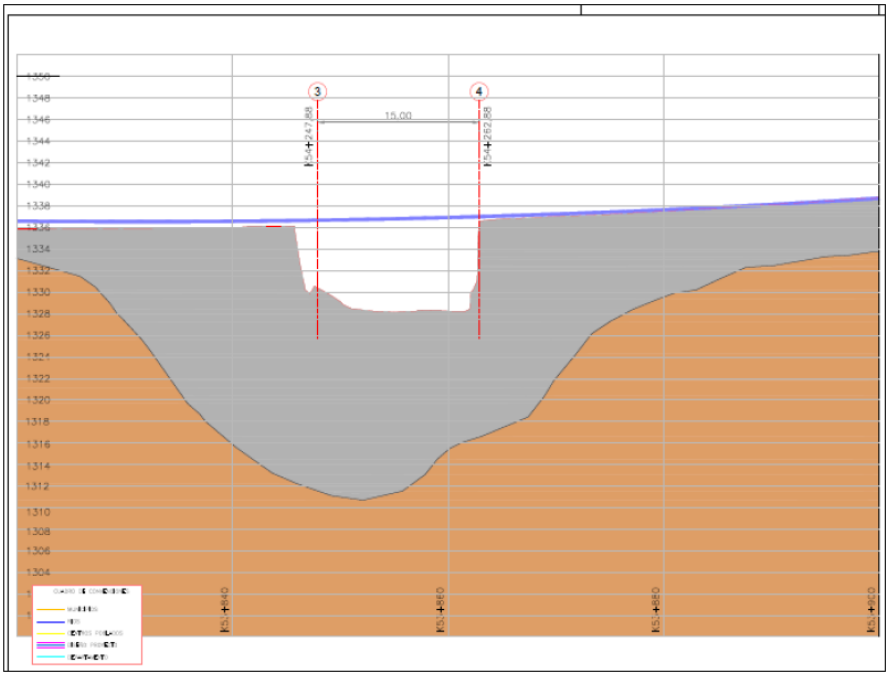


Figura 5.8 Perfil geológico costado derecho río Mondomo
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

5.1.1.6.4 Río Ovejas

El subsuelo del río Ovejas en la zona del cruce del proyecto vial, está constituido por Flujos de cenizas grises y bloques heterogéneos (andesita, toba, diorita), heterométricos, hacia la base areniscas tobáceas de la Formación Popayán (*Ngpfg*). En el sector del río Ovejas se encuentra una secuencia que se describe a detalle, con sondeos realizados hasta 30 metros de profundidad y evaluación geológica de campo, se encuentra una secuencia de fragmentos de toba de color gris y bloques de andesitas compactas, masivas. Sobre éstas, reposa una capa de cenizas volcánicas en avanzado estado de meteorización de nomenclatura Ngpc1 de color amarillo y baja plasticidad.

Para la cartografía del río Ovejas se realizó la visita de campo, con una correlación de los núcleos obtenidos en los sondeos (Tabla 5.4), la elaboración de columnas y la correlación de estas, mostradas a continuación en la Figura 5.9.

Tabla 5.4 Sondeos río Ovejas

No. SONDEO	NOMBRE	ESTE	NORTE
1	OVEJAS S6	1059102,41	806276,395

No. SONDEO	NOMBRE	ESTE	NORTE
2	OVEJAS S7	1059096,64	806306,09
3	OVEJAS S8	1059090,83	806335,777

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

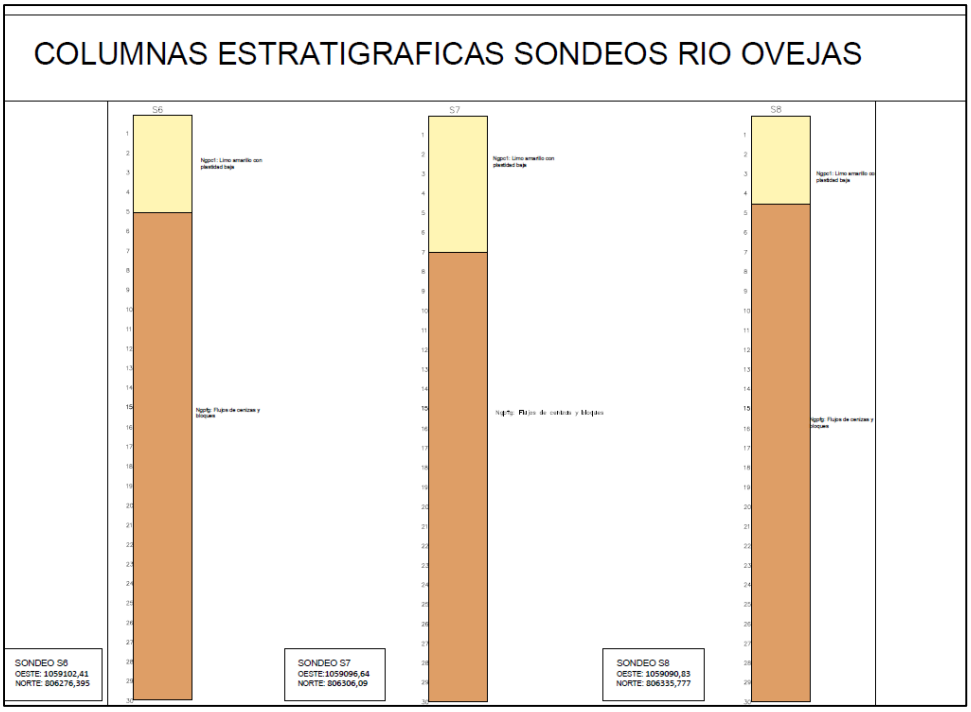


Figura 5.9 Columna estratigráfica sondeos geotécnicos río Ovejas
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

5.1.1.7 Amenazas Geológicas

5.1.1.7.1 Amenaza volcánica

En los mapas de amenaza volcánica del Servicio Geológico, el corredor vial solo aparece parcialmente amenazado por el volcán Puracé en los alrededores de Popayán (Figura 5.10), pero con un calificativo de amenaza baja, en la que se pueden esperar caídas de cenizas y piroclastos menores.

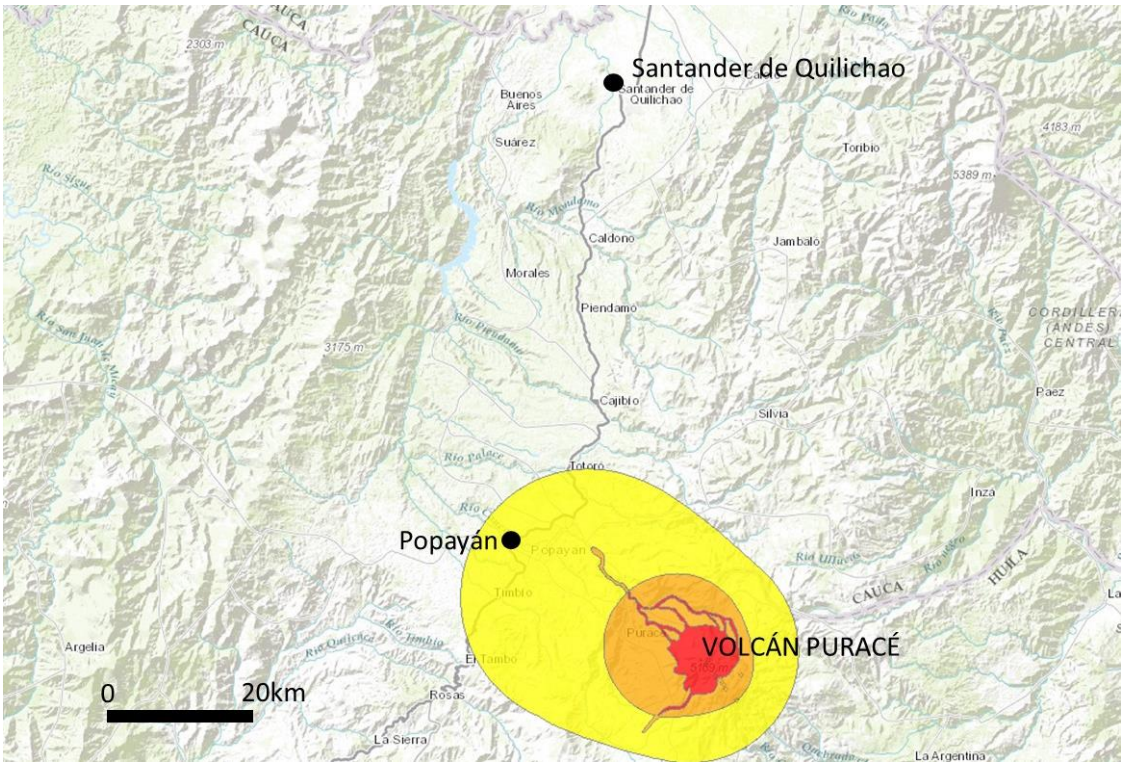


Figura 5.10 Mapa de zonificación sísmica de Colombia
Fuente: Servicio Geológico Colombiano, web online

5.1.1.7.2 Amenaza por Deslizamientos y Desprendimientos

La mayor parte del trazado del proyecto vial se localiza sobre cenizas volcánicas meteorizadas, que desarrollan suelos constituidos por limos de diferente plasticidad. Son suelos sin consolidar que sufren erosión vertical, produciendo desprendimientos y deslizamientos a pequeña escala.

5.1.1.7.3 Amenaza Sísmica

Los valores de los parámetros establecidos para describir la amenaza sísmica de los municipios en el área de influencia de la Concesión Popayán – Santander de Quilichao, son aceleración del terreno y coeficiente sísmico de diseño. Los municipios ubicados a lo largo del corredor, se localizan en la zona de **alta amenaza sísmica**, según el mapa de Zonificación de Amenaza Sísmica de Colombia (Figura 5.11).

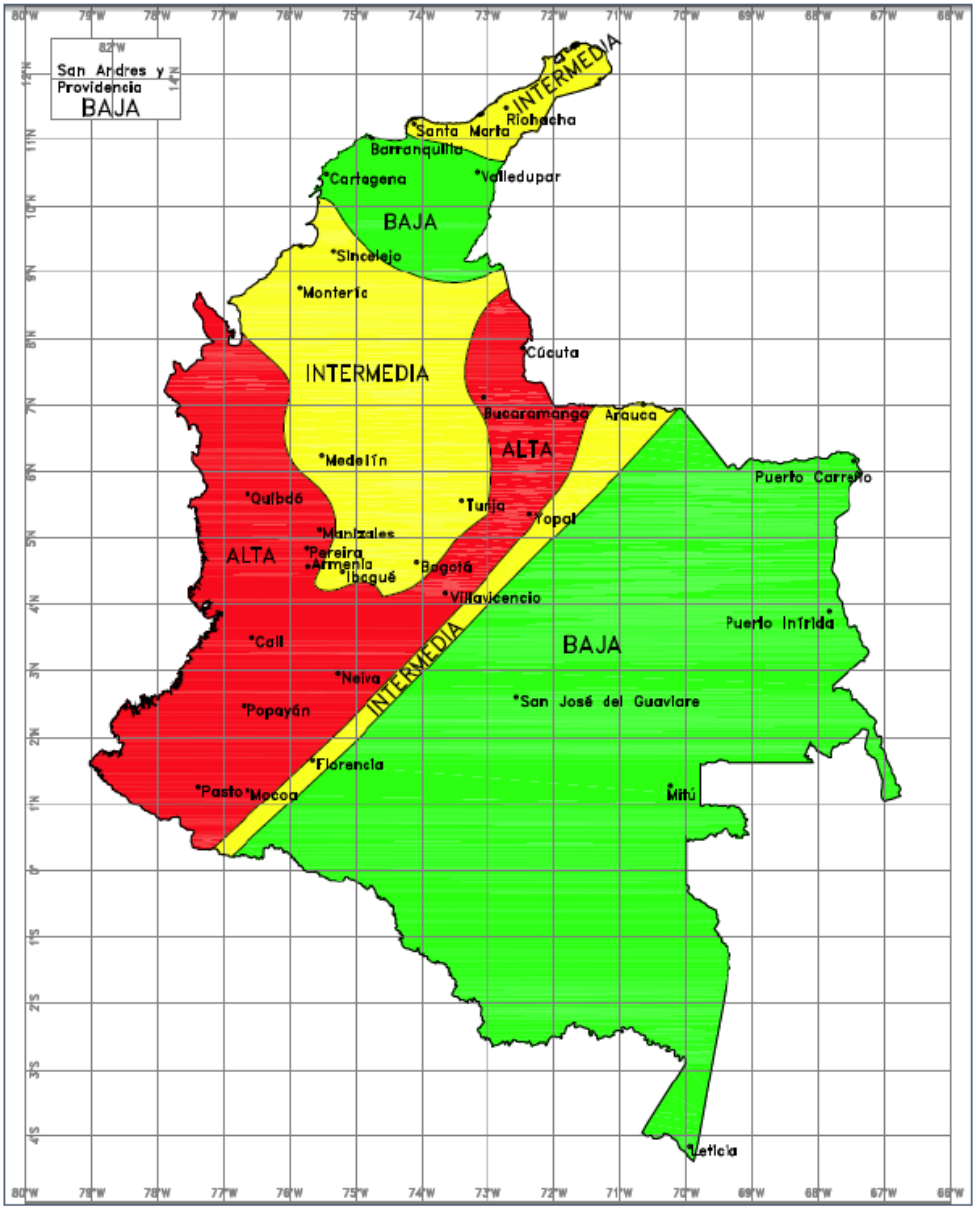


Figura 5.11 Mapa de zonificación sísmica de Colombia

Fuente: Asociación colombiana de ingeniería sísmica. Estudio general de amenaza sísmica de Colombia 2009

El valor de aceleración Aa en la zona es de 0,25, dado que el corredor vial queda en la región 5 de acuerdo al reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente NSR-10 (Figura 5.12).

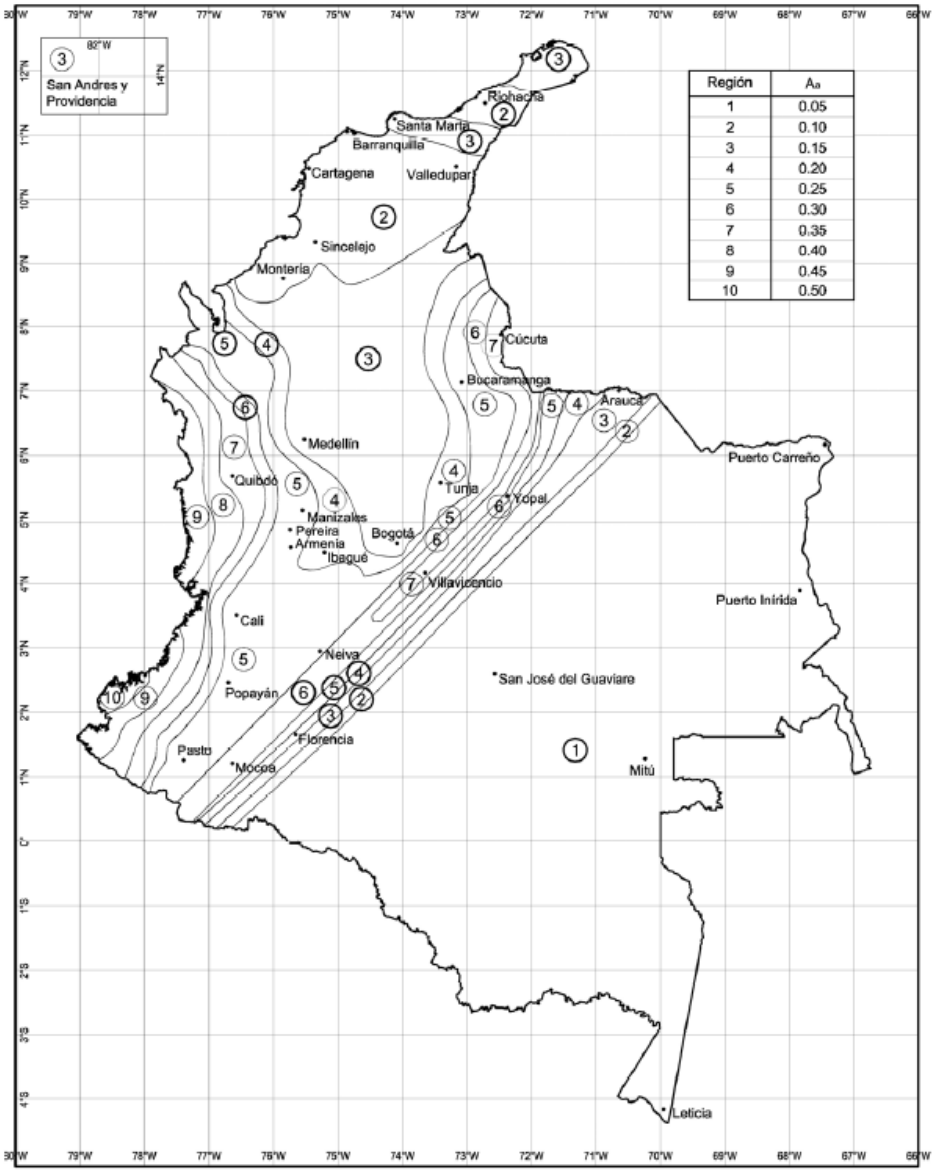


Figura 5.12 Mapa de valores Aa
Fuente: Reglamento de construcciones sismoresistentes, NSR-10

5.1.2 Geomorfología

A nivel regional, la vía Popayán – Santander de Quilichao está trazada esencialmente sobre una secuencia vulcano - sedimentaria horizontal relativamente reciente, por lo que la mayoría de sus rasgos y comportamiento tiene que ver con dichas características (secuencia vulcano - sedimentaria, reciente y en posición horizontal). El último tramo de la vía está propuesto sobre un dominio sedimentario afectado por un intrusivo, que ha creado cierta inestabilidad en parte del recorrido de la vía. Finalmente, el tramo termina sobre depósitos jóvenes del Cuaternario, de nuevo una secuencia de flujos de lodo de origen vulcano - sedimentario y depósitos aluviales de llanura de inundación. A continuación, se exponen los rasgos fotogeológicos encontrados para las diferentes unidades y se refuerzan con datos de campo cuando se tiene la información.

La Unidad Funcional 3 transcurre entre la localidad de Pescador, y el corregimiento de Mondomo. A continuación, se exponen sus principales características geológicas, geomorfológicas y morfodinámicas.

A nivel local, entre el PR 41+121 y el PR 46+200 la UF3 va sobre un lomerío muy monótono de lomas bajas y cortas, con valles secundarios poco profundos y valles principales más o menos profundos. A partir del PR 46+200 hasta el PR 53+100, se encuentra en una morfología también monótona pero de lomas más altas, subes y alargadas que el anterior e igualmente con valles más profundos. Finalmente queda un corto tramo hasta el PR 56+571 en el que la unidad funcional vuelve al paisaje monótono de lomas bajas de la primera sección.

5.1.2.1 Unidades Geomorfológicas del Área de Influencia de la Unidad Funcional 3.

Las unidades geomorfológicas se obtuvieron a partir de la interpretación de la geología y los procesos morfodinámicos de la zona del trazado vial Popayán – Santander de Quilichao; se utilizó fotografías aéreas, modelo de elevación digital del terreno DEM a escala aproximada 1:75.000 y ortofotos, teniendo como soporte los mapas geológicos del INGEOMINAS (planchas 342, 320, 321 y 343).

Las Unidades Geomorfológicas para el Área de Influencia de la Unidad Funcional 3, se determinaron a partir de los siguientes criterios:

La conformación del Mapa Fotogeológico a escala 1:25000 (presentado en el Anexo Mapas Temáticos) con control de campo integra toda la información consecuente con los rasgos extraídos fotolitológica y estructuralmente de las fotografías aéreas estereoscópicas a escala 1:34000 y del DEM, los cuales fueron plasmados sobre las bases topográficas del IGAC en 1:25000.

Para la estructuración de dicho mapa se utilizó el procedimiento de metodología interpretativa, el cual incluye las siguientes fases:

✓ Conformación de la cartografía base de referencia (unión en mosaico de las planchas topográficas a escala 1:25.000).

✓ Interpretación fotogeológica a nivel de semidetalle: Consistió en el reconocimiento de unidades fotolitológicas y morfoestructuras, tomando como referencia los levantamientos geológicos de las unidades del Cenozoico en el valle del Cauca - Patía en el departamento del Cauca realizado por el INGEOMINAS a finales de los años 90s hasta el 2002. Teniendo en cuenta esta información oficial en el presente estudio se adoptaron las siguientes nomenclaturas estratigráficas: La Formación Esmita para identificar rocas sedimentarias estratificadas probablemente de grano fino, El Stock de La Chapa para las rocas ígneas que intruyen la Formación Esmita en el Cerro y la Cuchilla La Chapa y la Formación Popayán con sus diferentes miembros para los depósitos volcano-sedimentarios y cenizas de caída aérea que se encuentran rellenando la cuenca interandina Cauca – Patía entre Popayán y Mondomo.

✓ Interpretación de fotografías aéreas: Incluyó la definición y delimitación de las principales unidades fotolitológicas, tomando como base los criterios de morfología, red de drenaje, densidad del drenaje, grado de incisión del drenaje, tono, textura de la roca, grado de estratificación y resistencia de la misma y su alteración en relación con el tipo y patrón de drenaje predominantes.

✓ Observación de las características morfoestructurales del terreno: Permitió definir la disposición estructural de las unidades fotolitológicas, así como las interrupciones generadas por las diferentes clases de fallas observadas fotogeológicamente sobre el área, como producto de una tectónica regional.

✓ Identificación de procesos morfodinámicos: El proceso de fotointerpretación también tuvo en cuenta la identificación de los procesos de erosión y remoción en masa que pudieran tener una influencia sobre el trazado de la vía Popayán – Santander de Quilichao. Para su identificación se buscó en las fotografías aéreas indicios como coronas de deslizamiento, cárcavas, surcos, erosión remontante, socavación lateral, geoformas anómalas dentro de las unidades fotogeológicas indicativas de posibles depósitos de deslizamiento.

A continuación, se detallan los criterios utilizados para la interpretación de las fotografías aéreas como medio para definir y delimitar las principales unidades fotolitológicas:

5.1.2.1.1 Pendiente:

Acorde a (SGC, 2012), el mapa de pendientes es una variable cuantitativa y continua, derivada del modelo digital de elevación (DEM). Los rangos de pendientes que se emplean en esta variable corresponden a los rangos de inclinación de laderas propuestos por ANLA (2012), ver Tabla X3. Sin embargo, de acuerdo con las condiciones del terreno investigado, se pueden

ajustar con el fin de visualizar, detallar o discriminar los rasgos asociados a los movimientos en masa.

Los rangos de pendiente utilizados para el proyecto, fueron:

Tabla 5.5 Rangos de Pendientes.

Inclinación %	Descripción
0-1 %	A nivel.
1-3 %	Ligeramente plana.
3-7 %	Ligeramente inclinada.
7-12 %	Moderadamente inclinada.
12-25 %	Fuertemente inclinada.
25-50 %	Ligeramente escarpada o ligeramente empinada
50-75 %	Moderadamente escarpada o moderadamente empinada.
%	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada.
>100 %	Totalmente escarpada.

Fuente: ANLA 2012.

Acorde a los rangos de pendientes antes descritos, se presenta a continuación el mapa de pendientes para la Unidad Funcional 3.

De acuerdo a la tabla de atributos del Mapa de Pendientes, se tiene la siguiente distribución porcentual de cada rango respecto al área total correspondiente al Área de Influencia Directa (AID) de la Unidad Funcional 3:

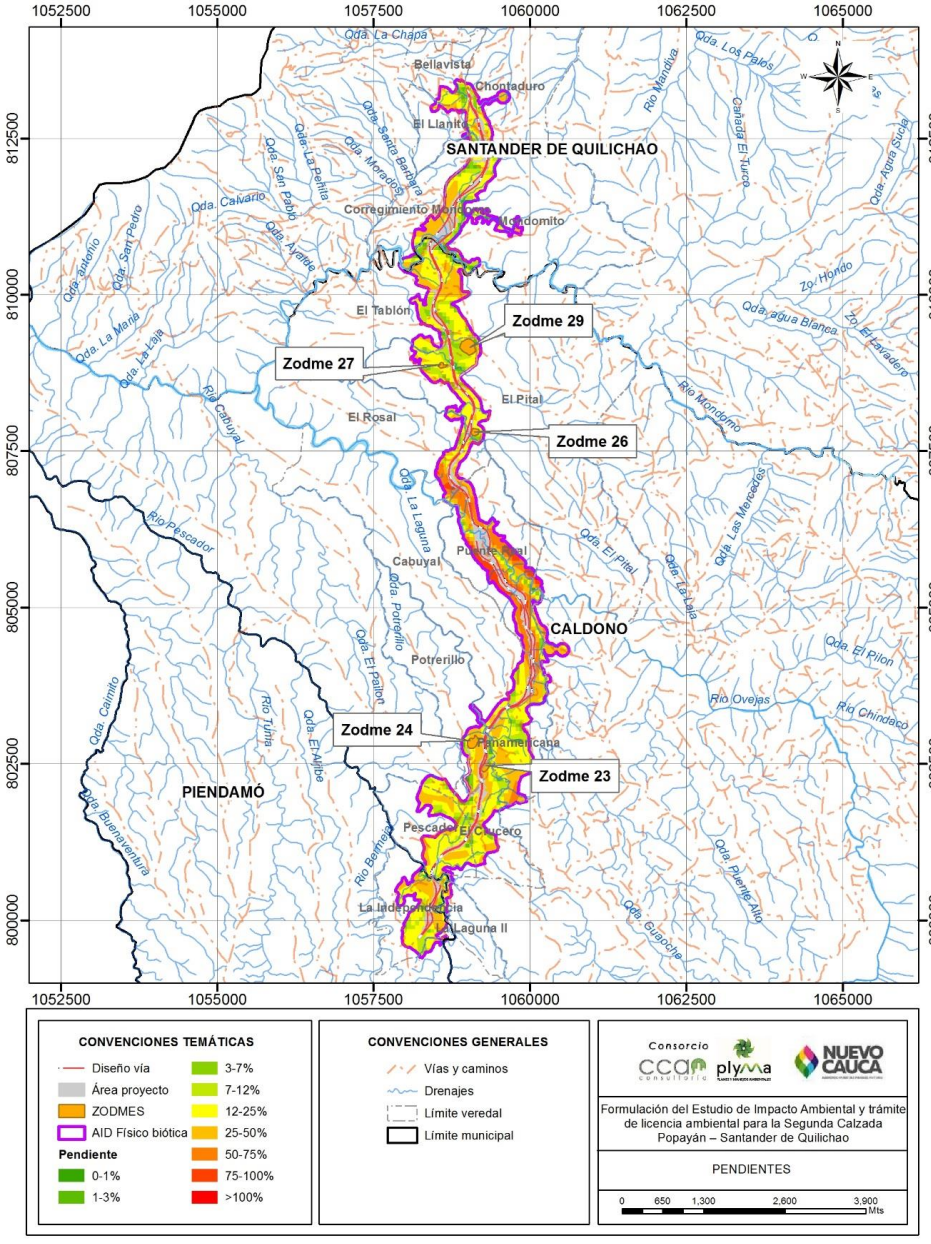


Figura 5.13 Distribución por rangos de pendientes para el AID de la Unidad Funcional 3.
Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Tabla 5.6Distribución de rangos dependientes para el Área de Influencia directa de la Unidad Funcional 3.

PENDIENTE	ÁREA (HA)
A nivel, 0-1%	2.88
Ligeramente plana, 1-3%	19.36
Ligeramente inclinada, 3-7%	60.45
Moderadamente inclinada, 7-12%	135.08
Fuertemente inclinada, 12-25%	368.98
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50%	228.18
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75%	76.06
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, 75-100%	28.14
Totalmente escarpada, >100%	0.31

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Acorde a la tabla anterior, la distribución porcentual de los rangos de pendientes considerados para el AID de la Unidad Funcional 3, es el siguiente:

Área en Has, del AID correspondiente a la UF3: 919,44 Has.

Porcentaje de área en Pendiente a nivel (0 – 1%): 0,32 %.

Porcentaje de área con pendiente Ligeramente Plana (1- 3%): 2,10 %.

Porcentaje de área con pendiente Ligeramente inclinada (3 – 7%): 6,58 %.

Porcentaje de área con pendiente Moderadamente inclinada (7 – 12%): 14,67 %.

Porcentaje de área con pendiente Fuertemente inclinada (12 – 25%): 40,11%.

Porcentaje de área con pendiente Ligeramente escarpada o ligeramente empinada (25 – 50%): 24,82 %.

Porcentaje de área con pendiente Moderadamente escarpada o moderadamente empinada (50 – 75%): 8,27 %.

Porcentaje de área con pendiente Fuertemente escarpada o fuertemente empinada (75 – 100%): 3,06 %.

Porcentaje de área con pendiente Totalmente escarpada: (> 100%): 0,03 %

De acuerdo a lo anterior, se concluye que en el Área de Influencia Directa de la Unidad Funcional 3, predomina un relieve con pendientes fuertemente inclinadas (12 – 25%), seguidas de pendientes ligeramente escarpadas o ligeramente empinadas (25 – 50 %). Así mismo, se

tiene un porcentaje importante de pendientes moderadamente inclinadas (con rangos que van del 7 % al 12 %).

5.1.2.1.2 Patrón de Drenaje:

Es la distribución de todos los canales de drenaje superficiales en un área que esté ocupada o no por aguas permanentes (Ver Figura X2). El patrón de drenaje está controlado por la inclinación del terreno, tipo y estructura geológica de la roca subyaciente, densidad de vegetación y las condiciones climáticas", (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2012).

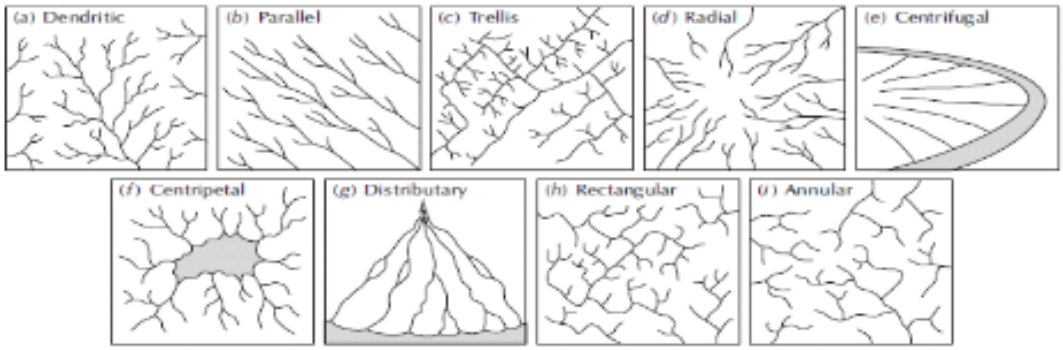


Figura 5.14. Patrón de drenaje controlado por la estructura o pendiente
Fuente: Tomado de Hugget 2007 y citado por SGC, 2012)

Acorde a lo anterior, para la Unidad Funcional 3 se identificaron las siguientes Unidades Geomorfológicas en el Área de Influencia del Proyecto: (Ver Anexo Mapas Temáticos)

En la siguiente tabla se presentan los atributos asociados a los polígonos correspondientes a las unidades geomorfológicas de la Unidad Funcional 3.Foto 5.35.

Tabla 5.7 Unidades geomorfológicas

Unidad Funcional	Unidad Geomorfológica	Nombre	SIMBOLO	Unidad fotogeológica	Area (Has)
UF-3	2	Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	UMAPE	UFG-4	182,06
UF-3	4	Unidad de Lomas Abultadas de Alta Pendiente y cimas Redondeadas	ULAPCR	UFG-8	7,27
UF-3	5	Unidad asociada a sedimentitas de la formación Esmita	USFE	UFG-9	45,16
UF-3	1	Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	UVSEP	UFG-5	79,39
UF-3	2	Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	UMAPE	UFG-4	3,44
UF-3	3	Unidad de Depósitos Fluviales	UDF	UFG-7	14,13
UF-3	1	Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	UVSEP	UFG-5	18,00
UF-3	3	Unidad de Depósitos Fluviales	UDF	UFG-7	26,52
UF-3	2	Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	UMAPE	UFG-4	91,57
UF-3	1	Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	UVSEP	UFG-5	270,37

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.2.1.3 Unidad Geomorfológica 1: Unidad de Valles sinuosos, estrechos y profundos (UVSEP):

Abarca aproximadamente un 45 % del área de la Unidad Funcional 3, se distribuye de manera continua desde el norte de la Inspección de Policía de Túnia (Municipio de Piendamó) hasta el sur del Río Ovejas, luego del cual hacia el norte se dispone por sectores. Sus contactos al sur oeste con la unidad UFP-1 y al este con la unidad UFP-4 tienen un carácter muy recto y continuo, lo que puede sugerir cierto control tectónico.

En las fotografías aéreas se presenta con una variación local intensa de tonos de grises, grises abigarrados, lo que a la vez transmite una textura moteada de rugosidad media. El drenaje en la unidad es claramente dendrítico algo contorsionado, sinuoso y de alta densidad, en algunas partes es dendrítico de densidad media con variaciones a sub-dendrítico. Todos los drenajes recolectores principales fluyen en dirección norte - noroeste; los cuales controlan una morfología de valles sinuosos, estrechos, profundos y de paredes de alta pendiente, que limitan las lomas mayores, que son claramente alargadas, de cimas suaves, a veces ligeramente agudas; estas a su vez están integradas de un lomerío monótono; lomas de poca altura, a veces alargadas a veces cortas, de cimas más o menos agudas. Estas características morfológicas de la unidad observan en la Foto 5.5.

La densidad de drenaje expresa que la unidad está dominada en su composición por materiales finos e impermeables, comportamiento que sumado a su morfología, corresponde al de una secuencia de depósitos vulcano-sedimentarios dispuestos horizontalmente, probablemente de caída aérea. Estos materiales son susceptibles a deslizamientos y colapsos.

En el extremo sur, Inspección de Policía de Túnia, norte del Municipio de Piendamó, se presenta en la unidad UFP-5 un comportamiento morfo-dinámico notablemente activo, expresado por la diferencia en el tipo de drenaje y la presencia de numerosos depósitos muy recientes. De oriente a occidente, aparece primero una serie de abanicos de piedemonte, con fuerte inclinación hacia el oeste, que se encuentran exactamente en el contacto fallado entre esta unidad y la unidad UFP-4 (Foto 5.6).

Seguido hacia el oeste aparecen unos depósitos aterrazados y más hacia el oeste un relleno de sedimentos en una pequeña cuenca donde se ubica la Inspección de Túnia. Esta micro cuenca, orientada al noroeste e inclinada en la misma dirección, está drenada por las quebradas Tres Quebradas al norte y Río grande y Farallones al sur; la cuenca termina en la unión entre éstas.

Las quebradas no solo son las aportantes principales de sedimentos a la micro-cuenca de Túnia, si no que a ellas y sus numerosos afluentes se asocia la formación de los abanicos de piedemonte arriba citados. En campo se pudo comprobar que estos abanicos están compuestos de materiales provenientes de la unidad UFP-4, la cual consta de flujos de lodo y

escombros en matriz de ceniza volcánica, muy alterados, con colores de alteración rojos (Foto 5.4). Los abanicos son un claro indicador de control tectónico en la zona y del levantamiento de ese frente montañoso compuesto por la unidad UFP-4, el cual está controlado por la Falla de Piendamó.

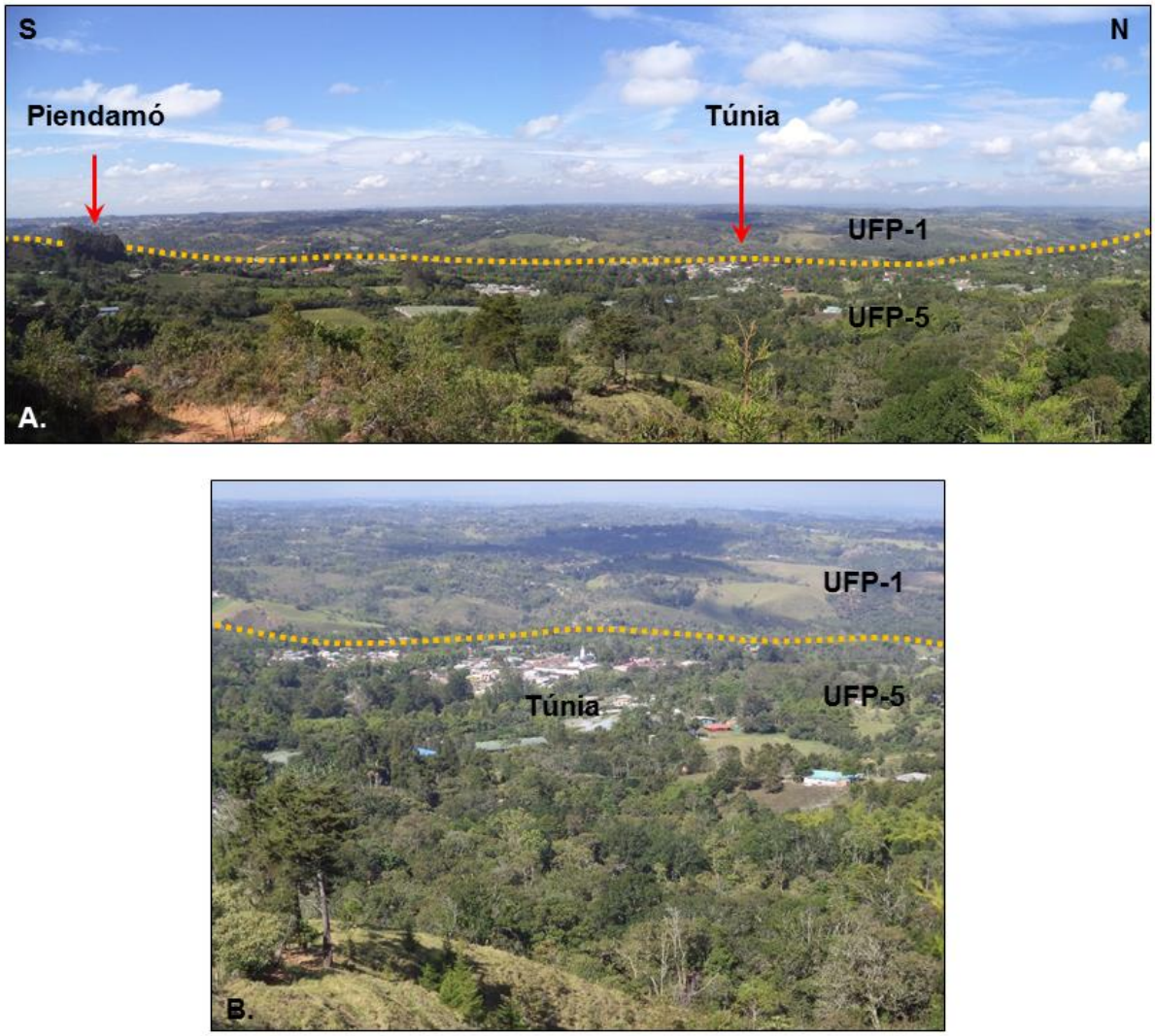


Foto 5.30 Relieve de lomerío.

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

En primer plano, característico de la (UG1-UFP-5) y lomas más alargadas y espaciadas de la unidad UFP-1, correlacionables con las unidades de Ceniza de Caída muy meteorizada (Ngpc) y flujos de ceniza y cenizas de caída (Qpcf) de los Conjuntos Medio y Superior respectivamente de la Formación Popayán. (Coordenadas estación 1061786mE y 787899mN - Corregimiento de Túnia).

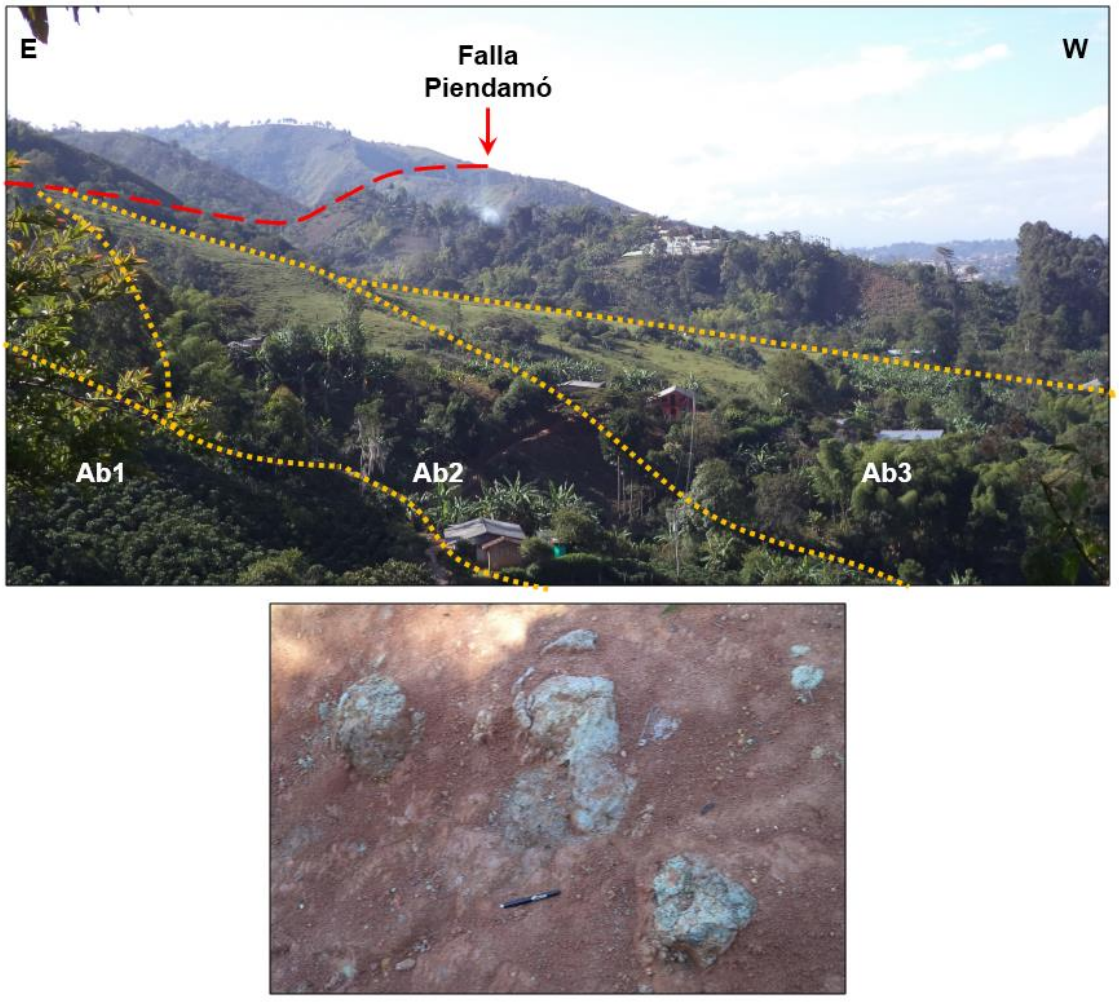


Foto 5.31. Abanicos (Ab) conformados por flujos de escombros removidos y muy meteorizados asociados a la Falla Piendamó dentro de la Unidad UFP-5. (Coordenadas estación 1061786mE y 787899mN - Corregimiento de Túnia).

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Esta Unidad Geomorfológica es correlacionable con la unidad Ceniza de Caída Muy Meteorizada (Ngpc) del Conjunto Medio de la Formación Popayán de las planchas geológicas a escala 1:100000 nos. 320 (INGEOMINAS, 1999b), 321 (INGEOMINAS, 1999c) y 342 (INGEOMINAS, 1999a).

5.1.2.1.4 Unidad Geomorfológica 2: Unidad de montañas altas y pendientes empinadas y alargadas (UMAPE):

Ocupa aproximadamente un 55% del área correspondiente a la Unidad Funcional 3, se encuentra distribuida en diferentes áreas dentro de la zona de estudio, con mejor continuidad y expresión hacia el centro-oriente. En general tiene un tono gris oscuro dominante y en algunas zonas gris medio a claro. Su textura es gruesa y algo moteada.

Se reconoce a lo largo del valle del río Piendamó, donde su tono es de un gris medio con textura rugosa media y su drenaje es paralelo de densidad baja, lo cual se explica por la alta pendiente de las laderas del valle (Foto 5.32). En la franja oriental, la cual es montañosa con laderas de alta pendiente, el patrón principal de drenaje es paralelo con tributarios cortos igualmente paralelos, con densidad de drenaje media; lo demás donde la pendiente es baja, el drenaje es sub-dendrítico a sub-paralelo y de baja densidad. En general la franja más oriental tiene montañas altas, empinadas y alargadas, con divisorias agudas y poco sinuosas; los valles son rectos y en forma de V en corte transversal; mientras que la zona de baja pendiente tiene lomas bajas, de divisorias suaves y cortas.

En campo se observa que la unidad se compone de una secuencia de flujos volcánicos de bloques, contenidos en una matriz de ceniza. Hay flujos con dominio de matriz o flujos de lodo y flujos con dominio de bloques o flujos de escombros. Los bloques son en la mayoría angulosos y con diámetros que pueden superar el metro. El espesor de los diferentes eventos es muy variable, va de algunas decenas de centímetros a espesores mayores de dos metros. En los niveles con dominio de fragmentos pequeños estos suelen ser más angulosos que en los niveles con dominio de bloques grandes. La composición de los bloques es esencialmente de rocas volcánicas, en la mayoría lavas intermedias a basálticas.

En general los flujos inalterados son muy duros y compactos, de color gris, pero alterados son muy blandos y suelen desarrollar procesos de remoción en masa, presentan gran variedad de colores rojos y ocres.

Una buena parte de su contacto al occidente está controlada estructuralmente por la Falla de Piendamó, lo cual es evidente al oriente de la Inspección de Policía de Túnia, donde la falla ha formado un escarpe en el que se han desarrollado una serie de abanicos, los que claramente marcan la actividad de esta falla.

Esta unidad geomorfológica es correlacionable con la unidad de Flujo Gris de Cenizas y Bloques (Ngpfg / Npfg) del Conjunto Medio-Inferior de la Formación Popayán (Foto 5.32) de las

planchas geológicas a escala 1:100000 nos. 320 (INGEOMINAS, 1999b), 342 (INGEOMINAS, 1999a) y 343 (INGEOMINAS, 2002).

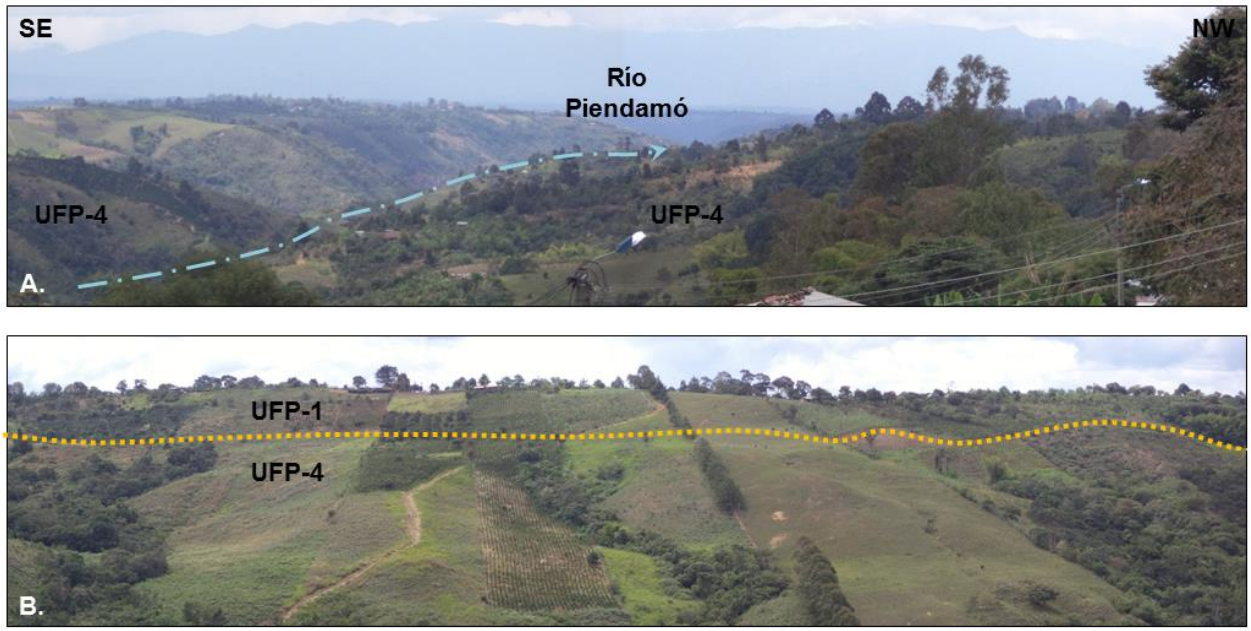


Foto 5.32 Relieve ondulado

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Relieve ondulado en el valle del Río Piendamó característico en esta área de la UFP-4, la cual es correlacionable con la unidad de Flujo Gris de Cenizas y Bloques (Ngpfg / Npfg) del Conjunto Medio-Inferior de la Formación Popayán. B. Margen izquierda del río.

5.1.2.1.5 Unidad Geomorfológica 3: Unidad de Depósitos Fluviales (UDF):

Corresponde a depósitos fluviales restringidos a llanuras de inundación, como las del río Quinamayo y sus principales afluentes las quebradas El Duende y Chaquemaque que son llanuras amplias; estrechas como en los ríos Ovejas y Mondomo.

Su mayor expresión sucede al sur y oeste de los alrededores del municipio de Santander de Quilichao. Fotogeológicamente se caracteriza por tener un tono de gris medio a gris claro, de textura suave a ligeramente rugosa en algunos casos. Su topografía es plana y no posee un drenaje específico, a excepción de los ríos y quebradas que la depositaron.

La unidad es correlacionable con los depósitos aluviales de la unidad Qal de la cartografía a escala 1:100000 – plancha No. 321 (INGEOMINAS, 1999c).

5.1.2.1.6 Unidad Geomorfológica 4: Unidad de lomas abultadas de alta pendiente y cimas redondeadas (UG3-UF8):

Es un cuerpo masivo que se encuentra en los sectores de mayor relieve del área de trabajo.

Corresponde a un cuerpo ígneo, intrusivo, joven, que está en una etapa inicial de afloramiento en la superficie por lo que su expresión fotogeológica es discontinua y variable, de tal manera que en algunas zonas se muestra de forma limpia mientras en otras su expresión en superficie es confusa. Aparece en general al norte de la zona de estudio, después de la inspección de policía de Mondomo, siempre al occidente de la carretera principal. Afecta de modo directo la unidad UF-9 a la cual parece está intruyendo, asunto que sumado a otros aspectos crea inestabilidad en el área.

Donde es más visible en las fotografías aéreas, su tono es gris claro a gris medio, de textura rugosa. Su morfología es de lomas abultadas, de alta pendiente, con cimas redondeadas a ligeramente agudas; a mayor su expresión en superficie mayor es el comportamiento abultado y ligeramente redondeado de las lomas que origina. Al menos en el área de estudio, debido a su expresión discontinua, en general esta unidad no tiene un drenaje propio bien desarrollado; pero en las zonas de alta pendiente se observa un drenaje paralelo a sub-paralelo bien desarrollado, de densidad media. En otros sectores aislados se observa un drenaje dendrítico de mediana a alta densidad, como en su manifestación más norte en el área de estudio.

En afloramiento se observó que es un pórfido intrusivo de composición andesítica. En superficie es difícil verlo en estado fresco, generalmente está muy diaclasado, meteorizado, de color rojo a ocre oscuro. La relación de alta meteorización con alta pendiente topográfica y la presencia de un posible diaclasamiento en el área, hace que esta unidad sea fuente de procesos de remoción en masa. De hecho, entre este cuerpo y la unidad UF-9 sucede el mayor proceso de remoción en masa en el área de estudio, el cual está limitado por las quebradas La Chapa al sur, La Agustina y La Cascada al norte. Este proceso afecta directamente el trazado del corredor vial en estudio, en un tramo de varios cientos de metros, tramo en el cual es fácil ver numerosos bloques, de hasta 3m de diámetro del pórfido intrusivo, como clara señal de su participación en el proceso.

La unidad UF-8 es correlacionable con las rocas ígneas del Stock de La Chapa (Ngch) de las planchas geológicas a escala 1:100000 nos. 320 (INGEOMINAS, 1999b) y 321 (INGEOMINAS, 1999c).

5.1.2.1.7 Unidad Geomorfológica 5: Unidad asociada a sedimentitas de la Formación Esmita (USFE):

Se presenta en el norte del área del corredor Popayán – Santander de Quilichao, a la misma altura de la unidad UF-8, pero con mayor distribución de este a oeste. Su expresión es típica de una secuencia de rocas sedimentarias plegada o por lo menos claramente basculada.

En las fotografías aéreas hacia el sur y oriente se observa con tono de gris oscuro a gris medio y textura rugosa; en esta parte, que es la de mayores pendientes topográficas, su drenaje parece tener un control estratigráfico, con patrón paralelo a sub-paralelo, hacia el norte y occidente paulatinamente se vuelve sub-dendrítico a dendrítico; en general el drenaje es de densidad media a alta. Un tono de gris más claro, textura rugosa algo moteada y drenaje dendrítico a sub-dendrítico en las áreas centro y occidente se relaciona con un dominio de niveles arcillosos y limosos muy alterados en esta parte de la secuencia sedimentaria.

En su sector más occidental del corredor, hacia las zonas altas, de buena pendiente topográfica, entre la vía principal y el Cerro La Chapa, esta unidad fue claramente afectada por la intrusión del pórfido de la Unidad UF-8 y el empuje natural derivado de ésta, que se refleja en el alta pendiente estructural que a la vez se traduce en inestabilidad. Es precisamente en esta zona donde se desarrolla el mayor proceso de inestabilidad, en el sector de La Agustina, el cual afecta notablemente el trazado de la carretera. Además, hay otra serie de procesos de menor magnitud contiguos al citado y en los que al parecer están involucradas de nuevo las dos unidades y los cuales también afectan la vía.

La unidad tiene un rumbo dominante NNE con unos buzamientos que plantean la presencia no muy clara de un sinclinal. En su sector oriental la morfología es montañosa, de lomas sinuosas con divisorias generalmente agudas y valles profundos en V, con laderas de alta pendiente (Foto 5.33); mientras hacia el occidente las lomas son más suaves, cortas y de valles menos profundos.

La unidad UF-9 es correlacionable con las sedimentitas de la Formación Esmita (Ngme) () de las planchas geológicas a escala 1:100000 nos. 320 (INGEOMINAS, 1999b) y 321 (INGEOMINAS, 1999c).



Foto 5.33 En segundo plano el relieve montañoso característico de la UF-9 correlacionable con la Formación Esmita (Ngme). (Coordenadas estación 1057865mE y 813721mN).

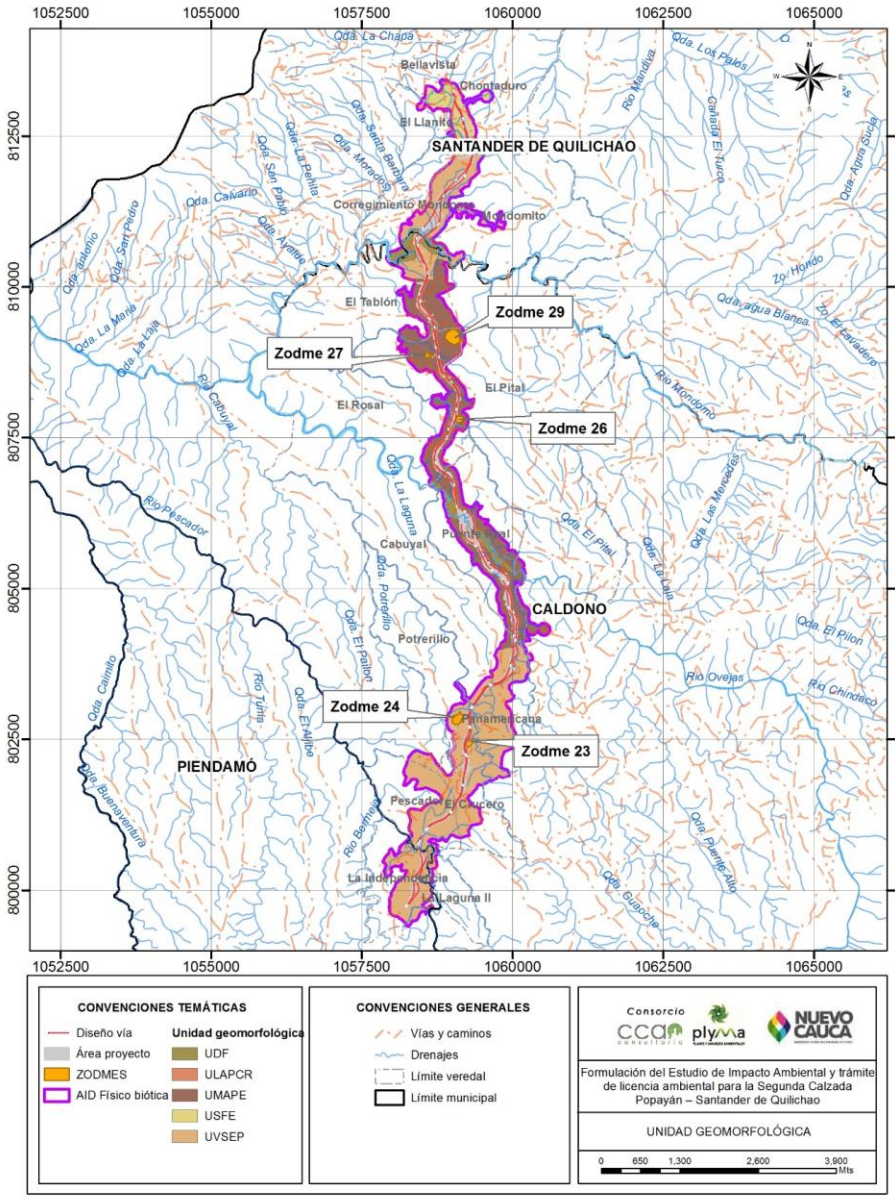


Figura 5.15 Unidades Geomorfológicas de la Unidad Funcional 3. Escala 1: 17.000.

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.2.2 Procesos Morfodinámicos.

Dado que los procesos de remoción en masa presentes a lo largo del corredor vial son numerosos, en este estudio se considera que pueden ser incluidos en un grupo pequeño de entre los tantos tipos de movimientos de remoción que hoy presentan las diferentes clasificaciones, aunque lo mejor es hacer control detallado de campo. Estos son:

5.1.2.2.1 Procesos de Deslizamientos de Tierra

Movimiento pendiente debajo de material fino (compuesto dominantemente por partículas menores de 2mm) que ocurre sobre una superficie planar de ruptura o sobre una delgada zona con intensa deformación de cizalla.

Dado el tipo de material dominante y las características del terreno por donde corre el corredor vial, éste puede ser uno de los procesos de remoción en masa más comunes en el área de estudio.

5.1.2.2.2 Procesos de Deslizamiento por Desplome o Rotacionales

Deslizamiento de material rocoso o suelo que se caracteriza por el movimiento a lo largo de una superficie de falla curvada y cóncava hacia arriba, lo cual le transmite a la masa deslizada un basculamiento y hundimiento hacia la pendiente de deslizamiento y por tanto un levantamiento de su parte delantera o pie.

Son los más fáciles de identificar si tienen un tamaño notable y si el contraste de las fotos es bueno y su escala lo permite. En la zona de trabajo, por lo menos fotogeológicamente se identificaron muy pocos. Los mejores ejemplos se ven sobre el valle del río Ovejas, antes y despues de que el corredor vial lo cruce.

5.1.2.2.3 Procesos Traslacionales

Se dan cuando una masa de roca o suelo se mueve pendiente abajo sobre una superficie más o menos plana e inclinada. Normalmente el movimiento es controlado por un plano somero de debilidad, el cual se dispone más o menos paralelo a la pendiente del terreno.

En el área de estudio pueden suceder sobre las secuencias vulcano-sedimentarias de la Formación Popayán en zonas de alta pendiente topográfica y con posible presencia de superficies de deslizamiento, como es el caso de los valles de los ríos Piendamó, Ovejas, Mondomo, etc. También en el dominio intrusivo del Stock de La Chapa, a través de planos de fractura, como parece que sucede en el valle (cañón) de la quebrada La Cascada, dentro de la influencia del gran proceso de La Agustina. Igualmente pueden estar sucediendo en la unidad

sedimentaria Formación Esmita, en especial en el recorrido de la carretera adelante del sector de La Agustina.

5.1.2.2.4 Procesos Complejos

Se les denomina así a los procesos que muestran por lo menos dos tipos de movimientos de masa de forma continua (caída, volcamiento, deslizamiento, flujo, etc.), aunque muchos deslizamientos son complejos, lo normal es que en partes de tiempo y espacio domine uno de los movimientos sobre los demás.

El proceso en masa más significativo que sucede en la zona de estudio tiene una alta probabilidad, dada su dimensión y litologías comprometidas, de ser de este tipo. Es posible que haya otros, pero no son fáciles de determinar fotogeológicamente por la cobertura y calidad de las fotos analizadas.

5.1.2.2.5 Procesos por Caída de Tierra

Corresponde a aquellos en los que una masa de tierra (material fino compuesto dominantemente por partículas menores de 2mm) se ha movido relativamente rápido pendiente abajo al desprenderse desde una ladera empinada. El rozamiento sobre la superficie de deslizamiento es mínimo o inexistente.

Dada la naturaleza y características del terreno del área de estudio este tipo de procesos junto con los deslizamientos de tierra pueden ser los procesos de remoción en masa más comunes que afectan el área.

La Unidad Funcional 3 se identifica los siguientes tipos de procesos morfodinámicos:

5.1.2.2.6 Procesos asociados al valle del Río Ovejas:

Corresponde a varios procesos importantes debido a que son de gran dimensión y se encuentran aguas arriba del puente sobre el Río Ovejas, por lo que deben ser considerados en términos de las obras que implica el corredor vial en este sector.

Se encuentran del puente sobre el Río Ovejas (PR 48+400) aguas arriba 2.5Km aproximadamente. Se localizan en la plancha 321-III-C, escala 1:25000 del IGAC, en su extremo occidental. Esta serie de procesos están identificados en las fotografías aéreas números 41, 40 y 39 del vuelo C-2397.

A. Características morfológicas del proceso:

Se encuentran en las laderas del valle del río Ovejas, que en el sector son de alta pendiente, pueden estar por encima de los 45° o más en algunos casos. Presentan coronas de deslizamiento a ambos lados del río bien desarrolladas en la secuencia de la unidad UFP-4;

algunos procesos tienen coronas menores bien desarrolladas en los mismos depósitos que originan. Es claro en las fotografías aéreas, dada su dimensión, que los deslizamientos han afectado profundamente el curso del río, según el caso lo han desplazado hacia el sur o hacia el norte. Se puede inferir que por lo menos un deslizamiento, proveniente de la ladera norte represó el río.

B. Clasificación de los procesos:

El mecanismo principal de movimiento en el caso más importante en la ladera sur, es de deslizamiento rotacional, pero hay caída de tierra y escombros, flujos de tierra y escombros y algunos pueden tener componente de deslizamiento planar de tierra o escombros.

C. Dimensiones de los Procesos:

La razón principal que hace a estos procesos importantes es su dimensión, tanto en área como en volumen de material involucrado y su relativa cercanía al cruce del corredor vial con el río.

El área total de todos los deslizamientos en este sector supera los 2Km^2. El más importante puede tener un área mayor 1Km^2, el punto más alto de su gran corona tiene un despegue de alrededor de 200m con respecto al curso del río y lo separa de éste una distancia de 1Km, el ancho máximo de la corona está por el orden de 1Km de longitud.

D. Factores que intervienen en la generación del proceso:

Litología / Pendiente topográfica / Clima.

La unidad afectada es la UFP-4, que se trata de una secuencia vulcano-sedimentaria en la que predominan flujos de lodo y de escombros. Esencialmente la intercalación de niveles piroclásticos duros con blandos, posiblemente algunos muy alterados, combinados con las altas pendientes topográficas del valle favorece la inestabilidad de las laderas, a lo que se suma el clima (más o menos lluvioso) y seguramente la sismicidad, la cual en la región es alta. En este caso es muy importante tener en cuenta el poder de socavación del río.

Disposición estructural de la unidad geológica.

Estos depósitos piroclásticos tienen una disposición horizontal o al menos se puede asumir que están horizontales ya que no tienen ningún rasgo local que permita inferir que se encuentran inclinados. Es posible que, si se percibe algún grado de inclinación, sea de depósito o de pequeños bloques basculados por gravedad. En todo caso la disposición estructural no es favorable para los movimientos de masa en este sector.

E. Procesos en el Sector de Los Rosales (PR 49+800 AL PR 50+500):

En este sector hay un fuerte foco de erosión superficial y varios procesos de masa, de un lado por la influencia de la ladera este del Río Ovejas y de otro lado por actividad antrópica. Como

están sobre la carretera y uno tienen claros signos de actividad, entonces éste conjunto de procesos debe ser tenido en cuenta para el nuevo trazado del corredor vial Popayán – Santander de Quilichao.

PR 49+800 a PR 50+500 aproximadamente. Sobre la plancha 320-IV-D, escala 1:25000 del IGAC, hacia su parte nororiental. Esta serie de procesos están identificados en las fotografías aéreas números 40, 39, y 38 del vuelo C-2397.

- Características morfológicas del proceso:

El movimiento más importante se ubica muy cerca del PR 49+800, tienen la influencia de la ladera norte del valle del río Ovejas que en el sector es de alta pendiente, entre 30° y 35° de inclinación. Sobre el lado oriental de la carretera, la cual lo corta, presenta corona de deslizamiento bien desarrollada, aunque pequeña sobre la unidad UFP-4 que en este sector está muy alterada. Desde la corona al cuerpo del deslizamiento puede haber en promedio unos 4m de despegue, el cuerpo del depósito tiene relieve irregular, pero en general la pendiente es baja. Al otro lado de la carretera el cuerpo se homogeniza y su pendiente está controlada por la de la ladera del valle que es alta, el límite con la carretera presenta erosión remontante, la cual se puede convertir en un fuerte factor de inestabilidad (Foto 5.34).

Un poco más adelante hacia el PR 50+500, donde se supera la ladera del valle del río Ovejas y se entra a la parte media de la cuenca de la quebrada El Pital, también se observan otros eventos de remoción en masa y una fuerte erosión superficial; la cual se manifiesta por la poca de vegetación, desarrollo de cárcavas (Foto 5.35) y mucho impacto de erosión laminar, en general en este sector el material está muy meteorizado.



Foto 5.34Características morfológicas del Proceso de Remoción en Masa en el Sector de Los Rosales (Coordenadas estación 10558711mE y 807007mN).



Foto 5.35 Erosión en forma de surcos en el Proceso de Remoción en Masa en el sector de Los Rosales (Coordenadas estación 10558711mE y 807007mN).

- Clasificación del proceso:

El principal proceso, que además tiene signos de actividad, parece un movimiento por deslizamiento rotacional ya que su sector más próximo a su corona es levemente deprimido hacia el escarpe de falla del deslizamiento, esto también se evidencia por la presencia de mayor humedad en dicho sector y desarrollo de vegetación abundante, respecto a su entorno inmediato. Los otros procesos pueden ser deslizamientos de tierra o escombros, dado que las pendientes del terreno donde suceden no son pronunciadas. Además, antiguo a los deslizamientos, hay un pequeño sector con fuerte desarrollo de surcos y cárcavas, pobre cobertura vegetal y lavado por erosión laminar.

- Dimensiones del proceso:

Todos estos procesos afectan un trayecto próximo al kilómetro, en general más o menos paralelo o contiguo a la carretera. El proceso del sector PR 49+800, puede tener en vista transversal al movimiento alrededor de 80 metros, contados paralelo a la carretera, pero ésta no se ve afectada por el proceso, que pasa al otro lado y termina en el fondo del valle del río Ovejas; hasta ese punto el proceso puede tener una longitud de 500m donde ha formado un depósito considerable contra el curso del río, que se ve desplazado hacia el SW por el empuje del depósito.

- Factores que intervienen en la generación del proceso:
  - *Litología / Pendiente Topográfica / Clima / Actividad antrópica…*

Los materiales afectados en esta área son de la unidad UFP-4, caracterizada por ser una secuencia vulcano-sedimentaria, donde dominan los flujos de lodo y escombros. En este caso se ve que el material, muy alterado y de color rojo, tiende a ser un flujo de lodo (Foto 5.36). Por debajo del material del deslizamiento del PR 49+800 se observa el flujo en estado fresco y parece que la superficie de contacto entre el material alterado y el fresco origina la superficie de deslizamiento, ya que a la altura de ese cambio de material hay en el sector varios pequeños nacederos de agua (ver Foto 5.36).



Foto 5.36Flujos de lodo altamente meteorizados sobre flujos frescos de lodo en la zona del Proceso de Remoción en Masa en el sector de Los Rosales (Coordenadas estación 10558711mE y 807007mN).

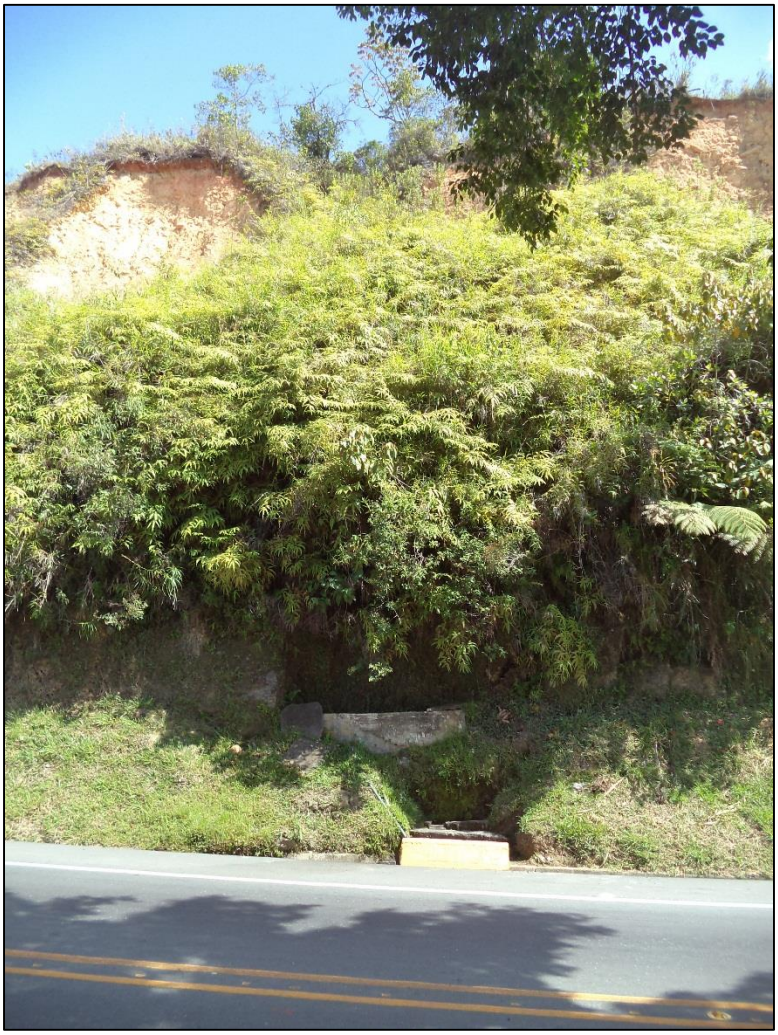


Foto 5.37 Nacimiento de agua y obra de control en el sector de Los Rosales. Al fondo, corona del deslizamiento (Coordenadas estación 10558711mE y 807007mN).

- *Disposición estructural de la unidad geológica:*

Estos depósitos piroclásticos tienen una disposición horizontal o al menos se puede asumir que están horizontales ya que no se ve ningún rasgo local que pueda crear la sensación de que están localmente inclinados. Es posible que si se percibe algún grado de inclinación este sea de depósito o de pronto pequeños bloques basculados por

gravedad. En todo caso la disposición estructural no es favorable para los movimientos de masa en este sector.

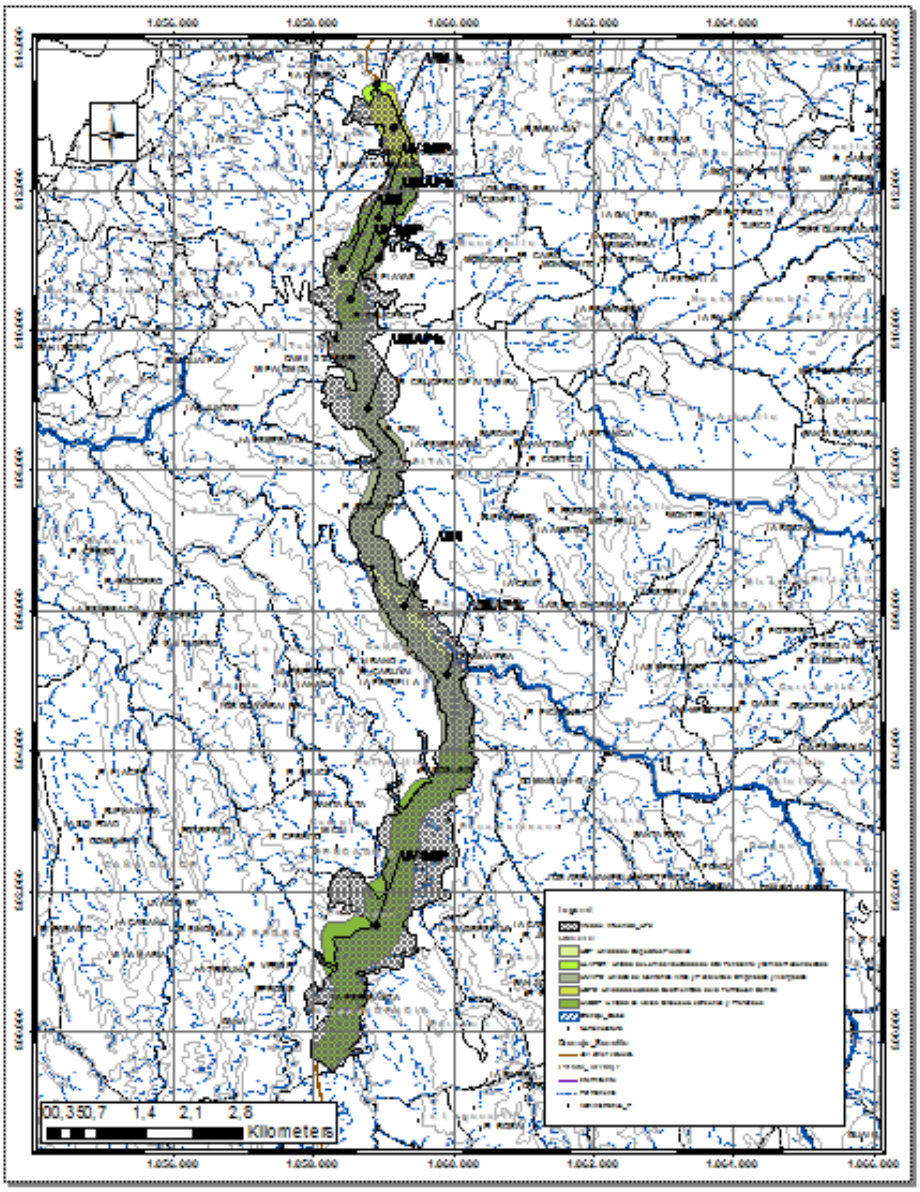


Figura 5.16 Unidades Geomorfológicas de la Unidad Funcional 3.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

En las siguientes figuras se presenta la ubicación detallada de los procesos morfodinámicos identificados durante el levantamiento de información primaria en campo para la Unidad Funcional 3:

Convenciones generales para todos los mapas: (Ver archivo en formato digital denominado “CNC-PSQ-UF3-FOT-PL-R00.dwg”, localizado en la Carpeta “CAD”, el cual contiene los planos detallados escala 1:2.000 con la ubicación de los procesos morfodinámicos que se identifican a lo largo del corredor de la Unidad Funcional 3)

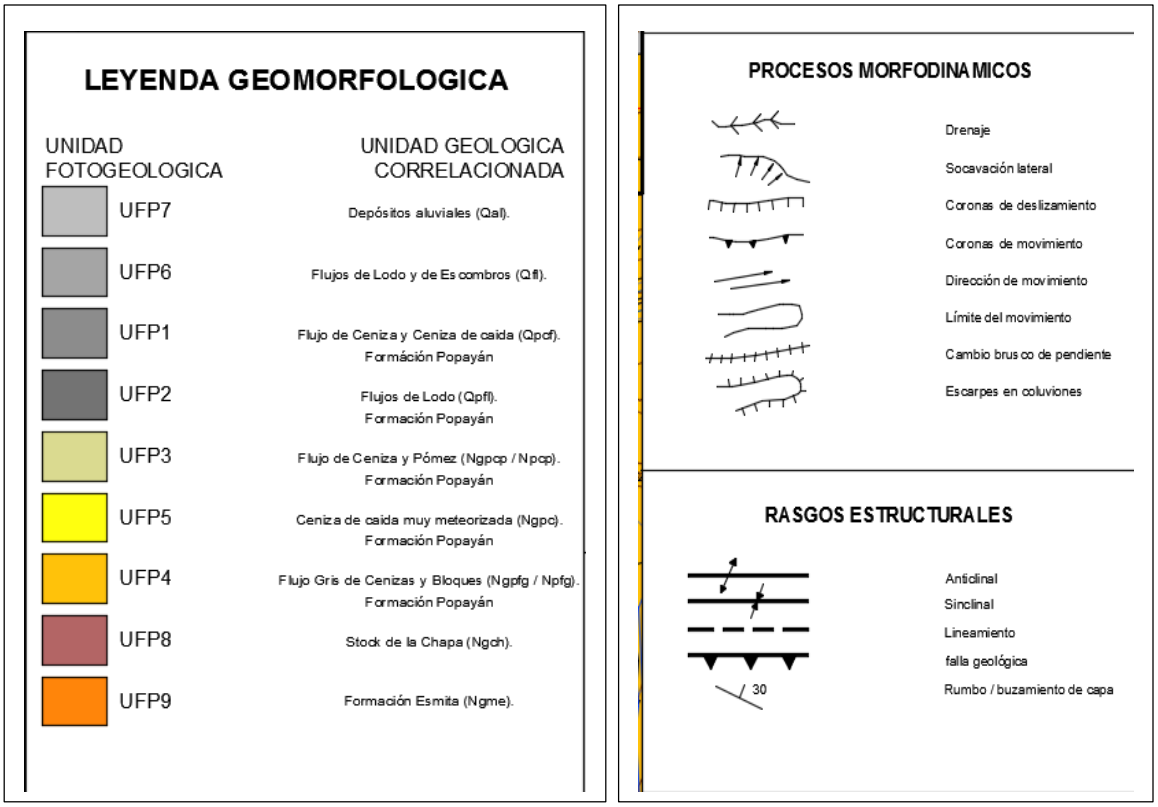


Figura 5.17 Leyenda geomorfología
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

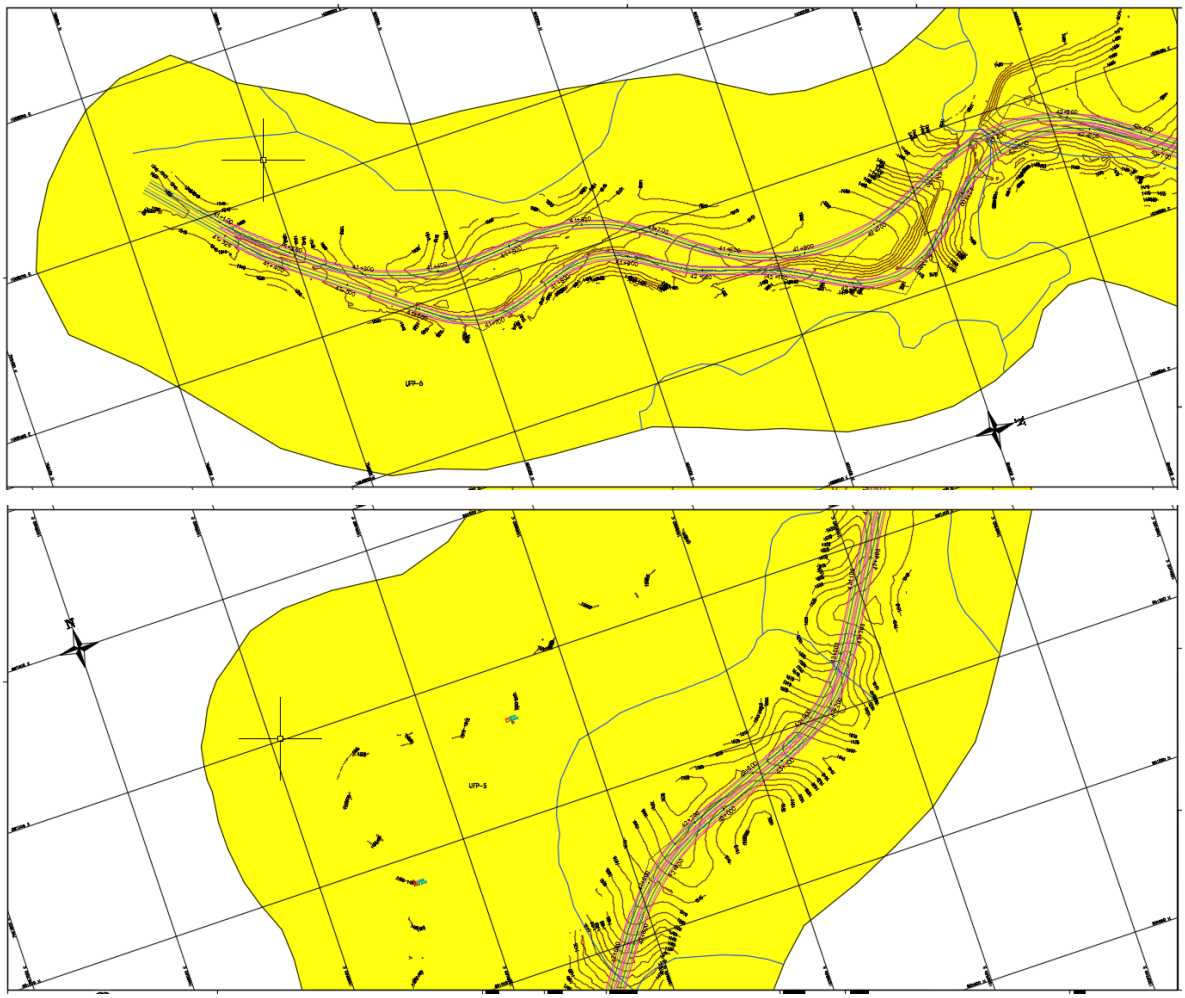


Figura 5.18 Procesos morfodinámicos Km 41 + 000 a Km 43 + 000
.Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

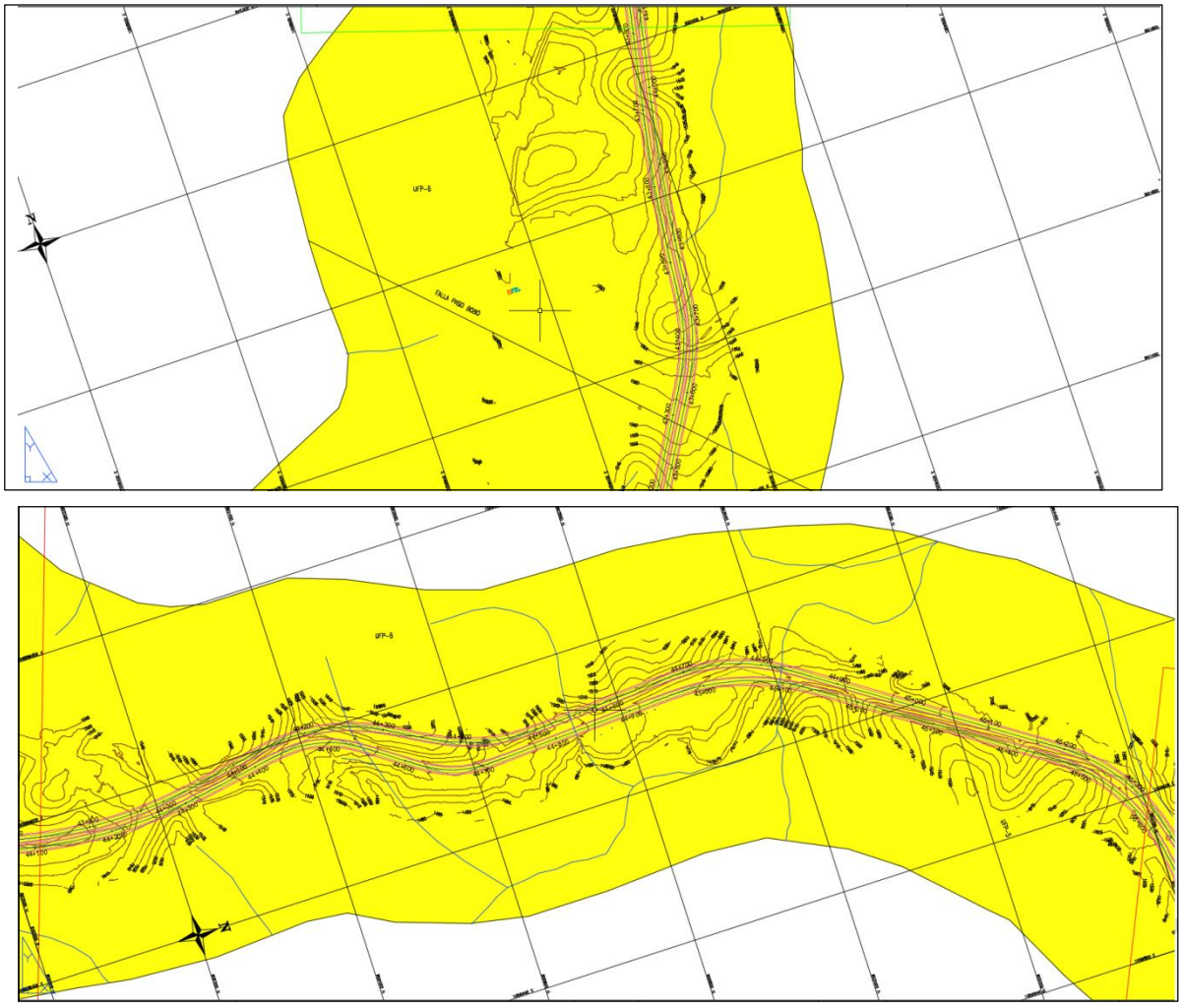


Figura 5.19 Procesos morfodinámicos Km 43 + 200 a Km 45 + 400
.Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

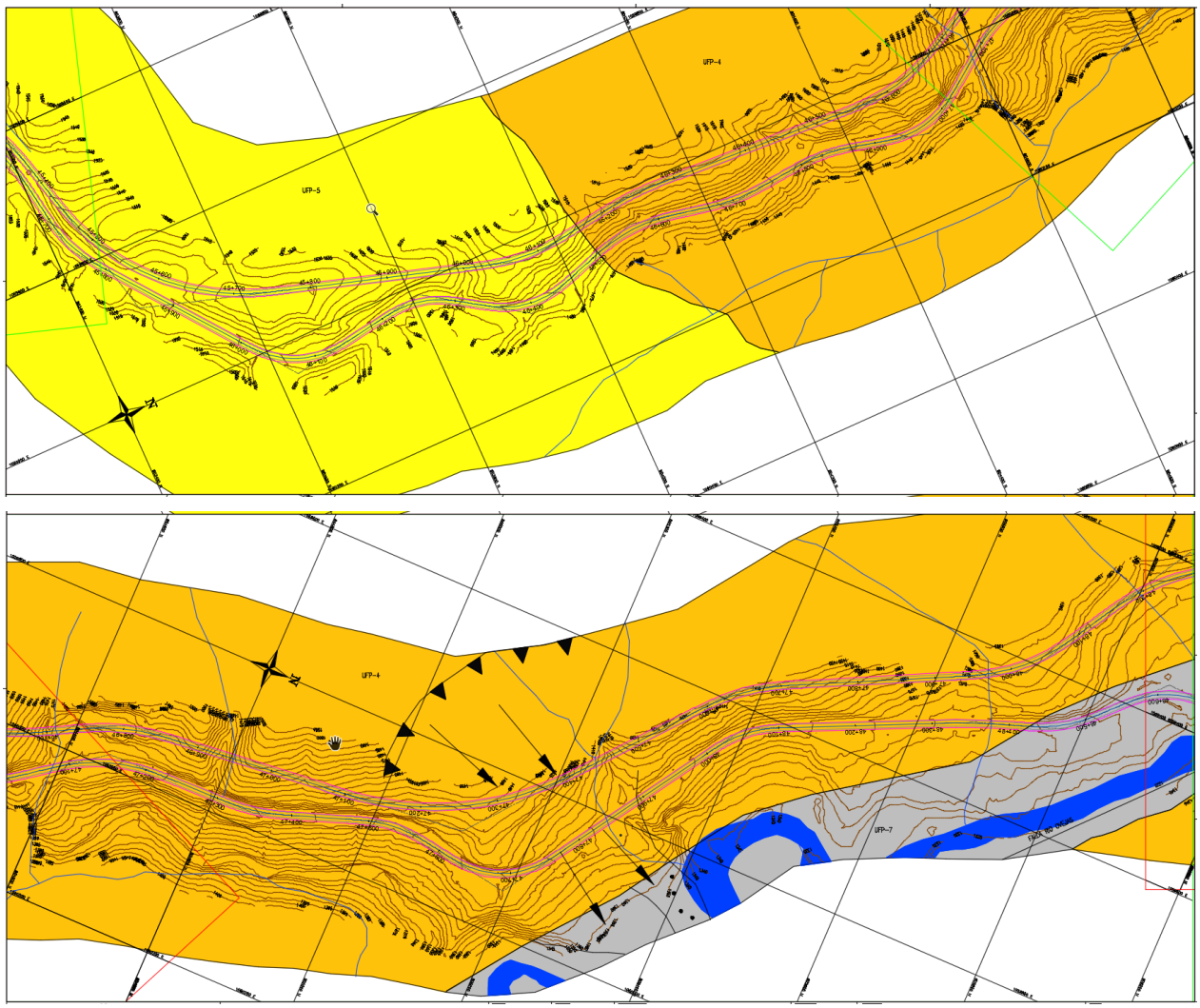


Figura 5.20 Procesos morfodinámicos Km 45 + 400 a Km 48 + 200
.Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

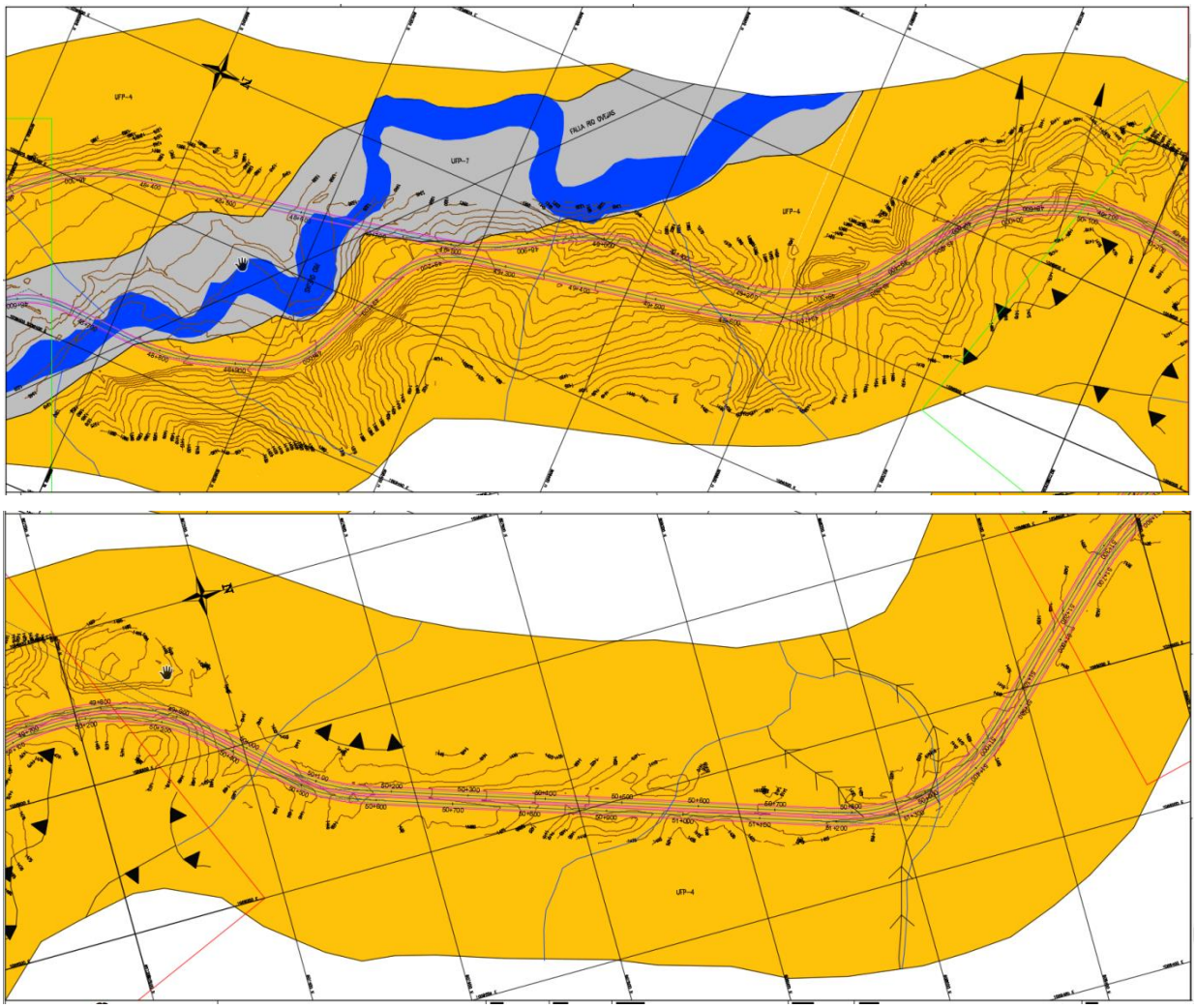


Figura 5.21 Procesos morfodinámicos Km 48 + 300 a Km 51 + 300
.Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

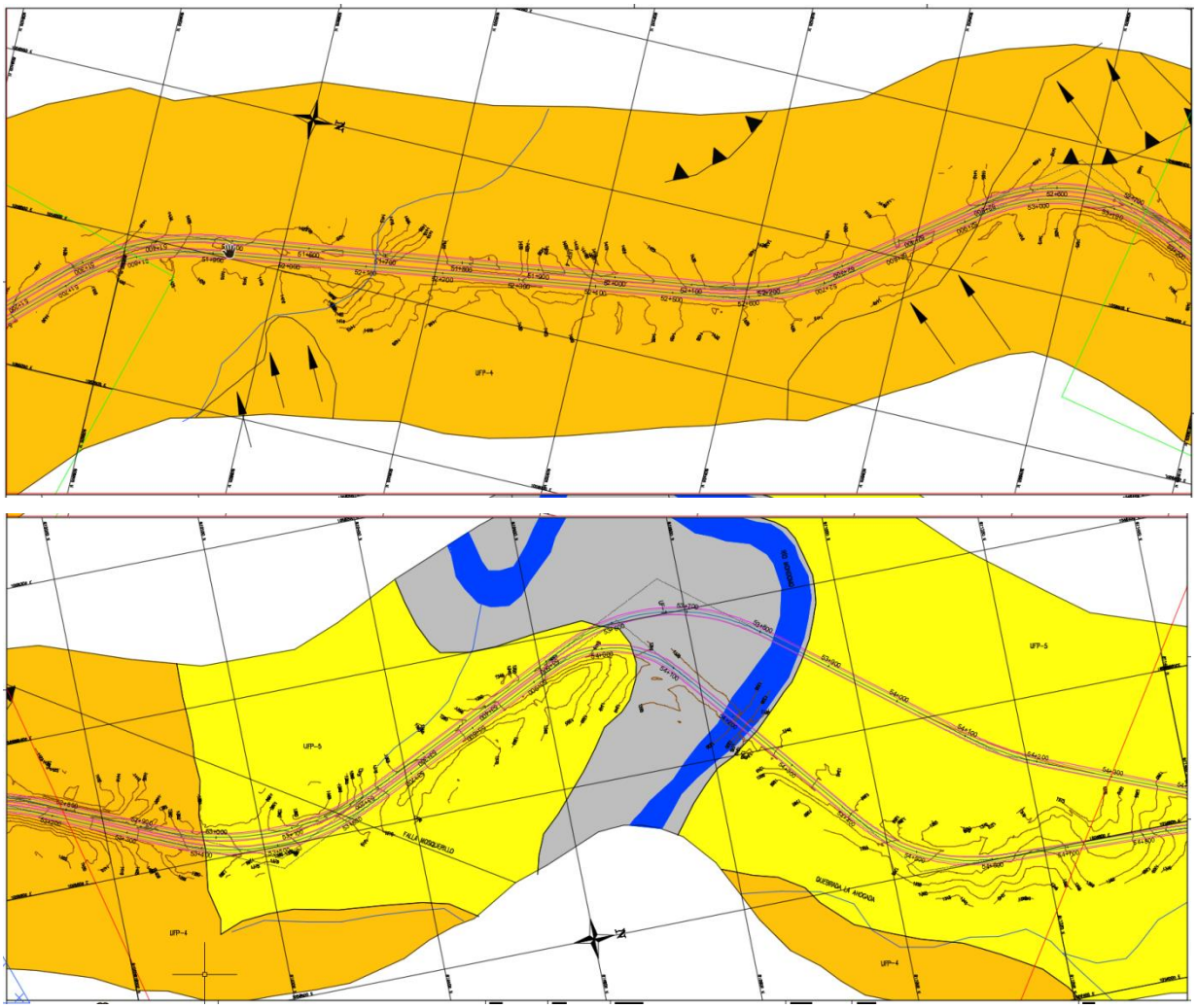


Figura 5.22 Procesos morfodinámicos Km 51 + 300 a Km 54 + 300
.Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

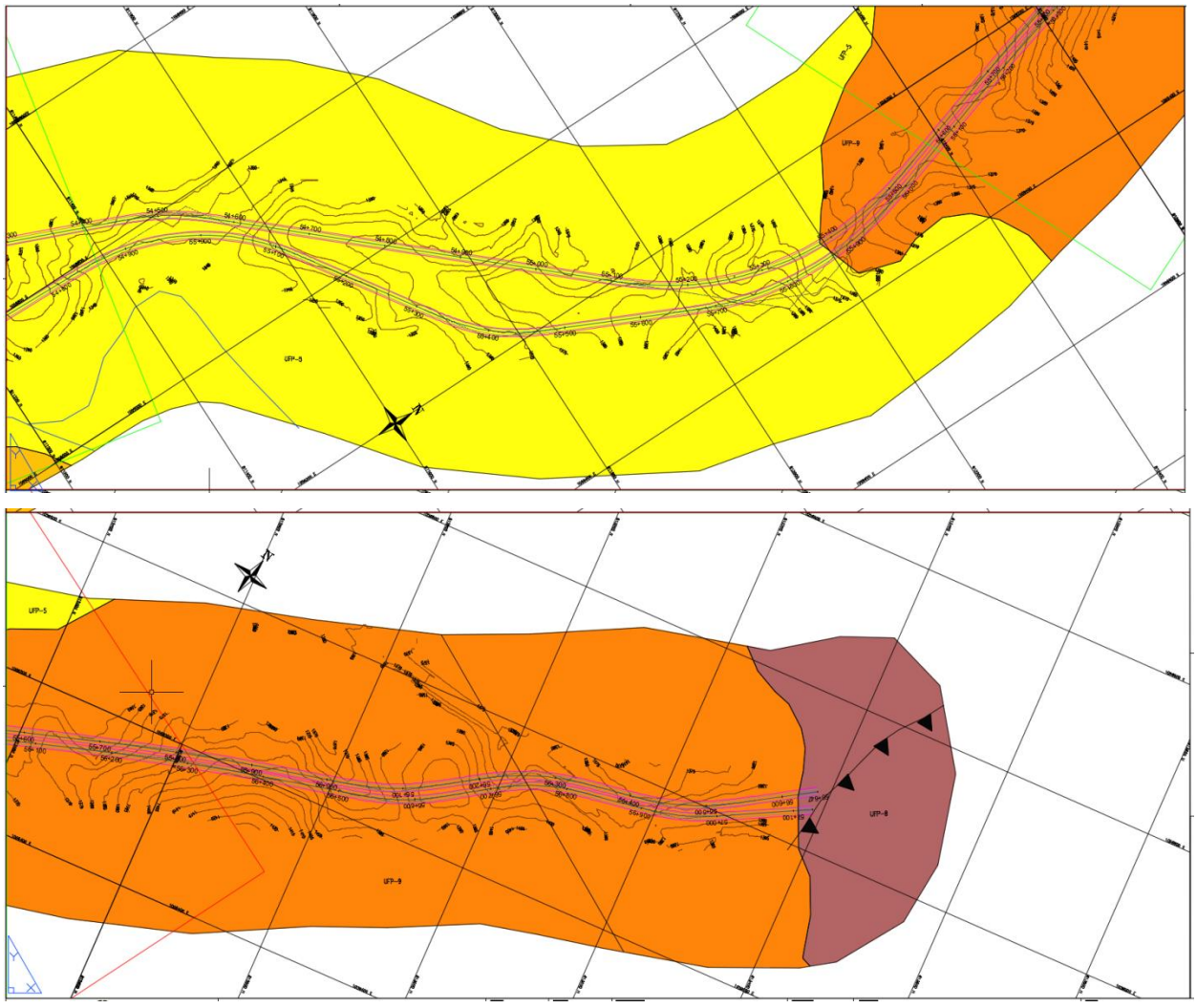


Figura 5.23 Procesos morfodinámicos Km 54 + 400 a Km 56 + 600
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.3 Paisaje

5.1.3.1 Resultados

De acuerdo con la integración de las capas temáticas de las coberturas de la tierra con la geomorfología del área de estudio, se identificaron las unidades de paisaje que hacen parte del territorio estudio y que directamente se relacionan con el proyecto. Las unidades

de paisaje corresponden a un área geográfica con una configuración estructural, funcional o perspectivamente diferenciada, única y singular, que ha ido adquiriendo los caracteres que la definen tras un periodo de tiempo. Estas unidades se identifican por su coherencia interna y sus diferencias con respecto a las unidades contiguas (Guía metodológica, 2012). Las unidades del paisaje ecológico (UPE), se entienden como divisiones espaciales, que cubren el territorio a estudiar. Es de esta manera que una unidad de paisaje ecológico constituye una agregación ordenada y coherente de partes elementales (Escribano *et al., 1991* en Muñoz-Pedreros*, 2004*). Según lo anterior, estas unidades se caracterizan por presentar una identidad común que las agremia y son de interés para la obtención de beneficios socioeconómicos y medio ambientales.

5.1.3.2 Unidades de Paisaje

En el área de estudio, se determinó la calidad visual para cada una de las unidades de paisaje identificadas, siendo este criterio definido como un concepto de calidad visual relacionado con la mayor o menor presencia de valores estéticos y que está sometido a una fuerte subjetividad (Morláns, 2004). La calidad del paisaje se define a partir de la consideración de aquellos aspectos que determinan en mayor medida el carácter de un paisaje. (Guía metodológica, 2012). De esta forma, el criterio de calidad se establece como el mérito de un recurso percibido que sea de interés para la conservación, modificada o intervenida en función de sus características, como parte integral del paisaje y su representatividad o rareza dentro de un área de estudio.

Tabla 5.8 Unidades de paisaje presentes en el área de estudio

UNIDADES DE PAISAJE	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE %
BOSQUE DE GALERIA O RIPARIO en Unidad de Depósitos Fluviales	0,02	0,002
BOSQUE DE GALERIA O RIPARIO en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	14,41	1,57
BOSQUE DE GALERIA O RIPARIO en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	37,90	4,12
MOSAICO DE CULTIVOS en Unidad asociada a sedimentitas de la formación Esmita	18,58	2,02
MOSAICO DE CULTIVOS en Unidad de Depósitos Fluviales	9,89	1,08
MOSAICO DE CULTIVOS en Unidad de Lomas Abultadas de Alta Pendiente y cimas Redondeadas	1,21	0,13
MOSAICO DE CULTIVOS en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	119,13	12,96
MOSAICO DE CULTIVOS en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	102,15	11,11
MOSAICO DE CULTIVOS Y ESPACIOS NATURALES en Unidad de Depósitos Fluviales	0,00	0,00
MOSAICO DE CULTIVOS Y ESPACIOS NATURALES en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alarg*	3,47	0,38
MOSAICO DE CULTIVOS Y ESPACIOS NATURALES en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	82,16	8,94

UNIDADES DE PAISAJE	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE %
MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas*	8,69	0,95
MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	125,98	13,70
MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES en Unidad de Depósitos Fluviales	5,68	0,62
MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alarg*	12,74	1,39
MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS en Unidad de Depósitos Fluviales	5,82	0,63
MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	57,99	6,31
MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	7,74	0,84
PASTOS LIMPIOS en Unidad asociada a sedimentitas de la formación Esmita	31,58	3,43
PASTOS LIMPIOS en Unidad de Depósitos Fluviales	0,37	0,04
PASTOS LIMPIOS en Unidad de Lomas Abultadas de Alta Pendiente y cimas Redondeadas	0,05	0,01
PASTOS LIMPIOS en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	30,83	3,35
PASTOS LIMPIOS en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	34,55	3,76
TEJIDO URBANO DISCONTINUO en Unidad de Depósitos Fluviales	3,85	0,42
TEJIDO URBANO DISCONTINUO en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	19,58	2,13
TEJIDO URBANO DISCONTINUO en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	30,68	3,34
VEGETACION SECUNDARIA ALTA en Unidad asociada a sedimentitas de la formación Esmita	1,36	0,15
VEGETACION SECUNDARIA ALTA en Unidad de Depósitos Fluviales	14,62	1,59
VEGETACION SECUNDARIA ALTA en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	29,87	3,25
VEGETACION SECUNDARIA ALTA en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	54,90	5,97
VEGETACION SECUNDARIA BAJA en Unidad de Depósitos Fluviales	5,43	0,59
VEGETACION SECUNDARIA BAJA en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	7,88	0,86
VEGETACION SECUNDARIA BAJA en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	15,05	1,64
VIAS en Unidad asociada a sedimentitas de la formación Esmita	1,88	0,20
VIAS en Unidad de Depósitos Fluviales	0,65	0,07
VIAS en Unidad de Lomas Abultadas de Alta Pendiente y cimas Redondeadas	0,06	0,01
VIAS en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	7,94	0,86
VIAS en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	9,78	1,06

UNIDADES DE PAISAJE	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE %
ZONA INDUSTRIALES O COMERCIALES en Unidad de Depósitos Fluviales	3,69	0,40
ZONA INDUSTRIALES O COMERCIALES en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	1,25	0,14
TOTAL	919,45	100,00

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Las unidades de paisaje que hacen parte del territorio de estudio Tabla 5.8 contienen características naturales, seminaturales y totalmente transformadas, siendo estas últimas las de mayor dominancia en el área de estudio. Como se mencionó, las unidades de paisaje transformadas dominan el territorio y en su gran mayoría están representadas por mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales en unidad de valles sinuosos estrechos y profundos abarcando un total de 125,98 Ha con un 13,70% de ocupación, seguido se ubica la unidad de paisaje de mosaico de cultivos en unidad de montañas altas y pendientes empinadas y alargadas con 119,13 Ha y un 12,96% de ocupación en el AI.

5.1.3.3 Calidad Visual del paisaje

La calidad visual del paisaje para el área de estudio se estableció a partir de la utilización de un método de valoración indirecto, a partir de los componentes del paisaje. Los criterios de valoración fueron definidos por Bureau of Land Management (1980); citado por Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1992). De acuerdo con la metodología propuesta, para cada unidad de paisaje se asigna un puntaje a cada componente según los criterios de valoración, y la suma total de los puntajes parciales determina la clase de calidad visual, por comparación con una escala de referencia.

La valoración por cada componente del paisaje determino la calidad visual total del área de estudio, de tal forma que 16 unidades de reúnen características que según su valoración abarcan el 26,4% con una calidad visual baja, posteriormente 15 unidades de paisaje abarcan el 57,3% con una calidad visual media y por ultimo tan solo el 16,5% es representado por 15 unidades de paisaje con calidad visual alta Figura 5.24.

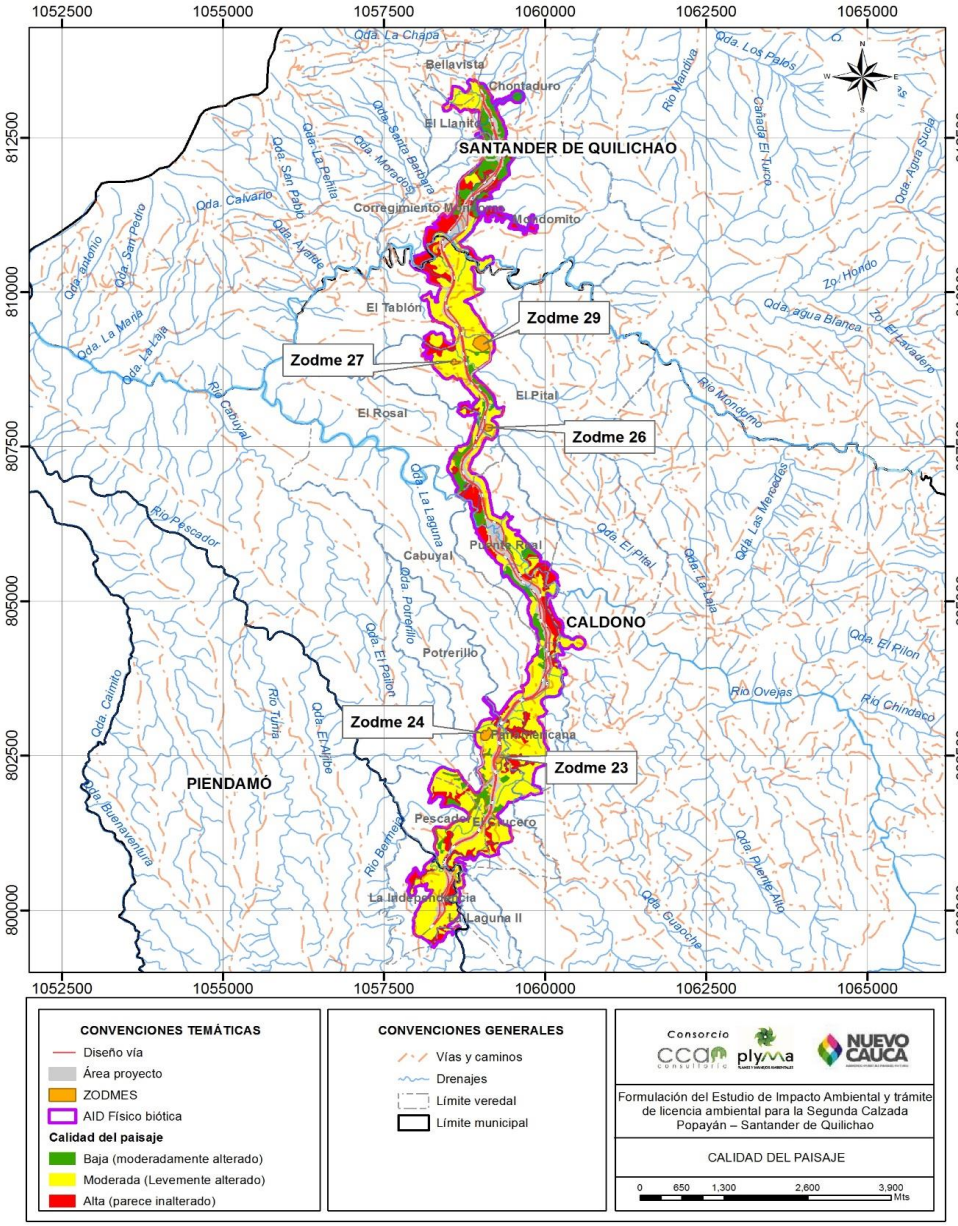


Figura 5.24 Calidad visual del paisaje en el área de estudio del proyecto

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

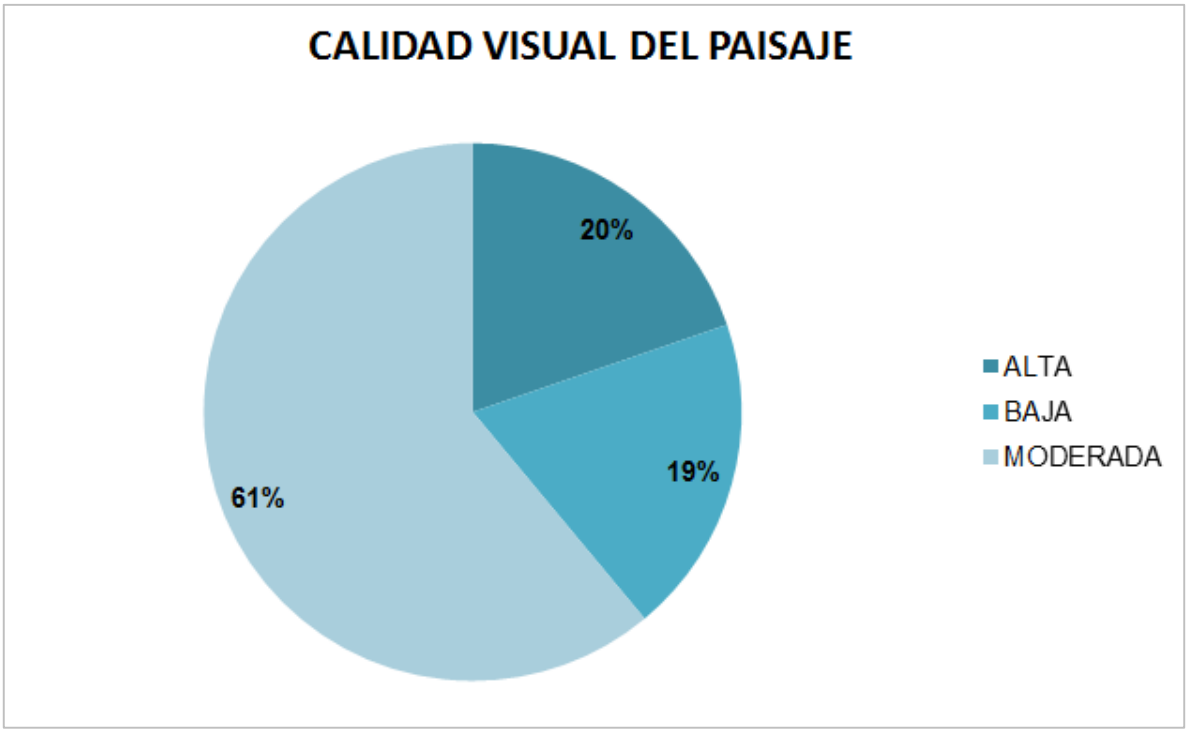


Figura 5.25 CALIDAD VISUAL DEL PAISAJE

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.3.3.1 Unidades de paisaje con calidad Visual Alta

Las presentes unidades de paisaje se caracterizan por exteriorizar atributos sobresalientes o de carácter único dentro de la región, manteniendo así una estética armoniosa entre sus elementos naturales que, junto con los bajos impactos de transformación, exhiben características visuales agradables para el observador. Las unidades de paisaje que se encuentran en esta categoría se presentan en la siguiente Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Unidades del paisaje con calidad visual alta

UNIDADES DE PAISAJE	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
BOSQUE DE GALERIA O RIPARIO en Unidad de Depósitos Fluviales	0,02	0,002
BOSQUE DE GALERIA O RIPARIO en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	14,41	1,57
BOSQUE DE GALERIA O RIPARIO en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	37,90	4,12
VEGETACION SECUNDARIA ALTA en Unidad asociada a sedimentitas de la formación Esmita	1,36	0,15

UNIDADES DE PAISAJE	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
VEGETACION SECUNDARIA ALTA en Unidad de Depósitos Fluviales	14,62	1,59
VEGETACION SECUNDARIA ALTA en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	29,87	3,25
VEGETACION SECUNDARIA ALTA en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	54,90	5,97
VEGETACION SECUNDARIA BAJA en Unidad de Depósitos Fluviales	5,43	0,59
VEGETACION SECUNDARIA BAJA en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	7,88	0,86
VEGETACION SECUNDARIA BAJA en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	15,05	1,64
TOTAL	181,46	19,736

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Las unidades de paisaje que se agrupan en esta categoría se encuentran representadas casi en su totalidad por coberturas vegetales de tipo arbóreo, asociadas parches de bosque que cubren gran parte de suelo, en las que cabe nombrar a los bosques de galería y/o riparios, vegetación secundaria alta y baja. Estas coberturas naturales incluyen una diversidad florística y estratos arbóreos que albergan especies significativas las cuales potencian el atractivo visual del paisaje de la región.

Por otra parte, las unidades de paisaje que tienen relación con cuerpos de agua lótico como caños, ríos o cañadas, en donde el recurso hídrico es un factor dominante y que gracias a sus condiciones naturales funciona como un elemento modelador del paisaje local, cuenta como un recurso de alta importancia natural para las comunidades locales que se benefician de este, de igual forma su integración ecosistémica con unidades de paisaje de cobertura boscosa contribuye a que la calidad visual de estas unidades se incremente potenciando el fondo escénico adyacente.



Foto 5.38 Bosque de galería o ripario en unidad de depósitos fluviales

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.3.3.2 Unidades de paisaje con calidad visual media

En el análisis de la calidad visual del paisaje, las 15 unidades de paisaje con calidad visual media abarcan 561,24 Ha con un porcentaje de ocupación del 61,04%, que se caracterizan por presentar una variedad de atributos sobresalientes, singulares y de interés visual para el observador, aunque a la vez contienen características de intervención atribuidas a la actividad antrópica incluyendo, en las que se incluyen algunos elementos comunes dentro del paisaje de la región Tabla 5.10.

Tabla 5.10 Unidades de paisaje con calidad visual media

UNIDADES DE PAISAJE	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE %
MOSAICO DE CULTIVOS en Unidad asociada a sedimentitas de la formación Esmita	18,58	2,02
MOSAICO DE CULTIVOS en Unidad de Depósitos Fluviales	9,89	1,08
MOSAICO DE CULTIVOS en Unidad de Lomas Abultadas de Alta Pendiente y cimas Redondeadas	1,21	0,13
MOSAICO DE CULTIVOS en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	119,13	12,96
MOSAICO DE CULTIVOS en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y	102,15	11,11

UNIDADES DE PAISAJE	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE %
Profundos		
MOSAICO DE CULTIVOS Y ESPACIOS NATURALES en Unidad de Depósitos Fluviales	0,00	0,00
MOSAICO DE CULTIVOS Y ESPACIOS NATURALES en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alarg*	3,47	0,38
MOSAICO DE CULTIVOS Y ESPACIOS NATURALES en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	82,16	8,94
MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas*	8,69	0,95
MOSAICO DE CULTIVOS, PASTOS Y ESPACIOS NATURALES en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	125,98	13,70
MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES en Unidad de Depósitos Fluviales	5,68	0,62
MOSAICO DE PASTOS CON ESPACIOS NATURALES en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alarg*	12,74	1,39
MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS en Unidad de Depósitos Fluviales	5,82	0,63
MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	57,99	6,31
MOSAICO DE PASTOS Y CULTIVOS en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	7,74	0,84
TOTAL	561,24	61,04

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Las unidades que se reúnen en este criterio en principio son conformadas por coberturas vegetales que exhiben tanto elementos naturales, como atributos de origen antrópico o con algún manejo o uso del suelo, y como resultado demuestran alteraciones en sus características originales. Las características naturales reúnen condiciones que en gran medida potencian la calidad visual en el plano de observación, al provenir de una matriz natural, sus relictos son poco singulares y sobresalientes. En estas unidades de paisaje cabe mencionar la presencia de pastos enmalezados en los que se presentan varias especies vegetales y que en conjunto su correspondencia cromática es de gran atención por parte de los pobladores locales o turistas, así mismo estos pequeños fragmentos de matriz original son de importancia para las especies silvestres, puesto que su presencia funciona como zonas de refugio, anidación u otros.



Foto 5.39 Mosaico de cultivos y espacios naturales en unidad de depósitos fluviales

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Por su parte las coberturas vegetales que han sufrido un manejo por parte del hombre, se componen en su mayoría por elementos arbóreos y arbustivos, plantaciones forestales y mosaicos de cultivos, que por su vocación presentan alteraciones en sus atributos visuales y exhiben una reducción de sus características naturales debido a que son paisajes tradicionalmente destinados para el desarrollo de prácticas agropecuarias en la región. A pesar de que las modificaciones sobre las unidades de paisaje son altamente apreciables en los que a simple vista se evidencian cambios en el color y la forma del paisaje, con contornos abruptos, estos no se constituyen como un factor dominante en términos visuales en el área de estudio y mantienen elementos estéticamente positivos para el observador.

5.1.3.3.3 Unidades de paisaje con calidad visual baja

A partir de la valoración multicriterio las unidades de paisaje que se encuentran bajo esta categoría abarcan un total de 176,75ha con el 19,22% de ocupación del AI del proyecto. Las 15 unidades de paisaje de esta categoría se caracterizan por exhibir rasgos y elementos bastante comunes en la región con un atractivo escénico bajo en términos

visuales. A continuación en la Tabla 5.11 se presentan las unidades de paisaje cuya valoración determinan su calidad visual baja.

Tabla 5.11 UNIDADES DE PAISAJE CON CALIDAD VISUAL BAJA

UNIDADES DE PAISAJE	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE %
PASTOS LIMPIOS en Unidad asociada a sedimentitas de la formación Esmita	31,58	3,43
PASTOS LIMPIOS en Unidad de Depósitos Fluviales	0,37	0,04
PASTOS LIMPIOS en Unidad de Lomas Abultadas de Alta Pendiente y cimas Redondeadas	0,05	0,01
PASTOS LIMPIOS en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	30,83	3,35
PASTOS LIMPIOS en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	34,55	3,76
TEJIDO URBANO DISCONTINUO en Unidad de Depósitos Fluviales	3,85	0,42
TEJIDO URBANO DISCONTINUO en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	19,58	2,13
TEJIDO URBANO DISCONTINUO en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	30,68	3,34
VIAS en Unidad asociada a sedimentitas de la formación Esmita	1,88	0,20
VIAS en Unidad de Depósitos Fluviales	0,65	0,07
VIAS en Unidad de Lomas Abultadas de Alta Pendiente y cimas Redondeadas	0,06	0,01
VIAS en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	7,94	0,86
VIAS en Unidad de Valles Sinuosos Estrechos y Profundos	9,78	1,06
ZONA INDUSTRIALES O COMERCIALES en Unidad de Depósitos Fluviales	3,69	0,40
ZONA INDUSTRIALES O COMERCIALES en Unidad de Montañas Altas y Pendientes Empinadas y Alargadas	1,25	0,14
TOTAL	176,75	19,22

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Las unidades de paisaje que están bajo esta categoría tienen en común la ausencia del recurso hídrico dentro de la cuenca visual del paisaje, así mismo la baja o nula presencia de coberturas vegetales demuestran el grado de alteración más notorio dentro del contexto de análisis. De igual forma estas unidades de paisaje contienen una serie de elementos discordantes y alteraciones en la configuración original del paisaje producto de las actividades agropecuarias, extractivas e industriales de importancia económica en la región, que con el tiempo han generado cambios significativos en las condiciones naturales iniciales de los ecosistemas, incidiendo finalmente sobre la modificación de los atributos y elementos que componen estos paisajes. Estas unidades al estar localizadas en áreas de fácil acceso y como resultado han propiciado el establecimiento y adecuación de infraestructura urbana, pastos y cultivos los cuales demuestran atributos poco

sobresalientes dentro del área de análisis. Aunado a lo anterior, estas unidades de paisaje presentan una mezcla reducida de tonos y contrastes poco significativos en términos visuales dentro del contexto de análisis, como consecuencia de la inclusión de elementos discordantes dentro la cuenca visual. Cabe aclarar que, por la naturaleza de estas unidades, el tamaño de estas modificaciones visuales, el cambio de la cobertura vegetal original y en general por el grado de alteración de los elementos naturales del paisaje de la región generan geometrías dentro del paisaje con formas rectas y lineares definidas, producto de la expansión urbana y proyectos lineales entre otros.



Foto 5.40 Tejido urbano discontinuo en unidad de montañas altas y pendientes empinadas y alargadas

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.3.4 Percepción social del paisaje

La percepción social de paisaje hace referencia a como los habitantes de la zona perciben el entorno físico, biótico y social, en el que desarrollan con mayor frecuencia sus actividades diarias. El entorno físico hace referencia al espacio geográfico de un territorio puntual que tiene como característica principal los procesos geológicos, estructurales y físicos del terreno que se han desarrollado a lo largo del tiempo. Por su parte, el entorno biótico, asume gran parte de la caracterización del paisaje que es visible y que se desarrolla según las características físicas del territorio estudiado. La concepción biótica

toma como referencia la fauna y flora, siendo la integración de estas dos un elemento clave para el sostenimiento de los ecosistemas y la prestación de bienes y servicios ambientales. Por último, el entorno social es el elemento articulador de los procesos de participación pública, imprescindibles para el establecimiento de objetivos de protección del paisaje, y para que los distintos colectivos ciudadanos identifiquen aquellos sitios de interés paisajístico que dotan de identidad a sus municipios, permitiéndoles la mejora de su cohesión social y de su arraigo en el territorio (Muñoz, 2012).

Con el fin de conocer la percepción social que tienen las comunidades hacia el paisaje, se realizaron una seria de preguntas las cuales permitieron obtener información del grado de importancia que tienen tanto los sitios naturales como los culturales o históricos. De igual forma, se evaluó el conocimiento que tiene la población hacia su territorio por medio de los cambios que ha sufrido el paisaje en el tiempo y el modo en el que la presencia del proyecto afecta sus costumbres.

Durante la fase de campo se encuestaron un total de 105 personas que habitan en la zona sin discriminar sexo o edad. Una de las consideraciones a tener en cuenta fue el tiempo que habita en la zona, puesto que la población con mayor tiempo de residencia es capaz de divulgar de manera clara y detallada los cambios que se han generado en el paisaje que aquellas que tan solo tan solo llevan un par de años en la región. El desarrollo de la percepción social del paisaje se enmarca a partir de dos puntos de vista: el primero está relacionado con la apreciación e importancia de los recursos naturales y el segundo con el arraigo y pertenecía de su cultura y costumbres.

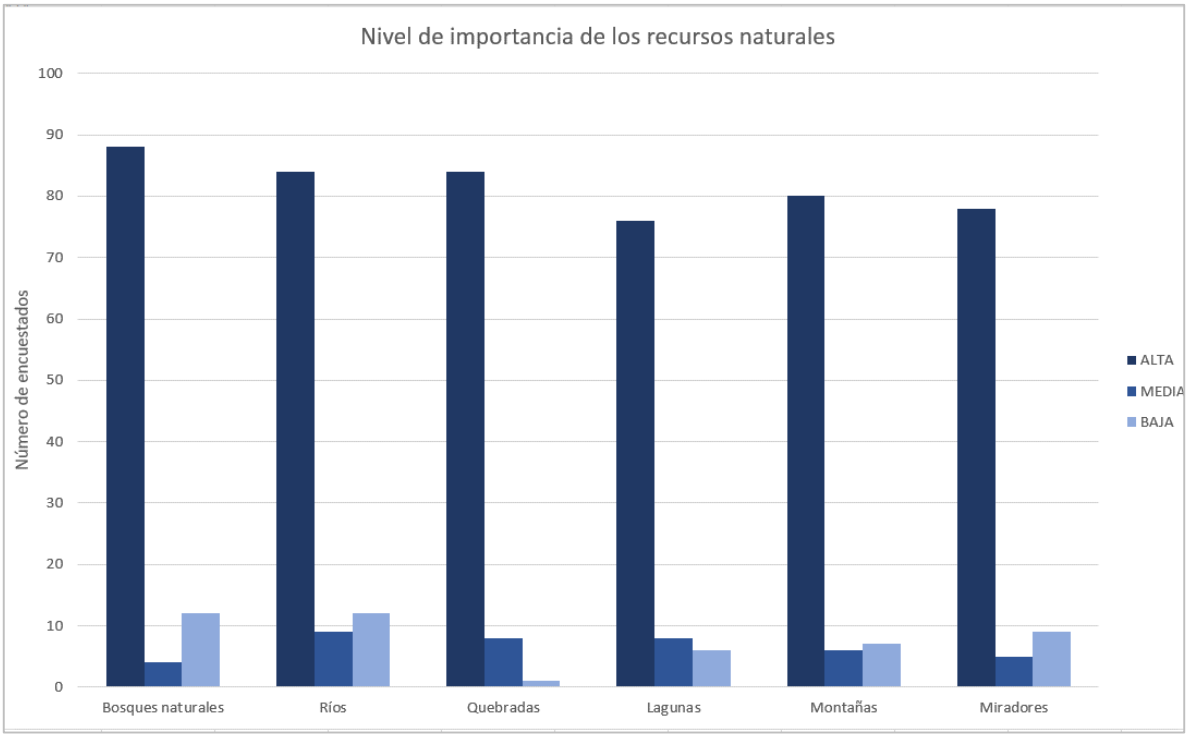


Figura 5.26 Nivel de importancia de los recursos naturales

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

En primer lugar, los bosques naturales en el área de estudio están determinados por los bosques de galería, y vegetaciones secundarias alta y baja. De las 105 personas encuestadas 88 de ellas respondieron que estas áreas son de importancia alta, 4 de importancia media y 12 de importancia baja. Como es de evidenciarse gran parte de la población reconoce que los bosques son importantes desde el punto de vista económico y natural. Desde un enfoque económico la población encuestada afirmo que de estos bosques se obtienen algunos de los recursos básicos como alimentación o madera que posteriormente son vendidos o comercializados tanto en la región como fuera de esta. Así mismo, es claro el reconocimiento de los servicios ambientales como la protección de ríos, quebradas, conservación de biodiversidad o como sitios recreativos.

Por otra parte, los cuerpos de agua loticos representados por ríos y quebradas y los cuerpos de agua lenticos como las lagunas, son reconocidos de alta importancia por aproximadamente 81 personas, unos promedios de 8 encuestados reconocen una importancia media y 6 en promedio una importancia baja. Estos lugares determinan gran parte de las actividades económicas de la zona, ya que el recurso es vital en la plantación

de cultivos, pastos, abastecimiento de agua para el ganado entre otras. Así mismo, por su trascendencia histórica y arraigo son sitios en los que se realizan actividades recreativas familiares o turísticas.

En último lugar, los miradores y montañas en conjunto configuran un elemento clave dentro del paisaje, ya que su posición estratégica permite una mayor observación del territorio y como punto de referencia para la localización de pobladores o turistas. Así mismo en estas áreas se forman una serie historias o mitos que trascienden el tiempo y generaciones.

5.1.3.5 Apreciación e importancia de los sitios culturales

Estos sitios hacen referencia a lugares que permiten la integración y el desarrollo de prácticas culturales en la región que son considerados por la comunidad como sitios de interés paisajístico asociado a procesos históricos y culturales que se desarrollan dentro del contexto de análisis. Los resultados obtenidos de la encuesta de percepción social del paisaje, se logró evidenciar que las poblaciones encuestadas en su gran mayoría identifican lugares de relevancia cultural, los cuales se encuentran principalmente representados por iglesias, cementerios, monumentos, y en menor medida por patrimonios culturales y lugares o hitos históricos.

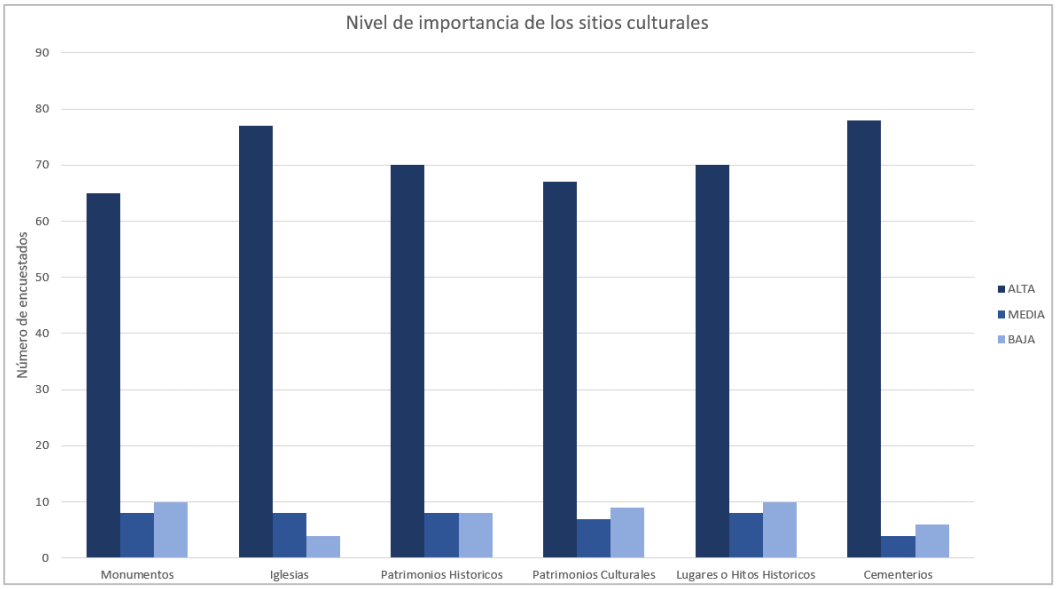


Figura 5.27 Nivel de importancia de los sitios culturales

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Los sitios de interés paisajístico histórico-cultural de que mayor encuentran representados corresponden a capillas o iglesias, cementerios y monumentos en los cuales los habitantes locales se reúnen a realizar prácticas religiosas, espirituales y festividades locales de la región, las cuales se han mantenido estables a través del tiempo y permiten dar continuidad a las tradiciones culturales de la población. Estos lugares por lo general se encuentran en zonas de centros poblados y en lugares altamente intervenidos que de acuerdo a la valoración visual del paisaje exhiben una baja calidad visual con nula presencia de atributos visuales significativos como coberturas naturales o cuerpos de agua loticos o lenticos. En términos paisajísticos la coloración adquirida de estas estructuras, contrastan con las coloraciones de los elementos naturales que los rodean, más, sin embargo, son lugares que por su ubicación son puntales y poco extensivos con tonalidades resaltantes.

5.1.3.6 Percepción de las comunidades como referente de su entorno físico en términos culturales.

Las actividades económicas son unos de los principales agentes del cambio del paisaje y de los elementos naturales que lo componen. Es así que dentro del análisis del presente estudio se contemplaron como agentes del cambio las actividades de agricultura, ganadería, proyectos lineales, plantaciones forestales y proyectos puntuales. Como resultado de lo anterior se puede evidenciar que históricamente los proyectos lineales son las actividades que han presentado una mayor participación en el cambio del paisaje. Así mismo la agricultura, ganadería y plantaciones forestales al ser el resultado del desarrollo socioeconómico de los pobladores, se han establecido en el paisaje hace aproximadamente 10años, lo cual tiene relación con el número de personas encuestadas que residen en la zona hace más de 20 años, quienes han percibido de manera detallada y continua la participación de tales actividades en el paisaje.

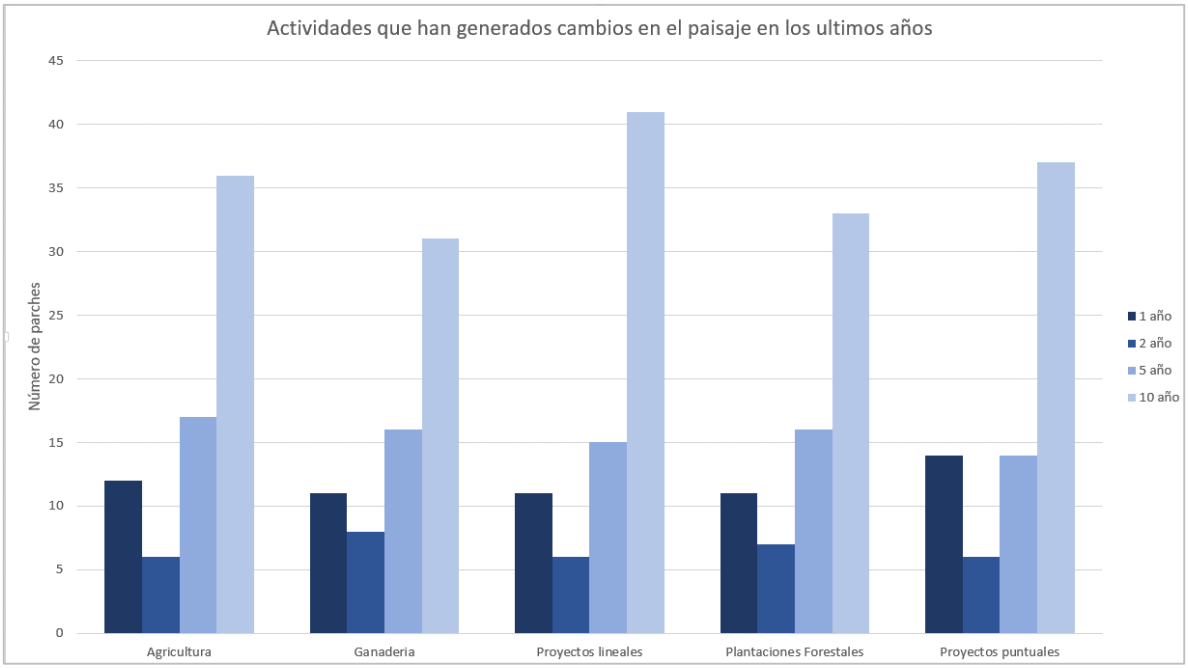


Figura 5.28 Actividades que han generado cambios en el paisaje en los últimos años

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.3.7 Incidencia del proyecto sobre las costumbres de los pobladores

Las encuestas realizadas a la población de la UF3, permitieron indagar sobre cómo los habitantes perciben la incidencia del proyecto en torno a su territorio y de las costumbres del lugar. Las respuestas de los encuestados en términos generales fueron contrastantes, puesto que algunos establecen la importancia y necesidad de que el proyecto se lleve a cabo en la región, ya que su desarrollo incrementaría la oportunidad laboral y económica, por otra parte, algunas personas consideran que la implementación del presente proyecto generaría impactos significativos principalmente en términos visuales.

Dentro de las respuestas dadas por los pobladores en torno a la categoría de bueno y medio, muchos de estos afirman que la presencia del proyecto mejoraría la calidad de vida, el tránsito, la movilidad y que directamente será un potencial en el desarrollo de la región. Así mismo, la precepción del desarrollo del proyecto toma en cuenta los impactos que se generarían en el componente biótico, algunas de las respuestas en torno a este tema son las siguientes "*afectación sobre la fauna y flora, Afectación de ecosistemas, afectación al recurso de bosque".* Adicional a esto, muchos encuestados expresan que la construcción y desarrollo del proyecto no solo tendrá repercusiones en el componente

biótico sino también en el paisaje y de las costumbres locales, por lo tanto, en las encuestas, varios coincidieron en que "*No solo hay cambios en el paisaje sino también en los aspectos culturales".*

Por último, gran parte de la población menciona que el proyecto genera impactos de mayor significancia y toman en cuenta una perspectiva global ambiental, social y económica. Algunas de las respuestas son las siguientes: "*más contaminación, pérdida de recursos naturales, tendría que cambiarme de residencia, destrucción de la naturaleza, tumbarían muchos árboles y se vería afectado el medio ambiente, acabaría con los afluentes, se perdería la tranquilidad en la zona, afectaría las costumbres y vecindades"* entre otras

5.1.4 Suelos y usos de la tierra

5.1.4.1 Unidades cartográficas de suelos

5.1.4.1.1 Método

Para el estudio y caracterización del AID del proyecto, se tuvo en cuenta el estudio de suelos realizado por IGAC (2009) a escala 1:100.000 y se confrontó y actualizó con el levantamiento en campo realizado para el área de influencia del proyecto.

La fase por pendiente de cada unidad cartográfica de suelos se ajustó de acuerdo con el mapa de pendientes del área de estudio y la información de campo.

5.1.4.1.2 Resultados

Los resultados de laboratorio y de campo en cada unidad cartográfica evaluada, se muestran en el Anexo 5.1.4 Resultados suelos, además los sitios de muestreo se observan en la Figura 5.29.

A continuación se describen cada una de las unidades cartográficas presentes en el área de estudio (Tabla 5.12 y Figura 5.30).

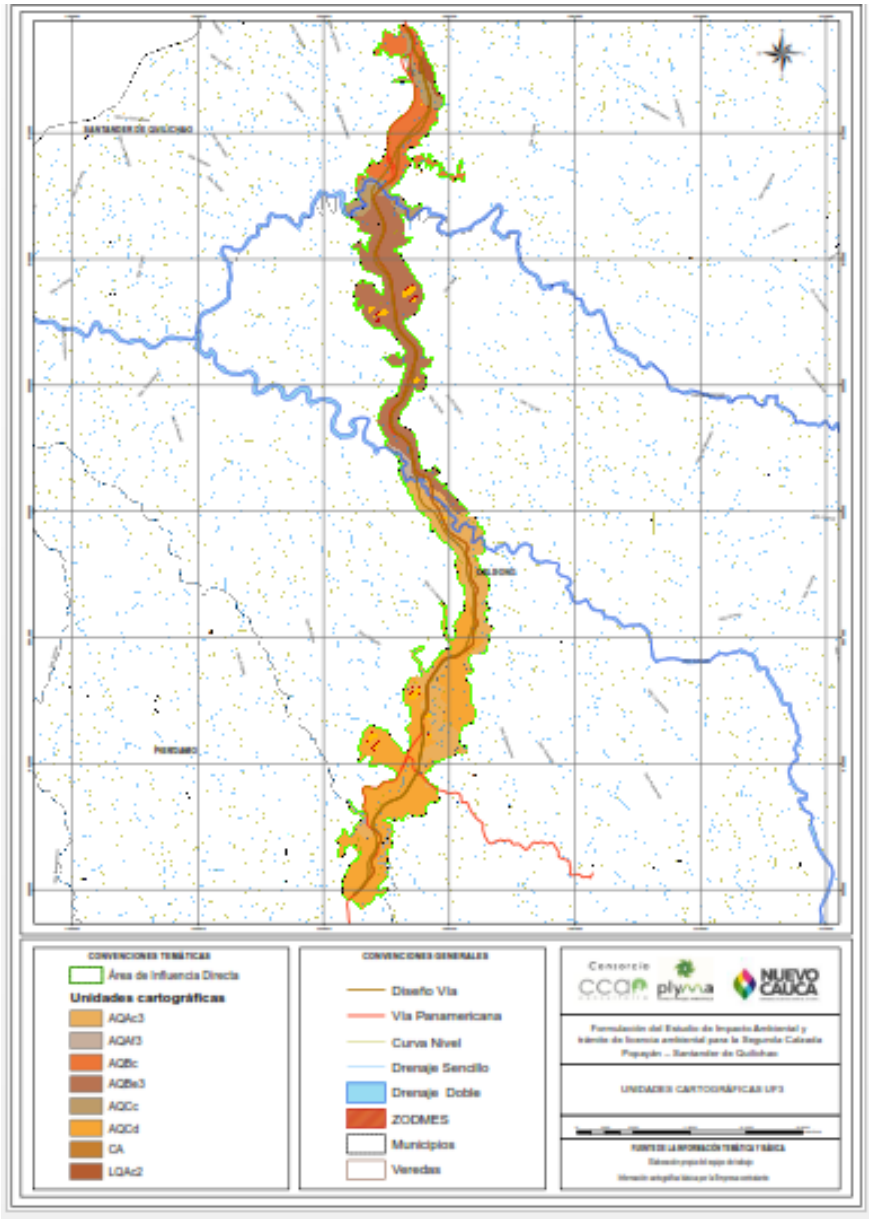


Figura 5.29. Ubicación de los puntos de muestreo de suelos.

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Tabla 5.12. Leyenda de suelos para el área de influencia.

Relieve	Clima ambiental	Unidad fisiográfica	Material parental	Características de los suelos	Unidad cartográfica	Símbolo	Fase pendiente	Área	
								ha	%
Altiplanicie	Templado húmedo	Cañones y cañadas	Cenizas volcánicas discontinuas sobre rocas ígneas	Moderadamente profundos limitados por la presencia de fragmentos de roca, bien drenados, texturas moderadamente finas, muy fuerte a fuertemente ácidos, alta saturación de aluminio y fertilidad natural moderada	Asociación Typic Hapludands – Humic Pachic Dystrudepts	AQA	c	190,19	20,69
							f	5,54	0,60
Altiplanicie	Templado húmedo	Lomas y colinas	Depósitos de cenizas volcánicas sobre rocas ígneas no diferenciadas	Profundos, texturas moderadamente finas a finas, bien drenados, muy fuerte a fuertemente ácidos, alta saturación de aluminio y fertilidad natural baja a moderada	Asociación Typic Dystrudepts – Oxic Dystrudepts	AQB	c	100,95	10,98
							e	240,66	26,17
Altiplanicie	Templado húmedo	Lomas y colinas	Depósitos de cenizas volcánicas sobre diabasas y flujos volcánicos	Profundos, bien drenados, texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas y finas, fuerte a moderadamente ácidos, alta saturación de aluminio y fertilidad natural baja a moderada	Asociación Typic Hapludands - Typic Dystrudepts - Typic Paleudults	AQC	c	53,64	5,83
							d	299,19	32,54

Relieve	Clima ambiental	Unidad fisiográfica	Material parental	Características de los suelos	Unidad cartográfica	Símbolo	Fase pendiente	Área	
								ha	%
Lomerío	Templado húmedo	Lomas y colinas	Cenizas volcánicas discontinuas sobre rocas ígneas mixtas (andesitas, tobas y brechas)	Profundo, texturas moderadamente gruesas, imperfectamente drenados, muy fuerte a ligeramente ácidos, alta saturación de aluminio, muy baja saturación de bases y baja fertilidad	Asociación Typic Hapludoxs - Oxic Dystrudepts -Typic Fulvudands	LQA	c	14,85	1,62
Cuerpos de agua (tramos río Mondomo y río Ovejas)								14,42	
TOTAL								919,44	

Fuente: Adaptado de IGAC (2009).

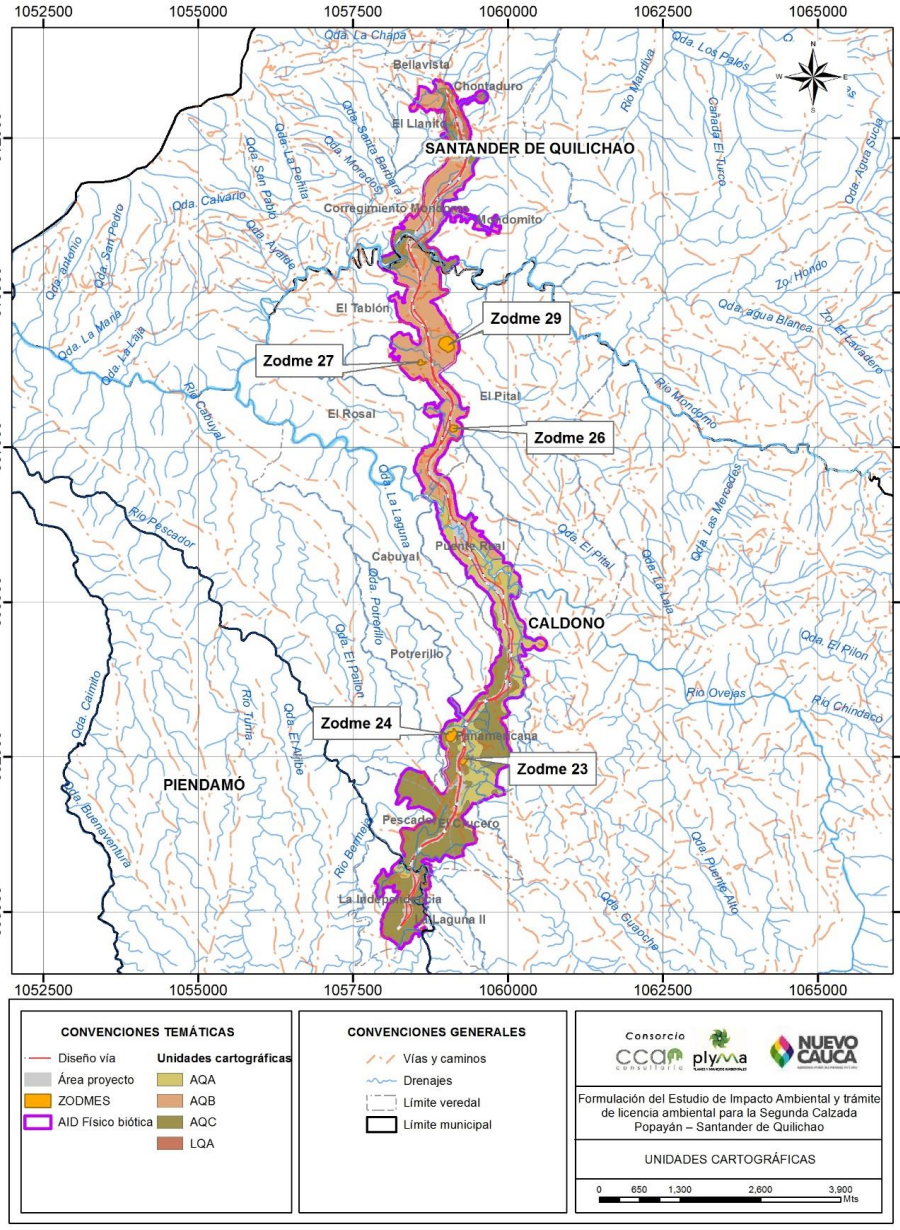


Figura 5.30. Unidades cartográficas de suelos del proyecto.

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

A continuación, se describen las propiedades físico-químicas de las unidades que serán afectadas por el proyecto.

A. Asociación Typic Hapludands - Humic Pachic Dystrudepts – AQA

Suelos que se encuentran en alturas hasta de 1.600 msnm, en clima templado húmedo, correspondiente a la zona de vida bosque húmedo Premontano (bh-PM).

Los suelos se han derivado de capas de cenizas volcánicas discontinuas sobre rocas ígneas; son profundos sin presencia de fragmentos de roca en el perfil, bien drenados, texturas moderadamente finas, muy fuerte a fuertemente ácidos, alta saturación de aluminio y fertilidad natural baja.

Esta unidad está conformada por los suelos Typic Hapludands (60%) y Humic Pachic Dystrudepts (40%) y se encuentran las siguientes fases:

- ✓ Asociación Typic Hapludands - Humic Pachic Dystrudepts, fase moderadamente inclinada, severamente erosionada (AQAc3).
- ✓ Asociación Typic Hapludands - Humic Pachic Dystrudepts, fase moderadamente escarpada, severamente erosionada (AQAf3).

En la unidad AQAc3 se levantaron los perfiles 2 y 10, cuya descripción se muestra en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13. Síntesis de las propiedades físico-químicas de los suelos de la Asociación Typic Hapludands - Humic Pachic Dystrudepts, fase moderadamente inclinada, severamente erosionada (AQAc3).

Perfil	2			10			
Horizonte	A	AB	B	A	AB	B	C
Profundidad efectiva (cm)	Profundo (100 cm)			Moderadamente profundo (75 cm)			
Espesor (cm)	36	46	67	35	20	33	57
Color Munsell	10YR/2-2	7,5YR/3-4	10YR/5-8	10YR/3-1	Escala de grises	10YR/2-1	5Y/4-1
Textura	Franco arcillo arenosa	Arcillo arenosa	Franco arcilloso	Franco	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco
Estructura	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular	Granular
pH	4,5	4,3	4,4	6,1	5,8	6,0	6,4
M.O (%)	14,4	4,8	15,2	6,5	4,8	4,8	3,2
Ca (cmolc/kg)	0,1	3,6	11,1	0,9	0,6	0,1	0,1
Mg (cmolc/kg)	0,7	1,1	1,8	0,3	0,1	0,2	0,1
K (cmolc/kg)	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P (mg/kg)	2	1	1	7	2	1	4
Al (cmolc/kg)	3,2	2,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
CICE (cmolc/kg)	4,06	6,84	13,46	1,23	0,75	0,28	0,21
Da (g/cm3)	0,8	1,1	0,8	1,1	1,1	1,1	1,2
Saturación total de bases (%)	21,1	67,8	96,3	100	100	99,9	100
Fertilidad	Baja			Baja			

Son suelos moderadamente profundos a profundos, el pH es ligeramente ácido a ácido, texturas medias franco Arcillosas Arenosas y estructura granular. Sin fragmentos de roca en el perfil o menor al 15%. Los contenidos de materia orgánica son altos en todo el perfil, lo cual muestra que hay migración interna de materia orgánica a lo largo de los perfiles. No obstante, en el perfil 10 la migración es menor, ya que va disminuyendo a lo largo del perfil.

El Ca es notoriamente alto en el horizonte B del perfil 2, pero en los demás es muy bajo. El contenido de magnesio y potasio son bajos en todos los perfiles. En el perfil 2, la CICE está por encima del valor límite para la disponibilidad adecuada de bases intercambiables (4 cmol kg -1). En el perfil 10 la CICE es baja, lo cual muestra una baja disponibilidad de bases intercambiables, la cual está determinada por la cantidad de Ca. La densidad aparente es muy baja, relacionada con el mejor estado de agregación de las partículas del suelo.

B. Asociación Typic Dystrudepts – Oxic Dystrudepts – AQB

Los suelos que conforman esta asociación se encuentran en clima templado húmedo, correspondiente a la zona de vida bosque húmedo Premontano (bh-PM), en alturas hasta de 1.400 msnm.

Los suelos se han derivado de depósitos de cenizas volcánicas sobre rocas ígneas no diferenciadas; son profundos, texturas moderadamente finas a finas, bien drenados, muy fuerte a fuertemente ácidos, alta saturación de aluminio y fertilidad natural baja a moderada.

Esta unidad está conformada por los suelos Typic Dystrudepts (50%) y Oxic Dystrudepts (50%) y en el área de estudio presenta las siguientes fases:

- ✓ AQBc3: Asociación Typic Dystrudepts – Oxic Dystrudepts, fase moderadamente inclinada, severamente erosionada.
- ✓ AQBe3: Asociación Typic Dystrudepts – Oxic Dystrudepts, fase ligeramente escarpada, severamente erosionada.

En esta unidad se levantaron los perfiles 7 y 11, cuya síntesis de su descripción se presenta en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14. Síntesis de las propiedades físico-químicas de los suelos de la Asociación Typic Dystrudepts – Oxic Dystrudepts, fase ligeramente escarpada, severamente erosionada (AQBe3).

Perfil	7			
Horizonte	A	Bw	B	C
Profundidad efectiva (cm)	Profundos (100 cm)			
Color Munsell	5YR/3-4	5YR/5-6	10YR/5-8	2,5YR/4-8

Perfil	7			
Textura	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
Estructura	Granular	Granular	Bloques sub angulares	Granular
pH	5,2	5,1	5,1	5,1
M.O (%)	14,0	11,7	10,3	7,7
Ca (cmolc/kg)	1,6	0,6	0,5	0,7
Mg (cmolc/kg)	0,6	0,1	0,1	0,1
K (cmolc/kg)	0,15	0,01	0,01	0,01
P (mg/kg)	7	1	1	1
Al (cmolc/kg)	0,6	1,7	1,2	2,7
CICE (cmolc/kg)	2,97	2,45	1,85	3,55
Da (g/cm^3)	0,9	0,9	1,0	1,0
Saturación total de bases (%)	79,8	30,5	35,0	23,8
Fertilidad	Baja			

Los suelos de esta fase edáfica son profundos, sin fragmentos de roca en el perfil; son suelos bien drenados, con estructura predominantemente granular. De texturas arcillosas y erosión severa. Los contenidos de materia orgánica (MO%) son altos y las bases son bajas, afectando la fertilidad de los suelos, que es baja.

La CICE es baja, lo cual demuestra poca disponibilidad de bases intercambiables, la cual está determinada por la cantidad de Ca. De igual manera, la densidad aparente muestra valores bajos para este tipo de suelos.

El pH toma valores de 5,1 a 5,2 mostrando suelos ácidos.

5.1.4.2 Uso actual de la tierra

5.1.4.2.1 Método

De acuerdo con Vink (1975) el uso de la tierra es cualquier tipo de intervención humana, cíclica o permanente, para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales o ambas, a partir del complejo de recursos naturales e inducidos por el hombre, que en su conjunto son llamados tierra.

La forma como la población la utiliza, es un indicio de las condiciones físicas del área; por ello el uso de la tierra comprende un conjunto de actividades desarrolladas por el hombre en un territorio determinado, bajo ciertas condiciones tecnológicas, sociales, económico, político y culturales (Henao 2000).

Los usos de la tierra que con más frecuencia se encuentran, se pueden desagregar a partir de la descripción de las formas de uso de la tierra que se expresa en términos de la cobertura terrestre como lo plantea MAVDT & IGAC (2007) en su clasificación, como se muestra en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15. Leyenda de cobertura terrestre y uso actual de la tierra.

Tipo de cobertura de la tierra	Uso actual de la tierra
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	
1.1 Zonas urbanizadas	
1.1.1 Territorio urbano continuo	Vivienda
1.1.2 Territorio urbano discontinuo	
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	
1.2.1.1. Zonas industriales	Industria, comercio
1.2.1.2. Zonas comerciales	
1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	
1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	Transporte, sin uso actual
1.2.2.2. Red ferroviaria y terrenos asociados	
1.2.3. Zonas portuarias	
1.2.3.1. Zonas portuarias fluviales	Transporte, bodegaje
1.2.3.2. Zonas portuarias marítimas	
1.2.4. Aeropuertos	
1.2.4.1. Aeropuerto con infraestructura asociada	Transporte
1.2.4.2. Aeropuerto sin infraestructura asociada	
1.2.5. Obras hidráulicas	
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	
1.3.1. Zonas de extracción minera	Minería
1.3.1.1. Otras explotaciones mineras	Minería
1.3.1.2. Explotación de hidrocarburos	Explotación de hidrocarburos
1.3.1.3. Explotación de carbón	Explotación de carbón
1.3.1.4. Explotación de oro	Explotación de oro
1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción	Explotación de arena y gravilla
1.3.1.6. Explotación de sal	Explotación de sal
1.3.1.7. Explotación de esmeraldas	Explotación de esmeraldas
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	
1.3.2.1. Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	Depósito de residuos sólidos
1.3.2.2. Escombreras	
1.3.2.3. Vertederos	
1.3.2.4. Relleno sanitario	
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	
1.4.1. Zonas verdes urbanas	
1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas	Recreación
1.4.1.2. Parques cementerios	
1.4.1.3. Jardines botánicos	Recreación
1.4.1.4. Zoológicos	

Tipo de cobertura de la tierra	Uso actual de la tierra
1.4.1.5. Parques urbanos	
1.4.1.6. Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	
1.4.2. Instalaciones recreativas	
1.4.2.1. Áreas culturales	Recreación
1.4.2.2. Áreas deportivas	
1.4.2.3. Áreas turísticas	
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	
2.1. Cultivos transitorios	
2.1.1. Otros cultivos transitorios	
2.1.2. Cereales	
2.1.2.1. Arroz	Agricultura
2.1.2.2. Maíz	
2.1.2.3. Sorgo	
2.1.2.4. Cebada	
2.1.2.5. Trigo	
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	
2.1.3.1. Algodón	Agricultura
2.1.3.2. Ajonjolí	
2.1.3.3. Fríjol	
2.1.3.4. Soya	
2.1.3.5. Maní	
2.1.4. Hortalizas	
2.1.4.1. Cebolla	Agricultura
2.1.4.2. Zanahoria	
2.1.4.3. Remolacha	
2.1.5. Tubérculos	
2.1.5.1. Papa	
2.1.5.2. Yuca	
2.2. Cultivos permanentes	
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	Agricultura
2.2.1.2. Caña	
2.2.1.3. Plátano y banano	
2.2.1.4. Tabaco	
2.2.1.5. Papaya	
2.2.1.6. Amapola	
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	Agricultura
2.2.2.2. Café	
2.2.2.3. Cacao	
2.2.2.4. Viñedos	
2.2.2.5. Coca	
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	Agricultura
2.2.3.2. Palma de aceite	

Tipo de cobertura de la tierra	Uso actual de la tierra
2.2.3.3. Cítricos	
2.2.3.4. Mango	
2.2.4. Cultivos agroforestales	
2.2.4.1. Pastos y árboles plantados	Agroforestal
2.2.4.2. Cultivos y árboles plantados	
2.2.5. Cultivos confinados	Cultivos de flores, hortalizas
2.3. Pastos	
2.3.1. Pastos limpios	Ganadería, con pastoreo extensivo semiintensivo intensivo
2.3.2. Pastos arbolados	
2.3.3. Pastos enmalezados	Ganadería, con pastoreo extensivo semiintensivo intensivo; Recuperación
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	
2.4.1. Mosaico de cultivos	Agricultura
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	Agricultura, ganadería, con pastoreo extensivo semiintensivo o intensivo
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Agricultura, protección, ganadería, con pastoreo extensivo, semiintensivo o intensivo
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	Ganadería, con pastoreo extensivo, semiintensivo o intensivo; protección
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	Agricultura, protección
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMI-NATURALES	
3.1. Bosques	
3.1.1. Bosque denso	
3.1.1.1. Bosque denso alto	

Tipo de cobertura de la tierra	Uso actual de la tierra
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	Protección, conservación
3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable	
3.1.1.2. Bosque denso bajo	
3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	Protección, conservación
3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable	
3.1.2. Bosque abierto	
3.1.2.1. Bosque abierto alto	
3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	Protección, conservación
3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable	
3.1.2.2. Bosque abierto bajo	
3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	Protección, conservación
3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable	
3.1.3. Bosque fragmentado	
3.1.3.1 Bosque fragmentado con pastos y cultivos	Agrosilvicultura
3.1.3.2 Bosque fragmentado con vegetación secundaria	Recuperación
3.1.4. Bosque de galería y ripario	Protección, conservación
3.1.5. Plantación forestal	
3.1.5.1. Plantación de coníferas	Protección , aprovechamiento forestal
3.1.5.2. Plantación de latifoliadas	
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	
3.2.1. Herbazal	
3.2.1.1. Herbazal denso	
3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme	
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	Protección, conservación
3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado	
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	
3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable	
3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado	Protección, conservación
3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado	
3.2.1.1.2.3. Arracachal	
3.2.1.1.2.4. Helechal	
3.2.1.2. Herbazal abierto	
3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso	Protección, conservación
3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso	
3.2.2. Arbustal	
3.2.2.1. Arbustal denso	Protección, conservación
3.2.2.2. Arbustal abierto	
3.2.2.2.1. Arbustal abierto esclerófilo	Protección, conservación
3.2.2.2.2. Arbustal abierto mesófilo	
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	
3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	Recuperación
3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	

Tipo de cobertura de la tierra	Uso actual de la tierra
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	
3.3.1. Zonas arenosas naturales	
3.3.1.1. Playas	Protección, conservación, turismo
3.3.1.2. Arenales	
3.3.1.3. Campos de dunas	
3.3.2 Afloramientos rocosos	
3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	Sin uso, en recuperación, preparación para cultivos
3.3.4 Zonas quemadas	Recuperación, en preparación de cultivos, renovación de pasturas
3.3.5 Zonas glaciares y nivales	
3.3.5.1. Zonas glaciares	Protección, conservación
3.3.5.2. Zonas nivales	
4. AREAS HUMEDAS	
4.1. Áreas húmedas continentales	
4.1.1. Zonas Pantanosas	Protección, conservación
4.1.2. Turberas	
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	
4.2. Áreas húmedas costeras	
4.2.1. Pantanos costeros	Protección, conservación
4.2.2. Salitral	
4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar	
5. SUPERFICIES DE AGUA	
5.1. Aguas continentales	
5.1.1. Ríos (50 m)	Protección, conservación, Transporte, pesca, generación de energía
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	Protección, protección-producción piscícola, conservación, turismo
5.1.3. Canales	Riego, drenaje, transporte
5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	
5.1.4.1. Embalses	Regulación caudales,

Tipo de cobertura de la tierra	Uso actual de la tierra
	generación energía, pesca, riego, acueducto, recreación
5.1.4.2. Lagunas de oxidación	Acueducto
5.1.4.3. Estanques para acuicultura continental	Pesca
5.2.1. Lagunas costeras	Conservación, protección
5.2. Aguas marítimas	
5.2.2. Mares y océanos	
5.2.2.1. Otros fondos	Protección, conservación
5.2.2.2. Fondos coralinos someros	
5.2.2.3. Praderas de pastos marinos someras	
5.2.2.4. Fondos someros de arenas y cascajo	
5.2.3. Estanques para acuicultura marina	Producción pesquera

Fuente: MAVDT & IGAC (2007).

5.1.4.2.2 Resultados

De acuerdo con las condiciones biofísicas encontradas en el área de influencia, se reportan los usos actuales que se muestran en la Tabla 5.16 y Figura 5.31.

Tabla 5.16. Uso actual de la tierra.

Uso Actual		AI	
		ha	%
AGRICOLA	Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos	450,33	48,98%
CONSERVACIÓN	Protección	75,15	8,17%
	Recuperación	118,38	12,88%
GANADERA	Pastoreo extensivo	196,87	21,41%
TRANSPORTE	Transporte	19,65	2,14%
VIVIENDA	Industria y comercio	4,94	0,54%
	Viviendas	54,12	5,89%
Total		**919,44**	**100%**

A. Agricultura.

Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos. Áreas dedicadas a cultivos transitorios y permanentes. Sobresalen los cultivos de yuca, frutales y hortalizas a lo largo de toda el área de influencia.

Los desarrollos de estos cultivos también se encuentran asociados a espacios naturales dedicados a la protección. Estos se localizan hacia el sector de Independencia y Pescador, en el costado sur del área de influencia. Ocupan el 49,82% del área de influencia.

B. Conservación

Protección. En esta categoría se encuentra asociada a varios fragmentos de bosque ripario que conforman las áreas de retiro de drenajes como río Ovejas, río Mondomo, río Cabuyal y quebrada La Laja que atraviesa el área de influencia. También se tiene en esta categoría el cauce principal de los ríos Ovejas y Mondomo, los cuales sirven para la protección del recurso hídrico y como ecosistemas estratégicos ofrece servicios ambientales relacionados con los de regulación.

Recuperación. Corresponde a fragmentos de vegetación secundaria (alta o baja), inmersos en la matriz agropecuaria del área de influencia. Se encuentran en los primeros estadios de la sucesión secundaria, permitiendo que con el avance de ésta se recupere en el largo plazo áreas para la protección de la biodiversidad.

C. Ganadería

Pastoreo extensivo. Asociada a un uso de ganadería bovina con baja capacidad de carga por unidad de. Corresponde a áreas ocupadas por pastos naturales donde se aplican pocas o ninguna práctica de manejo, como rotación de cultivos, control de malezas y fertilizaciones. Se localiza principalmente hacia el sector de Puente Real.

Este tipo de uso también se encuentra combinado con fragmentos de vegetación nativa que sirven para la protección de los recursos naturales y se encuentran embebidos en la matriz de pasto.

También se encuentra una combinación de ganadería extensiva y cultivos agrícolas que ocupan el 7,9% del área de influencia, cerca del sector El Pital.

D. Transporte

Transporte. Corresponde a un tramo de una vía de orden nacional Piendamó – Popayán.

E. Vivienda.

Industria y comercio. Construcción en un gran lote que reciben un uso industrial y que se localiza en el sector de Puente Real**.**

Vivienda. Conjunto de espacios construidos a lo largo de la vía Piendamó – Popayán y que ocupan áreas de tejido urbano discontinuo. Sobresalen los centros poblados de la zona rural de Mondomo, El Pital, Puente Real, Independencia y C. Pescador.

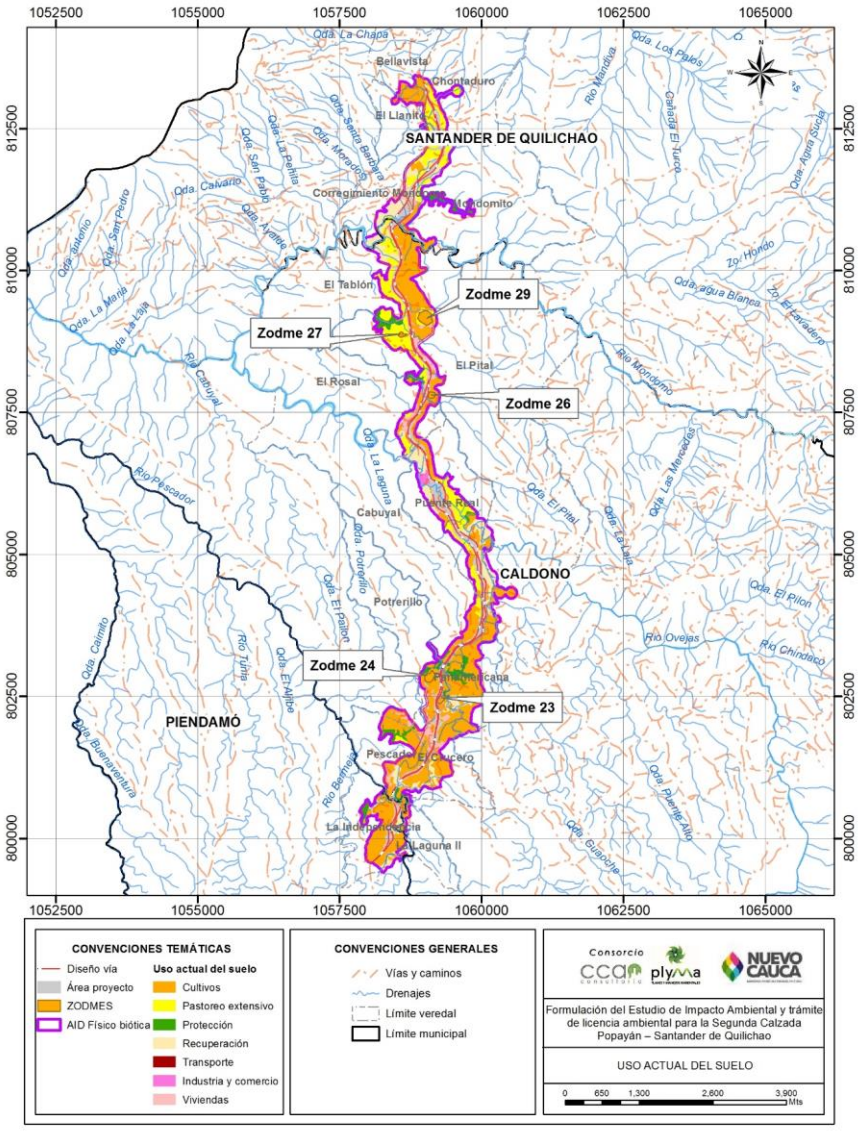


Figura 5.31. Mapa del uso actual de la tierra.

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.4.3 Uso potencial

5.1.4.3.1 Método

El uso potencial de la tierra se puede definir como el resultado obtenido al confrontar las cualidades agronómicas y ambientales de las tierras con los requerimientos de uso, a fin de determinar el uso más apropiado y sostenible de una unidad de tierra, con el menor riesgo de deterioro. Este resultado es modificado por los componentes socioculturales y económicos que se manifiestan en un área determinada (MAVDT & IGAC, 2007).

La metodología propuesta para evaluar el uso potencial es la definida por MAVDT & IGAC (2007), donde se homogeneizan distintas unidades de tierra con base en criterios edáficos, fisiográficos y geomorfológicos como: pendiente, erosión, inundabilidad, pedregosidad, drenaje, profundidad efectiva y fertilidad. Una breve descripción de las variables evaluadas se presenta a continuación en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17. Indicadores para la evaluación del uso potencial de la tierra.

Variable	Descripción	Rango
Pendiente	Plana	a. 0-3%
	Ligeramente inclinada u ondulada	b. 3-7%
	Moderadamente inclinada	c. 7-12%
	Fuertemente inclinada	d. 12-25%
	Ligeramente escarpada	e. 25-50%
	Moderadamente escarpada	f. 50-75%
	Fuertemente escarpada	g. >75%
Erosión	Ligera	1
	Moderada	2
	Severa	3
	Muy severa	4
Inundabilidad o encharcabilidad	Raro	Uno por cada 10 años o más. Corto o largo.
	Ocasional	Uno por cada 2 a 5 años. Corto o largo.
	Frecuente	Uno a dos por cada año
Pedregosidad	Muy poca	Ocupa menos del 2% del área
	Poca	Cubre entre el 2 y el 10% del área
	Regular	Cubre entre el 10 y el 25% del área
	Abundante	Cubre más del 25% del área
Drenaje natural	Excesivo	Excesivamente drenados
	Bueno	Bien drenados
	Moderado	Moderadamente drenados
	Imperfecto	Imperfectamente drenados
	Pobre	Pobremente drenados
	Pantanoso	Pantanosos
Profundidad efectiva	Muy superficiales	< 25 cm
	Superficiales	25 a 50 cm
	Moderadamente profundos	50 a 100 cm

Variable	Descripción	Rango
	Profundos	100 a 150 cm
	Muy profundos	> 150 cm
Fertilidad	Muy alta	Índice mayor o igual a 8.4
	Alta	Índice entre 6.8 y 8.3
	Moderada	Índice entre 5.2 y 6.7
	Baja	Índice entre 3.7 y 5.1
	Muy baja	Índice menor o igual a 3.6

Fuente: MAVDT & IGAC (2007).

Para el cálculo de la fertilidad se utilizó la ecuación planteada por MAVDT & IGAC (2007).

$$Ft = (0.7F_1 + 0.3F_2) * 0.285$$

Donde:

FT es la fertilidad total para un suelo normal

F1 es la fertilidad de 0 - 25 cm de profundidad y se obtiene por la sumatoria de los puntajes de las propiedades del suelo utilizadas para la fertilidad, de acuerdo con la Tabla 5.18.

F2 es fertilidad de 25 – 50 cm de profundidad y se obtiene por la sumatoria de los puntajes de las propiedades del suelo utilizadas para la fertilidad (Tabla 5.18).

Tabla 5.18. Evaluación de la fertilidad de los suelos.

PH agua1:1		Rango	< 4.5; > 8.5	4.6-5.0; 7.9-8.4	5.1-5.5; 7.4-7.8	5.6 - 6.0	6.1- 7.3
		Puntaje	1	2	3	4	5
Saturación de Al %		Rango	>60	60-30	29-15	14 - 5	<5
		Puntaje	1	2	3	4	5
Capacidad de cambio Me/100g AcNH en PH 7		Rango	< 5	5- 10	11 - 15	16 - 20	> 20
		Puntaje	1	2	3	4	5
Bases	%saturación	Rango	< 10	10-35	36-50	51-70	> 70
		Puntaje	0,5	1	1,5	2	2,5
	Totales	Rango	< 4	4-8	8.1-12	12.1-16	>16
		Puntaje	0,5	1	1,5	2	2,5
%C	Clima medio	Rango	< 0,5	0,6-1,7; >7,6	1,8-2,9;6,5-7,6	3,0-4,1;5,4-6,5	4,2-5,3
		Puntaje	1	2	3	4	5
Fósforo ppm Bray II		Rango	< 10	10-20	21-30	31-40	> 40
		Puntaje	1	2	3	4	5
Potasio me/100g		Rango	< 0.1	0.1-0.2	0.21-0.3	0.31-0.4	> 0.4
		Puntaje	1	2	3	4	5

Fuente: MAVDT & IGAC (2007).

Con base en los indicadores anteriores se definen unidades de tierras homogéneas, cuyas cualidades se confrontan con los requerimientos de cada uno de los tipos principales de uso que se definen a continuación.

Cultivos transitorios intensivos (CTI): tierras aptas para el establecimiento de cultivos con un ciclo de vida menor de un año y que requieren para su establecimiento alta inversión de capital, adecuada tecnología y mano de obra calificada; en consecuencia, estas tierras son de fácil mecanización, el suelo puede ser sometido a alto laboreo y a desyerbas frecuentes.

Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS): tierras aptas para el establecimiento de cultivos que tienen un ciclo de vida menor de un año y requieren para su establecimiento moderada o alta inversión de capital, adecuada tecnología y mano de obra calificada; generalmente, y dadas sus condiciones agronómicas, las tierras catalogadas para este tipo de uso no soportan una explotación intensiva o el suelo está expuesto a algún riesgo de deterioro.

Cultivos permanentes intensivos (CPI): tierras aptas para el establecimiento de cultivos con ciclo de vida mayor de un año, y que requieren para su establecimiento alta inversión de capital, adecuada tecnología y mano de obra calificada. Esta categoría presenta relieves planos hasta ligeramente quebrados, con pendientes menores del 25% en áreas afectadas por erosión ligera o menor; los CPI no requieren en sí laboreo frecuente del suelo, ni lo dejan desprovisto de cobertura vegetal por largos períodos de tiempo; ejemplos: café, cacao, palma de aceite, plátano, caña de azúcar, caña panelera y frutales.

Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS): tierras aptas para el establecimiento de cultivos que tienen un ciclo de vida mayor de un año y requieren para su establecimiento moderada inversión de capital, adecuada tecnología y mano de obra calificada. Estas tierras pueden presentar relieves planos hasta fuertemente quebrados con pendientes menores del 50%, en áreas afectadas por erosión moderada o menor; el tipo de cultivo no requiere laboreo frecuente del suelo, ni lo dejan desprovisto de cobertura vegetal por largos períodos de tiempo; ejemplos: café tradicional, cacao, plátano, caña panelera y frutales.

Pastoreo intensivo (PIN): tierras aptas para el establecimiento de un pastoreo de tipo intensivo involucrando utilización de paquetes tecnológicos que aseguran altos rendimientos en la explotación ganadera. El pastoreo se desarrolla bajo programas de ocupación de potreros con alta capacidad de carga (generalmente mayor de dos reses por hectárea) durante períodos de tiempo relativamente cortos y suministro de riego suplementario cuando sea necesario, uso de ganado seleccionado, alimentación suplementaria y controles fitosanitarios adecuados; en consecuencia, se necesita alta inversión de capital, alta tecnología y mano de obra calificada.

Pastoreo semi-intensivo (PSI): tierras aptas para el establecimiento de un pastoreo tipo semi intensivo, involucrando la utilización de paquetes tecnológicos que aseguran moderados rendimientos en la explotación ganadera; se desarrolla el pastoreo bajo programas de ocupación de potreros con mediana capacidad de carga (generalmente mayor de una res por cada dos hectáreas); requiere moderadas prácticas de manejo, especialmente en lo relacionado con rotación de potreros, aplicación de fertilizantes, uso de ganado seleccionado y controles fitosanitarios adecuados; en consecuencia, se necesita moderada o alta inversión de capital, moderada tecnología y mano de obra calificada. Es importante anotar que este tipo de uso se lleva a cabo en áreas en donde las condiciones edafológicas no soportan el establecimiento de una ganadería intensiva.

Pastoreo extensivo (PEX): tierras aptas para el establecimiento de un pastoreo de tipo extensivo, el cual involucra la utilización de algunos paquetes tecnológicos que aseguran al menos mínimos rendimientos en la explotación ganadera; se desarrolla bajo programas de ocupación de potreros con baja a muy baja capacidad de carga, generalmente menor de una res por cada dos hectáreas; requiere prácticas de manejo, especialmente en lo relacionado con aplicación de fertilizantes, controles fitosanitarios adecuados y rotación de potreros; en consecuencia, se necesita moderada o baja inversión de capital, moderada a baja tecnología y mano de obra poco calificada. Es importante anotar que este tipo de uso se lleva a cabo en áreas en donde las condiciones edafopedológicas no soportan el establecimiento de una ganadería semi intensiva.

Agrosilvícola (AGS): tierras aptas para el establecimiento de sistemas asociados a especies forestales con cultivos transitorios o permanentes; por tratarse de asociaciones, las tierras calificadas para este uso presentan diversas alternativas tales como cultivos transitorios y bosque productor, cultivos transitorios y bosques protector productor, cultivos permanentes y bosque productor, cultivos permanentes y bosque protector-productor.

Agrosilvopastoril (ASP): tierras aptas para el establecimiento de sistemas que involucran el desarrollo asociado de actividades agrícolas, forestales y ganaderas, así: cultivos y pastos en plantaciones forestales, cultivos y pastos arbolados, cultivos y pastos protegidos por barreras rompevientos y cercas vivas. Igualmente, esta categoría de uso admite una gran cantidad de alternativas tales como cultivos transitorios, bosque productor y ganadería intensiva, cultivos transitorios, bosque productor y ganadería semi-intensiva, cultivos transitorios, bosque protector productor y ganadería extensiva, cultivos permanentes, bosque productor y ganadería intensiva, etc.

Silvopastoril (SPA): tierras aptas para el establecimiento integrado de bosques y pastos, así: producción de forraje en bosques plantados y pasturas arboladas; en consecuencia, las alternativas de uso pueden ser: ganadería intensiva y bosque productor; ganadería

semi-intensiva y bosque productor; ganadería extensiva y bosque protector productor; ganadería extensiva y bosque protector.

Forestal productor (FPD): tierras aptas para el establecimiento de sistemas forestales destinados a satisfacer la demanda industrial y comercial de productos derivados del bosque; este tipo de productos está relacionado con maderas, pulpa y materias primas farmacéuticas y de perfumería.

Forestal protector productor (FPP): tierras aptas para el establecimiento de sistemas forestales destinados a satisfacer la demanda industrial y comercial de algunos productos derivados del bosque; por dichos productos se entiende maderas, pulpa y materias primas farmacéuticas y de perfumería; este tipo de uso impone restricciones en la explotación de algunas especies y la no ocupación de áreas que protegen reservorios de agua o especies animales en vías de extinción.

Forestal protector (FPR): tierras aptas para el establecimiento de sistemas forestales destinadas a la protección de las laderas contra procesos erosivos o al mantenimiento y desarrollo de la vegetación nativa, o a la protección de especies maderables en vía de extinción, o como protección de recursos hídricos. En general, en estas áreas no se debe desarrollar ningún tipo de actividad económica diferente a aquella que propenda a la protección y crecimiento del bosque protector.

Conservación y recuperación (CRE): las tierras catalogadas para este tipo de uso forman parte de ecosistemas muy frágiles, esencialmente páramos, que constituyen los principales reservorios de agua en una región; en consecuencia, la única opción debe ser la conservación. Caben también en esta categoría áreas donde los procesos erosivos o las condiciones de sequía o de salinidad son tan fuertes que solo permiten el desarrollo de la vegetación nativa mediante programas de recuperación.

Humedales (PHU): comprende todos los cuerpos de agua y áreas pantanosas que en su conjunto poseen una gran biodiversidad; con adecuados sistemas de manejo estas unidades pueden ser dedicadas al desarrollo de zoocriaderos.

Los requerimientos de cada uno de estos tipos de uso de la tierra se sintetizan en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19. Indicadores utilizados en la determinación del uso principal de la tierra.

Índice uso principal	Unidades climáticas (Clases)	Pendiente (%)	Erosión	Drenaje natural	Inundaciones o encharcamientos	Profundidad efectiva (cm)	Fertilidad	Pedregosidad	Salinidad alcalinidad
CTI	4-9-13	<7	Sin erosión	Bueno	Raras o menores	>50	Moderada o mayor	No	No
CTS	3-4-5-8-9-12-13	<12	Sin erosión	Bueno a imperfecto	Ocasionales o menores	>25	Baja o mayor	Poca o menor	No
CPI	4-9-13	<25	Sin erosión	Bueno	Raras o menores	>50	Baja o mayor	Poca o menor	No
CPS	3-4-5-8-9-12-13	<50	Sin erosión	Bueno a imperfecto	Ocasionales o menores	>25	Baja o mayor	Mediana o menor	Ligera o menor
PIN	4-9-13	<7	Sin erosión	Bueno	Raras o menores	>50	Moderada o mayor	Poca o menor	Ligera o menor
PSI	3-4-5-8-9-12-13-14	<12	Ligera o menor	Bueno a Pobre	Ocasionales o menores	>25	Baja o mayor	Mediana o menor	Ligera o menor
PEX	3-4-5-8-9-12-13-14-17	<25	Moderada o menor	Excesivo a Pobre	Frecuentes o menores	>25	Muy baja o Mayor	Abundante o menor	Moderada o menor
AGS	3-4-5-8-9-12-13-14-16-17	<75	Ligera o menor	Bueno o imperfecto	Ocasionales o menores	>50	Baja o mayor	Poca o menor	No
ASP	3-4-5-8-9-12-13-14-16-17	<50	Moderada o menor	Bueno a Pobre	Frecuentes o menores	>10	Baja o mayor	Mediana o menor	Moderada o menor
SPA	3-4-5-8-9-12-13-14-16-17	<50	Moderada o menor	Excesivo a imperfecto	Frecuentes o menores	>10	Muy baja o Mayor	Abundante o menor	Ligera o menor
FPD	3-4-5-8-9-12-13-14-16-17	<12	Ligera o menor	Bueno a imperfecto	Ocasionales o menores	>50	Baja o mayor	Poca o menor	No
FPP	2 a 17	<75	Moderada o menor	Excesivo a Pobre	Frecuentes o menores	>25	Muy baja o Mayor	Regular o menor	Hasta moderada
FPR	2 a18	>75	Severa o menor	Excesivo a Pobre	Frecuentes o menores	>10	Muy baja o Mayor	Abundante o menor	Moderada o menor

Índice uso principal	Unidades climáticas (Clases)	Pendiente (%)	Erosión	Drenaje natural	Inundaciones o encharcamientos	Profundidad efectiva (cm)	Fertilidad	Pedregosidad	Salinidad alcalinidad
PHU	Todos	_	_	Pantano, ciénaga	_	_	_	_	_
CRE	Todos	_	Muy severa	_	_	<10	_	_	Fuerte o menor

Fuente: MAVDT & IGAC (2007).

5.1.4.3.2 Resultados

Para las unidades cartográficas de suelo identificadas en el área de influencia del proyecto, se obtuvieron las siguientes características, que permitieron definir su potencialidad de uso (Tabla 5.20).

Tabla 5.20. Definición de usos potenciales del suelo en el área de influencia.

Unidad Cartográfica de suelo	Unidad climática	Pendiente	Erosión	Pedregosidad	Drenaje natural	Inundabilidad	Profundidad efectiva (cm)	Fertilidad	Índice de uso principal
AQA	9	c	3	No	Bueno	No	Moderadamente profundos	Moderada	FPR
	9	f	3	No	Bueno	No			FPR
AQB	9	c		No	Bueno	No	Profundos	Moderada	CTS
	9	e	3	No	Bueno	No			FPR
AQC	9	c		No	Bueno	No	Profundos	Moderada	CTS
	9	d		No	Bueno	No			PEX
LQA	9	c	2	No	Imperfecto	No	Profundos	Baja	PEX
CA	-	-	-	-	-	-	-	-	No aplica

En el área de influencia se presentan tres usos principales:

- ✓ Cultivos transitorios semi intensivos (CTS): dadas las condiciones de pendiente moderada, es posible desarrollar una agricultura semi intensiva que requieren laboreo y remoción del suelo en su fase de establecimiento y limpias pocas severas. Se recomienda emplear prácticas de conservación como siembras en curvas a nivel, desyerbas selectivas, barreras vivas, entre otras.

- ✓ Pastoreo extensivo (PEX): se puede desarrollar de forma continua o estacional con un bajo nivel tecnológico para su manejo y con baja capacidad de carga por unidad de área. Es importante que dicha actividad permita el mantenimiento de una cobertura vegetal permanente sobre el suelo, de tal forma que no lo deje desprovisto de ésta y evitar así, el aumento de procesos erosivos que posteriormente influirían en la capacidad productiva de los suelos.

- ✓ Forestal protector (FPR): las condiciones de erosión severa, limitan el uso del suelo a uno que no lo remueva y que siempre se encuentre cubierto; por ello la utilización en cultivos o pastos se encuentra restringida.

Las áreas que no aplica definir la aptitud del suelo, corresponden al tramo de los ríos Mondomo y Ovejas.
El uso potencial definido para el área de influencia, se presenta a continuación en la Tabla 5.21 y en la **Figura 5.32**.

Tabla 5.21. Uso potencial de la tierra.

Uso Potencial	AI	
	ha	%
AGRICOLA		
Cultivos transitorios semi-intensivos	154,59	16,81%
CONSERVACIÓN		
Recursos hídricos	14,42	1,57%
FORESTAL		
Protección	436,34	47,46%
GANADERA		
Pastoreo extensivo	314,09	34,16%
Total	**919,44**	**100%**

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

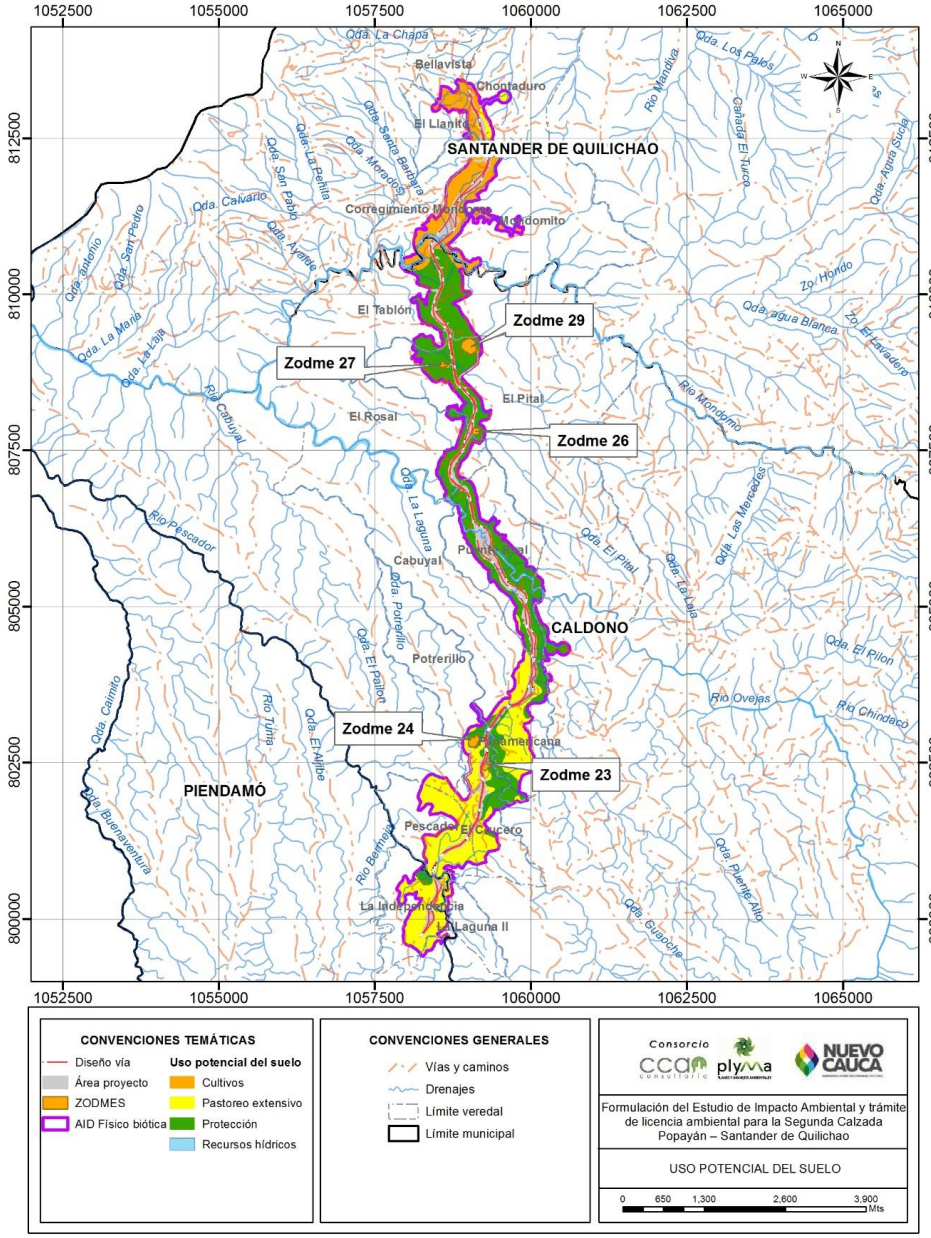


Figura 5.32. Mapa del uso potencial de la tierra.

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.4.4 Conflictos de uso

5.1.4.4.1 Métodos

Para la definición de los conflictos de uso de las tierras se tienen en cuenta la oferta biofísica, expresada por el uso potencial, y la demanda actual expresada como uso actual de la tierra.

Los conflictos de uso se presentan cuando las tierras son utilizadas inadecuadamente ya sea por sobreutilización ya por subutilización.

De acuerdo a las categorías de la oferta y la demanda se diseña una tabla bidimensional de decisión con la cual se evalúan ordenadamente las unidades resultantes de la superposición (comparación) de estas capas temáticas.

Las categorías de conflicto definidas por IGAC (2007), son:

Tierras sin conflicto de uso (A): Así se califican las tierras en las cuales el uso actual dominante corresponde con el uso potencial, es decir, áreas cuyo uso actual es adecuado y concordante con la capacidad productiva natural de las tierras.

Tierras con conflicto por subutilización (U). Así se califican las tierras donde el uso actual dominante corresponde a un uso ligeramente menos intenso que aquel que realmente están en capacidad de soportar (nivel de intensidad inferior al uso potencial). Los niveles de intensidad de los conflictos corresponden a subdivisiones de las clases de subutilización, de acuerdo a la mayor o menor discrepancia que exista entre el uso actual y el uso potencial recomendado. La intensidad puede ser: ligera, moderada o severa.

Tierras con conflicto por sobreutilización (S). Áreas que se encuentran en uso inadecuado ya que la potencialidad de los suelos es superada por el aprovechamiento de los recursos, lo cual puede desencadenar importantes problemas de erosión con el consiguiente deterioro del medio ambiente. Se definen varios grados de intensidad, desde ligeros hasta severos.

5.1.4.4.2 Resultados

Al superponer el uso actual con el uso potencial, se evidenciaron los conflictos de uso que se presentan en la Tabla 5.22 y Figura 5.33.

Tabla 5.22. Categorías definidas para los conflictos de uso del área de influencia.

Uso actual	Uso potencial		
	CTS	FPR	PEX
Agricultura	A	O3	U1
Ganadería con pastoreo extensivo	U2	O3	A

Uso actual	Uso potencial		
	CTS	FPR	PEX
Protección	U3	A	U3
Recuperación	U2	A	U2
Transporte	O3	O3	O3
Vivienda	O3	O3	O3
Industria, comercio	-	O3	-
CA	No aplica	No aplica	No aplica

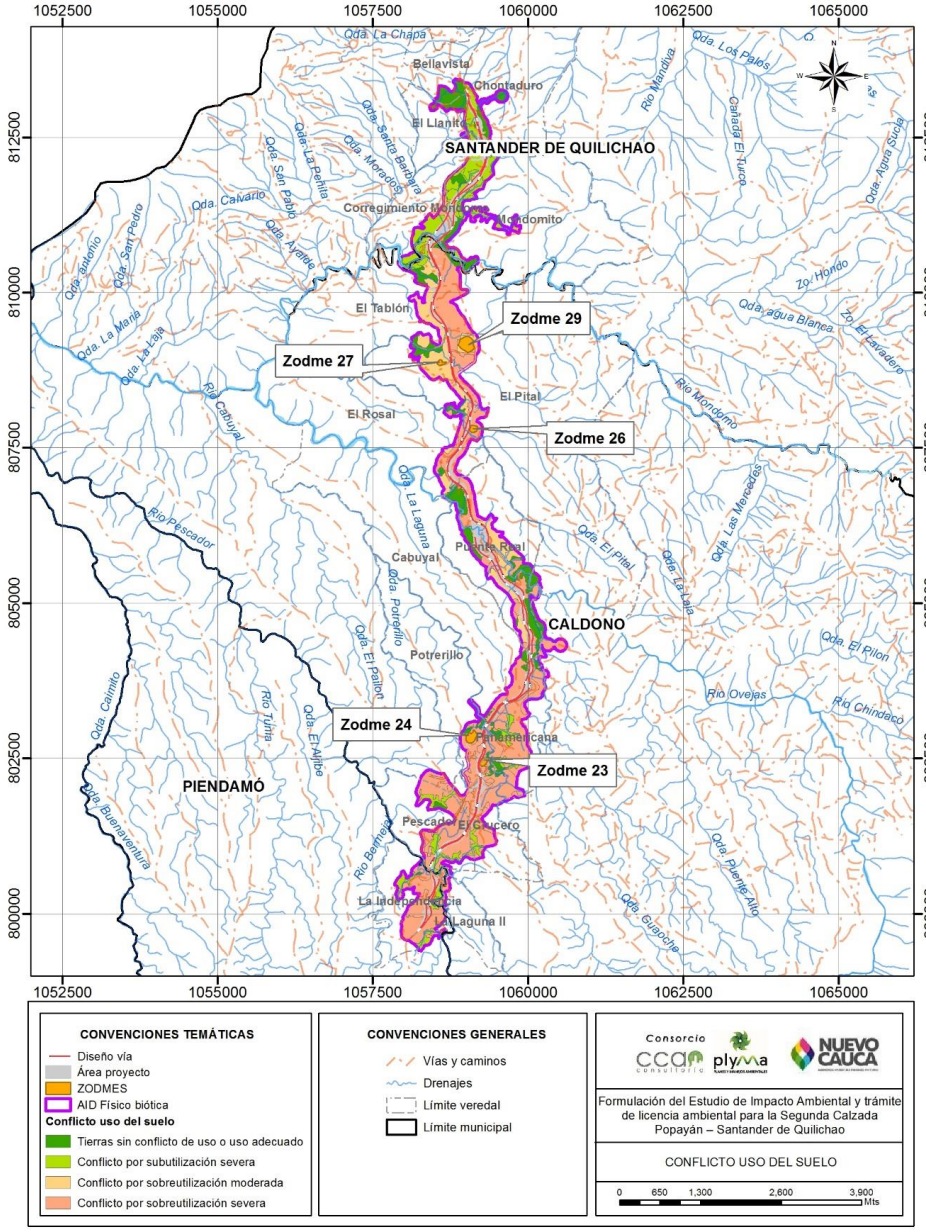


Figura 5.33. Mapa de conflictos de uso en el área de influencia.

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

El área ocupada por las diferentes categorías de conflictos de uso en el área de influencia se presenta en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23. Conflictos de uso en el área de influencia.

Conflicto de uso	AI	
	ha	%
Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	144,89	15,76%
Conflicto por subutilización severa	151,78	16,51%
Conflicto por sobreutilización moderada	120,44	13,10%
Conflicto por sobreutilización severa	502,34	54,64%
Total general	**919,45**	100,00%

Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Tierra sin conflicto de uso o uso Adecuado: se presenta en aquellas áreas donde el uso actual concuerda con la aptitud del suelo; es decir, en aquellas áreas aptas para cultivos agrícolas y su uso actual es agricultura; áreas aptas para pastoreo extensivo con uso pecuario y áreas con potencial forestal protector con uso protector y de recuperación (ocupadas por vegetación nativa).

Conflicto por Subutilización severa: áreas cuyo uso actual es menor que el uso potencial. Se clasifican así las áreas que se encuentran en protección y tienen como aptitud el desarrollo de cultivos semi intensivos o pastoreo extensivo.

Conflicto por Sobreutilización moderada: definido para aquellas áreas donde el uso actual está por encima de la aptitud o potencialidad del suelo. Se incluyeron en dicha clasificación las áreas utilizadas en transporte, vivienda e industria, en suelos cuya aptitud es agrícola o pecuario.

Conflicto por Sobreutilización severa: definido para aquellas áreas donde el uso actual está muy por encima de la aptitud o potencialidad del suelo. Se incluyeron en dicha clasificación las áreas utilizadas en transporte, vivienda e industria, en suelos cuya aptitud es agrícola o pecuario. También se incluyeron las áreas con vocación forestal y cuyo uso está por encima de éste; es decir, que están siendo utilizados en actividades agrícolas o pecuarias.

5.1.5 Hidrología

5.1.5.1 Área de Influencia

El área de influencia directa definida para la unidad funcional 3 (UF-3), tiene un área de 9,19 km^2 y se encuentra enmarcada por las coordenadas: N 813.444,86, N 799.404,95; E 1.057.854,61y E 1.060.333,46 como se muestra en la Figura 5.34.

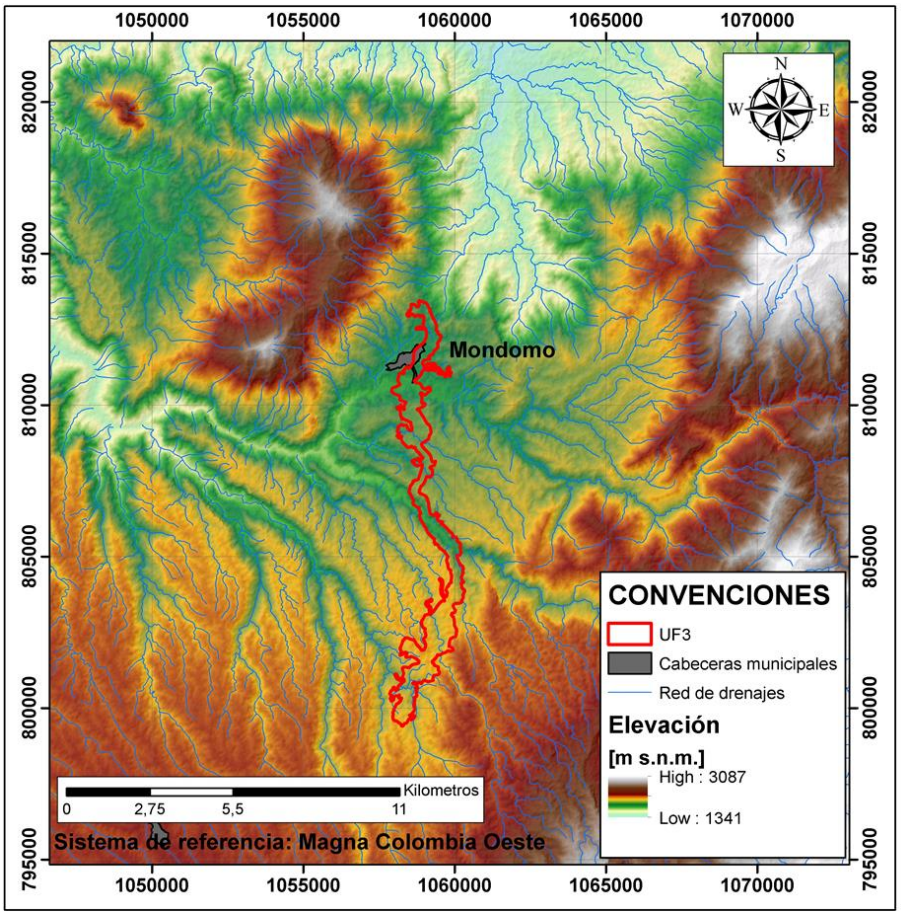


Figura 5.34 Área de la unidad Funcional 3.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.5.2 Sistemas lénticos, lóticos, y cuencas hidrográficas

5.1.5.2.1 Descripción de los sistemas lénticos y lóticos

Los sistemas lenticos se caracterizan por ser cuerpos de agua cerrados, con poco o escaso movimiento, generalmente de grandes profundidades (a excepción de las lagunas) y con vegetación acuática emergente. A estos sistemas pertenecen ambientes de aguas continentales y marinas, como, mares, océanos, lagos, lagunas, ciénagas, pantanos, esteros y charcas; de acuerdo a la definición anterior, se tiene que dentro del área de influencia de la unidad funcional 3 (UF-III) no se identificaron sistemas lénticos.

Por su parte los sistemas lóticos, los cuales se caracterizan por tener un flujo unidireccional, que albergan multiplicidad de hábitats según el tipo de solutos que transportan, y la flora y fauna características del área donde ingresan; entre estos sistemas se encuentran: ríos, arroyos, canales. Los sistemas lóticos en el área de influencia se describen a continuación.

El principal cuerpo receptor dentro del área de interés corresponde al río cauca, cuenca que está localizada entre la cordillera Central y occidental, en el departamento de Cauca, en la región suroccidental de Colombia. Los principales afluentes del río Cauca dentro del área de influencia corresponden río Ovejas, río Pescador, quebrada El Pital y río Mondomo; todos ellos sobre la margen derecha, entre las cabeceras municipales de Piendamó y Mondomo. La dirección de drenaje de las corrientes principales en el área de influencia, varían entre suroeste-noreste y de sur a norte, hasta la confluencia con el río cauca.

El río Cauca se desarrolla desde los 3.400 msnm aproximadamente y el rango de elevación presentado es entre los 3.400 y los 5 msnm, atraviesa 180 municipios, hasta su confluencia con el río Magdalena; el área de la cuenca hidrográfica es de 63.000 km^2 aproximadamente. Nada en los páramos en dirección noroeste, entre los volcanes Puracé y Sotará, formando el Valle del Paletará al sur de la Laguna del Buey y al sureste de la población de Paletará en el municipio caucano de Puracé, en su parte alta es un cauce de montaña donde predominan las fuertes pendientes, alineamiento recto y sinuosidad baja.

Los drenajes existentes en el área de estudio presentan un comportamiento estacionario y siguen el patrón de las lluvias con una respuesta rápida a los eventos de precipitación, por lo que los caudales transportados en los meses de déficit de lluvia (junio-septiembre) son de menor magnitud; mientras que en la época lluviosa (octubre-enero) se presentan crecientes súbitos y aumentos considerables en las magnitudes de los caudales.

A continuación, se definen los sistemas lóticos pertenecientes a la unidad funcional, los que se encuentran ubicados en la Figura 5.35.

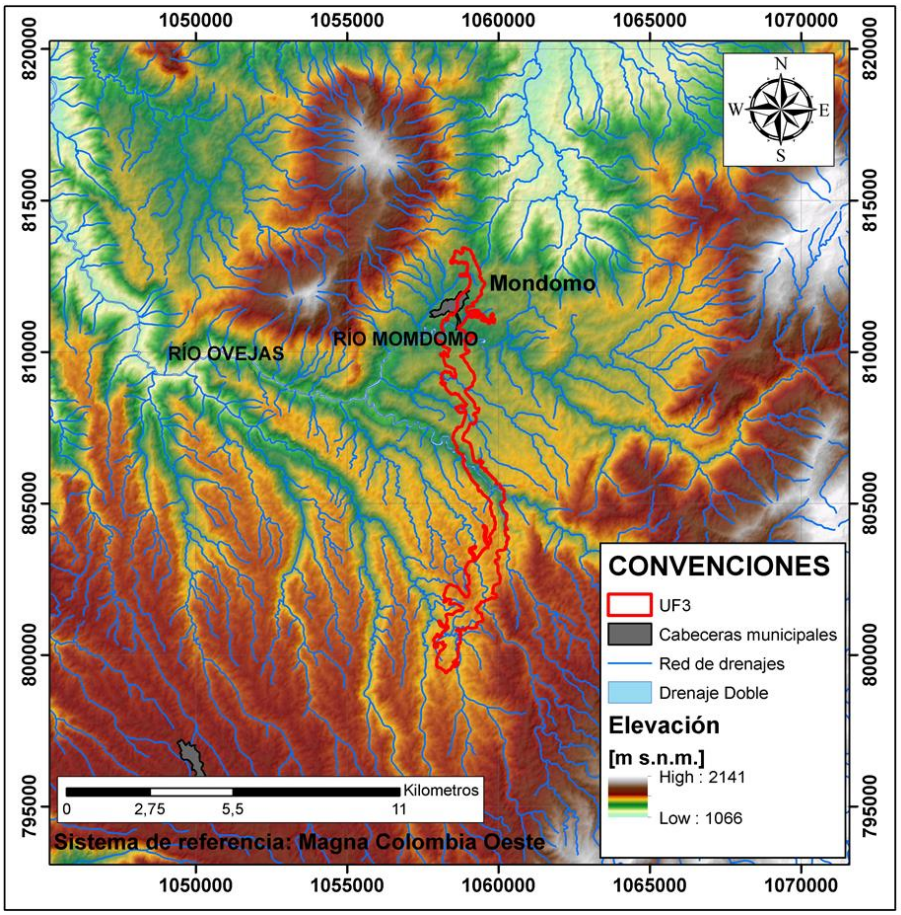


Figura 5.35 Ubicación de los sistemas lóticos.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.5.2.2 Modelo de elevación digital

Para la construcción del modelo de elevación digital, se contó con información satelital de la misión ALOS (Advanced Land Observing Satellite) PALSAR, la cual puede ser descargada de manera gratuita en la página web https://vertex.daac.asf.alaska.edu/. Dicha misión, puesta en marcha por el centro espacial JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) en Japón, cuenta con datos de elevación del terreno en píxeles cuadrados con una resolución de 12,5 metros de lado. En la Figura 5.36 se muestra el MDT utilizado junto con el polígono de la unidad funcional.

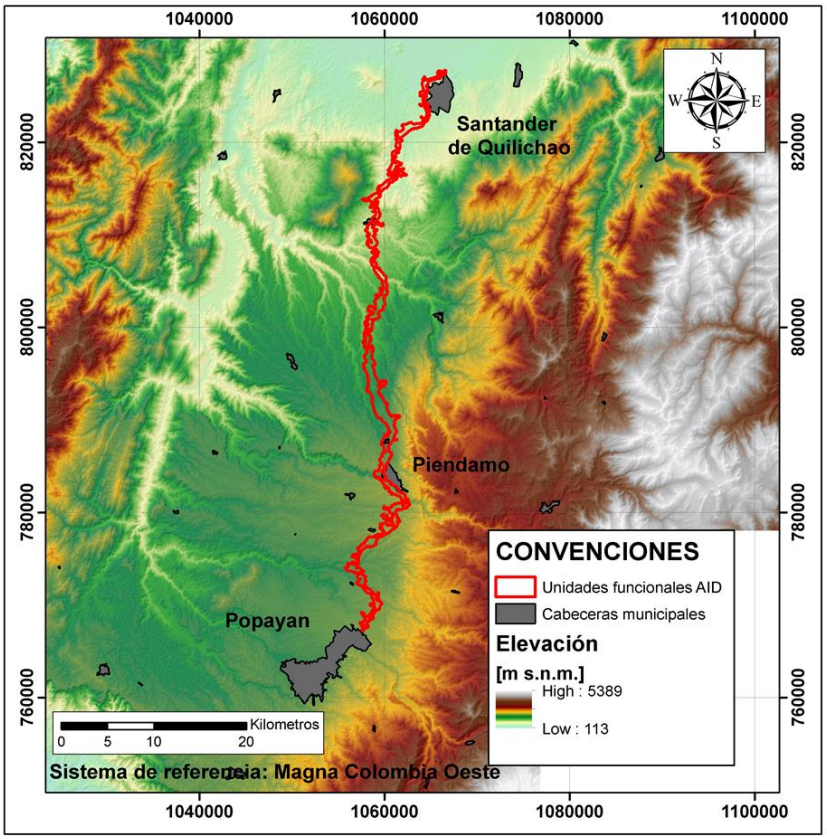


Figura 5.36 Modelo de elevación digital UF
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.5.2.3 Caracterización de las cuencas hidrográficas existentes

La ubicación espacial de las cuencas más importantes ubicadas en el área de influencia de la unidad funcional UF3 se presenta en la Figura 5.37.

A partir del MDT, se trazaron las cuencas de interés; para cada cuenca se calcularon los parámetros morfométricos: área, perímetro, longitud del cauce principal, cota mayor y cota menor de la cuenca, pendiente del cauce principal. Para el trazado de las cuencas hidrográficas y la obtención de sus parámetros morfométricos, se realizó la corrección del MDT para eliminar las zonas planas y los sumideros, usando el plug-ing WaterShed Delineation de MapWindow. En la Tabla 5.24 se presentan los parámetros morfométricos de las cuencas de interés.

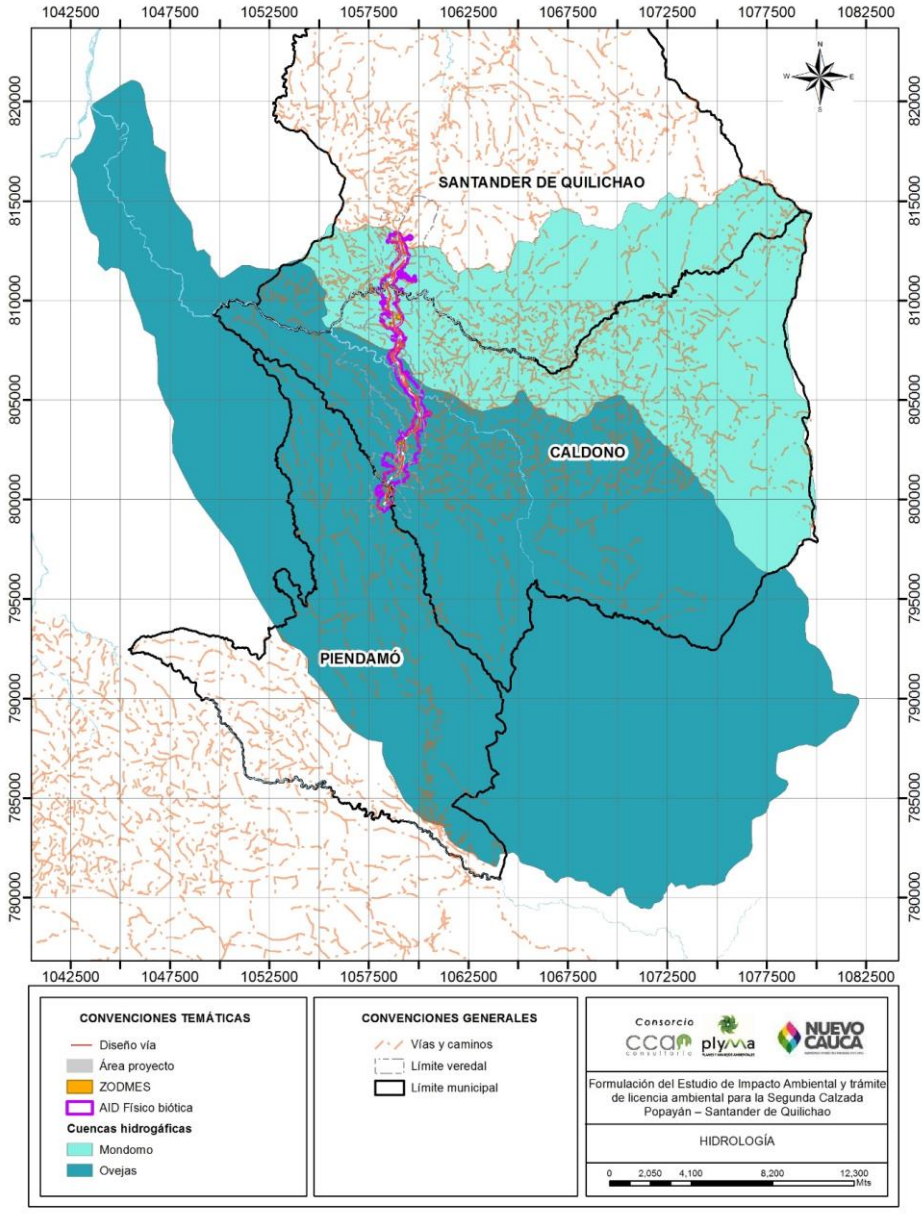


Figura 5.37 Localización de las cuencas existentes en la UF-3.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Tabla 5.24 Parámetros morfométricos de las cuencas de interés.

Cuenca	Nombre	Área Cuenca [km²]	Longitud del Cauce [km]	H (m)	Pendiente del Cauce S [m/m]	CN	Factor de Lluvia Espacial	Factor de Lluvia Espacial Adoptado
41	Río Pescador	23,15	16,37	833	0,0509	82,7	0,625	0,81
42		1,04	2,18	174	0,0800	79,1	0,828	0,91
43		0,21	0,78	46	0,0591	79,1	0,884	0,94
44		0,03	0,19	26	0,1364	79,0	0,928	0,96
45		0,02	0,06	7	0,1255	79,0	0,933	0,97
46		0,03	0,13	18	0,1398	79,0	0,927	0,96
47		0,06	0,31	54	0,1743	79,0	0,917	0,96
48	Q, Cabuyal	20,01	16,81	700	0,0416	80,6	0,639	0,82
49		0,07	0,27	27	0,1024	79,5	0,911	0,96
50		0,07	0,18	38	0,2155	79,0	0,913	0,96
51		0,09	0,20	49	0,2420	87,9	0,908	0,95
52		0,05	0,28	72	0,2565	97,2	0,919	0,96
53		0,08	0,33	94	0,2859	98,0	0,910	0,96
54		0,28	0,77	143	0,1844	94,5	0,876	0,94
55		0,13	0,65	165	0,2551	79,0	0,897	0,95
56		0,13	0,52	144	0,2801	79,0	0,897	0,95
57	Río Ovejas CD	321,99	41,49	1476	0,0356	84,0	0,277	0,64
58	Río Ovejas CI	322,55	41,89	1473	0,0352	84,0	0,276	0,64
59		0,20	0,73	124	0,1681	79,0	0,885	0,94
60		0,07	0,29	78	0,2684	79,0	0,914	0,96
61		0,14	0,40	87	0,2175	79,0	0,895	0,95
62		0,10	0,17	48	0,2903	79,0	0,903	0,95
63		0,03	0,23	33	0,1412	79,0	0,931	0,97
64	Q, El Pital	3,25	3,95	116	0,0293	88,8	0,771	0,89
65		0,06	0,29	27	0,0906	79,0	0,915	0,96
66	Q, La Laja	5,39	6,24	199	0,0319	93,8	0,740	0,87
67		0,13	0,54	25	0,0469	79,0	0,897	0,95
68		0,17	0,55	26	0,0480	79,0	0,891	0,95
69	Río Mondomo	215,52	35,23	1807	0,0513	82,0	0,346	0,67

Cuenca	Nombre	Área Cuenca [km²]	Longitud del Cauce [km]	H (m)	Pendiente del Cauce S [m/m]	CN	Factor de Lluvia Espacial	Factor de Lluvia Espacial Adoptado
70	Q, Tiembla	2,99	3,78	111	0,0295	79,9	0,775	0,89
71		0,09	0,46	66	0,1444	79,0	0,907	0,95

5.1.5.3 Patrones de drenaje

La red hídrica que conforman las cuencas de interés es ramificada, sigue un patrón de drenaje dendrítico a sub-dendrítico, donde hay un cauce principal que recibe los afluentes de los tributarios, los cuales discurren de forma casi paralela entre sí y se alinean casi perpendiculares al cauce principal (ver Figura 5.38). Los drenajes de interés presentan el patrón descrito anteriormente, como se muestra en la Figura 5.39.

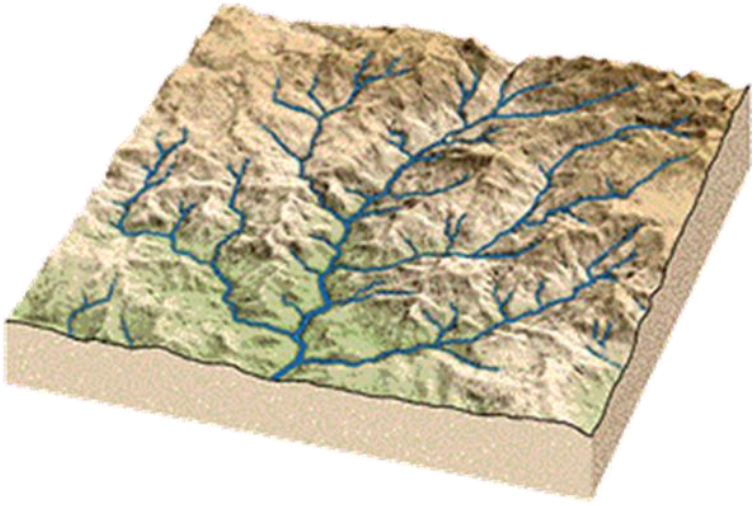


Figura 5.38 Esquema de patrón de drenajes del área de influencia.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

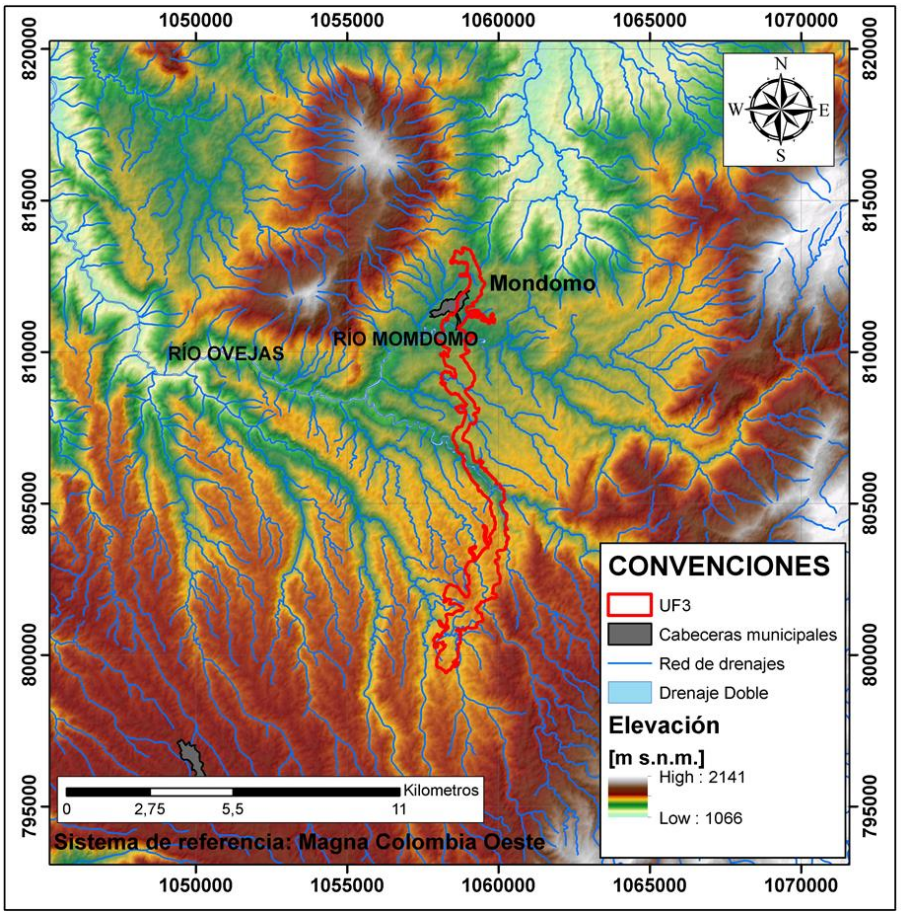


Figura 5.39 Patrón de drenaje de la UF-3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

5.1.5.4 Régimen hidrológico y caudales característicos

Se realizó la adquisición de la información hidrológica en cercanías al área de influencia, las cuales son operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La información adquirida incluye tres estaciones limnimétricas LM y dos estaciones limnigráficas LG. Las generalidades de estas estaciones se muestran en la Tabla 5.25, los datos fueron adquiridos a resolución temporal mensual; en la Figura 5.40 se presenta su ubicación geográfica.

Tabla 5.25 Generalidades de las estaciones de caudal.

Código	Estación	Tipo	Coordenadas		Fuente	Registro		Longitud [años]
			Norte	Este		Inicio	Fin	
26027030	Pte Carretera	LM	809.043	726.875	IDEAM	1954	1970	17
26027080	Totoro	LM	769.808	741.232	IDEAM	1961	2014	54
26027100	Pte Carretera	LG	782.382	728.066	IDEAM	1965	2014	50
26027200	Pte Carretera	LM	772.478	724.033	IDEAM	1965	2013	49
26027210	Pte Ferrocarril	LG	827.926	729.324	IDEAM	1965	2014	50

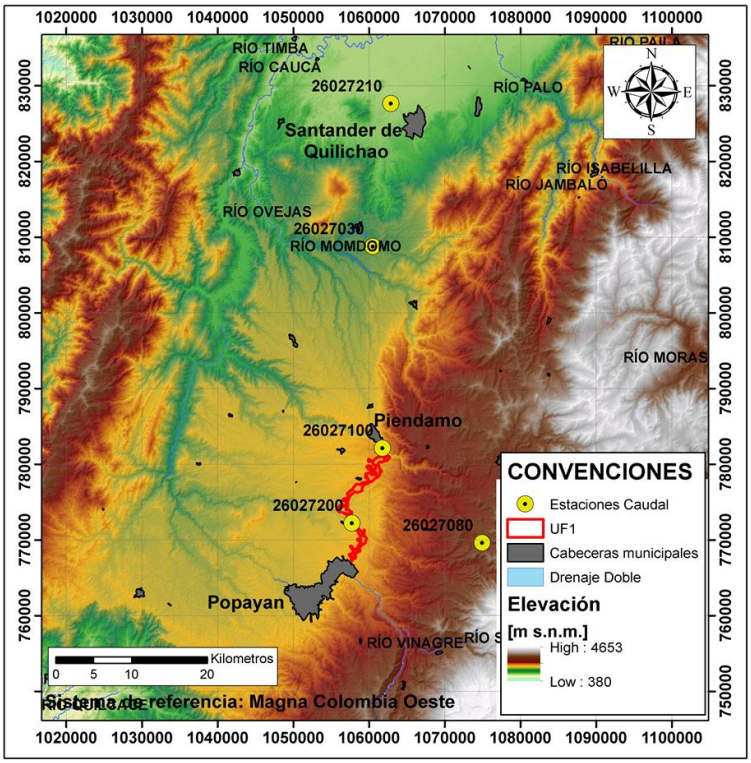


Figura 5.40 Ubicación geográfica de las estaciones de caudal.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

A partir de los datos de caudales se realizó el ciclo anual de caudales, que se muestra junto con el error medio estadístico asociado (ver Figura 5.41). Dicho ciclo tiene un comportamiento unimodal para todas las estaciones analizadas, se observa un periodo seco caracterizado por una diminución en los caudales medios mensuales, entre los meses de junio y octubre; también se identifica un periodo húmedo donde se presenta un

aumento en los caudales medios mensuales entre los meses de noviembre y mayo, con excepción de las estaciones Puente Carretera 26027200 y Puente Carretera 26027100, que presentan sus valores máximos en el mes de julio. Como medida exploratoria de la relación existente entre la lluvia y la escorrentía en la zona se hace una comparación directa entre el ciclo de precipitaciones y el ciclo de caudales, como se muestra en la Figura 5.42.

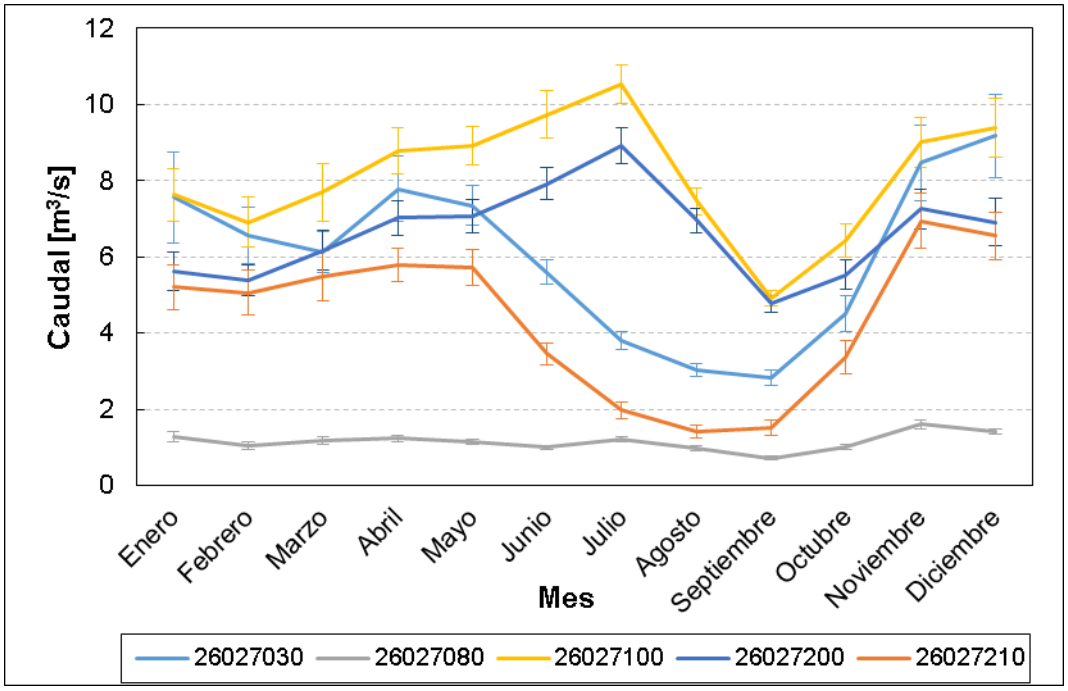
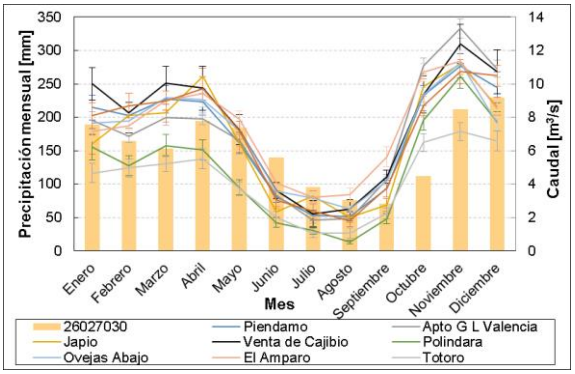
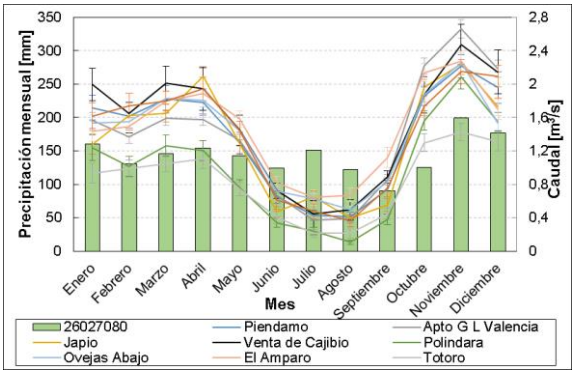


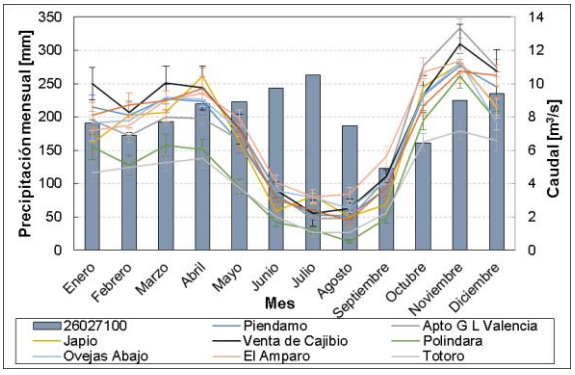
Figura 5.41 Ciclo de caudales medios para las estaciones hidrológicas de interés.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016



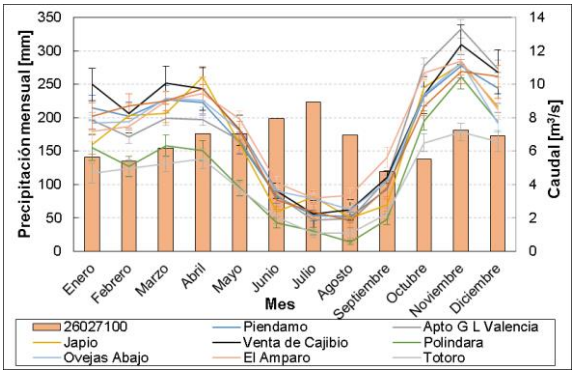
a. Estación 26027030 Puente Carretera.



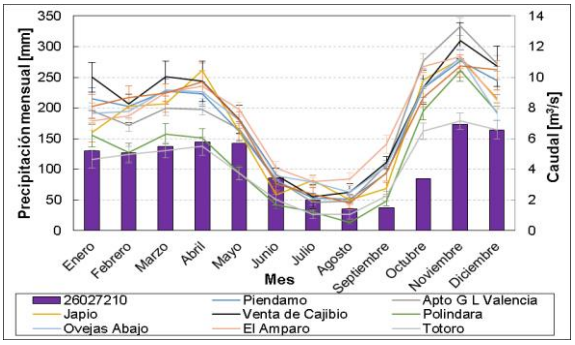
b. Estación 26027080 Totoro.



c. Estación 26027100 Puente Carretera.



d. Estación 26027200 Puente Carretera.



e. Estación 26027210 Puente Ferrocarríl.

Figura 5.42 Precipitaciones

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Se observa que las estaciones Puente Ferrocarril 26027210 y Puente Carretera 26027030, presentan una respuesta inmediata a los eventos de precipitación; por su parte las tres estaciones restantes no responden inmediatamente a los eventos de precipitación y presentan un rezago de tres antes los mismos.

En la Tabla 5.26 se presentan los caudales medios mensuales para las estaciones de interés, así como el caudal medio multianual.

Tabla 5.26 Caudales medios estaciones de interés.

Caudales medios mensuales [m^3/s]					
Mes	26027030	26027080	26027100	26027200	26027210
Enero	7,56	1,29	7,63	5,62	5,21
Febrero	6,57	1,04	6,90	5,39	5,06
Marzo	6,12	1,16	7,69	6,17	5,50
Abril	7,78	1,24	8,77	7,03	5,80
Mayo	7,35	1,15	8,93	7,06	5,71
Junio	5,60	0,99	9,74	7,92	3,45
Julio	3,81	1,21	10,53	8,93	1,97
Agosto	3,02	0,98	7,46	6,95	1,41
Septiembre	2,82	0,72	4,90	4,76	1,50
Octubre	4,50	1,00	6,43	5,53	3,38
Noviembre	8,47	1,60	9,01	7,26	6,95
Diciembre	9,17	1,42	9,39	6,91	6,55
Anual	6,07	1,15	8,12	6,63	4,37

5.1.5.5 Caudales Medios

Para el balance hidrológico, se utilizan las ecuaciones de conservación de masa de agua en un sistema o volumen de control (Poveda, y otros, 2007).

En la Figura 5.43 se presenta un esquema del volumen de control donde se indican las variables del sistema.

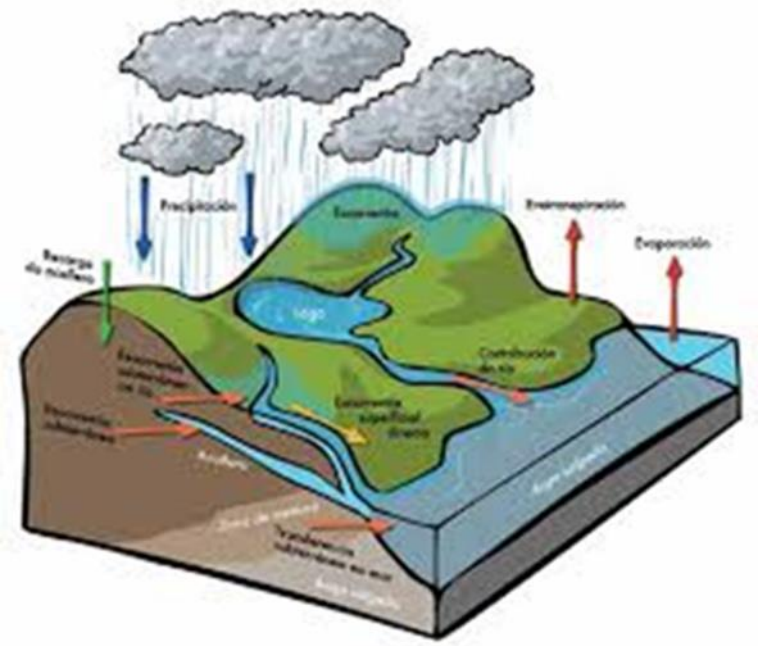


Figura 5.43 Esquema del balance hidrológico sobre una cuenca.
Fuente Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

El balance de agua para la columna atmosférica está dado por la ecuación:

$$\frac{dS(t)}{dt} = P(t) - E(t) - R(t)$$

Donde S(t) el almacenamiento de agua en el suelo; P(t) y E(t) la precipitación y evapotranspiración promedio en la cuenca y R(t) la escorrentía superficial en la cuenca. Integrando la ecuación a largo plazo para un tiempo T, se obtiene:

$$\overline{R} = \overline{P} - \overline{E}$$

Donde representan los valores medio a largo plazo para la precipitación, evapotranspiración y escorrentía para la cuenca. Considerando que, a largo plazo, la aproximación de la ecuación es cero. Multiplicando por el área y reemplazando en la ecuación se tiene que:

$$Q = A[P - E]$$

Finalmente, el caudal medio se obtiene aplicando la ecuación mediante diferenciales de área cuyo tamaño corresponde al de los píxeles del MDT (12,5 m x 12,5 m) y usando los campos de precipitación y evapotranspiración presentados en el capítulo de clima. Los valores de caudal medio obtenidos para las corrientes principales por esta metodología se muestran en la Tabla 5.27.

Tabla 5.27 Caudales medios para las cuencas de interés.

Cuenca	Caudal medio Turc [m³/s]	Caudal medio Cenicafé [m³/s]
Río Ovejas	10,085	11,846
Río Pescador	0,805	0,892
Río El Pital	0,411	0,444
Río Mondomo	9,099	10,221

Comparando los caudales estimados por esta metodología con los caudales medios multianuales de las series de caudales existentes se tiene que los caudales medios estimados por el método de Cenicafé representan mejor las condiciones reales de las cuencas de interés.

5.1.5.6 Caudales Máximos

A continuación, se presentan los pasos adoptados para obtener los caudales de diseño, las velocidades de flujo en las corrientes y en general los parámetros requeridos para dimensionar el drenaje vial, los cuales se ajustan a la siguiente metodología.

- ✓ Análisis de la información existente y adquisición de nueva información en particular en el IDEAM y en el IGAC.
- ✓ Análisis de los usos del suelo mediante la revisión de fotografías aéreas y el inventario de campo efectuado.
- ✓ Elaboración de la cartografía de diseño.
- ✓ Inserción del trazado vial en la cartografía.
- ✓ Definición, en formato digital, de las cuencas, y estimación de las áreas aferentes de cada cauce interceptado.
- ✓ Definición de zonas de drenaje y cobertura vegetal; Se refiere a la descripción de los patrones de drenaje del suelo, la cobertura boscosa, la existencia de zonas duras, zonas de cultivo, pendiente, indispensables para estimar el número de curva NC requerido para determinar tanto el coeficiente de escorrentía empleado en el Método

Racional, como la escorrentía directa por el Método del Natural Resources Conservation Service (NRCS) conocido también como Soil Conservation Service (SCS).

✓ Cálculos meteorológicos. Comprende la identificación de las estaciones meteorológicas de utilidad, especialmente las de aforo y precipitación, para, a partir de los registros disponibles, determinar las precipitaciones de diseño, las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) y los hietogramas de diseño para los diferentes periodos de retorno considerados. La distribución temporal de la lluvia se asumió constante dado el reducido tamaño de las cuencas analizadas.

✓ Cálculo de caudales; en base a las especificaciones del Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS, las cuencas con áreas de drenaje de menos de 2,5 km^2 se calcularon aplicando el Método Racional. Por su parte, las cuencas entre 2,5 y 20 km^2 se examinaron en base a la aplicación de las teorías de los Hidrogramas Unitarios Sintéticos del SCS, mientras que los caudales máximos instantáneos de las cuencas hidrográficas con áreas aferentes superiores a los 20 km^2 también se han modelado con los Hidrogramas Unitarios Sintéticos del SCS, si bien ha sido precisa la aplicación del Método de Tránsito de Avenidas al fragmentarse en sub-cuencas de menor extensión. Los periodos de retorno aplicados derivan de la tipología y la sección de las obras de paso, siendo de 100 años para los puentes y pontones, de 50 años para las alcantarillas en tubería y cajones con secciones superiores a 1,5 m, y de 20 años para las alcantarillas en tubería y cajones con secciones iguales o inferiores a 1,5 m.

A continuación, se presentan las metodologías implementadas para la estimación de los caudales máximos.

5.1.5.6.1 Caudales máximos para cuencas con áreas inferiores a 2,5 km^2

A. Método Racional

Método Racional se ha aplicado para la determinación de los caudales máximos instantáneos de las corrientes con áreas de drenaje inferiores a 2,5 km^2 en los puntos de cruce con la vía objeto de estudio, tal y como recoge en sus especificaciones el Manual de Drenaje para Carreteras.

El Método Racional supone que el caudal máximo es el generado por la lluvia de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, definiéndose un coeficiente de escorrentía estimado con base en el uso del suelo y los materiales de la zona donde se genera la escorrentía. Este método parte de dos hipótesis, que por no ser totalmente válidas limitan su exactitud: a) el máximo caudal ocurre cuando todos los sectores de una cuenca en estudio aportan escorrentía al caudal pico en la estación y, b) el aguacero que genera la creciente debe ser constante en el tiempo y distribuirse uniformemente sobre el área. En el ámbito de estudio un gran número de las áreas aferentes estudiadas son pequeñas y

están dentro del campo de aplicación del método. La ecuación general del Método Racional se presenta a continuación.

$$Q_p = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Donde, Qp es el caudal en [m^3/s], C es el coeficiente de escorrentía, I es la intensidad de la lluvia en [mm/h] y A es el área de la cuenca en [km^2].

- Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y de otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano y las variaciones previsibles del uso del suelo. El valor del coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño. Tal y como se recoge en el Manual del INVIAS, el valor del coeficiente de escorrentía C se puede determinar de acuerdo con la expresión que se presenta a continuación.

$$C = \frac{(P_d - P_o)(P_d + 23P_o)}{(P_d + 11P_o)^2}$$

Donde P_d es la precipitación máxima puntual anual en 24 horas para un periodo de retorno específico en [mm]. En la Tabla 5.28 se presentan los valores de P_d obtenidos para la estación meteorológica correspondiente a la UF-3, en función del periodo de retorno considerado, obtenidos a partir del ajuste estadístico de los datos pluviométricos, presentados en el capítulo de clima

Tabla 5.28 Valores de Pd para la estación considerada en la UF-3 en función del periodo de retorno.

Estación	Periodo retorno [años]	P_d [mm]
Mondomo	20	122,89
	50	136,95
	100	147,48

Por su parte Po es el parámetro que depende del uso y tipo de suelo, de la cobertura vegetal de la cuenca y de la humedad antecedente del suelo antes del aguacero de diseño en [mm]. El valor de Po se obtiene a partir de la siguiente expresión, que lo relaciona con el número de curva de escurrimiento (CN) del Método del Soil Conservation Service.

$$P_o = \frac{(5080 - 50.8CN)}{CN}$$

El Natural Resources Conservation Service (NRCS) conocido también como Soil Conservation Service (SCS) desarrolló en la década de los setenta un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente. Se observaron curvas al representarse en gráficos la profundidad de precipitación (P) y la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa (Pe). Para estandarizar estas curvas, se definió un número adimensional de curva CN, tal que 0<=CN<=100. Para superficies impermeables y de agua CN = 100, para superficies naturales CN<100, y para superficie sin escurrimiento CN = 0.

Para el cálculo del número de curva de cada cuenca se han determinado los usos del suelo de las cuencas hidrográficas representadas, obtenidos a partir de los mapas de coberturas (ver Figura 5.44) y usos del IGAC. Una vez obtenida la representatividad de cada tipo de cobertura en cada cuenca hidrográfica, mediante la aplicación de los valores de número de curva de escorrentía contenidos en las tablas del INVIAS, se ha obtenido un valor de CN por cuenca. La correspondencia entre la tipología de cobertura identificada y el valor de CN tomado se presenta en la Tabla 5.29, considerándose en todos los casos que los suelos presentaban un potencial de escorrentía perteneciente al grupo B (escorrentía moderadamente baja).

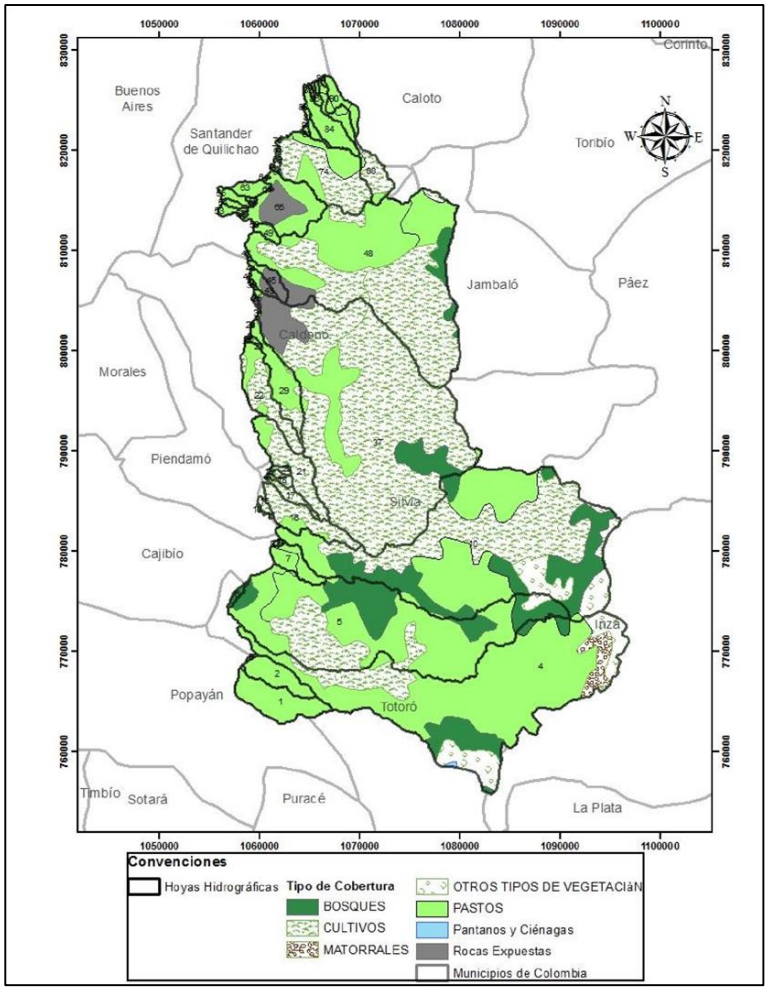


Figura 5.44 Coberturas vegetales de la zona de influencia.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Tabla 5.29 Valores de CN para cada tipo de uso del suelo considerado.

Uso del suelo	Correspondencia con tablas INVIAS	CN
Bosques	Bosques con condición hidrológica buena	55
Cultivos	Cultivos en hileras estrechas en curvas de nivel y terrazas con condición hidrológica buena	70
Pastos	Maleza mezclada con pasto de semilla con la maleza como principal elemento, con condición hidrológica mala	67
Matorrales	Bosques con condición hidrológica mala	66
Otros tipos de vegetación	Bosques con condición hidrológica regular	60

Los usos del suelo en cada cuenca, así como los valores de CN obtenidos se encuentran en la Tabla 5.30. Para una correcta interpretación de los datos presentados en la tabla mencionada anteriormente, se resalta que solo se presenta el uso predominante del suelo y sus correspondientes valores de CN para cada cuenca, los usos del suelo asociados a estas coberturas se encuentran detallados en el Anexo 5.1.6 Estudio HH en el cual se encuentra del informe de Estudio de Hidráulica, Hidrología y Socavación.

Tabla 5.30 Número de curva para los usos del suelo.

Cuencas	Uso del suelo predominante [km^2]	CN
	Pastos	
14	0,03	67
15	0,01	67
16	0,02	67
17	0,04	67
18	1,77	67
19	0,08	67
20	0,09	67
21	0,04	67
22	0,02	66
23	0,12	66
24	0,13	67
26	0,21	67
27	0,07	67
28	0,15	67
29	0,07	67
30	0,04	67
31	1,72	67
32	0,02	67
33	0,02	67
34	1,44	66
35	0,16	67
36	0,23	67
37	85,90	68
38	2,81	67
39	0,07	67
40	0,12	67
41	2,48	67
42	0,84	67
43	2,62	67
44	0,03	67
45	0,09	67
46	0,01	67
47	0,08	67
48	0,46	67
49	0,01	67
50	0,04	67

Cuencas	Uso del suelo predominante [km^2]	CN
	Pastos	
51	4,77	67
52	0,03	67
53	0,25	67

- Curvas de Intensidad – Frecuencia – Duración IDF

Los datos históricos de precipitación máxima anual en 24 horas de las estaciones de precipitación Caloto, Coconuco, El Amparo, Japio, La Aguada, Ovejas Abajo Alerta, Piendamó, Plindora, Puracé, San Juan, Termales Pilimbala, Toribío Alertas, Totoro, Gabriel López, Tunia, Venta de Cajibío y Apto G L Valencia se presentan en los anexos. La influencia de cada estación se muestra en la Figura 5.45 mediante los Polígonos de Thiessen.

Es importante mencionar que los polígonos de Thiessen, es un método que se utiliza para determinar el área de influencia de una estación meteorológica, cuando se tienen dos o más en una misma zona. De acuerdo con (Monsalve Sáenz, 1995), este método se puede utilizar para una distribución no uniforme.

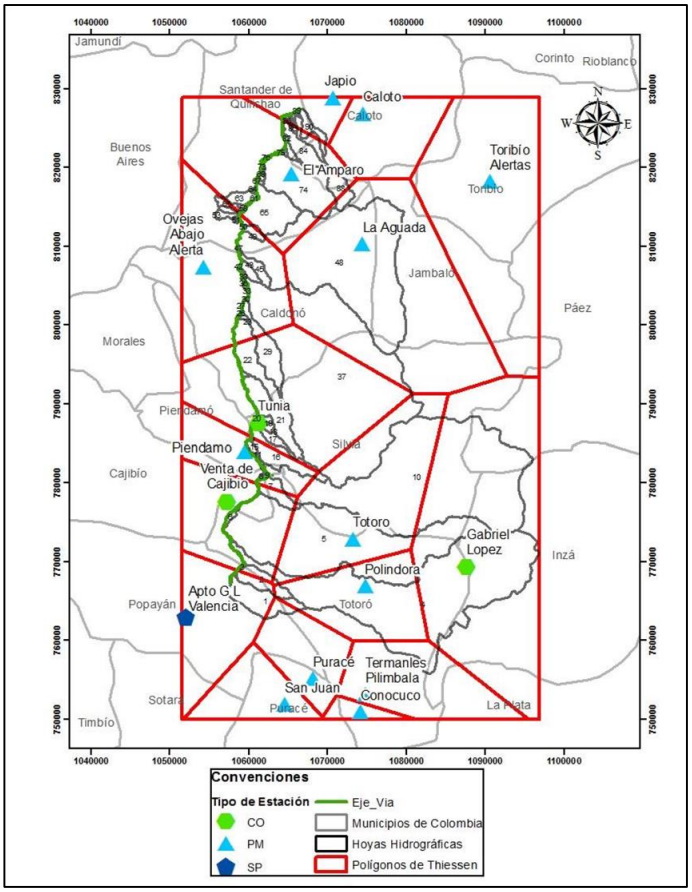


Figura 5.45Polígonos de Thiessen Estaciones de Influencia Vía Popayán – Santander de Quilichao.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Las curvas IDF han sido deducidas para calcular los caudales pico de cuencas hidrográficas con áreas de drenaje inferiores 2,5 km^2, y para los cálculos de lluvia total para áreas de drenaje iguales o superiores a 2,5 km^2.

Las curvas IDF de la estación Ovejas abajo alerta con influencia en la UF-3, han sido obtenidas a partir del método simplificado definido en el Manual de Drenaje para Carreteras del Instituto Nacional de Vías, con base en el Método de Vargas y Díaz Granados, según la siguiente ecuación.

$$I = \frac{a \cdot T^{b} \cdot M^{d}}{(t/60)^{c}}$$

Donde I es la intensidad de precipitación en [mm/h]; T es el periodo de retorno en [años], los periodos de retorno aplicados derivan de la tipología y la sección de las obras de paso, siendo de 100 años para los puentes y pontones, de 50 años para las alcantarillas en tubería y cajones con secciones superiores a 1,5 m, y de 20 años para las alcantarillas en tubería y cajones con secciones iguales o inferiores a 1,5 m; M es la precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual en [mm], de acuerdo con los datos históricos de precipitaciones, el valor de las precipitaciones máximas promedio anual en las estaciones seleccionadas se presenta en la Tabla 5.31. Cabe resaltar que los datos provenientes de años incompletos, o con registros anormalmente altos o bajos, no se han tomado en cuenta para el cálculo de la precipitación máxima promedio anual en 24 horas; t es la duración de la lluvia en [min] y a,b,c,d son los parámetros de ajuste de la regresión, de acuerdo con la división efectuada en el Manual de Drenaje para Carreteras del Instituto Nacional de Vías, el ámbito del proyecto se ubica en la región andina (R1), siendo los valores para cada una de las regiones los recogidos en la

Tabla 5.32.

Tabla 5.31 Precipitaciones máximas promedio anual en 24 h para la estación seleccionada en la UF-3.

Estación	Precipitación Max 24 h [mm]
Mondomo	86,27

Tabla 5.32Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de la curva intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia.

Región	a	b	c	d
Andina (R1)	0,94	0,18	0,66	0,83
Caribe (R2)	24,85	0,22	0,50	0,10
Pacífico (R3)	13,92	0,19	0,58	0,20
Orinoquia (R4)	5,53	0,17	0,63	0,42

Con estos valores se han calculado las curvas intensidad-duración-frecuencia para las mencionada estación, como se muestra de la Figura 5.46.

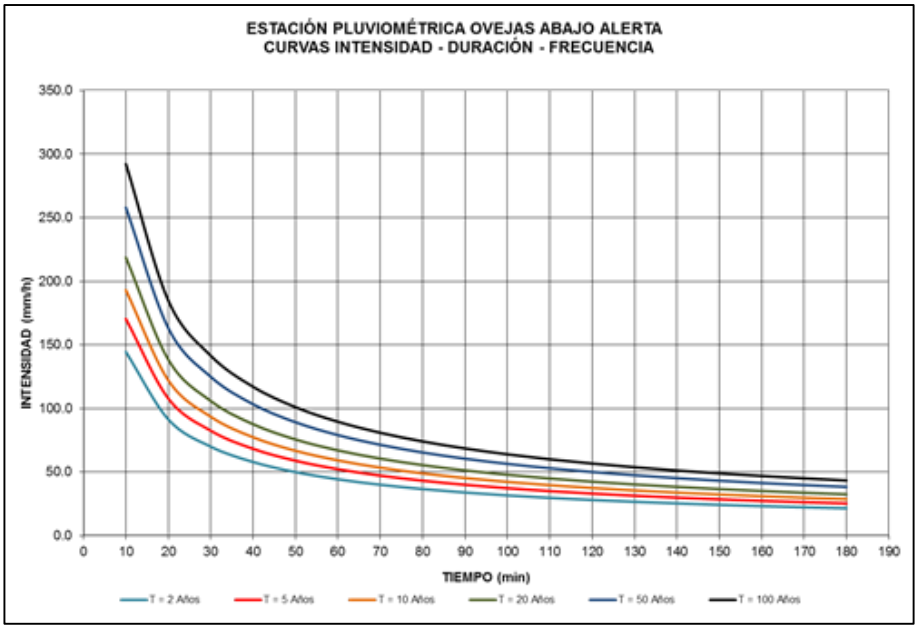


Figura 5.46 Curvas IDF estación Ovejas abajo alerta.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Cabe resaltar que el valor de precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual, obtenido a partir de los datos climatológicos del IDEAM, constituye el único insumo requerido para introducir en las ecuaciones de Vargas y Díaz Granados y obtener curvas IDF en cada estación de precipitación. No obstante, con el fin de garantizar una confiabilidad apropiada de los resultados se procesó la información de la lluvia aplicando la distribución de valores extremos de Gumbel y de Log Pearson tipo III con el objeto de obtener el Pd para diferentes períodos de retorno.

- Intensidad de la lluvia

La intensidad de precipitación que debe usarse en la estimación del caudal pico se corresponde a la obtenida a partir de las curvas IDF para el periodo de retorno de diseño definido, y para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, entendiéndose éste como el tiempo requerido para que una gota de agua llegue desde el punto más remoto de la cuenca hasta la estación.

- Tiempos de concentración

La estimación del tiempo de concentración se ha llevado a cabo tomando el promedio de los valores obtenidos mediante los métodos enumerados en la Tabla 5.33, definiéndose,

no obstante, un tiempo mínimo de concentración para todas las cuencas hidrográficas igual a 15 min.

Tabla 5.33 Metodologías para la estimación de los tiempos de concentración

Método	Formula	Variables
Kirpich	$Tc = 3.9780 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385}$	Tc = tiempo de concentración [min]. L = longitud del cauce principal [km]. S = pendiente del cauce [m/m].
Témez	$T_C = 0.30 * \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$	Tc= tiempo de concentración [h]. L= longitud del cauce principal [km]. S= pendiente cauce principal [%].
Giandotti	$T_c = \frac{(4A^{0.50} + 1.50 * L)}{25.3 * (L * S^{0.50})}$	Tc= tiempo de concentración [h] A= área de la cuenca [km^2] L= longitud del cauce principal [km] S= pendiente cauce principal [m/m]
V.T. Chow	$T_c = 0.28 * \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$	Tc= tiempo de concentración [h] L= longitud del cauce principal [km] S= pendiente cauce principal [m/m]
Williams	$Tc = 0.683(LA^{0.40} / DS^{0.25})$	Tc= Tiempo de concentración[h]. L= Longitud del cauce principal [km]. A= área de la cuenca [km^2*. D= Diámetro de una cuenca circular con área “A” [km]. S= Pendiente cauce principal [%].
Hathaway	$Tc = \frac{36.36 \cdot (L \cdot n)^{0.467}}{S^{0.234}}$	Tc = tiempo de concentración [min]. L = longitud del cauce principal [km]. S = pendiente del cauce [m/m]. n = Coeficiente de rugosidad
Johnstone y Cross	$T_c = 2.6 * \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.5}$	Tc = tiempo de concentración [min]. L = longitud del cauce principal [km]. S = Pendiente cauce [m/km].
SCS – Ranser	$T_c = 0.947 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$	Tc = tiempo de concentración [min]. L = longitud del cauce principal [km]. H= Diferencia de cotas del cauce [m]
Ventura - Heras	$T_c = 0.30 * \left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.75}$	Tc = tiempo de concentración [h]. L = longitud del cauce principal [km]. S = Pendiente cauce [%].

A pesar que para el cálculo de los tiempos de concentración se ha considerado el valor promedio de los resultados obtenidos con las formulaciones anteriormente expuestas, dadas las características geométricas de las cuencas estudiadas, para las cuencas que presentan valores promedio del Tc inferior a 15 min, considerado como el umbral inferior, este será el tiempo de concentración usado para el cálculo de la intensidad de la precipitación.

Finalmente, se presenta en la Tabla 5.34 para cada cuenca hidrográfica el tiempo de concentración estimado con las diferentes metodologías y el tiempo de concentración seleccionado.

Tabla 5.34 Estimación de los tiempos de concentración.

Cuenca	Nombre	Kirpic H [min]	Temez [min]	Giandotti [min]	Vtchow [min]	Cuerpo de Ingenieros [min]	Williams [min]	Johnston E y rocss [min]	Scs- Ranser [min]	Ventura – heras [min]	Hathaway [min]	Seleccionado [min]
41	Río Pescador	107,6 6	107,95	113,79	254,14	247,53	313,51	236,27	107,68	107,95	194,79	154,29
42		19,15	21,85	41,72	60,50	49,05	51,99	76,99	19,15	21,85	68,33	45,39
43		9,76	10,71	33,30	34,56	23,82	23,19	49,71	9,76	10,71	45,42	23,51
44		2,36	3,15	14,81	10,63	6,89	5,71	19,79	2,36	3,15	19,21	15,00
45		0,95	1,28	20,13	4,99	2,76	1,76	10,96	0,95	1,28	11,07	15,00
46		1,77	2,39	16,23	8,37	5,21	3,94	16,41	1,77	2,39	16,13	15,00
47		3,15	4,36	14,48	13,48	9,57	8,42	23,83	3,15	4,36	22,84	15,00
48	Q, Cabuyal	118,74	114,36	122,21	275,70	262,44	340,13	251,79	118,76	114,36	206,74	164,47
49		3,44	4,30	21,29	14,53	9,45	7,86	25,26	3,44	4,30	24,13	15,00
50		1,89	2,76	15,68	8,84	6,03	4,57	17,13	1,89	2,76	16,78	15,00
51		2,01	2,99	15,76	9,29	6,54	4,98	17,81	2,01	2,99	17,40	15,00
52		2,53	3,78	11,58	11,24	8,29	7,20	20,66	2,53	3,78	19,99	15,00
53		2,73	4,16	12,38	11,98	9,14	7,88	21,73	2,73	4,16	20,95	15,00
54		6,25	8,59	20,58	23,87	19,05	17,80	37,23	6,25	8,59	34,65	18,43
55		4,81	7,07	14,19	19,18	15,63	15,02	31,38	4,81	7,07	29,54	15,00
56		3,90	5,86	13,97	16,11	12,93	11,76	27,38	3,90	5,86	26,01	15,00
57	Río Ovejas CD	252,94	231,93	261,61	516,91	537,28	656,16	411,43	252,99	231,93	327,07	294,34
58	RíonOvejas CI	255,94	234,13	263,12	522,01	542,43	663,95	414,60	256,00	234,13	329,43	296,27
59		6,23	8,41	19,61	23,79	18,65	17,79	37,13	6,23	8,41	34,57	18,22
60		2,54	3,84	12,42	11,29	8,41	7,15	20,74	2,54	3,84	20,07	15,00
61		3,54	5,09	16,88	14,87	11,21	9,57	25,73	3,54	5,09	24,54	15,00
62		1,61	2,50	16,55	7,73	5,44	3,87	15,42	1,61	2,50	15,21	15,00
63		2,76	3,68	13,20	12,08	8,07	7,16	21,86	2,76	3,68	21,08	15,00
64	Q, El Pital	44,59	41,24	91,59	122,14	93,36	102,88	133,29	44,60	41,24	114,16	92,47
65		3,90	4,74	20,84	16,10	10,43	9,05	27,38	3,90	4,74	26,01	15,00
66	Q, La Laja	61,28	57,14	99,06	159,11	129,92	151,72	163,87	61,30	57,14	138,44	114,49

Cuenca	Nombre	Kirpic H [min]	Temez [min]	Giandotti [min]	Vtchow [min]	Cuerpo de Ingenieros [min]	Williams [min]	Johnston E y rocss [min]	Scs- Ranser [min]	Ventura – heras [min]	Hathaway [min]	Seleccionado [min]
67		8,06	8,51	33,60	29,47	18,87	17,71	43,89	8,06	8,51	40,44	18,29
68		8,07	8,57	35,98	29,52	18,99	17,44	43,95	8,08	8,57	40,49	18,21
69	RíoMondomo o	193,70	191,56	196,84	414,10	442,61	539,05	345,99	193,75	191,56	278,16	237,50
70	Q, Tiembla	43,01	39,87	89,46	118,55	90,21	99,18	130,22	43,02	39,87	111,70	89,84
71		4,59	6,08	17,38	18,47	13,42	12,42	30,47	4,59	6,08	28,74	15,00

- Resultados

En consecuencia, para cuencas con una superficie inferior a 2,5 km^2 se han podido inferir caudales máximos instantáneos en los sitios de cruce con las vías objeto de este estudio a través del Método Racional los cuales se presentan en la Tabla 5.35.

Tabla 5.35 Caudales máximos método racional.

Cuenca	Área [km²]	Coeficiente de Escorrentía	Factor De Lluvia Espacial Adopta do	Intensidad [mm/hr]						Caudal [m³/s]					
				2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años	2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años
42	1,04	0,48	0,91	53,2	62,8	71,1	80,6	95,0	107,7	6,7	7,9	9,0	10,2	12,0	13,6
43	0,21	0,48	0,94	82,2	96,9	109,8	124,4	146,7	166,2	2,2	2,6	2,9	3,3	3,9	4,4
44	0,03	0,48	0,96	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
45	0,02	0,48	0,97	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
46	0,03	0,48	0,96	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9
47	0,06	0,48	0,96	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6
49	0,07	0,49	0,96	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1
50	0,07	0,48	0,96	59,5	70,2	79,5	90,1	106,2	120,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
51	0,09	0,67	0,95	67,0	79,0	89,4	101,3	119,5	135,4	1,0	1,2	1,4	1,5	1,8	2,0
52	0,05	0,97	0,96	171,3	202,0	228,9	259,3	305,8	346,4	2,2	2,6	2,9	3,3	3,9	4,4
53	0,08	0,99	0,96	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	2,2	2,6	3,0	3,3	3,9	4,5
54	0,28	0,90	0,94	96,5	113,8	128,9	146,1	172,3	195,2	6,4	7,5	8,5	9,6	11,4	12,9
55	0,13	0,48	0,95	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,3	3,7
56	0,13	0,48	0,95	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,3	3,8

Cuenca	Área [km²]	Coeficiente de Escorrentía	Factor De Lluvia Espacial Adopta do	Intensidad [mm/hr]						Caudal [m³/s]					
				2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años	2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años
59	0,20	0,48	0,94	97,2	114,7	129,9	147,2	173,6	196,6	2,5	2,9	3,3	3,7	4,4	5,0
60	0,07	0,48	0,96	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,9
61	0,14	0,48	0,95	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	2,0	2,3	2,6	3,0	3,5	4,0
62	0,10	0,48	0,95	45,8	54,0	61,2	69,3	81,7	92,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2
63	0,03	0,48	0,97	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8
65	0,06	0,48	0,96	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7
67	0,13	0,48	0,95	97,0	114,4	129,6	146,8	173,1	196,1	1,6	1,9	2,1	2,4	2,8	3,2
68	0,17	0,48	0,95	97,3	114,7	129,9	147,2	173,6	196,7	2,0	2,4	2,7	3,1	3,7	4,1
71	0,09	0,48	0,95	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,5

B. Método McMath

Similar al método Racional, dentro del Manual de Drenaje para carreteras (INVIAS, 2009) se presenta los métodos de McMath el cual se describe con la siguiente ecuación.

$$Q = 0{,}0915\, F\, C\, i\, S^{0{,}20} A^{0{,}80}$$

Donde, Q es el caudal máximo de descarga de escorrentía superficial [m³/s], F es el factor de reducción de la lluvia puntual por área de drenaje (valor adimensional), C es el coeficiente de escorrentía (valor adimensional), i es la Intensidad de lluvia [mm/h], S es la pendiente del cauce [m/km] y A es el área de la cuenca [km²]. En la Tabla 5.36 se presenta el resultado de los cálculos mencionados anteriormente.

Tabla 5.36Método McMath - Caudales Máximos Instantáneos Anuales Para Diferentes Periodos De Retorno.

Cuenca	Área [km²]	Pendi ente del Cauce S (m/m)	Concentr ación Seleccio nado	Coefici ente de Escorr entía	Intensidad [mm/hr]						Caudal [m³/s]					
					2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años	2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años
42	1,04	0,0800	45,39	0,48	53,2	62,8	71,1	80,6	95,0	107,7	5,3	6,2	7,1	8,0	9,4	10,7
43	0,21	0,0591	23,51	0,48	82,2	96,9	109,8	124,4	146,7	166,2	2,2	2,6	3,0	3,4	4,0	4,5

Cuenca	Área [km²]	Pendiente del Cauce S (m/m)	Concentración Seleccionado	Coeficiente de Escorrentía	Intensidad [mm/hr]						Caudal [m³/s]					
					2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años	2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años
44	0,03	0,1364	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6
45	0,02	0,1255	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3
46	0,03	0,1398	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,5	1,7
47	0,06	0,1743	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,6
49	0,07	0,1024	15,00	0,49	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,5	1,7	2,0	2,2	2,6	3,0
50	0,07	0,2155	15,00	0,48	59,5	70,2	79,5	90,1	106,2	120,3	0,8	1,0	1,1	1,2	1,5	1,7
51	0,09	0,2420	15,00	0,67	67,0	79,0	89,4	101,3	119,5	135,4	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,3
52	0,05	0,2565	15,00	0,97	171,3	202,0	228,9	259,3	305,8	346,4	4,0	4,7	5,3	6,1	7,1	8,1
53	0,08	0,2859	15,00	0,99	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	3,8	4,5	5,0	5,7	6,7	7,6
54	0,28	0,1844	18,43	0,90	96,5	113,8	128,9	146,1	172,3	195,2	7,7	9,1	10,3	11,6	13,7	15,5
55	0,13	0,2551	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	2,8	3,3	3,7	4,2	4,9	5,6
56	0,13	0,2801	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	2,8	3,3	3,8	4,3	5,1	5,7
59	0,20	0,1681	18,22	0,48	972	114,7	129,9	147,2	173,6	196,6	3,1	3,7	4,2	4,7	5,6	6,3
60	0,07	0,2684	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,6	1,9	2,1	2,4	2,9	3,2
61	0,14	0,2175	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	2,8	3,3	3,7	4,2	5,0	5,7
62	0,10	0,2903	15,00	0,48	45,8	54,0	61,2	69,3	81,7	92,6	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9
63	0,03	0,1412	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,4
65	0,06	0,0906	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5
67	0,13	0,0469	18,29	0,48	97,0	114,4	129,6	146,8	173,1	196,1	1,7	2,0	2,3	2,6	3,0	3,4
68	0,17	0,0480	18,21	0,48	97,3	114,7	129,9	147,2	173,6	196,7	2,1	2,5	2,8	3,2	3,7	4,2
71	0,09	0,1444	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,8	2,1	2,4	2,7	3,2	3,7

C. Método Burkli-Ziegler

Este método calcula caudales máximos con la siguiente ecuación:

$$Q = 0.0695 * F * C * i * S^{0.25} * A^{0.75}$$

Donde, Q es el caudal máximo de descarga de escorrentía superficial [m^3/s], F es el factor de reducción de la lluvia puntual por área de drenaje (valor adimensional), C es el coeficiente de escorrentía (valor adimensional), i es la Intensidad de lluvia [mm/h], S es la pendiente del cauce [m/km] y A es el área de la cuenca [km^2]. En la Tabla 5.37 se presenta el resultado de los cálculos mencionados anteriormente.

Tabla 5.37 Método Burkli-Ziegler - Caudales Máximos Instantáneos Anuales Para Diferentes Periodos De Retorno,

Cuenca	Tiempo de Concentración Seleccionado (min)	Coeficiente de Escorrentía	Intensidad [mm/hr]						Caudal [m^3/s]					
			2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años	2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	100 Años
42	45,39	0,4	53,2	62,8	71,1	80,6	95,0	107,7	5,0	5,9	6,7	7,6	8,9	10,1
43	23,51	0,48	82,2	96,9	109,8	124,4	146,7	166,2	2,2	2,6	3,0	3,4	4,0	4,5
44	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,9
45	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5
46	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,9	1,1	1,3	1,4	1,7	1,9
47	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,5	1,7	2,0	2,2	2,6	3,0
49	15,00	0,49	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,6	1,9	2,1	2,4	2,9	3,2
50	15,00	0,48	59,5	70,2	79,5	90,1	106,2	120,3	0,9	1,1	1,3	1,4	1,7	1,9
51	15,00	0,67	67,0	79,0	89,4	101,3	119,5	135,4	1,8	2,2	2,5	2,8	3,3	3,7
52	15,00	0,97	171,3	202,0	228,9	259,3	305,8	346,4	4,7	5,5	6,2	7,1	8,3	9,4
53	15,00	0,99	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	4,3	5,1	5,8	6,5	7,7	8,7
54	18,43	0,90	96,5	113,8	128,9	146,1	172,3	195,2	8,1	9,5	10,8	12,2	14,4	16,3
55	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,5	6,2
56	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	3,2	3,7	4,2	4,8	5,6	6,4
59	18,22	0,48	97,2	114,7	129,9	147,2	173,6	196,6	3,3	3,9	4,4	5,0	5,9	6,7
60	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,8	2,2	2,5	2,8	3,3	3,7
61	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,5	6,2
62	15,00	0,48	45,8	54,0	61,2	69,3	81,7	92,6	1,1	1,3	1,5	1,6	1,9	2,2
63	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,5	1,7
65	15,00	0,48	110,6	130,4	147,7	167,3	197,3	223,6	1,3	1,6	1,8	2,0	2,4	2,7

5.1.5.6.2 Caudales máximos para cuencas con áreas entre 2,5 y 20 km^2

A. Método del NRCS (SCS)

Para cuencas con un área aferente entre 2,5 y 20 km^2, en las que se ha determinado el caudal por el Método del NRCS (SCS), se han definido los correspondientes hietogramas de precipitación para las estaciones de aplicación, determinándose el periodo de retorno en función de la obra de paso existente. Así, para la estación de Mondomo se han definido hietogramas para T=20, 50 y 100 años. Para la estación de Piendamó los hietogramas han sido calculados para T=50 y 100 años, mientras que en el caso de la estación de Japío el hietograma se ha elaborado para T=100 años.

La duración total de los aguaceros en los hietogramas creados para la obtención de caudales mediante el método del NRCS (SCS) ha sido definida a partir de las consideraciones recogidas en la publicación Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual. Según dicho manual la tormenta seleccionada debe ser lo suficientemente larga como para que la cuenca al completo contribuya a la escorrentía en el punto de concentración. Por tanto, la duración debe ser superior al tiempo de concentración de la misma; algunas fuentes sostienen que ésta debería ser 3 o 4 veces el tiempo de concentración (Placer Country, 1990). En consecuencia, para los caudales obtenidos mediante el método del NRCS (SCS) se ha considerado emplear hietogramas de 12 horas de duración, dando así cumplimiento a las recomendaciones del Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual.

Se ha comprobado como al seleccionar una duración del aguacero de 12 horas como el más crítico normal que ocurre en el área de estudios, se está introduciendo en el modelo un aguacero cuya precitación total es igual o superior a los valores registrados en 24 horas para el periodo de retorno considerado en cualquiera de las estaciones seleccionadas; por tanto, los resultados obtenidos pueden considerarse del lado de la seguridad.

Dividiéndose el aguacero en bloques constantes de 15 min, se obtienen para cada una de las estaciones de influencia, los hietogramas presentados de la Figura 5.47.

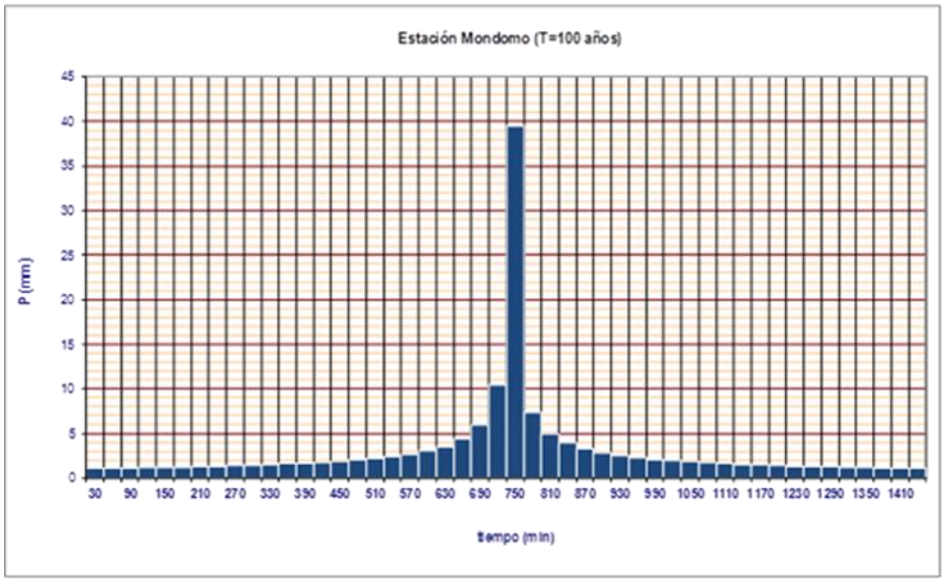


Figura 5.47 Estación Mondomo. Hietograma para T=100 años.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

El programa HEC-HMS, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (Hydrologic Engineering Center), puede simular la respuesta que tendrá una cuenca en su escurrimiento superficial como producto de una precipitación.

Una vez introducidos en el modelo los parámetros físicos de las cuencas analizadas y la tormenta de diseño considerada, obtenida para cada estación, el programa estima la lluvia neta, obteniéndose por tanto el hietograma neto generado por la tormenta de diseño. Como parámetros de entrada al HEC-HMS es preciso calcular el número de curva (CN), el cual fue determinado según la metodología descrita anteriormente.

La posterior transformación de la lluvia en escorrentía se ha realizado empleado el método del Hidrograma Unitario Sintético Curvilíneo del SCS, implementado por el HEC-HMS. Este método depende de un único parámetro, el tiempo de desfase (tlag), definido como el desfase en tiempo entre el hietograma de lluvia producido por la tormenta y el hidrograma de respuesta de éste en cada cuenca hidrográfica, calculado conforme a la siguiente expresión.

$$t_{lag} = \frac{L^{0.8}\left(2540 - 22.86 \cdot CN\right)^{0.7}}{\left(14104 \cdot CN^{0.7} \cdot Y^{0.5}\right)}$$

Donde tlag es el tiempo de desfase de la cuenca hidrográfica en [h], L es la longitud del cauce principal en [m], CN es el número de curva de la cuenca (adimensional) y Y es la pendiente total del cauce principal en [m/m].

Cabe resaltar que el tiempo de desfase del hidrograma unitario así calculado se corresponde con el 60% del valor del tiempo de concentración obtenido mediante la Fórmula del Soil Conservation Service, SCS.

Una vez determinados todos los parámetros necesarios, se ha llevado a cabo la simulación hidrológica para la determinación del caudal de diseño a través del empleo del software HEC-HMS. El programa, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (Hydrologic Engineering Center), puede simular la respuesta que tendrá una cuenca en su escurrimiento superficial como producto de una precipitación, brindando como resultado el caudal máximo probable; en la Figura 5.48 se presenta como ejemplo el hidrograma estimado para la cuenca 4, los hidrogramas para las demás cuencas se presentan en el Anexo 5.1.6 Estudio HH en el cual se encuentra el informe de Estudio de Hidráulica, Hidrología y Socavación.

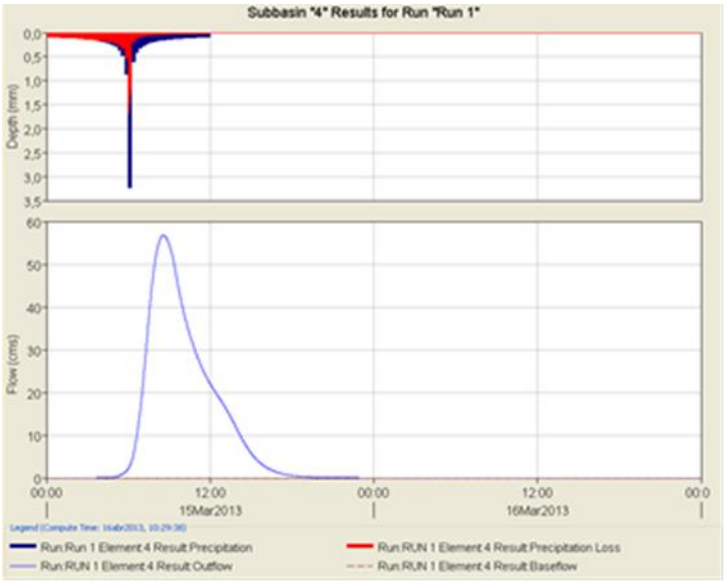


Figura 5.48 Hidrograma de respuesta a hietograma de lluvia, generado por el HEC-HMS.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

La segunda metodología empleada se aplica para corrientes con áreas de drenaje entre 2,5 y 20 km^2, los cuales se presentan en la Tabla 5.38.

Tabla 5.38 Caudales obtenidos para cuencas con una superficie entre 2,5 y 20 km^2.

Cuenca	Caudal [m^3/s]
43	31,10
51	32,30
69	46,00

5.1.5.6.3 Caudales máximos para cuencas con áreas superiores a 20 km^2

A. Método del NRCS (SCS) con tránsito de hidrogramas

Para cuencas con un área aferente superior a los 20 km^2, en las que se ha aplicado el Método del NRCS (SCS) con tránsito de hidrogramas, se ha tomado una duración del aguacero de 24 horas como el más crítico normal que ocurre en el área de estudio. Para la generación de estos hietogramas, se ha utilizado una metodología análoga a la comentada en el anterior apartado, si bien en este caso se ha aplicado a los bloques del hietograma un factor reductor de lluvia con el objeto de que el sumatorio de la precipitación introducida en el hietograma de 24 horas resulte igual al valor de la precipitación máxima puntual anual en 24 horas obtenida de los ajustes estadísticos de cada estación (Pd).

Este valor de Pd corresponde con el mayor de los valores obtenidos tras la aplicación de las distribuciones de valores extremos de Gumbel y de Log Pearson tipo III para el periodo de retorno considerado. Dado que las cuencas modeladas con esta metodología cuentan con puentes como estructuras de paso, el periodo de retorno considerado es de 100 años.

Dividiéndose el aguacero obtenido tras la aplicación del factor reductor en bloques constantes de 30 min, se obtienen para cada una de las estaciones estudiadas los hietogramas presentados de la Figura 5.49.

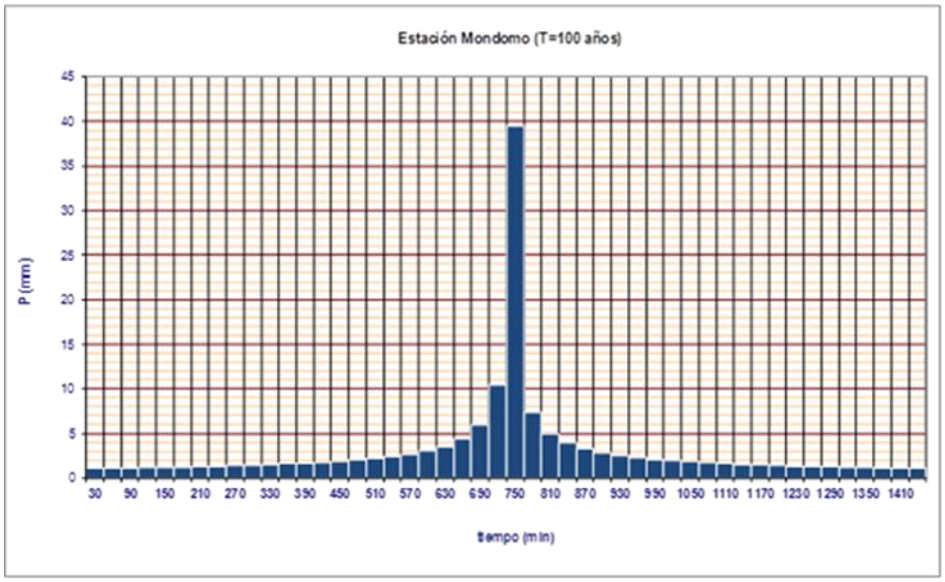


Figura 5.49 Estación Mondomo. Hietograma para T=100 años.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

Una vez realizada la división de las cuencas hidrográficas, se introducen los distintos elementos que constituyen el modelo: sub-cuencas, nodos, tramos y sumideros (puntos finales de vertido de las cuencas). Tras definir el esquema básico de funcionamiento a partir de las interconexiones entre elementos, se ha procedido a introducir en el modelo los parámetros físicos de las sub-cuencas, estimándose la lluvia neta y la transformación de lluvia neta en escorrentía. En la Figura 5.50 y la Figura 5.51 presenta el esquema realizado en el HEC-HMS para el transito hidrológico y análisis de caudales máximos de las cuencas de interés.

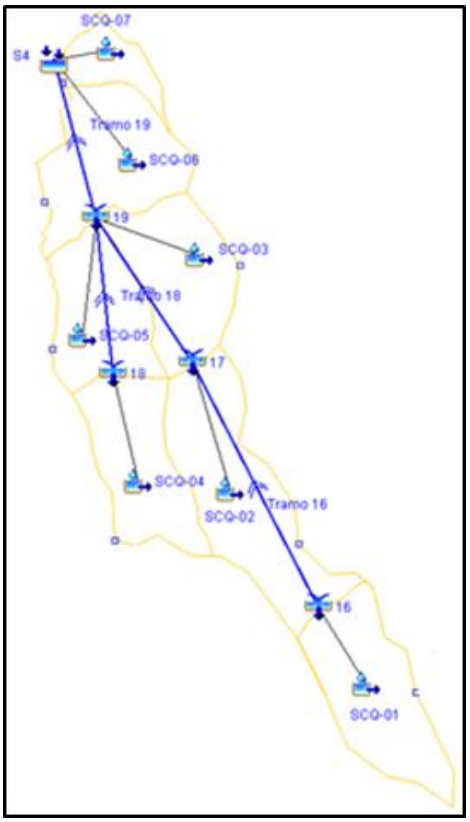


Figura 5.50 Esquema de configuración de conexiones en HEC-HMS para la cuenca del río Pescador.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

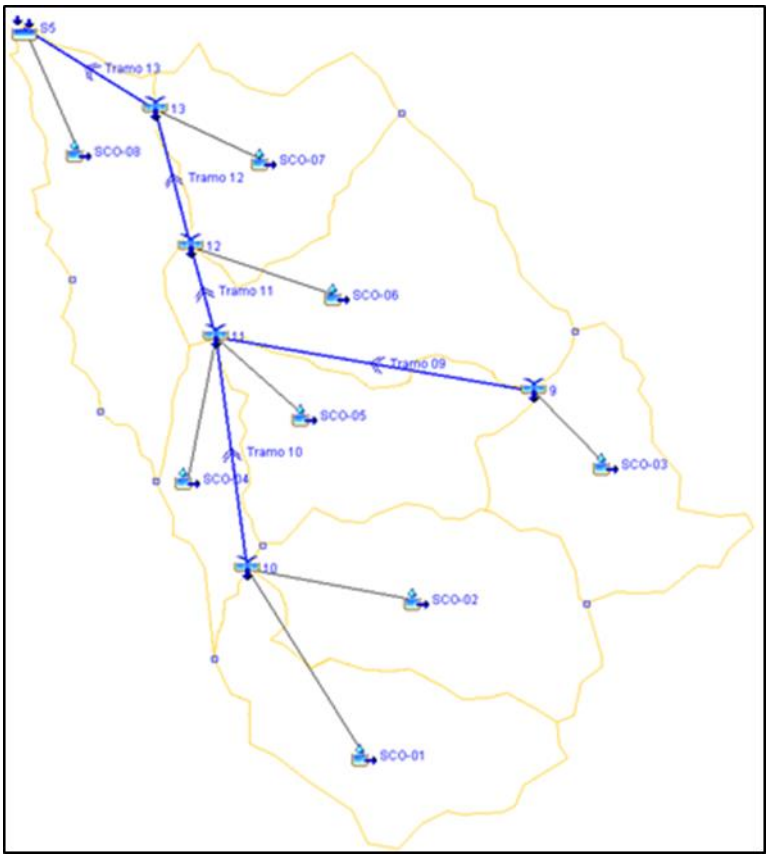


Figura 5.51 Esquema de configuración de conexiones en HEC-HMS para la cuenca del río Ovejas.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA – PLYMA, 2016

La fragmentación de las cuencas estudiadas en sub-cuencas más pequeñas interconectadas entre sí conlleva la realización del tránsito de hidrogramas para la obtención del caudal máximo probable en el punto de cierre de la cuenca, para lo cual se ha aplicado el Método de Tránsito de Avenidas. Este método se aplica para transitar el hidrograma obtenido en el punto de control de cada sub-cuenca hacia el próximo punto de control sobre el cauce principal de la cuenca hidrográfica. El tránsito permite amortiguar los caudales a través del tiempo con el propósito de simular la condición del flujo en el cauce.

Una vez obtenidos los hidrogramas de las diferentes sub-cuencas y determinados los datos geométricos del cauce principal, se ha procedido a calcular la propagación de

dichos hidrogramas, empleando a tal efecto el método de Muskingum, que implementa directamente el HEC-HMS, presentada a continuación

$$V_w = \frac{L}{K}$$

Donde Vw es la velocidad de la onda [m/s], L es la longitud del cauce principal [m], K es el índice de almacenamiento (s), el cual determina el desfase entre el tiempo pico del hidrograma a transitar y el tiempo pico del hidrograma transitado.

La velocidad de la onda ha sido estimada a partir del producto de la velocidad media del cauce por la ratio Vw/V, el cual es función de la forma del canal, que para el caso de cauces naturales toma un valor de 1,5. Asimismo, la velocidad media del cauce se obtuvo a partir de la ecuación de Manning.

$$V = K \cdot S^{1/2}$$

Donde V es la velocidad del cauce principal [ft/s], K es una constante de valor 2,1, y S es la pendiente total del cauce principal [%].

Aplicando las formulaciones anteriormente expuestas se obtuvieron los valores de K para las cuencas objeto de estudio.

Además del índice de almacenamiento, para aplicar el Método de Muskingum, es necesario introducir el valor del factor de peso (X), el cual expresa la importancia relativa de las entradas y salidas del flujo al tramo en el almacenamiento del mismo. Para cauces naturales es habitual emplear un valor promedio de 0,20.

Después de introducir en el HEC-HMS los parámetros necesarios para la aplicación del Método de Muskingum, se introduce en el modelo el hietograma de diseño correspondiente, obtenido para cada estación, realizando posteriormente la simulación hidrológica para la determinación del caudal de diseño.

Los parámetros anteriormente definidos de las sub-cuencas y tramos que comprenden la cuenca hidrográfica, así como los caudales máximos obtenidos en el punto de cierre a raíz de la modelación efectuada.

Para el último caso, cuencas superiores a los 20 km^2 los caudales máximos estimados se presentan en la Tabla 5.39.

Tabla 5.39 Caudales obtenidos para cuencas con una superficie superior a 20 km^2.

Corriente	Caudal [m^3/s]
Río Pescador (Cuenca 13)	96,600
Río Ovejas (Cuenca 25)	787,700

Los caudales presentados anteriormente serán empleados para dimensionamiento y posterior diseño de las obras hidráulicas a realizar.

B. Regionalización de la CVC

Se realizó para cada período de retorno un análisis de regresión, obteniendo las siguientes ecuaciones de mejor ajuste, las cuales son de la forma:

$$Q_{Tr} = b\, m_1^S\, m_2^L\, m_3^A$$

En donde, Q_{Tr} es el caudal para un determinado periodo de retorno [m^3/s], S es la pendiente de la corriente [%], L es la longitud de la corriente [km], A es el área de la cuenca [km^2] y b, m_1, m_2 y m_3 son los parámetros de la regresión logarítmica presentados en la Tabla 5.40.

Tabla 5.40 Parámetros de regresión logarítmica.

Tr [años]	Parámetros regresión				
	m3	**m2**	**m1**	**b**	**R2**
2	1,00153633	1,00296925	1,000882	38,6393959	0,74
5	1,00808671	1,0007229	1,00091395	57,6598444	0,72
10	1,00989611	0,99984342	1,00092436	70,555014	0,70
20	1,01091537	0,99922469	1,000931	83,079958	0,68
50	1,01171991	0,99862755	1,00093699	99,4213328	0,67
100	1,0121061	0,99827968	1,00094031	111,744835	0,66

El coeficiente R2 muestra la calidad de las regresiones, por lo que son empleadas para calcular los caudales de cada una de las cuencas. En la Tabla 5.41 se presentan los caudales para periodos de retorno entre 2 y 100 años para las cuencas de estudio.

Tabla 5.41 Caudales Máximos Instantáneos Anuales Para Diferentes Periodos De Retorno.

Cuenca	Nombre	Área [km^2]	Long [km]	Pend [m/m]	Caudal [m^3/s]					
					T= 2 Años	**T= 5 Años**	**T= 10 Años**	**T= 20 Años**	**T= 50 Años**	**T= 100 Años**
41	Río Pescador	23,15	16,37	0,0509	42,22	70,63	88,81	105,97	127,92	144,23
48	Q, Cabuyal	20,01	16,81	0,0416	42,04	68,83	86,03	102,30	123,15	138,66
57	Río Ovejas CD	321,99	41,49	0,0356	71,86	797,27	1675,74	2661,33	4013,91	5028,21
58	Río Ovejas CI	322,55	41,89	0,0352	72,00	801,03	1684,71	2676,40	4037,44	5058,04
64	Q, El Pital	3,25	3,95	0,0293	39,39	59,52	73,00	86,03	102,98	115,73
66	Q, La Laja	5,39	6,24	0,0319	39,80	60,67	74,55	87,93	105,28	118,32
69	Río	215,52	35,23	0,0513	59,98	337,16	588,72	843,03	1172,62	1413,53

Cuenca	Nombre	Área [km²]	Long [km]	Pend [m/m]	Caudal [m³/s]					
					T= 2 Años	T= 5 Años	T= 10 Años	T= 20 Años	T= 50 Años	T= 100 Años
	Mondomo									
70	Q, Tiembla	2,99	3,78	0,0295	39,36	59,39	72,82	85,81	102,70	115,41

5.1.5.6.4 Caudales máximos para las microcuencas y pequeñas obras de paso

Debido a que en esta fase del proyecto se realizaran los diseños a detalle y definitivos para construcción, se procedió a trazar las microcuencas, las cuales son las cuencas hidrográficas aferentes a cada una de las obras existentes.

El cálculo de caudales de las microcuencas se realizó mediante el método racional, en esta ocasión tomando en consideración los tipos de cobertura que se presentan en las microcuencas se consideró un C igual a 0,53 que corresponde a una cobertura de las microcuencas de 12% de zonas impermeables y 88% de pastos y cultivos. El tiempo de concentración se calculó en caso de ser menor a 15 minutos se adoptó este valor. A continuación en la Tabla 5.42 se presentan los caudales calculados para las obras existentes y para las obras proyectadas.

Tabla 5.42 Caudales microcuencas obras existentes y proyectadas.

Obra	Abscisa Izquierda	Abscisa Derecha	Área [km2]	C	I (mm/hr)	Caudal [m3/s]
ALC322	K41+234,13	K41+452,77	0,0061	0,53	176,06	0,159
ALC323	K41+343,92	K41+565,30	0,0043	0,53	176,06	0,111
AP1	K41+407,58		0,0062	0,53	176,06	0,16
ALC324		K41+666,48	0,0011	0,53	176,06	0,029
ALC325		K41+736,50	0,0019	0,53	176,06	0,049
ALC326		K41+815,87	0,0026	0,53	176,06	0,066
AP2	K41+558,44		0,003	0,53	176,06	0,079
ALC327		K41+875,10	0,0018	0,53	176,06	0,048
ALC328		K41+947,04	0,0021	0,53	176,06	0,053
ALC329	K41+761,28	K42+012,01	0,0146	0,53	176,06	0,379
ALC330		K42+086,02	0,0009	0,53	176,06	0,024
ALC331		K42+160,81	0,0014	0,53	176,06	0,037
ALC332		K42+206,37	0,0015	0,53	176,06	0,039
ALC333		K42+264,67	0,0028	0,53	176,06	0,072
ALC334		K42+333,72	0,0028	0,53	176,06	0,073
AP5	K43+425,53	K43+710,49	0,015	0,53	176,06	0,389
AP6	K43+519,85	K43+798,84	0,0104	0,53	176,06	0,269
AP7	K43+576,93	K43+856,24	0,0073	0,53	176,06	0,188
AP8	K43+726,64	K44+000,50	0,016	0,53	176,06	0,416
AP9	K44+003,80	K44+282,77	0,0488	0,53	176,06	1.266
ALC349		K44+530,82	0,0005	0,53	176,06	0,013
ALC350	K44+427,85	K44+722,33	0,0226	0,53	176,06	0,585
ALC351	K44+501,63	K44+797,20	0,0038	0,53	176,06	0,098

Obra	Abscisa Izquierda	Abscisa Derecha	Área [km2]	C	I (mm/hr)	Caudal [m3/s]
ALC352		K44+918,46	0,0016	0,53	176,06	0,04
AP10	K44+918,84	K45+196,08	0,0252	0,53	176,06	0,653
ALC354	K45+138,82	K45+412,18	0,014	0,53	176,06	0,362
ALC356	K45+376,39	K45+633,85	0,0226	0,53	176,06	0,585
ALC357	K45+568,89	K45+840,74	0,0066	0,53	176,06	0,171
ALC358		K46+026,02	0,0065	0,53	176,06	0,168
ALC359		K46+202,95	0,0141	0,53	176,06	0,365
ALC361		K46+385,16	0,0029	0,53	176,06	0,075
ALC362		K46+459,01	0,0031	0,53	176,06	0,081
ALC363		K46+571,35	0,0271	0,53	176,06	0,703
ALC364		K46+643,67	0,0019	0,53	176,06	0,049
ALC365		K46+677,12	0,0019	0,53	176,06	0,048
ALC366		K46+757,25	0,0026	0,53	176,06	0,068
AP13	K46+467,40	K46+811,14	0,0325	0,53	176,06	0,842
ALC367		K46+830,03	0,0853	0,53	176,06	2.210
ALC368		K46+887,28	0,0029	0,53	176,06	0,074
ALC369		K46+961,79	0,0025	0,53	176,06	0,065
ALC371	K46+849,23	K47+208,95	0,0183	0,53	176,06	0,475
ALC373		K47+376,00	0,003	0,53	176,06	0,078
ALC374	K47+115,15	K47+484,03	0,0266	0,53	176,06	0,689
ALC375	K47+161,38	K47+534,76	0,0042	0,53	176,06	0,109
AP14	K47+178,06	K47+551,91	0,0074	0,53	176,06	0,193
ALC376		K47+602,91	0,0042	0,53	176,06	0,108
ALC377		K47+682,93	0,0021	0,53	176,06	0,056
ALC378		K47+750,64	0,0052	0,53	176,06	0,136
ALC380		K47+952,88	0,0107	0,53	176,06	0,278
ALC381	K47+581,07	K48+003,60	0,0039	0,53	176,06	0,101
ALC382	K47+638,52	K48+080,38	0,0103	0,53	176,06	0,266
ALC383		K48+144,33	0,0034	0,53	176,06	0,089
ALC384	K47+858,66	K48+282,43	0,02	0,53	176,06	0,519
ALC386		K48+358,56	0,0056	0,53	176,06	0,145
ALC387		K48+546,32	0,0091	0,53	176,06	0,236
ALC388		K48+630,19	0,0209	0,53	176,06	0,542
ALC389		K48+771,63	0,0095	0,53	176,06	0,247
ALC390		K48+903,49	0,0348	0,53	176,06	0,902
ALC392	K48+732,52	K49+180,67	0,0155	0,53	176,06	0,401
AP18	K48+827,04	K49+259,19	0,0025	0,53	176,06	0,066
AP19	K49+065,59	K49+470,02	0,0223	0,53	176,06	0,577
ALC400	K50+144,20	K50+571,40	0,0035	0,53	176,06	0,092
ALC401	K50+200,12	K50+626,81	0,0027	0,53	176,06	0,071
ALC402	K50+421,12	K50+847,64	0,017	0,53	176,06	0,441
ALC403	K50+672,29	K51+105,60	0,0076	0,53	176,06	0,198
BOX405	K50+980,93	K51+423,63	0,0169	0,53	176,06	0,438
BOX406	K51+061,09	K51+495,57	0,013	0,53	176,06	0,337
ALC407	K51+170,52	K51+633,33	0,0061	0,53	176,06	0,159

Obra	Abscisa Izquierda	Abscisa Derecha	Área [km2]	C	I (mm/hr)	Caudal [m3/s]
ALC408		K51+831,06	0,0083	0,53	176,06	0,215
ALC409	K51+480,87	K51+910,85	0,0175	0,53	176,06	0,453
ALC410	K51+561,31	K51+991,45	0,0126	0,53	176,06	0,326
AP21	K51+619,76	K52+050,03	0,0143	0,53	176,06	0,371
ALC412	K51+876,36	K52+308,45	0,0045	0,53	176,06	0,118
ALC414	K52+293,38	K52+738,96	0,0194	0,53	176,06	0,503
ALC415	K52+374,12	K52+807,44	0,0013	0,53	176,06	0,034
AP22	K52+434,58	K52+872,17	0,0247	0,53	176,06	0,639
ALC416	K52+671,05	K53+096,99	0,004	0,53	176,06	0,104
AP23	K53+260,94	K53+689,46	0,0083	0,53	176,06	0,216
ALC416A	K53+260,94	K53+689,46	0,0083	0,53	176,06	0,216
ALC417	K53+443,01	K53+877,63	0,0078	0,53	176,06	0,201
AP24	K53+573,99	K54+006,76	0,0035	0,53	176,06	0,092
AP26		K54+456,90	0,0062	0,53	176,06	0,161
ALC418		K54+628,54	0,0035	0,53	176,06	0,091
AP29		K54+666,78	0,0064	0,53	176,06	0,165
AP30	K54+386,43	K54+862,13	0,039	0,53	176,06	1.010
AP31	K54+466,53	K54+923,66	0,0215	0,53	176,06	0,556
AP32	K54+536,67	K54+989,98	0,0172	0,53	176,06	0,446
AP33	K54+611,88	K55+045,23	0,1971	0,53	176,06	5.108
AP34		K55+227,59	0,0046	0,53	176,06	0,119
AP35		K55+324,29	0,0057	0,53	176,06	0,147
AP36		K55+431,48	0,0049	0,53	176,06	0,128
AP39	K55+532,86	K56+016,29	0,004	0,53	176,06	0,104
AP41	K55+684,69	K56+176,79	0,0325	0,53	176,06	0,844
AP42	K56+041,11	K56+543,78	0,0189	0,53	176,06	0,491
AP43	K56+223,57	K56+717,20	0,0086	0,53	176,06	0,224
AP44	K56+317,45	K56+799,28	0,0078	0,53	176,06	0,203
ALC429	K56+384,47	K56+868,94	0,0128	0,53	176,06	0,333
ALC430	K56+431,89	K56+920,96	0,0077	0,53	176,06	0,2
ALC431	K56+540,99	K57+040,59	0,0013	0,53	176,06	0,035

5.1.5.7 Caudales mínimos

Para las cuencas más representativas del área de influencia se estimaron los caudales mínimos tal como se describe a continuación.

Con el procedimiento de regionalización de características medias, en cuencas con poca o ninguna información, se trata de relacionar características geomorfológicas, climáticas y topográficas con las características medias de los caudales extremos. Una vez conocidas estas características medias, se pueden estimar y usar distribuciones de probabilidad de valores extremos para definir caudales mínimos asociados a diferentes períodos de retorno.

Para la regionalización de los caudales mínimos en Colombia se han trabajado diferentes ecuaciones con el fin de tener unos parámetros de correlación de las características morfométricas y climatológicas que expresen una dependencia directa con los caudales de la zona de estudio. En el Atlas Hidrológico de Colombia (UNALMED- UPME, 2000] se definieron las expresiones para la regionalización de los caudales mínimos en la región Valle del Cauca.

$$\hat{\mu}_{Q\min} = 0{,}256 Q_{medio_largo_plazo}$$

$$\hat{\sigma}_{Q\min} = 0{,}111 Q_{medio_largo_plazo}$$

Donde $\hat{\mu}_{Q\min}$ es el caudal mínimo promedio diario multianual en m³/s, $\hat{\sigma}_{Q\min}$ es la desviación estándar de los caudales mínimos anuales en m³/s y $Q_{medio_largo_plazo}$ el caudal medio a largo plazo m³/s.

El caudal mínimo asociado a un período de retorno dado se puede hallar usando la ecuación de Ven Te Chow.

$$Q_{Tr} = \mu_{Min} - K_{Min}\hat{\sigma}_{Min}$$

A partir de la expresión anterior se estiman los mapas de caudales mínimos asociados a diferentes períodos de retorno para la zona de estudio. En la Tabla 5.43 se presentan los caudales mínimos para cada una de las cuencas de interés de la zona de estudio, debido a que la metodología de estimación de caudales medios que mejor se ajustó a los caudales medidos fue la de Cenicafé, solo se presentan los caudales mínimos estimados por esa metodología.

Tabla 5.43 Caudales mínimos cuencas de interés.

Caudales Mínimos [m³/s]	Período de retorno (Tr)					
	2,33	5	10	25	50	100
Río Ovejas	2,471	1,848	1,488	1,146	0,945	0,778
Río Pescador	0,197	0,148	0,119	0,091	0,075	0,062
Río El Pital	0,101	0,075	0,061	0,047	0,039	0,032
Río Mondomo	2,230	1,667	1,343	1,034	0,853	0,701

5.1.5.8 Identificación de la dinámica fluvial y posibles alteraciones de su régimen

Las intervenciones que se realizarán en los canales naturales de la zona de influencia, no desviarán el curso de los mismos, ya que solo se construirán obras de paso.

Las obras de paso como box Culvet o pontones pueden generar socavación en las márgenes, para ello en el capítulo de intervención de cauce se analizarán dichos casos.

Las obras de paso están diseñadas de tal forma que cumplan con la suficiencia hidráulica para un caudal de diseño asociado a un periodo de retorno, según las características morfológicas de la cuenca, de tal forma que no se presenten represamientos aguas arriba de la cuenca; los cálculos y diseños de estos se presentan en el capítulo de intervención de cauces.

En la construcción de una vía, aumenta el coeficiente de escorrentía del área de influencia, debido a la impermeabilización, producto del pavimento; la escorrentía proveniente de la precipitación directa en las calzadas, deberá ser conducida por cunetas y filtros desde la vía a los drenajes naturales, sin embargo, se construirán disipadores de energía para evitar la erosión causada por el aumento en los caudales de estas corrientes.

5.1.6 Calidad del agua

5.1.6.1 Cuerpos de agua continentales

Para el análisis de resultados de la calidad de las aguas que se presenta a continuación, se referenciaron características típicas de aguas crudas de zonas neotropicales y fuentes de alta montaña, datos estos extraídos de la literatura y de estudios propios de zonas similares, puesto que para este tipo de aguas no se cuenta con normas que describan o exijan un comportamiento exacto, por no ser cuerpos de agua con usos definidos o con fines de potabilización. En la Tabla 5.44 se registran los valores típicos para aguas crudas superficiales de algunos de los parámetros examinados, y sobre los cuales fue realizado el análisis de las mismas.

Los resultados del laboratorio se presentan en el Anexo 5.1.2 Resultados Lab_FQ_UF3.

Tabla 5.44 Valores típicos en aguas crudas superficiales

Parámetro fisicoquímico	Concentración en aguas crudas
Dureza cálcica (mg/l $CaCO_3$)	Concentración mínima admisible de 20 mg de CaCO3/L para mantener la vida acuática. Cuando tiene alcalinidades inferiores se vuelve muy sensible a la contaminación, ya que no posee la capacidad de oponerse a las modificaciones que generan disminuciones de pH
	<= 17 mg/l CaCO3 aguas blandas
	<= 60 mg/l CaCO3 aguas levemente duras
	<= 120 mg/l CaCO3 aguas moderadamente duras
	<= 180 mg/l CaCO3 aguas duras
	> 180 mg/l CaCO3 aguas muy duras
Cloruros (mg/l Cl^-)	200 a 300 mg/litro valor típico de aguas crudas sin contaminación perceptible
Hierro Total (mg/l Fe)	Concentraciones que varían de 0,5 a 50 mg/litro son típicas de aguas crudas de tipo superficial. Concentraciones mayores a 0,3 mg/L limitan el uso de agua sin tratamiento previo para recreación, contacto consumo
Nitritos (mg/l NO_2^-)	0.0 a 0.5 mg/l NO_2 aguas oligotróficas (aguas bien oxigenadas)
	0.5 a 5.0 mg/l NO_2 aguas mesotróficas (aguas con niveles medios de oxigeno)
	5.0 a 15.0 mg/l NO_2 aguas eutróficas (aguas con bajas concentraciones de oxigeno)
Oxígeno Disuelto (mg/l O_2)	0 mg/l O_2 aguas anoxias, indican un alto grado de contaminación y por ende presencia nula de organismos aerobios
	0 - 5 mg/l O_2 aguas hipoxias, indican un grado de contaminación medio y una tendencia a la desaparición de organismos de tipo aerobio

Parámetro fisicoquímico	Concentración en aguas crudas
	5-8 mg/l O_2 aguas aceptables, indican un grado de contaminación mínimo y unas condiciones óptimas para el desarrollo de vida en el agua
	8 - 12 mg/l O_2 aguas buenas, indican contaminación casi imperceptible y condiciones más que óptimas para el desarrollo de vida en el agua
	> 12 mg/l O_2 aguas sobresaturadas, indican aguas en óptimas condiciones para la producción fotosintética y por ende aptas para la autopurificación en caso de ingreso de carga contaminante
pH (Unidades de pH)	Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9
	pH < 5 implica materia orgánica en descomposición y cauces lentos, aguas acidas
	pH > 9 aguas alcalinas
Sulfatos (mg/l SO_4^{-2})	< 0.5 mg/L SO_4^{-2} aguas sin presencia de descargas residuales
	2.0 a 10.0 mg/L SO_4^{-2} aguas típicas sin descargas de aguas residuales, su concentración es dada por el agua lluvia o por disolución de las rocas
Sólidos disueltos (mg/l SDT)	< 10 mg/l SDT aguas oligotróficas
	10 a 200 mg/l SDT aguas mesotróficas
	> 200 mg/l aguas eutróficas
DBO_5/DQO	<0,2 poco biodegradable
	0,2 - 0,4 biodegradable
	>0,4 muy biodegradable

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA-PLYMA, 2016

En el presente estudio se calcula el Índice de Calidad de Aguas (ICA) desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (NFS)1, mediante el Software Icatest v1.0.0.44. El cual es una herramienta metodológica para la valoración de la calidad del agua de las aguas superficiales del área de influencia. Para las variables que estuvieron por debajo del límite de cuantificación se tomó como valor el límite de detección, siendo esta la condición más desfavorable para las condiciones actuales del cuerpo de agua.

El método de cálculo de este índice se fundamente en el uso de 9 parámetros que son el Oxígeno Disuelto (% saturación), Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L), Nitratos (mg/L), Fosfato (mg/L), Coliformes Fecales (NMP/100mL), pH (unidades de pH), Turbiedad (UNT), Sólidos Totales (mg/L) y Temperatura (ºC). El Índice de Calidad del Agua ICA es calculado como la multiplicación de todos los nueve parámetros elevados a un valor atribuido en función de la importancia del parámetro.

En la Tabla 5.45 se registra el color correspondiente según el rango numérico en el que se ubique el valor calculado del ICA NFS, así como la descripción del estado de la fuente de agua según el dato obtenido.

Tabla 5.45 Valores de Índice de Calidad del Agua ICAfa

Descriptores	Rango numérico	Color	Usos
Muy malo	0 - 25		Restricciones para el contacto humano y limita vida acuática
Malo	26 - 50		Restricciones para el contacto humano y limita vida acuática
Medio	51 - 70		Restricciones para el contacto humano y limita vida acuática
Bueno	71 - 90		Contacto humano, vida acuática
Excelente	91 - 100		Contacto humano, vida acuática

Fuente: Grupo de estudios en recursos hidrobiológicos continentales

5.1.6.1.1 Descripción de las estaciones de monitoreo

Para el análisis de las fuentes hídricas de la Unidad Funcional 3 se seleccionaron 20 puntos de muestreo, los cuales son susceptibles de intervención, sin embargo, 7 de estos puntos se encontraban secos al momento del monitoreo. En la Tabla 5.46 se relaciona la ubicación geográfica de cada uno de estos puntos.

1 CANTER, LARRY. Manual de evaluación de impacto ambiental; técnicas de evaluación de estudios de impacto. Madrid. Mc Graw Hill. 1998. 841 p.

Tabla 5.46 Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo ubicadas en el área de influencia del Proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3.

Código de la estación	Coordenadas (Datum Magna Sirgas Origen Oeste)		Nombre de la fuente
	E	N	
UF3_EH1	1059312	802980	Cabuyal
UF3_EH2	1059001	807809	Quebrada El Pital
UF3_EH5	1058533	800953	Quebrada del Colegio
UF3_EH6	1059122	806175	Río Ovejas
UF3_EH8	1058754	808900	Quebrada La Laja
UF3_EH9	1059997	803847	Nacimiento
UF3_EH12	1059309	812209	Quebrada Tiembla
UF3_EH13	1059466	805611	N.N
UF3EH14	1059740	805244	N.N
UF3_EH15	1058871	811574	N.N
UF3_EH18	1058427	800698	Río Pescador
UF3_EH19	1059323	805956	Río Ovejas
UF3_EH20	1058477	810930	Río Mondomo

NN: Sin Nombre

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA-PLYMA, 2016

En la Figura 5.52 se observa la localización de las estaciones de monitoreo para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

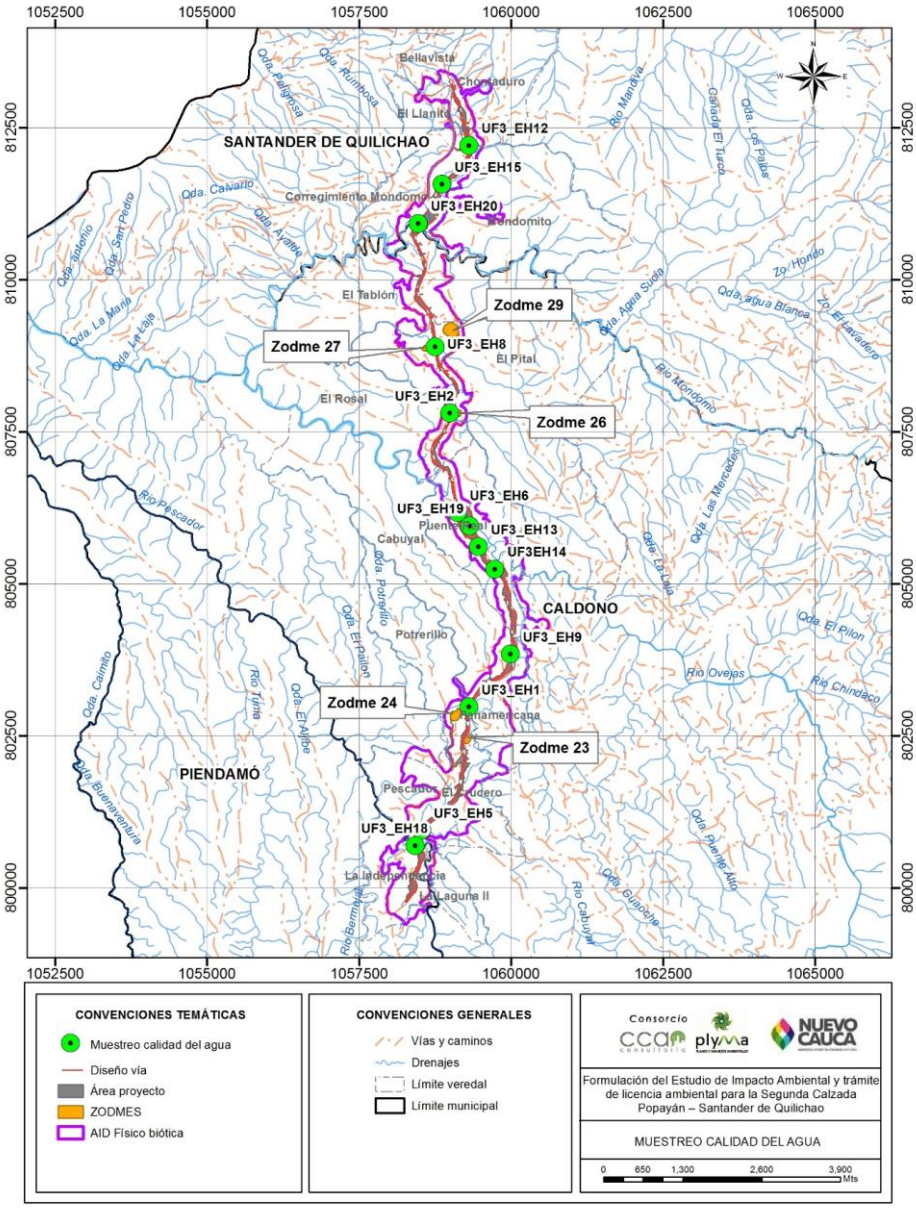


Figura 5.52 Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo evaluados para el componente fisicoquímico y microbiológico del proyecto.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA-PLYMA, 2016

C. Estación UF3EH1

Cuerpo de agua correspondiente a una quebrada con velocidad de la corriente rápida y flujo laminar; aunque presenta varias zonas de remanso, cauce curvado de aproximadamente 4,40 m de ancho, sustrato conformado por cantos rodados y arena gruesa, las cuales favorecen el establecimiento de macroinvertebrados acuáticos. Se observa sobre el espejo de agua hojarasca procedente de plantaciones de caña brava que hay alrededor del cuerpo de agua. Aguas abajo del punto de monitoreo se evidencia un box coulvert rectangular por el que atraviesa la quebrada. La vegetación de la zona aledaña se compone de cultivos de maíz y café, con pocos arbustos y árboles, se observan pastos en ambas márgenes. En el momento del monitoreo no se percibieron olores ni se observaron aceites. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.41 Estación UF3EH1
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA-PLYMA, 2016

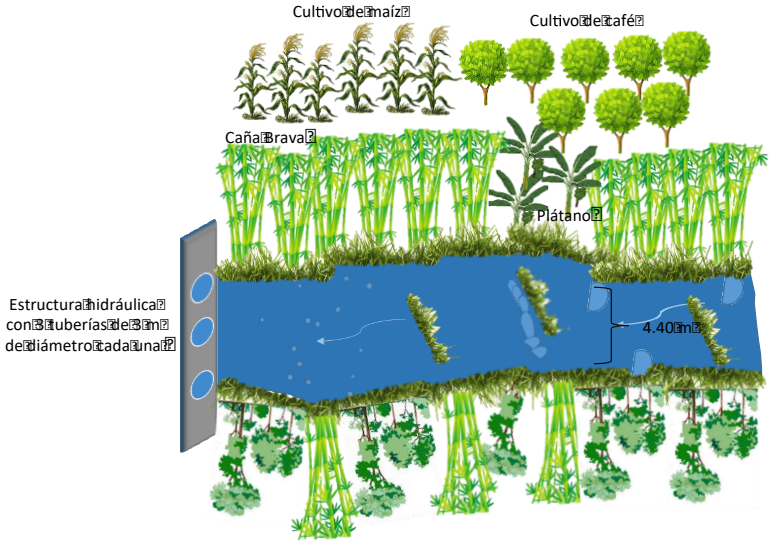


Figura 5.53 Estación UF3EH1, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

D. Estación UF3EH2 Quebrada el Rosal

Cuerpo de agua superficial pequeño cuyo cauce curvado mide 2 m aproximadamente, no se evidencia corriente ni flujo laminar, solo algunas partes de agua empozada, se evidencia acumualción de materia orgánica, residuos sólidos y biofilm de algas sobre el cauce. El sustrato está comformado principalmente por limos con algunos cantos rodados. Aguas abajo del punto de monitoreo hay una obra hidráulica (alcantarilla) en buen estado. En la margen derecha del cauce existe un cultivo pequeño de café y en la margen izquierda se observa una vivienda. Dentro de los principales impactos locales sobre el sistema hídrico se encuentran la captación del recurso. En el momento del monitoreo no se percibieron olores ni se observaron aceites, el agua estaba levemente turbia producto de material disuelto de origen vegetal. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.42 Estación UF3EH2 Quebrada el Rosal
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

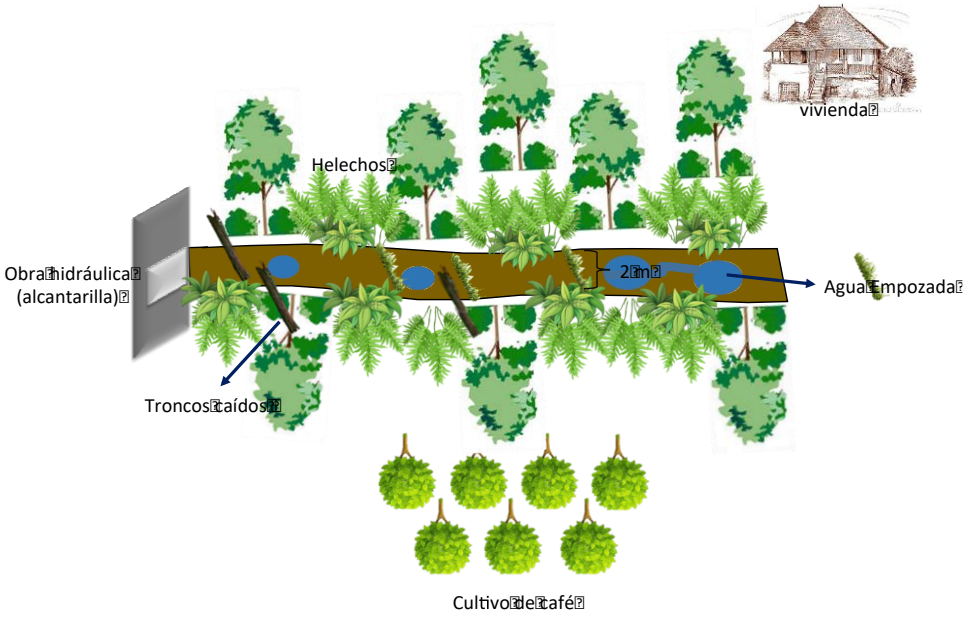


Figura 5.54 Estación UF3EH2 Quebrada El Rosal, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

E. Estación UF3EH3

Alcantarilla que se encontraba seco al momento del monitoreo. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.43 Estación UF3EH3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

F. Estación UF3EH4

Este cuerpo de agua se encontraba seco al momento del monitoreo. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.





Foto 5.44 Estación UF3EH4
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

G. Estación UF3EH5 Quebrada del Colegio

Cuerpo de agua correspondiente a una cañada con cauce curvado de 60 cm de ancho, presenta corriente suave y flujo laminar, profundidad mínima de 10 cm y máxima de 25 cm, sustrato conformado principalmente por limos, cantos rodados pequeños y arena fina, agua turbia que no presenta olores característicos. La vegetación circundante está conformada por helechos, pteridofitos, arbustos y árboles. Se evidencia acumualción de materia orgánica, residuos sólidos y biofilm de algas sobre el cauce. Dentro de los principales impactos locales sobre el sistema hídrico se encuentra el paso de personas hacia veredas aledañas, una manguera dentro cuerpo de agua y un colegio a poco metros de allí que pueden generar contaminación. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.45 Estación UF3EH5 Quebrada del Colegio
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

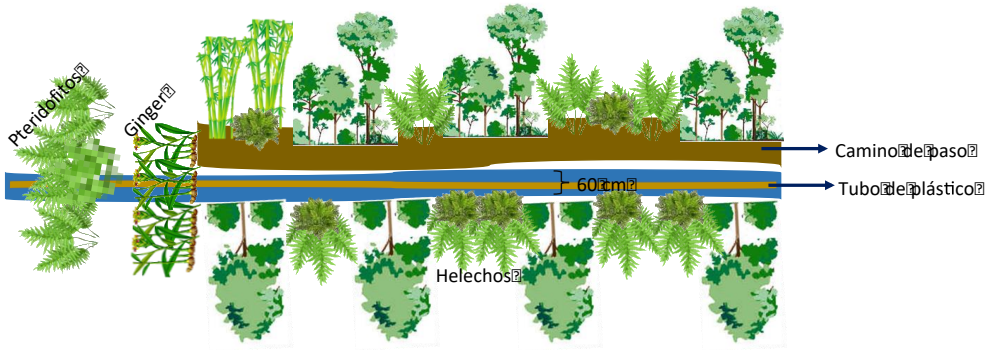


Figura 5.55 Estación UF3EH5 Quebrada del Colegio, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 201

H. Estación UF3EH6 Río Ovejas

Cuerpo de agua superficial lótico, con corriente muy rápida, cauce curvado de 18,20 m de ancho y una profundidad mínima de 30 cm y 2,5 m de ancho. El lecho río esta conformado por rocas, cantos rodados y arena gruesa. Aguas arriba del punto de monitoreo se observan rocas de gran tamaño. El grado de perturbación en la vegetación es bajo, y esta se encuentra conformada por guaduas, caña brava, árboles, arbustos y herbáceas y un cultivo de café, el área circundante corresponde a un bosque de galería. Dentro de los principales impactos locales sobre el sistema hídrico se encuentra el paso peatonal sobe un puente de madera. En el momento del monitoreo no se percibieron

olores ni se observaron aceites. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.46 Estación UF3EH6 Río Ovejas
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

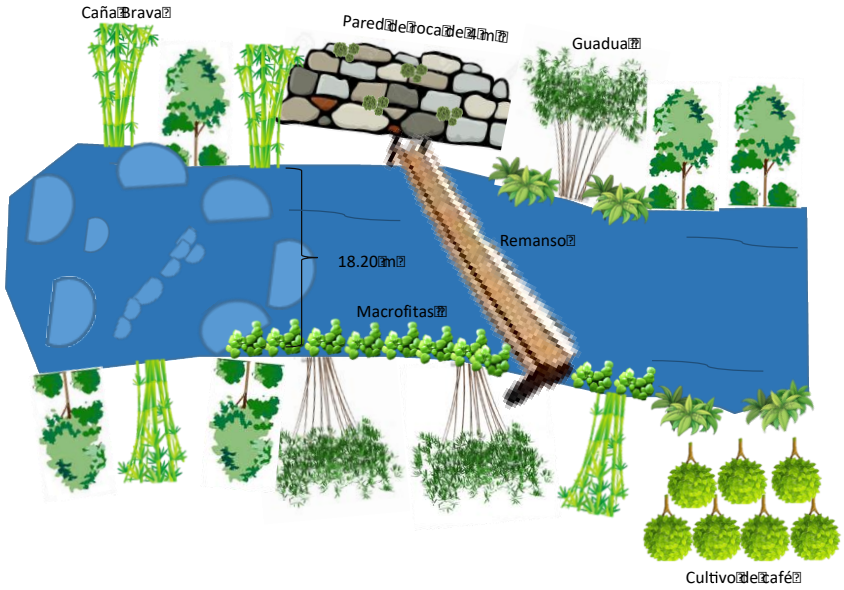


Figura 5.56 Estación UF3EH6 Río Ovejas, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

I. Estación UF3EH7

El cuerpo de agua se encontraba seco al momento del monitoreo. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.47 Estación UF3EH7
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

J. Estación UF3EH8 Quebrada las Lajas

Quebrada con cauce curvado de aproximadamente 8 m de ancho, con velocidad de la corriente lenta, sustrato conformado por rocas con presencia de cantos rodados y arena gruesa. Las riberas presentan una pendiente moderada con algunos signos de erosión, y, escarpa a la derecha en dirección de la corriente, con unas formaciones rocosas que le brindan estabilidad a la ribera. El agua es color café verdosa y con un evidente olor a descomposición, cuerpo de agua rodeado de viviendas con presencia de residuos sólidos y desechos de construcción. Dentro de los principales impactos locales sobre el sistema hídrico se encuentra una tubería de 2 pulgadas para la captación del recurso. Aguas abajo del punto de monitoreo se encuentra una alcantarilla que atraviesa la vía principal. La vegetación que se halla en el lugar, está formada por árboles, herbáceas, pastos y macrófitas. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.48 Estación UF3EH8 Quebrada las Lajas
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

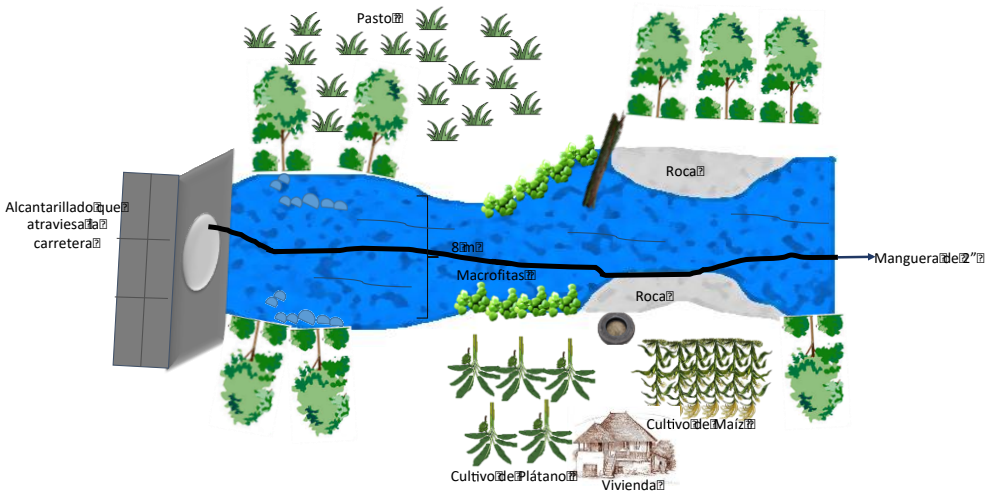


Figura 5.57 Estación UF3EH8 Quebrada Las Lajas, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

K. Estación UF3EH9 Nacimiento

Nacimiento de agua cuyo cauce mide 1 m de ancho, con aposamientos hechos antrópicamente, 5 pozos de diámetro pequeño de donde captan agua para algunas viviendas del sector con dos mangueras de 1,5 pulgadas sumergidas en los pozos. Las muestras fueron tomadas del primer y segundo pozo debido a que allí se evidencia que se toma el agua con las dos mangueras. La profundidad de estos no sobrepasa los 20 cm y se encuentran cubiertos por una película de algas, el sustrato está conformado principalmente por limos y arena fina. Aguas abajo del punto de monitoreo se evidencia una estructura hidráulica abandonada y destruida. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.49 Estación UF3EH9 Nacimiento
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

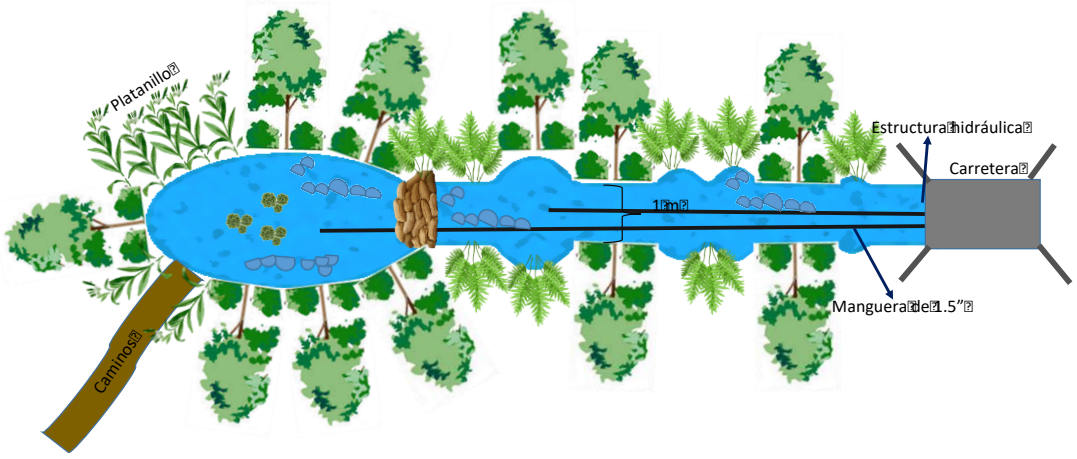


Figura 5.58 Estación UF3EH9 Nacimiento, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

L. Estación UF3EH10

El cuerpo de agua se encontraba seco al momento del monitoreo. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.50 Estación UF3EH10
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

M. Estación UF3EH11

El cuerpo de agua se encontraba seco al momento del monitoreo. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.51 Estación UF3EH11
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

N. Estación UF3EH12 Quebrada Llanito

Cuerpo de agua correspondiente a una quebrada, con velocidad de la corriente lenta, cauce curvado de 4 m de ancho, sustrato conformado por arena gruesa y arcilla sin olor ni coloración característico. Vegetación circundante de tipo arbustiva en un 40%, arbórea 30% y herbácea en un 30%, se evidencia gran cantidad de guaduas alrededor de la ribera del sistema hídrico. Aguas abajo del punto de monitoreo se observa perturbación del

lecho y el talud de la ribera, remoción del suelo lo cual genera aumento de la profundidad. Zonas aledañas dedicadas a la ganadería y al cultivo de maíz. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.52 Estación UF3EH12 Quebrada Llanito
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

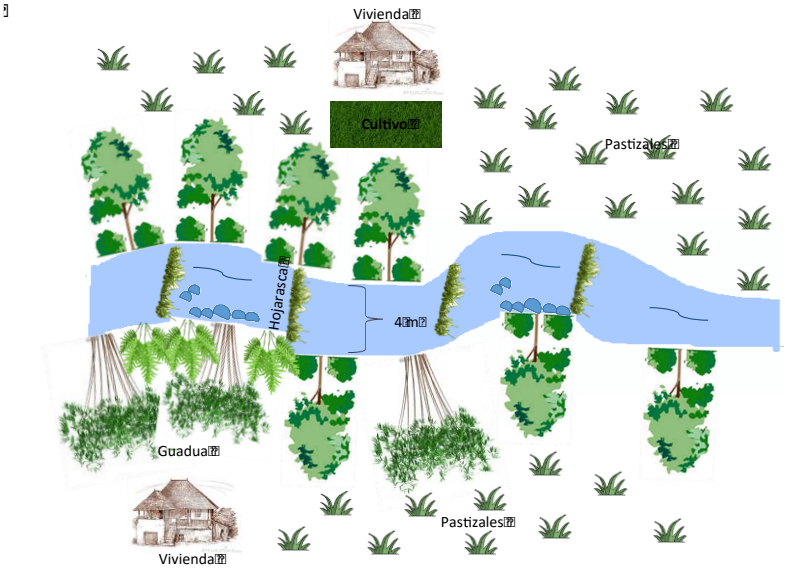


Foto 5.53 Estación UF3EH12 Quebrada Llanito, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

O. Estación UF3EH13

Cuerpo de agua con velocidad de la corriente lenta de poca profundidad, cauce recto de 50 cm de ancho aproximadamente, sustrato formado por cantos rodados con algunas rocas, se evidencia abundante materia orgánica sobre el cauce. Vegetación circundante conformada por árboles, arbustos, guaduas y alguna caña brava. Las zonas aledañas dedicadas a la agricultura. Las riberas son de pendientes planas con márgenes erosionadas, no existen medidas de protección de las riberas y hacia la parte superior del tramo. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.54 Estación UF3EH13
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

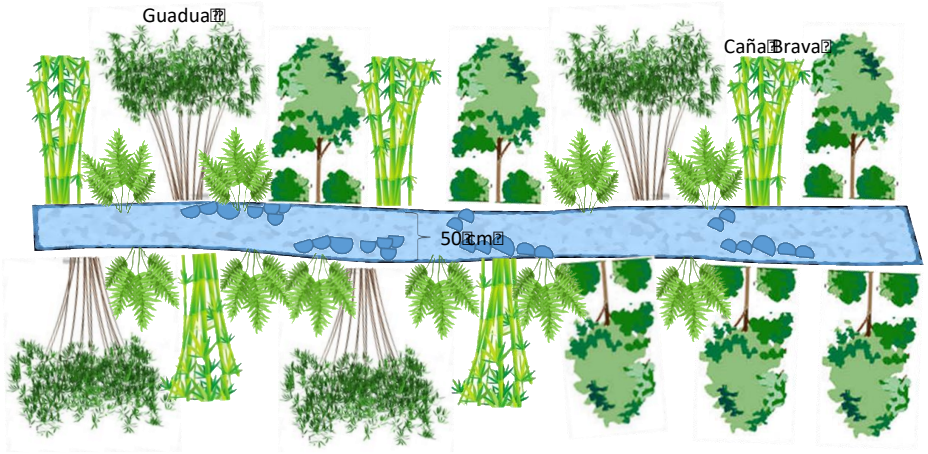


Figura 5.59 Estación UF3EH13, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

P. Estación UF3EH14

Cañada con cauce curvado de 70 cm de ancho, sin evidencia de corriente ni flujo laminar, presenta poca profundidad de aproximadamente 20 cm, en la parte alta del cuerpo de agua hay una caída de agua a través de una roca, la cual al caer se empoza creando una pequeña laguna, siguiendo su curso por un lado del cauce. Se evidencia bastante hojarasca en el espejo de agua, debido a la vegetación circundante compuesta principalmente por árboles, arbustos y caña brava, se genera sombra impidiendo la penetación de los rayos solares. Aguas abajo del punto de monitoreo se observan residuos sólidos y una vivienda, la cual capta el agua de esta cañada. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.55 Estación UF3EH14
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

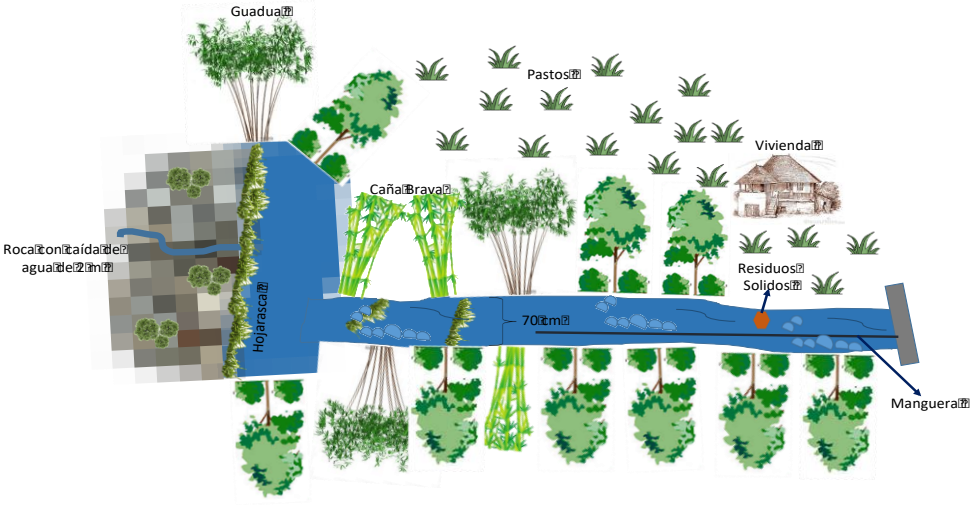


Figura 5.60 Estación UF3EH14, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Q. Estación UF3EH15 Cañería Mondomo

Cuerpo de agua correspondiente a una cañería de aguas negras del corregimiento de Mondomo, presenta cauce recto con una profundidad de 50 cm, velocidad de la corriente lenta, sustrato en cemento, se evidencia un fuerte olor a materia orgánica en descomposición, agua de color grisacéa. Vegetación circundante conformada por herbáceas y arbustos; las áreas aledañas corresponden a zonas de pastoreo en las dos márgenes de sistema hídrico. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.56 Estación UF3EH15 Cañería Mondomo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

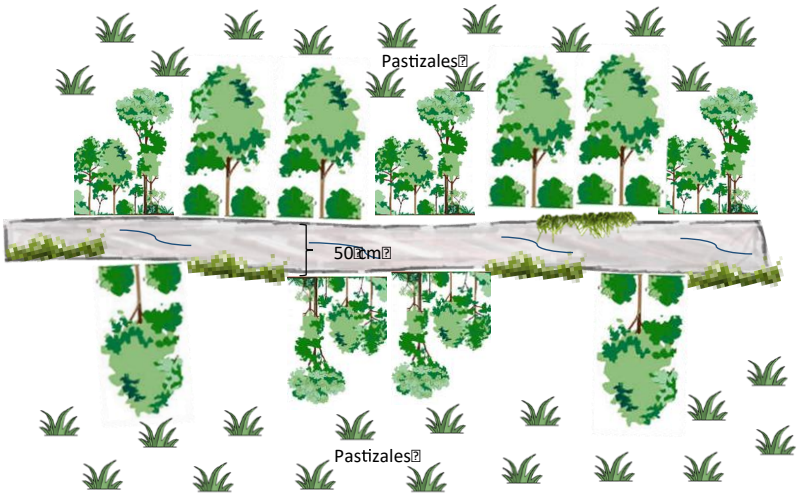


Figura 5.61 Estación UF3EH15 Cañería Mondomo, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

R. Estación UF3EH16

El cuerpo de agua se encontraba seco al momento del monitoreo. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.57 Estación UF3EH16
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

S. Estación UF3EH17

El cuerpo de agua se encontraba seco al momento del monitoreo. A continuación, se presenta características fotográficas la estación.



Foto 5.58 Estación UF3EH17
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

T. Estación UF3EH18 Río Pescador

Cuerpo de agua correspondiente al río pescador, su cauce curvado mide alrededor de 5,40 m de ancho con un sustrato en el cual predominan las rocas de aproximadamente diez centímetros de diámetro, presencia de cantos rodados a lo largo de todo el tramo de muestreo con briofitos adheridos, no hay restricciones para el paso de los peces. Las formas predominantes del lecho son las corrientes y las pozas de aproximadamente 70 cm de profundidad máxima. Las riberas presentan una pendiente moderada, sin embargo, en la margen izquierda se presenta una pared de roca de aproximadamente 3 m de alto. El agua es clara y no tiene evidencia de aceites u olores extraños. Vegetación circundante compuesta principalmente por arbustos, helechos, palmas, que caen sobre el cauce del río, generando un 80% de sombra.

Dentro de los principales impactos locales sobre el sistema hídrico se encuentran la captación del recurso a través de una motobomba. Aguas arriba del punto de monitoreo se realiza tambien captación de agua para abastecer lagunas para la cría de peces. Los pobladores reportan la muerte de peces constantemente generando malos olores, sumado a este se hace vertimiento por escorrentía del lavado del afrecho de la yuca. A continuación, se presenta características fotográficas de la estación.



Foto 5.59 Estación UF3EH18 Río Pescador
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

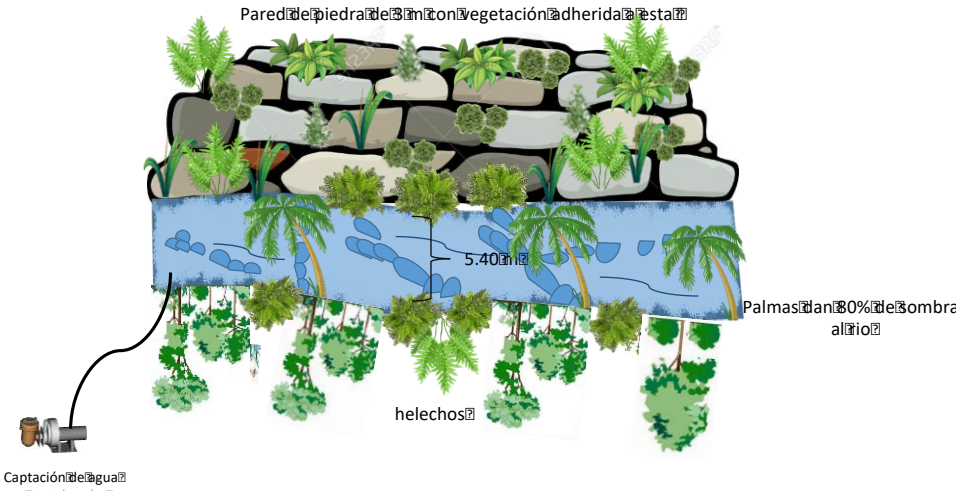


Figura 5.62 Estación UF3EH18 Río Pescador, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

U. Estación UF3EH19 Río Ovejas

Cuerpo de agua correspondiente al Río ovejas, el cual pertenece a la Cuenca Hidrográfica del alto Río Cauca y a la subcuenca que lleva su mismo nombre, siendo este la principal fuente hídrica del municipio de Caldono. Presenta un cauce curvado con velocidad de la corriente rápida, el sustrato está conformado por rocas con presencia de cantos rodados. La vegetación aledaña está conformada por árboles y arbustos. Hay que tener en cuenta que El río Ovejas recoge las aguas de los ríos Mondomo, Pescador, Cabuyal. Guaicoche,

Chindaco, Salado y Quichaya, desembocando finalmente en el río Cauca. En general, la subcuenca del río Ovejas ofrece un paisaje de deforestación, erosión, deslizamientos, derrumbes, hundimientos; sobreviviendo un bosque de galería a lado y lado del río. A continuación, se presenta características fotográficas de la estación.



Foto 5.60 Estación UF3EH19 Río Ovejas
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

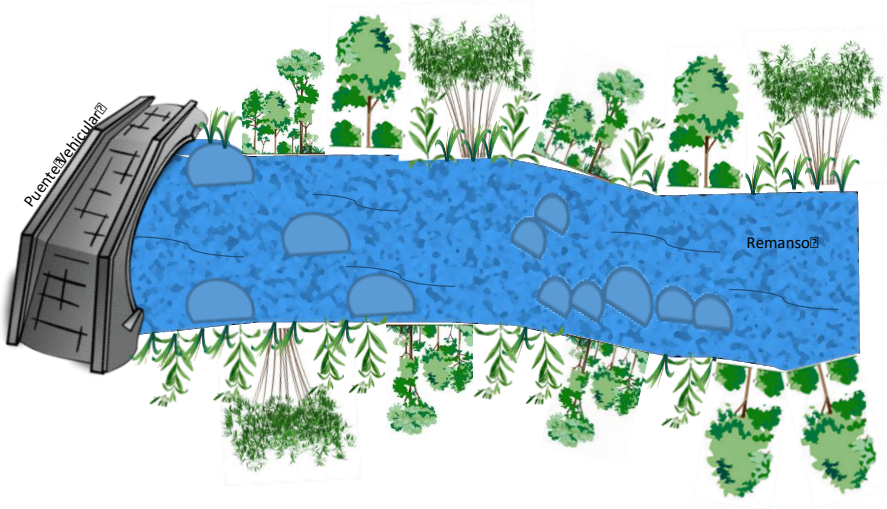


Figura 5.63 Estación UF3EH19 Río Ovejas, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

V. Estación UF3EH20 Río Mondomo

Cuerpo de agua correspondiente al Río Mondomo, el cual pertenece a la Cuenca Hidrográfica del alto Río Cauca y a la subcuenca que lleva su mismo nombre, esta

subcuenca está ubicada al norte del municipio en límites con Santander de Quilichao, su drenaje es de tipo dentritico, es la segunda en importancia en cuanto a área y caudal. El río Mondomo nace en las estribaciones de la cordillera central a 3.000 m.s.n.m, la sub cuenca presenta pendientes entre el 50% y el 100%, su área de drenaje es de 25416 has. Presenta un cauce curvado con velocidad de la corriente rápida, el sustrato está conformado por cantos rodados con algunas rocas y arena gruesa. El agua es turbia, es evidente el olor a materia orgánica en descomposición ya que se realizan vertimiento de aguas negras provenientes de las veredas aledañas. La vegetación aledaña conformada por árboles y arbustos y guadua en gran cantidad. En general, la subcuenca del río Ovejas ofrece un paisaje de deforestación, erosión, deslizamientos, derrumbes, hundimientos; sobreviviendo un bosque de galería a lado y lado del río. A continuación, se presenta características fotográficas de la estación.



Foto 5.61 Estación UF3EH20 Río Mondomo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

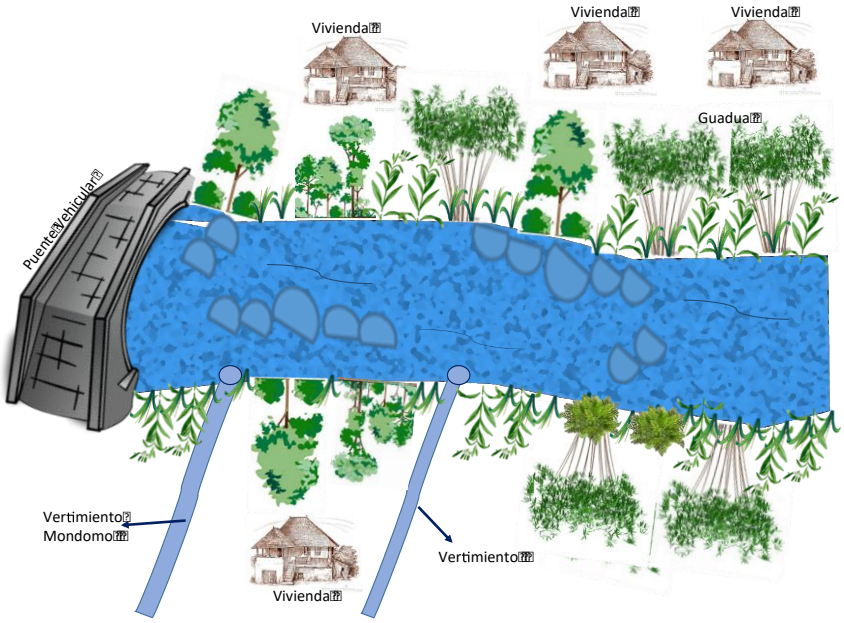


Figura 5.64 Estación UF3EH20 Río Mondomo, esquema del sitio de muestreo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.6.1.2 Calidad del agua en el área de influencia

El tipo de muestreo realizado a las aguas superficiales del área de influencia de la Unidad Funcional Nº 3 - Vía Popayán Santander Quilichao en el tramo Pescador – Mondomo, fue realizado de forma integral en la sección transversal de cada uno de los cuerpos de agua. Los resultados de las variables fisicoquímicas. Estos resultados se compararon con lo establecido en el decreto 1594 de 1984 teniendo en cuenta el uso que se le da actualmente a estos cuerpos de agua: Artículo 38 criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico; Artículo 40 criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola; Articulo 41 criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario y Artículo 45 criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces frías.

En términos generales, los resultados del presente monitoreo fisicoquímico y microbiológico dan una base sobre el estado actual de la calidad del agua de los sistemas hídricos que estan ubicados en el área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3, esto será un punto de partida fundamental para conocer la calidad del agua en la zona y de esta forma poder darle trazabilidad a las

condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de estos cuerpos de agua antes, durante y después de la ejecución del proyecto. De los parámetros analizados, la mayoría de los valores cumplen con lo establecido en los artículos 38, 40, 41 y 45 del decreto 1594 de 1984, a excepción de coliformes totales, grasa y aceites que no cumplen con el artículo 38 y artículo 45.

W. Descripción de los parámetros fisicoquímicos evaluados in situ

La Temperatura del agua está determinada por la cantidad de energía calórica que es absorbida por el cuerpo de agua y juega un papel fundamental en todos los procesos biológicos. Esta variable depende de la profundidad, hora de toma de la muestra y el tipo de sustrato. Regula propiedades químicas y físicas de factores abióticos como el pH, la densidad y la solubilidad de los gases, la turbidez y el color, estas dos últimas están ligadas de manera indirecta de forma paralela, también está involucrada en procesos vitales para los organismos vivos, pues influye en la cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua, la velocidad de fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas, la velocidad metabólica de los organismos, la sensibilidad de organismos a desechos tóxicos, parásitos y enfermedades y épocas de reproducción, migración y estivación de organismos acuáticos. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales y la velocidad de las reacciones del metabolismo acelerando la putrefacción.

Tabla 5.47 Análisis fisicoquímicos in situ y ex situ de las estaciones de muestreo del área de influencia directa del Proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao Unidad Funcional 3

ENSAYO	UNIDADES	ESTACIONES – UF3							Decreto 1594 del 1984			
		UF3EH1	UF3EH2 – Q. El rosal	UF3EH5 – Q. del Colegio	UF3EH6 - Río Ovejas	UF3EH8 – Q. Las Lajas	UF3EH9 – Nacimiento	UF3EH12 – Q. Llanito	Art. 38	Art. 40	Art. 41	Art. 45
ANÁLISIS IN SITU												
Temperatura del agua	ºC	19,1	21.3	21,2	18,2	22,5	19,5	21,3	NR	NR	NR	NR
pH	UNIDADES	7,68	7,59	7,71	7,62	7,53	7,6	7,94	5.00 a 9.00	4.5 a 9.0	NR	5.5 a 9.0
Conductividad eléctrica	µS/cm	60	100	90	90	80	30	110	NR	NR	NR	NR
Sólidos disueltos	mg/L	110	50	40	50	40	30	50	NR	NR	NR	NR
Oxígeno disuelto	mg/L	6,07	7,59	3,62	6,88	7,53	2,08	4,46	NR	NR	NR	NR
ANÁLISIS DE LABORATORIO												
Acidez Total	mg $CaCO_3$/L	<2,54	<2,54	<2,54	<2,54	<2,54	<2,54	<2,54	NR	NR	NR	NR
Alcalinidad Total	mg $CaCO_3$/L	36,5	37,6	30,1	32,2	34,4	9,67	48,4	NR	NR	NR	NR
Arsénico Disuelto	mg As/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,1	0,2	0,1
Bario Total	mg Ba/L	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	1,0	NR	NR	0,1

ENSAYO	UNIDADES	ESTACIONES – UF3							Decreto 1594 del 1984			
		UF3EH1	UF3EH2 – Q. El rosal	UF3EH5 – Q. del Colegio	UF3EH6 - Río Ovejas	UF3EH8 – Q. Las Lajas	UF3EH9 – Nacimiento	UF3EH12 – Q. Llanito	Art. 38	Art. 40	Art. 41	Art. 45
Cadmio Total	mg Cd/L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,01	0,01	0,05	0,01
Cobre Total	mg Cu/L	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	1,0	0,2	0,5	0,1
Color	UPC	19,6	21,8	23,9	13,2	44	7,45	33,3	75	NR	NR	NR
Coliformes Totales	NPM/100ML	17329	>24196	>24196	>24196	>24196	>24196	>24196	200	NR	NR	NR
Cromo Total	mgCr/L	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	0,05	NR	1,0	NR
DBO_5	mg/L	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	NR	NR	NR	NR
DQO	mg/L	<5,00	21,5	8,43	32,9	20,5	<5,00	8,75	NR	NR	NR	NR
Dureza cálcica	mg CaCO3/L	13,9	21,3	13,3	22,9	14,9	<4,39	19,2	NR	NR	NR	NR
Dureza Total	mg CaCO3/L	25,6	28,9	22,5	29,8	26,6	6,42	38,4	NR	NR	NR	NR
E.Coli	NMP/100ml	171	1483	7556	3076	512	369	327	NR	NR	NR	NR
Fenoles Totales	mg Fenol/L	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	0,318	<0,100	<0,100	0,002	NR	NR	1,0
Fósforo Total	mg P/L	0,17	0,379	<0,070	0,757	2,07	<0,070	1,51	NR	NR	NR	NR
Grasas y aceites	mg/L	4,89	2,18	3,86	5,23	6,62	6,16	4,91	NR	NR	NR	0,01
Mercurio Total	mg Hg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	NR	0,01	0,01
Niquel Total	mg Ni/L	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	NR	0,2	NR	0,01
Nitrógeno Total	mg N/L	<3,04	<3,04	<3,04	<3,04	<3,04	<3,04	<3,04	NR	NR	NR	NR
Plata Total	mg Ag/L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	NR	NR	0,01
Plomo Total	mg Pb/L	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	0,05	5,0	0,1	0,01
Selenio Total	mg Se/L	<0,005	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,01	0,02	NR	0,01
Sólidos sedimentables	mL/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	NR	NR	NR	NR
Sólidos suspendidos totales	mg/L	<10,0	20,5	<10,0	15,5	13	22	<10,0	NR	NR	NR	NR
Turbidez	NTU	2,81	14,5	16,8	2,31	11,9	28,5	6,27	NR	NR	NR	NR
Zinc Total	mg Zn/L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	NR	NR	NR	NR

NR: No reporta

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Tabla 5.48 Análisis fisicoquímicos in situ y ex situ de las estaciones de muestreo del área de influencia directa del Proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao Unidad Funcional 3

ENSAYO	UNIDADES	ESTACIONES – UF3						Decreto 1594 del 1984			
		UF3EH13	UF3EH14	UF3EH15 – Cañería Mondomo	UF3EH18 - Río Pescador	UF3EH19 - Río Ovejas	UF3EH20 - Río Mondomo	Art. 38	Art. 40	Art. 41	Art. 45
ANÁLISIS IN SITU											
Temperatura del agua	ºC	**21,2**	**21,7**	**22,1**	**20,7**	**21,3**	**22,4**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**
pH	UNIDADES	**7,08**	**7,44**	**7,23**	**7,86**	**7,38**	**7,62**	**5.00 a 9.00**	**4.5 a 9.0**	**NR**	**5.5 a 9.0**
Conductividad eléctrica	µS/cm	**90**	**80**	**380**	**140**	**90**	**90**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**
Sólidos disueltos	mg/L	**40**	**30**	**190**	**110**	**50**	**50**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**
Oxígeno disuelto	mg/L	**5,44**	**4,33**	**6,39**	**4**	**6,89**	**5,74**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**
ANÁLISIS DE LABORATORIO											
Acidez Total	mg $CaCO_3$/L	**<2,54**	**<2,54**	**<2,54**	**<2,54**	**<2,54**	**<2,54**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**
Alcalinidad Total	mg $CaCO_3$/L	**38,7**	**24,7**	**133**	**36,5**	**32,2**	**35,5**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**
Arsénico Disuelto	mg As/L	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**<0,010**	**0,05**	**0,1**	**0,2**	**0,1**

ENSAYO	UNIDADES	ESTACIONES – UF3						Decreto 1594 del 1984			
		UF3EH13	UF3EH14	UF3EH15 – Cañería Mondomo	UF3EH18 - Río Pescador	UF3EH19 - Río Ovejas	UF3EH20 - Río Mondomo	Art. 38	Art. 40	Art. 41	Art. 45
Bario Total	mg Ba/L	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	<0,500	1,0	NR	NR	0,1
Cadmio Total	mg Cd/L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,01	0,01	0,05	0,01
Cobre Total	mg Cu/L	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	1,0	0,2	0,5	0,1
Color	UPC	17,5	37,6	69,1	21,1	11	13,2	75	NR	NR	NR
Coliformes Totales	NPM/100ML	24196	>24196	24196	15531	>24196	>24196	200	NR	NR	NR
Cromo Total	mgCr/L	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	0,05	NR	1,0	NR
DBO_5	mg/L	<5,00	<5,00	12,5	<5,00	<5,00	<5,00	NR	NR	NR	NR
DQO	mg/L	10,4	9,73	76	17,9	7,77	25,4	NR	NR	NR	NR
Dureza cálcica	mg CaCO3/L	17,1	8,53	25,6	10,7	20,2	19,2	NR	NR	NR	NR
Dureza Total	mg CaCO3/L	25,7	12,8	55,6	27,7	28,8	32,1	NR	NR	NR	NR
E.Coli	NMP/100ml	759	2613	>24196	145	1334	3255	NR	NR	NR	NR

ENSAYO	UNIDADES	ESTACIONES – UF3						Decreto 1594 del 1984			
		UF3EH13	UF3EH14	UF3EH15 – Cañería Mondomo	UF3EH18 - Río Pescador	UF3EH19 - Río Ovejas	UF3EH20 - Río Mondomo	Art. 38	Art. 40	Art. 41	Art. 45
Fenoles Totales	mg Fenol/L	**<0,100**	**0,101**	**<0,100**	**<0,100**	**<0,100**	**0,341**	**0,002**	**NR**	**NR**	**1,0**
Fósforo Total	mg P/L	**0,17**	**<0,070**	**2,7**	**0,217**	**<0,070**	**1,65**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**
Grasas y aceites	mg/L	**6,46**	**9,4**	**10,7**	**5,98**	**4,61**	**4,79**	**NR**	**NR**	**NR**	**0,01**
Mercurio Total	mg Hg/L	**<0,002**	**<0,002**	**<0,002**	**<0,002**	**<0,002**	**<0,002**	**0,002**	**NR**	**0,01**	**0,01**
Niquel Total	mg Ni/L	**<0,200**	**<0,200**	**<0,200**	**<0,200**	**<0,200**	**<0,200**	**NR**	**0,2**	**NR**	**0,01**
Nitrógeno Total	mg N/L	**<3,04**	**<3,04**	**<3,04**	**<3,04**	**<3,04**	**<3,04**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**
Plata Total	mg Ag/L	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**0,05**	**NR**	**NR**	**0,01**
Plomo Total	mg Pb/L	**<0,500**	**<0,500**	**<0,500**	**<0,500**	**<0,500**	**<0,500**	**0,05**	**5,0**	**0,1**	**0,01**
Selenio Total	mg Se/L	**<0,005**	**<0,005**	**<0,005**	**<0,005**	**<0,005**	**<0,005**	**0,01**	**0,02**	**NR**	**0,01**
Sólidos sedimentables	mL/L	**0,5**	**0,2**	**<0,1**	**<0,1**	**<0,1**	**<0,1**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**
Sólidos suspendidos totales	mg/L	**34**	**15,7**	**75,5**	**<10,0**	**11,3**	**19,5**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**

ENSAYO	UNIDADES	ESTACIONES – UF3						Decreto 1594 del 1984			
		UF3EH13	UF3EH14	UF3EH15 – Cañería Mondomo	UF3EH18 - Río Pescador	UF3EH19 - Río Ovejas	UF3EH20 - Río Mondomo	Art. 38	Art. 40	Art. 41	Art. 45
Turbidez	NTU	**8,16**	**2,01**	**32,7**	**5,35**	**7,95**	**5,9**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**
Zinc Total	mg Zn/L	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**<0,050**	**NR**	**NR**	**NR**	**NR**

NR: No reporta

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

En la Figura 5.65 se observan las temperaturas que se registran en las estaciones de monitoreo, encontrándose en un rango entre 18,2 – 22,5ºC, una escala normal que se ajusta a las condiciones de la zona de estudio, donde el mayor valor corresponde a la estación de muestreo UF3EH8 - Q. Las Lajas y la de menor temperatura corresponde a la estación de muestreo UF3EH6 - Río Ovejas.

De acuerdo a los resultados obtenidos para esta variable se define que esta escala de variación es propicia para el desarrollo de microorganismos mesófilos y para una disolución de oxígeno aceptable, condiciones que permiten el desarrollo apropiado de los procesos biológicos en cuerpos de agua como los monitoreados.

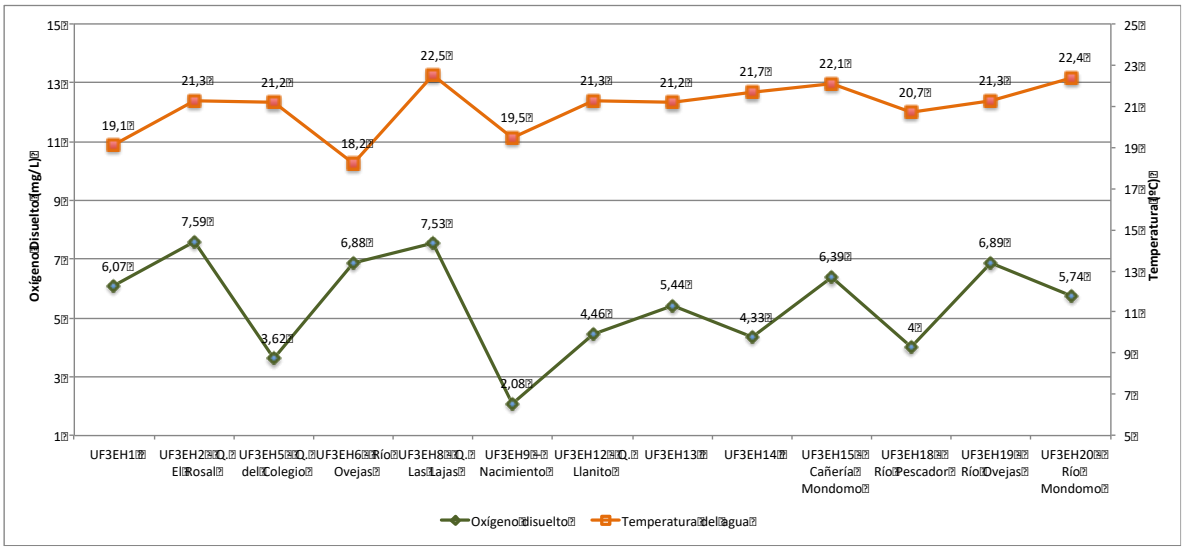


Figura 5.65 Variación de la Temperatura y el Oxígeno Disuelto en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Respecto al oxígeno disuelto (OD), los niveles reportados para las estaciones monitoreadas oscilan entre 2,08 – 7,59 mgO_2/L (ver Figura 5.65); encontrando el menor valor para la estación UF3EH9 – Nacimiento, mientras que el mayor valor se presentó en la estación UF3EH2 - Q. El Rosal; estos valores permiten la sobrevivencia de las diferentes comunidades hidrobiológicas, dado que la mayoría de ellas alcanzan a resistir concentraciones de hasta 3,0 mgO_2/L2, sin embargo, se excluye la estación UF3EH9 –

2 OROZCO. OROZCO A, Bioingeniería de aguas residuales, teoría y diseño. Editorial Acodal. 569 p

Nacimiento, donde su valor es inferior a este, el oxígeno disuelto reportado para esta estación es bajo, debido a la falta de un mecanismo más rápido de aporte de oxígeno que la propia difusión del gas en el agua, que es demasiado lenta en comparación con una corriente de agua que está en constante movimiento. El oxígeno disuelto es un indicador del nivel de contaminación del agua, por lo tanto, se puede decir, que las estaciones UF3EH5 - Q. del Colegio, UF3EH12 - Q. Llanito, UF3EH14 y UF3EH18 - Río Pescador al reportar valores inferiores a 5 mg/l O_2 presentan un grado de contaminación medio y una tendencia a la desaparición de organismos de tipo aerobio. Mientras que las estaciones UF3EH1, UF3EH2 - Q. El Rosal, UF3EH6 - Río Ovejas, UF3EH8 - Q. Las Lajas, UF3EH13, UF3EH15 - Cañería Mondomo, UF3EH19 - Río Ovejas y UF3EH20 - Río Mondomo presentaron concentraciones de oxígeno disuelto mayores a 5 mg/l y menores a 8 mg/l lo que indica que tienen un grado de contaminación mínimo y unas condiciones óptimas para el desarrollo de vida en el agua

El pH de un agua se debe al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos. Respecto a lo primero, la secuencia de equilibrios de disolución de CO_2 en un agua, y la subsiguiente disolución de carbonatos en insolubilización de bicarbonatos, alteran drásticamente el pH de cualquier agua. Así mismo, la actividad fotosintética reduce el contenido de CO_2 mientras que la respiración de los organismos heterótrofos produce dióxido de carbono causando un efecto contrario con respecto al pH del medio acuático. Por otro lado, el aporte de ácidos que naturalmente pueden acceder a un medio hídrico lo podría acidificar. El pH de las diferentes estaciones monitoreadas se encuentran en un intervalo de 7,08 – 7,94 (ver Figura 5.66), lo que indica que se encuentran dentro de un rango normal, viéndose ligeramente más neutra en la estación UF3EH13; cumpliendo con el rango establecido en la Decreto 1594/84. Hay que tener en cuenta que, por lo general, las aguas naturales no contaminadas exhiben un pH en el rango de 5 a 9 unidades, sin embargo, en cuerpos de agua muy lentos, con alta retención hidráulica y con abundante presencia de materia orgánica en descomposición, los valores de pH pueden llegar hasta 4,5

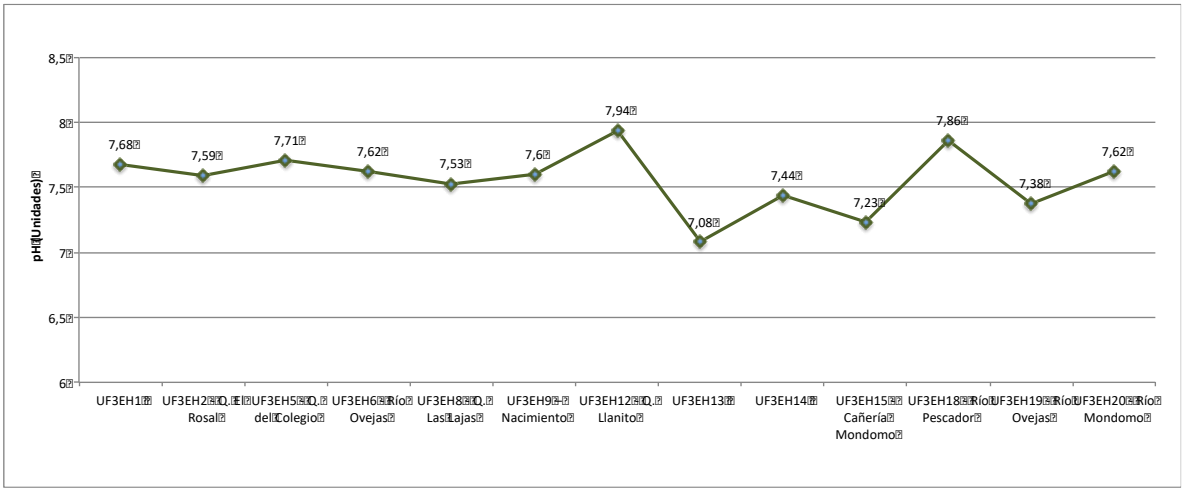


Figura 5.66 Variación de pH de las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

La medida de la conductividad de un cuerpo de agua es uno de los parámetros más importantes en limnología, debido a ella se puede conocer mucho acerca del metabolismo de un ecosistema acuático. La conductividad permite determinar la capacidad del agua para transmitir corriente eléctrica, condición asociada al contenido de sales disueltas y al grado de mineralización que posee el recurso hídrico3, además está mediatizada por el terreno que atraviesa y por la posibilidad de disolución de rocas y materiales, el tipo de sales presentes, el tiempo de disolución, temperatura, gases disueltos, pH y toda la serie de factores que pueden afectar la solubilidad de un soluto en agua. La conductividad sirve para medir la cantidad de iones, y por lo tanto se correlaciona con los sólidos disueltos. Los sólidos disueltos constituyen los iones solubles en el agua, cuyos principales cationes y aniones son: Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonatos4

De acuerdo con lo anterior, en la Figura 5.66 se puede observar que la concentración de sólidos disueltos fue mayor para la estación UF3EH15 - Cañería Mondomo (190 mg/l), lo cual se pudo dar por la gran cantidad de materia orgánica disuelta proveniente de los vertimientos realizados a este cuerpo de agua. Esta condición incide directamente en la conductividad, ya que hay menos movimiento de las partículas, razón por la cual la

3 RODIER J, LEGUBE B, MERLET N. Análisis del agua. Barcelona: Ed. Omega: 2010, 1539 pp.
4 Ramírez González G., Alberto Ramírez González, Gerardo Viña Vizcaíno. 2009. Limnología Colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. ISBN 958902906X, 9789589029060. 293 PAG.

conductividad también fue mayor para esta estación (380 µS/cm). Para las demás estaciones monitoreadas los valores de conductividad registrados oscilan entre 30 – 140 µS/cm y los sólidos disueltos entre 40 – 110 mg/L (ver Figura 5.67). La medida de la conductividad permite evaluar de manera aproximada la mineralización global del agua, en la Tabla 5.49 se muestra la clasificación de las aguas en términos de conductividad propuesta por RODIER (1998); según los resultados reportados en las aguas monitoreadas, las estaciones UF3EH1, UF3EH5 - Q. del Colegio, UF3EH6 - Río Ovejas

UF3EH8 - Q. Las Lajas, UF3EH9 – Nacimiento, UF3EH13, UF3EH14, UF3EH19 - Río Ovejas y UF3EH20 - Río Mondomo presentan un grado de mineralización muy débil, mientras que las estaciones UF3EH2 - Q. El Rosal, UF3EH12 - Q. Llanito y UF3EH18 - Río Pescador presentan un grado de mineralización débil; finalmente la estación UF3EH15 - Cañería Mondomo presenta un grado de mineralización medio.

Tabla 5.49 Clasificación de las aguas en términos de conductividad.

CONDUCTIVIDAD	GRADO DE MINERALIZACION
< 100 uS/cm	Muy Débil
100 < 200 uS/cm	Débil
200 < 333 uS/cm	Media acentuada
333 < 666 uS/cm	Media
666 < 1000 uS/cm	Mineralización importante
> 1000 uS/cm	Mineralización excesiva

Fuente: RODIER, 1998. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar

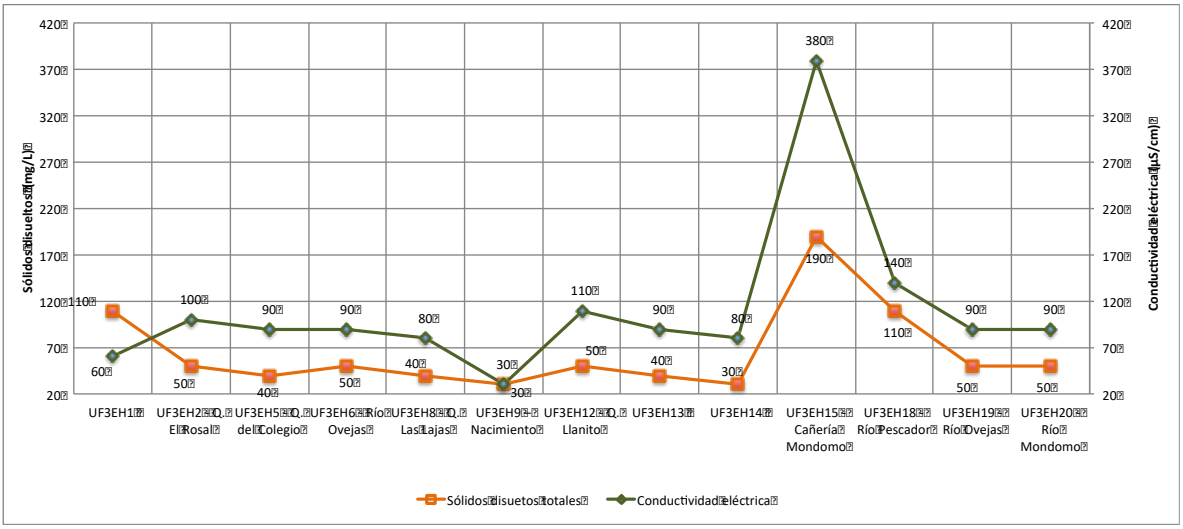


Figura 5.67 Variación de los sólidos disueltos y la conductividad en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

X. Descripción de los parámetros evaluados en el laboratorio

- Organolépticos

Las propiedades organolépticas son el conjunto de descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir nuestros sentidos, por ejemplo, su sabor, textura, olor y color. Su estudio es importante en las ramas de la ciencia en que es habitual evaluar inicialmente las características de la materia sin instrumentos científicos ya que ello nos permite tomar decisiones sin intervención de análisis más complejos, pues nos indican si el material es apto para su uso.

Las estaciones monitoreadas presentaron concentraciones de color entre 7,45 – 69,1 UPC, donde el valor más alto corresponde a la estación UF3EH15 - Cañería Mondomo (ver Figura 5.68**)**. Pese a lo anterior y al cumplir con el valor máximo permisible del decreto 1594/84 no se puede asegurar que el recurso es apto para el consumo humano; pues se deben tener en cuenta todas las características fisicoquímicas y bacteriológicas en conjunto.

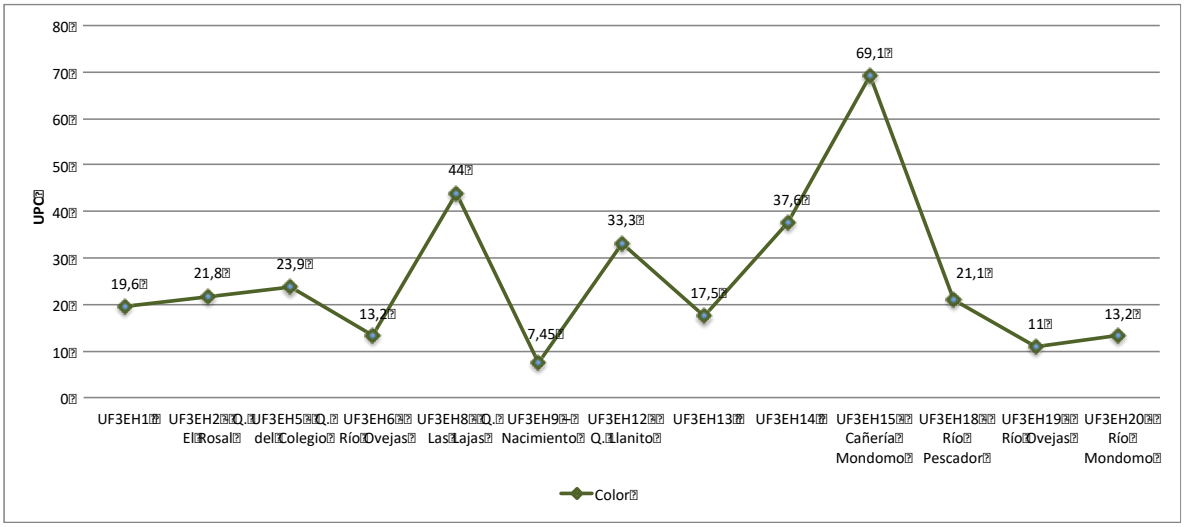


Figura 5.68 Variación del color de las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se refiere a la cantidad de oxígeno que requieren los compuestos orgánicos para ser degradados; usándose generalmente para la prueba de este parámetro una digestión de 5 días, por esta razón se denota como DBO_5. En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), esta abarca la demanda inorgánica además de la orgánica, que se requiere para procesos de oxidación de todos los compuestos que por lo general se encuentran disueltos en el agua.

Teniendo en cuenta la DBO_5, los cuerpos de agua monitoreados correspondientes a UF3EH1, UF3EH2 - Q. El Rosal, UF3EH5 - Q. del Colegio, UF3EH6 - Río Ovejas, UF3EH8 - Q. Las Lajas, UF3EH9 – Nacimiento, UF3EH12 - Q. Llanito, UF3EH13, UF3EH14, UF3EH18 - Río Pescador, UF3EH19 - Río Ovejas, y UF3EH20 - Río Mondomo presentan valores inferiores a las mínimas concentraciones cuantificables para la materia susceptible de degradación química (5,0 mgO_2/L de DBO_5), mientras que la estación UF3EH15 - Cañería Mondomo presentó una concentración de 12,5 mgO_2/l de DBO_5 (ver Figura 5.69), estos resultados demuestran que es esta estación la que requiere mayor cantidad de oxígeno para degradar la materia orgánica proveniente de las descargas de los efluentes domésticos e industriales.

La DQO presentó valores entre <5,0 – 76 mgO_2/L (ver Figura 5.69) lo que sugiere que las estaciones UF3EH2 - Q. El Rosal, UF3EH6 - Río Ovejas, UF3EH8 - Q. Las Lajas,

UF3EH15 - Cañería Mondomo y UF3EH20 - Río Mondomo necesitan más oxígeno para oxidar los materiales contenidos en el agua, en comparación con las demás estaciones, indicando que estás aguas presentan un indicio de contaminación orgánica biodegradable y no biodegradable[56], estos resultados demuestran que estos cuerpos de agua presentan una actividad de descomposición de materia orgánica biodegradable importante, condición que se observa de acuerdo a la relación DBO/DQO, donde se obtienen valores superiores a 0,6 lo que indica una elevada degradación de materia orgánica demandante de oxígeno por parte de microorganismos presente en el sistema hídrico.

En la Tabla 5.50 se muestra la clasificación del agua en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) según SÁNCHEZ, 2007[7]. De acuerdo a esta clasificación se puede decir que para la DBO_5 la mayoría de estaciones se catalogan como aguas de buena calidad, es decir, aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable, a excepción de UF3EH15 - Cañería Mondomo que se cataloga como aguas de calidad aceptable con indicio de contaminación. Respecto a la DQO las estaciones de muestreo UF3EH1, UF3EH5 - Q. del Colegio, UF3EH9 – Nacimiento, UF3EH12 - Q. Llanito, UF3EH14 y UF3EH19 - Río Ovejas se clasifican como aguas de calidad excelente, es decir, aguas no contaminadas, las estaciones UF3EH13 y UF3EH18 - Río Pescador se ubican en aguas de buena calidad es decir Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable, mientras que las estaciones UF3EH2 - Q. El Rosal, UF3EH6 - Río Ovejas y UF3EH20 - Río Mondomo se incluyen como aguas de calidad aceptable, es decir, con indicio de contaminación, finalmente UF3EH15 - Cañería Mondomo se categoriza como aguas contaminadas es decir Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas.

5 LEYVA, P. El medio ambiente en Colombia. Bogotá. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2001

6 http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/contenido/documentos/DQO.pdf

7 SANCHEZ, O. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Ed. Impresora y Encuadernadora Progreso S.A. México. 296p

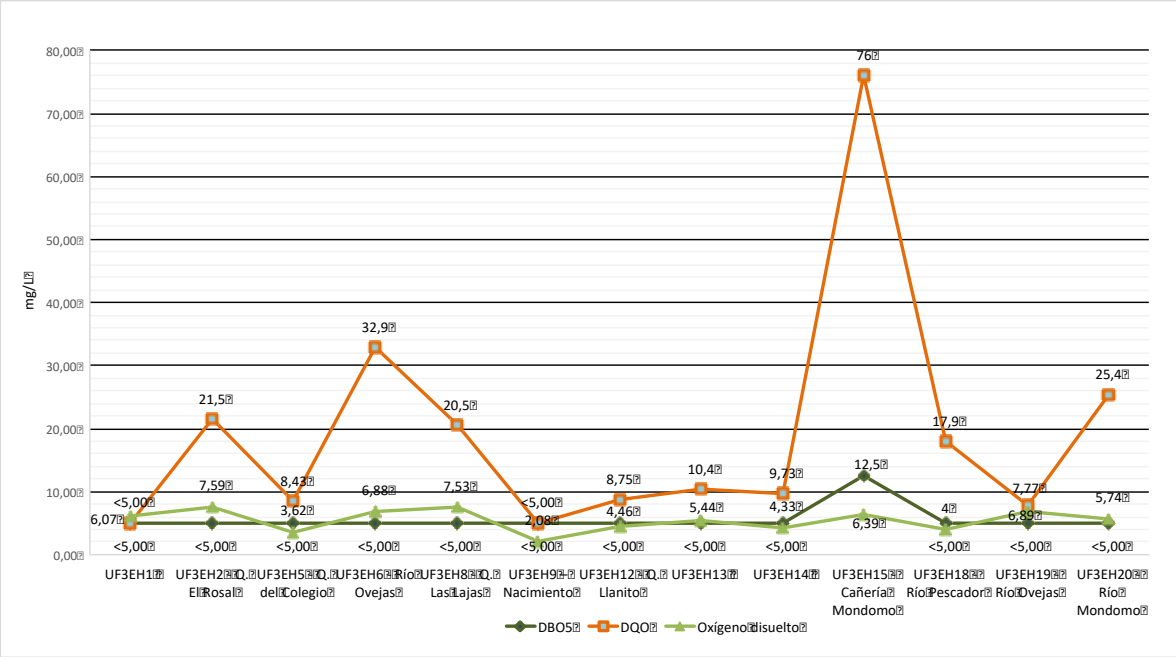


Figura 5.69 Variación de la DBO5 y DQO de las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Tabla 5.50 Clasificación de la calidad del agua, con base en la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO)

CONCENTRACIÓN DE DQO	CONCENTRACION DE DBO_5	CRITERIO	DESCIPCIÓN
Menor o igual a 10 mg/L	Menor o igual a 3 mg/L	Excelente	No contaminada
Mayor a 10 mg/L y menor o igual a 20 mg/L	Mayor a 3 mg/L y menor o igual a 6 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable
Mayor a 20 mg/L y menor o igual a 40 mg/L	Mayor a 6 mg/L y menor o igual a 30 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descarga de aguas residuales tratadas biológicamente
Mayor de 40 mg/L y menor o igual a 200 mg/L	Mayor de 30 mg/L y menor o igual a 120 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Mayor a 200 mg/L	Mayor a 120 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte

CONCENTRACIÓN DE DQO	CONCENTRACION DE DBO_5	CRITERIO	DESCIPCIÓN
			impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales

Fuente: SÁNCHEZ, 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México

- Sólidos suspendidos totales, Sólidos sedimentables y Turbidez

Los sólidos suspendidos totales (SST) presentaron valores que oscilaron entre <10,0 – 75,5 mg/l (ver Figura 5.70), las estaciones de muestreo UF3EH1 y UF3EH5 - Q. del Colegio presentaron valores por debajo del límite de detección del método de análisis, por otro lado la estación de muestreo con la mayor concentración de SST fue UF3EH15 - Cañería Mondomo. Las aguas naturales contienen cantidades muy variables de sólidos suspendidos, estos materiales pueden ser arcilla, limo, sílice, materiales orgánicos, microorganismos y lodos[8]. Cantidad excesiva de sólidos suspendidos puede ser peligrosa para los peces y para otras formas de vida acuática por obstrucción de los órganos respiratorios (branquias), recubrimiento de microorganismos en el fondo del acuífero, reducción de la intensidad de la radiación luminosa y modificación de las cadenas alimentarias9, afectando la diversidad del cuerpo de agua. Los resultados obtenidos demuestran que hay una presencia baja de partículas en suspensión para la mayoría de las aguas superficiales del área de influencia directa del proyecto, esto permite la entrada de luz solar que es clave para la producción primaria de los sistemas acuáticos.

La Turbiedad del agua está relacionada de manera directa con la presencia de sólidos suspendidos, para los puntos de muestreo evaluados se encontró un rango de valores entre 2,01 – 32,7 NTU (ver Figura 5.71), donde las estaciones UF3EH1, UF3EH6 - Río Ovejas, UF3EH12 - Q. Llanito, UF3EH14, UF3EH18 - Río Pescador y UF3EH20 - Río Mondomo presentaron las concentraciones más bajas para este parámetro, mientras que las estaciones UF3EH9 – Nacimiento y UF3EH15 - Cañería Mondomo presentaron los valores más altos. En términos generales, cuanto menor es la turbiedad en el agua, menor es la concentración de microorganismos que pudieran disminuir la entrada de luz al cuerpo de agua.

8 Lenntech. (21 de Abril de 2016). lenntech. Obtenido de http://www.lenntech.es/la-evaluacion-de-la-calidad-agua-faq-calidad-agua.htm

9 RAMOS, R. SEPÚLVEDA, R. VILLALOBOS, F. 2002. Agua en el ambiente: muestreo y análisis. Edición 1. México. 215 p

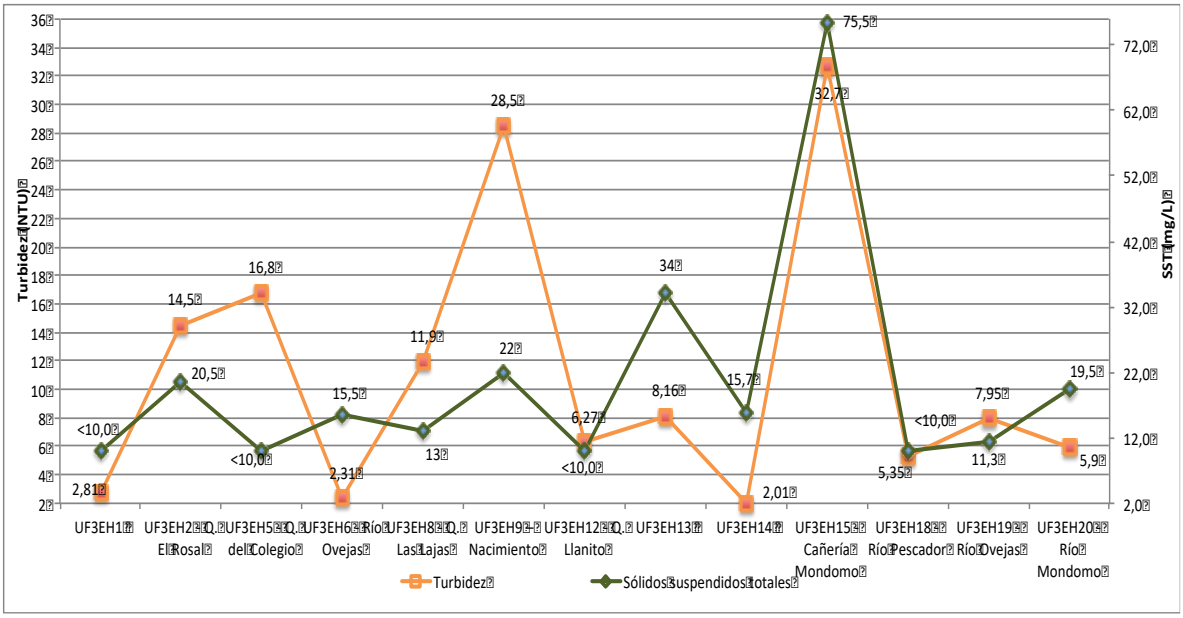


Figura 5.70 Variación de los SST y la Turbidez en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

La turbiedad se encuentra también relacionada con los sólidos sedimentables que se reportaron con valores entre <0,1 (Valor indetectable mediante la técnica analítica utilizada) para todas las estaciones, a excepción de UF3EH13 y UF3EH14 las cuales registraron valores de 0,5 ml/L-h y 0,2 ml/L-h, respectivamente. Los sólidos sedimentables se definen como aquella porción de los sólidos suspendidos que se precipitan como consecuencia de la gravedad después de un tiempo de reposo, los sólidos en suspensión son los responsables de la turbidez de un ecosistema.

- Alcalinidad total, Dureza total, Dureza cálcica y Acidez total

La Alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, para reaccionar con iones hidrógeno, para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas OH-. La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón del agua. En aguas naturales, la alcalinidad se debe generalmente a la presencia de tres clases de compuestos: Bicarbonatos, Carbonatos e Hidróxidos.

A diferencia de la alcalinidad, la acidez se considera como la capacidad de neutralizar las bases. En las aguas se debe al dióxido de carbono (CO_2), el cual puede ser incorporado con los coagulantes químicos, mediante la oxidación de materia orgánica, por disolución del dióxido de carbono atmosférico, por la presencia de ácidos minerales procedentes de ácidos fuertes (HCl, H_2SO_4, HNO_3) y por hidrolización de sales de ácidos fuertes y bases débiles.

La dureza es causada por cationes metálicos polivalentes. Los principales cationes causantes de dureza son los iones bivalentes de calcio, magnesio, estroncio, hierro ferroso e ion manganoso. Estos cationes, sumados a los aniones más importantes a los que se asocian se presentan en la Tabla 5.51**.**

Tabla 5.51 Principales cationes que causan dureza en el agua y los principales aniones asociados con ellos

Causantes de la dureza	
Cationes	Aniones
Ca^{2+}	HCO^{-3}
Mg^{2+}	SO^{2-4}
Sr^{2+}	Cl^{-}
Fe^{2+}	NO^{-3}
Mn^{2+}	SiO^{-3}

Fuente: (Sawyer Clair N, 2003)

La concentración de sustancias disueltas en el agua varía dependiendo de la localización geográfica y la estación del año. La dureza del agua está controlada, principalmente, por factores geológicos. Las fuentes minerales principales de la dureza provienen del suelo y de acuerdo a la composición de éste, el agua será más o menos dura. Las aguas duras, aguas con elevado contenido de calcio y magnesio, se asocian con cuencas de captación de rocas sedimentarias, de las cuales las más comunes son las de piedra caliza y creta. Las aguas blandas, aguas con bajo contenido de calcio y magnesio, suelen haber estado en contacto con rocas impermeables como el granito. Las aguas superficiales en general, suelen ser más blandas que las aguas subterráneas.

De acuerdo con la información obtenida para los cuerpos de agua monitoreados (verTabla 5.51), se puede observar que la Dureza cálcica y Dureza Total presentan la misma tendencia que la alcalinidad e indica además que tanto la dureza como la alcalinidad están determinadas por la concentración de Calcio en el agua; asimismo, se corrobora que las aguas son poco ácidas, lo cual incide en la baja capacidad de neutralizar bases, razón por la cual todas las estaciones monitoreadas presentaron concentraciones de Acidez total por debajo del límite de cuantificación (<2,54 mg $CaCO_3$/L)..

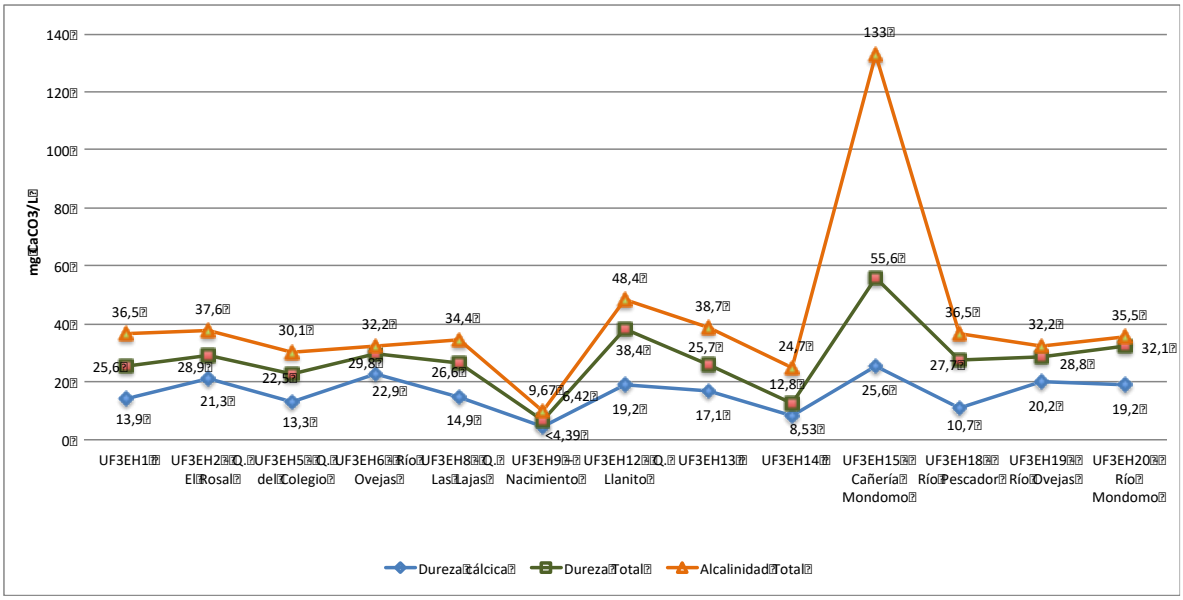


Figura 5.71 Variación de la dureza y la alcalinidad de las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

- Macronutrientes

El Nitrógeno total para todas las estaciones monitoreadas presentó valores inferiores al límite de cuantificación de la técnica analítica utilizada (<3,04 mg/l) (ver Figura 5.72). El nitrógeno total es la suma del nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato, por lo tanto son valores bajos, que no afectan la calidad del agua, sin embargo, los elevados niveles de nitrógeno en al agua puede cambiar la composición de especies debido a la susceptibilidad de ciertos organismos a las consecuencias de los compuestos nitrogenados[10]. Los valores obtenidos indican que en todas las estaciones monitoreadas hay una degradación parcial de la materia orgánica, valores que concuerdan con los bajos niveles para este parámetro. La presencia de compuestos nitrogenados se puede dar por la escorrentía de ríos y cursos de agua de las tierras agrícolas, así como vertimientos generados a los cuerpos de agua.

Para el fósforo total se reportaron concentraciones que oscilaron entre <0,070 – 2,7 mg P/l (ver Figura 5.72), este elemento se encuentra en diversas formaciones minerales. Su aporte a los sistemas acuáticos, en forma de fosfato, se da través de las escorrentías,

10 LENNTECH. (21 de Abril de 2016). *lenntech*. Obtenido de http://www.lenntech.es/periodica/elementos/n.htm

aunque al estar los iones de fosfatos fuertemente unidos a las partículas del suelo, debido a sus cargas negativas, el aporte es escaso[11]. Sin embargo, actualmente el hombre también agrega fósforo a los ecosistemas acuáticos mediante fertilizantes y detergentes utilizados en la agricultura y en la industria. Las aguas superficiales analizadas en la zona de influencia del proyecto presentan niveles de fósforo, los cuales son considerados bajos y característicos de aguas naturales no contaminadas (0,100 mg/l a 1,0 mg/l)[12], a excepción de UF3EH8 - Q. Las Lajas, UF3EH12 - Q. Llanito, UF3EH15 - Cañería Mondomo y UF3EH20 - Río Mondomo, estaciones que presentaron lo valores más altos para este parámetro, debido principalmente a la descarga de aguas residuales que se realizan sobre estos cuerpos de agua.

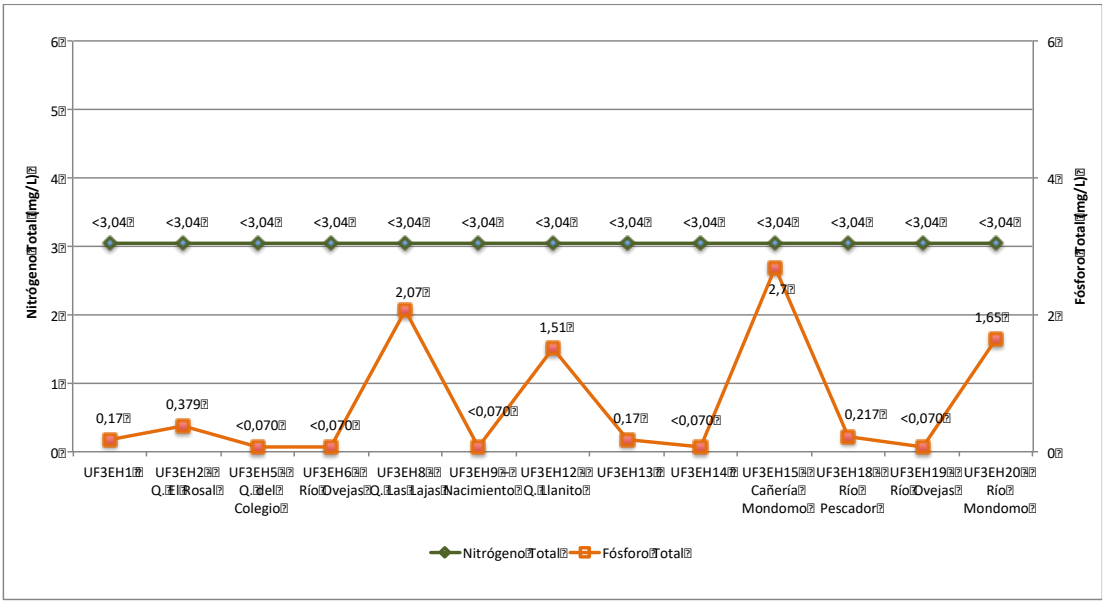


Figura 5.72 Variación del nitrógeno total y fósoforo total en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

11 FIGUERUELO. A, MARINO. M, 2004. Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales. Edición 1. Barcelona. 606 p

12 MARÍN G. R. 2003. Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Díaz de Santos, S.A. ISBN: 978-7978-590-1.

- Fenoles totales, Grasas y aceites

Estas sustancias químicas son compuestos orgánicos, muchos de ellos aportados naturalmente a los cuerpos de agua como productos de desecho y descomposición de los seres vivos, sin embargo, pueden llegar a los ecosistemas a través de vertimientos de aguas industriales y en altas concentraciones pueden eliminar la vida acuática.

Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos, este tipo de contaminantes afectan la actividad biológica en aguas superficiales formando emulsiones que impiden el intercambio de gases en la superficie del agua.

Los fenoles no son sustancias comúnmente encontradas en el agua a excepción de los lugares que atraviesan o fluyen por zonas turberas y aguas ricas en materias húmicas, niveles de 1 mg/L de fenoles en el agua resulta tóxico para los peces y concentraciones menores afectan a otros organismos acuáticos, cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor. Los fenoles tienen origen en los cuerpos de agua debido a procesos industriales, explotaciones mineras, refinería de petróleo, alpechines e industrias químicas y farmacéuticas[13].

En la mayoría de puntos de muestreo se registraron concentraciones de fenoles en el agua inferiores a 0,100 mg/L, sin embargo, en las estaciones de muestreo UF3EH8 - Q. Las Lajas, UF3EH14 y UF3EH20 - Río Mondomo se registraron valores de 0,318 mg/l, 0,101 mg/l y 0,341 mg/l, respectivamente, estos valores superan lo establecido por decreto 1594/84 en su artículo 38 para aguas de consumo humano y doméstico que solo requieren un tratamiento convencional para su potabilización. En lo que respecta al contenido de grasas y aceites (G&A)**,** se obtuvo valores entre 2,18 – 10,7 mg/l (ver Figura 5.73), el nivel más alto de G&A se registró para la estación de muestreo UF3EH15 - Cañería Mondomo.

13 MARÍN GALVÍN, R. (2003). Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos tratamientos y contro de calidad de aguas. España: Ediciones Díaz se Santos, S. A

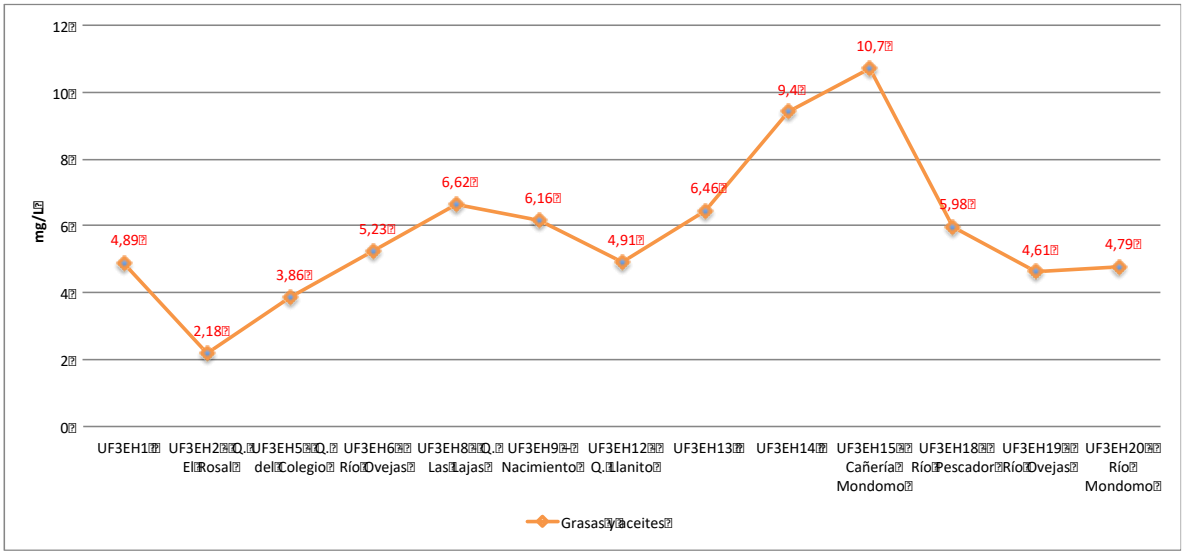


Figura 5.73 Variación de las grasas y aceites en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

- Metales pesados

Dentro de los metales establecidos en la normatividad ambiental las estaciones monitoreas presentan valores inferiores al límite de cuantificación para los siguientes parámetros: arsénico (<0,010 mg/L), bario (<0,500 mg/L), cadmio (<0,050 mg/L), cobre (<0,100 mg/L), cromo (<0,100 mg/L), mercurio (<0,002 mg/L), niquel (<0,200 mg/L), plata (<0,050 mg/L), plomo (<0,500 mg/L), selenio (<0,005) y zinc (<0,050 mg/L).

- Coliformes fecales y totales

Las bacterias coliformes son un tipo de microorganismos que por lo general habitan en el intestino de hombres y animales de sangre caliente, una de sus principales aplicaciones es la bioindicación de contaminación por heces en aguas y alimentos. Si bien no todos los coliformes son de origen fecal se hace necesario hacer especial énfasis en éstos últimos. Para su distinción se discriminan en dos tipos: Coliformes totales y coliformes fecales.

Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. El análisis bacteriológico es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación de agua, el ensayo se basa en que todas las aguas contaminadas por aguas residuales son potencialmente peligrosas, por tanto, en control sanitario se realiza para determinar la presencia de

contaminación fecal. La determinación de la presencia del grupo coliforme se constituye en un indicio de polución así como la eficiencia y la purificación y potabilidad del agua[14].

Para todas las estaciones de muestreo se encontraron niveles superiores a 24196 NPM/100ML (ver Figura 5.74) de coliformes totales, lo que indica que estos puntos de muestreo están saturados de estos, por lo tanto estas aguas no son aptas para consumo humano, dado que no cumplen con lo establecido en el artículo 38 de decreto 1594/84 donde el valor máximo permisible es de 200 NPM/100ML. Para los coliformes fecales se encontraron valores entre 145 - >24196 NMP/100ml (ver Figura 5.74), la estación de muestreo UF3EH15 - Cañería Mondomo, fue la que presentó al concentración más alta. La presencia de estos microorganismos se dio principalmente por las descargas de aguas residuales que se realizan a lo largo del cauce de este cuerpo de agua, además por los aportes naturales de la zona, por la presencia de ganadería u otro tipo de especies menores, la presencia de coliformes en el cuerpo de agua indica contaminación bacteriana reciente y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua.

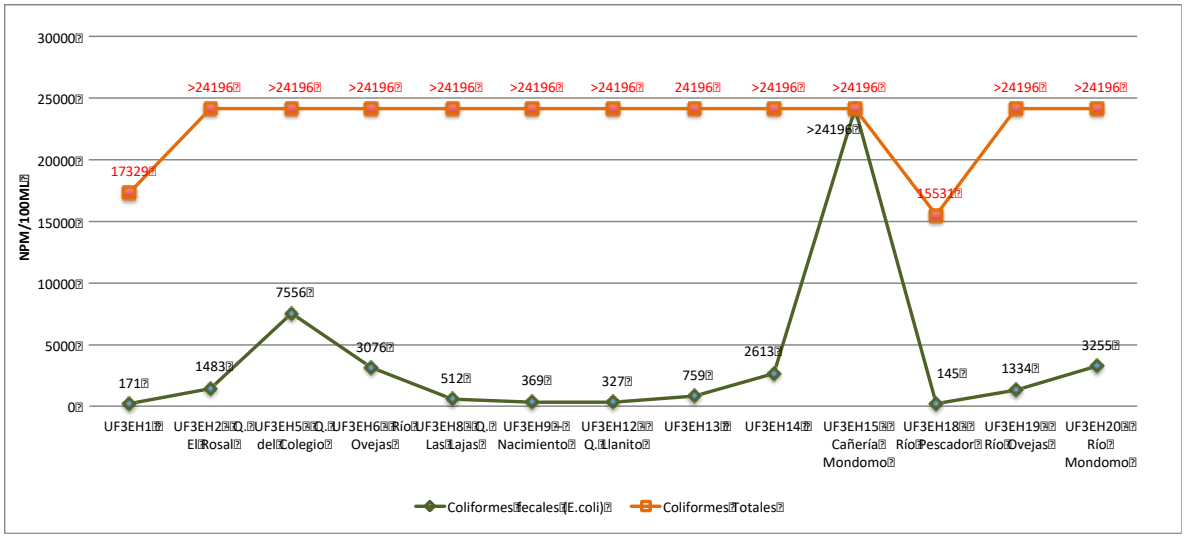


Figura 5.74 Variación de los coliformes totales y fecales en las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

14 ROLDÁN PÉREZ, Gabriel. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad del Antioquia, 2003. 170 p.

Y. Índice de calidad de agua (ICA NFS)

En el presente estudio se calcula el Índice de Calidad de Aguas (ICA) desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (NFS)15, mediante el Software Icatest v1.0.0.44. El cual es una herramienta metodológica para la valoración de la calidad del agua de las aguas superficiales del área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán – Santarer de Quilichao Unidad Funcional 3. Para las variables que estuvieron por debajo del límite de cuantificación se tomó como valor el del límite de detección, siendo esta la condición más desfavorable para las condiciones actuales del cuerpo de agua.

En la Tabla 5.52 se presentan los valores calculados del ICA NFS para cada una de las estaciones de monitoreo, sin embargo, hay que tener en cuenta que las mediciones para los diferentes constituyentes son representativas de la sección transversal del río en un instante dado; por lo que el resultado obtenido solo representa la calidad del agua en un punto en específico del río.

Las variables Nitratos, Fosfatos y Sólidos totales no fueron monitoreadas, razón por la cual se calculará el ICA solamente con los parámetros que se relacionan en la Tabla 5.52, siguiendo las recomendaciones dadas por la Universidad de Pamplona en el capítulo III; Indices de Calidad (ICA`S) y de contaminación (ICO´S) del agua de importancia mundial16.

Tabla 5.52 Índice de calidad de agua (ICA/NFS) y parámetros de calidad de las estaciones de monitoreo ubicadas en el área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3.

Cuerpo de agua	Variable	Peso	Resultado	Q. Valor	Subtotal	Rangos de índice de calidad
UF3EH1	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	89,1	50	11	41,71
	Coliformes Fecales	0,2	171	39,16	7,83	
	pH	0,16	7,68	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	2,81	5	0,6	
UF3EH2 Quebrada el Rosal	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	25,8	50	11	37,89
	Coliformes Fecales	0,2	1483	20,07	4,01	

15 CANTER, LARRY. Manual de evaluación de impacto ambiental; técnicas de evaluación de estudios de impacto. Madrid. Mc Graw Hill. 1998. 841 p.
16 Capítulo III; Índices de Calidad (ICA`S) y de contaminación (ICO´S) del agua de importancia mundial. Universidad de Pamplona

Cuerpo de agua	Variable	Peso	Resultado	Q. Valor	Subtotal	Rangos de índice de calidad
	pH	0,16	7,59	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	14,5	5	0,6	
UF3EH5 Quebrada el colegio	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	36,2	50	11	36,17
	Coliformes Fecales	0,2	7556	11,44	2,29	
	pH	0,16	7,71	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	16,8	5	0,6	
UF3EH6 Rio Ovejas	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	75,6	50	11	37,05
	Coliformes Fecales	0,2	3076	15,85	3,17	
	pH	0,16	7,62	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	2,31	5	0,6	
UF3EH8 Quebrada las Lajas	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	43,9	50	11	39,63
	Coliformes Fecales	0,2	512	2876	5,75	
	pH	0,16	7,53	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	11,9	5	0,6	
UF3EH9 Nacimiento	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	23	14	3,08	32,21
	Coliformes Fecales	0,2	369	31,24	6,25	
	pH	0,16	7,6	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	28,5	5	0,6	
UF3EH12 Quebrada Llanito	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	53	47,79	10,51	39,97
	Coliformes Fecales	0,2	327	32,92	6,58	
	pH	0,16	7,94	0	0	

Cuerpo de agua	Variable	Peso	Resultado	Q. Valor	Subtotal	Rangos de índice de calidad
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	6,27	5	0,6	
UF3EH13	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	61,3	50	11	38,84
	Coliformes Fecales	0,2	759	24,82	4,96	
	pH	0,16	7,08	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	8,16	5	0,6	
UF3EH14	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	50,8	50	11	37,23
	Coliformes Fecales	0,2	2613	16,77	3,35	
	pH	0,16	7,44	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	2,01	5	0,6	
UF3EH15 Cañeria Mondono	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	75,8	50	11	27,35
	Coliformes Fecales	0,2	24196	8	1,6	
	pH	0,16	7,23	0	0	
	DBO	0,16	12,5	5	0,8	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	32,7	5	0,6	
UF3EH18 Rio Pescador	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	40,3	50	11	41,96
	Coliformes Fecales	0,2	145	40,4	8,08	
	pH	0,16	7,86	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	5,35	5	0,6	
UF3EH19 Rio Ovejas	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	77,9	50	11	38,01
	Coliformes Fecales	0,2	1334	20,66	4,13	
	pH	0,16	7,38	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	

Cuerpo de agua	Variable	Peso	Resultado	Q. Valor	Subtotal	Rangos de índice de calidad
	Temperatura	0,14	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	7,95	5	0,6	
UF3EH20 Rio Mondono	Oxígeno Disuelto (%S)	0,22	71	50	11	40,41
	Coliformes Fecales	0,2	3255	15,49	3,1	
	pH	0,16	7,62	0	0	
	DBO	0,16	5	55,8	8,93	
	Temperatura	0,15	1	89	13,35	
	Turbiedad	0,12	5,9	33,6	4,03	

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Escala de calidad Muy Mala: 0 – 25 **Mala:** 26 – 50 **Media:** 51 – 70 **Buena:** 71 – 90 **Excelente:** 91 – 100

Los resultados obtenidos para todas las estaciones monitoreadas clasifican a los cuerpos de agua como aguas de mala calidad (ver Figura 5.75), por tener un valor ICA entre 26-50; estos resultados se obtuvieron debido posiblemente al aporte de las variables turbidez y coliformes fecales principalmente, afectando las condiciones de los diferentes cuerpos de agua, hay que tener en cuenta que la mayoría de estos sistemas hídricos están altamente afectados por actividades como la agricultura, la ganadería y por el vertimiento de aguas residuales provenientes de los centros poblados aledaños.

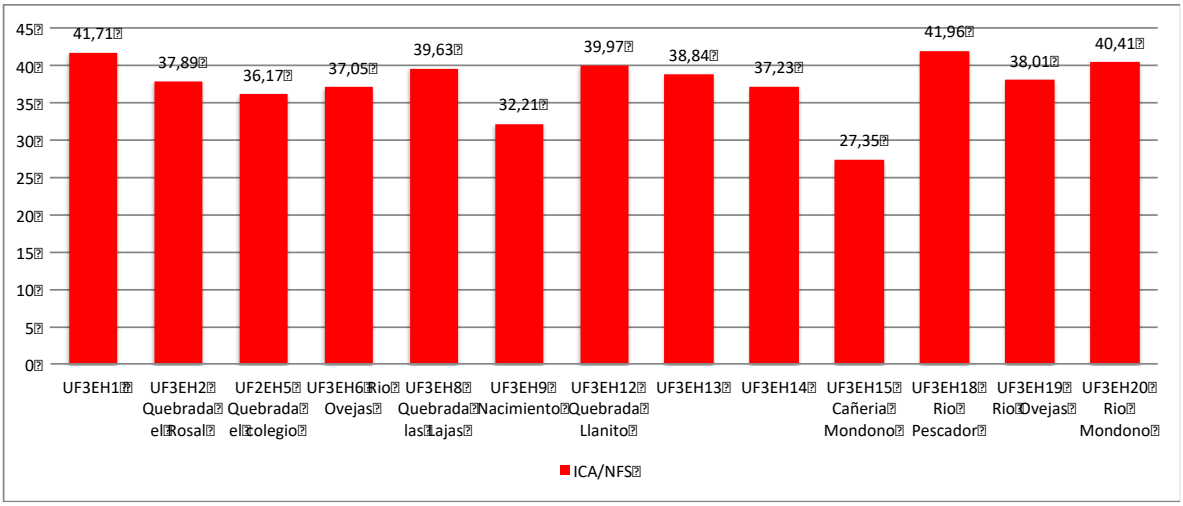


Figura 5.75 Valores del índice de calidad del agua (ICA/NFS) para las estaciones de monitoreo ubicadas en el área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Z. Índice de calidad de agua (ICA ENA-Ideam)

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t.

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, OD.	% Saturación	0,2
Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0,2
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,2
Conductividad eléctrica, C.E.	µS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Figura 5.76 Descripción de variables de para la estimación del ICA/ENA del IDEAM
Fuente: IDEAM, 2011

Para el caso específico del presente indicador, el índice de calidad del agua en corrientes superficiales, corresponde a una expresión numérica agregada y simplificada surgida de la sumatoria aritmética equiponderada de los valores que se obtienen al medir la concentración de cinco o seis variables fisicoquímicas básicas en las estaciones de monitoreo que hacen parte de la Red Básica de Monitoreo de Calidad de Agua y que evalúan la calidad del agua en las corrientes superficiales. En la Tabla 5.53 se presentan los resultados del ICA de la metodología del ENA 2014 del IDEAM revisado con 5 variables.

Tabla 5.53 ICA/ENA en las estaciones de monitoreo de calidad del agua de la Segunda Calzada Popayán – Santander de Quilichao UF3

Fuente	pH	Conductividad	DQO	SST	%od	Total	ICA
UF3EH1	0,2	0,173	0,182	0,190	0,108	0,853	Aceptable
UF3EH2 – Q. El rosal	0,2	0,147	0,142	0,184	0,143	0,816	Aceptable
UF3EH5 – Q. del Colegio	0,2	0,154	0,182	0,190	0,067	0,793	Aceptable
UF3EH6 - Río Ovejas	0,2	0,154	0,102	0,187	0,150	0,793	Aceptable
UF3EH8 – Q. Las Lajas	0,2	0,161	0,142	0,188	0,145	0,836	Aceptable
UF3EH9 – Nacimiento	0,2	0,190	0,182	0,183	0,037	0,791	Aceptable
UF3EH12 – Q. Llanito	0,2	0,140	0,182	0,190	0,084	0,796	Aceptable
UF3EH13	0,2	0,154	0,182	0,176	0,103	0,814	Aceptable
UF3EH14	0,2	0,161	0,182	0,187	0,082	0,811	Aceptable
UF3EH15 – Cañería Mondomo	0,2	-0,115	0,052	0,151	0,123	0,411	Mala
UF3EH18 - Río Pescador	0,2	0,117	0,182	0,190	0,073	0,763	Aceptable
UF3EH19 - Río Ovejas	0,2	0,154	0,182	0,189	0,130	0,856	Aceptable

Fuente	pH	Conductividad	DQO	SST	%od	Total	ICA
UF3EH20 - Río Mondomo	0,2	0,154	0,142	0,184	0,111	0,791	**Aceptable**

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Los resultados obtenidos para todas las estaciones monitoreadas clasifican a los cuerpos de agua como aceptable (ver Figura 5.74), por tener un valor ICA/ENA entre 0,71-0,90; salvo en la estación UF3EH15 que presenta un valor de ICA de mala esto ocurre debido a su alta concertación de DQO ya que es una fuente altamente intervenida por aguas residuales domésticas.

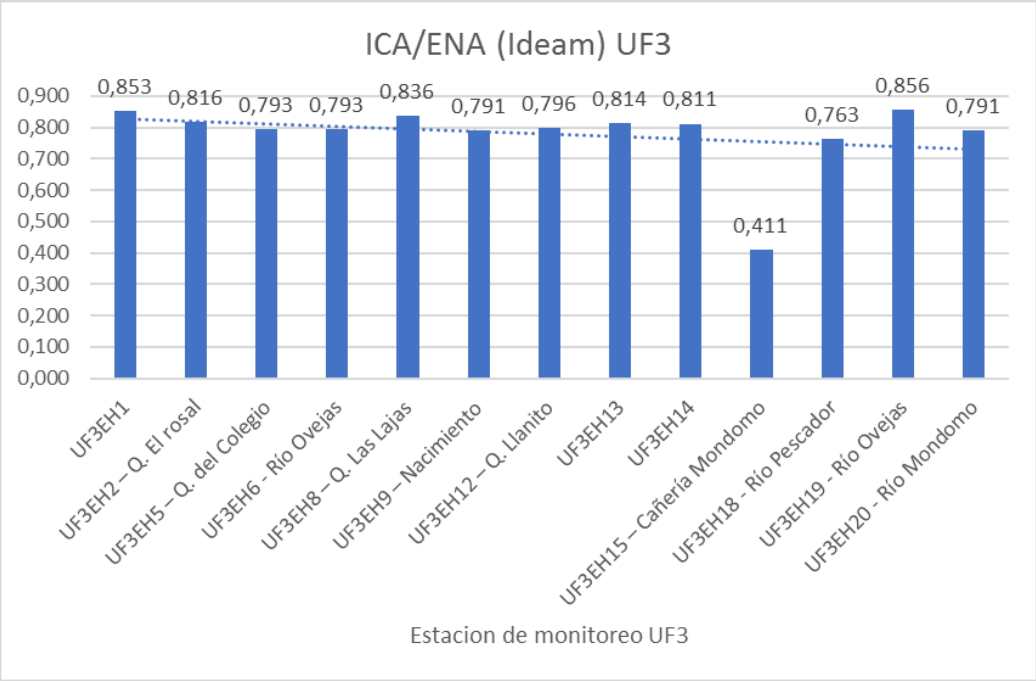


Figura 5.77 Valores del índice de calidad del agua (ICA/ENA) para las estaciones de monitoreo ubicadas en el área de influencia del proyecto Segunda Calzada Popayán - Santander Quilichao UF3.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.6.1.3 Modelación de calidad de agua en Época de Lluvia

Según los términos de referencia expedidos por el ANLA, se debe realizar caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las corrientes hídricas en el área de influencia del

componente, susceptible de intervención por el proyecto y de los cuerpos de agua que sean de uso para consumo humano y doméstico.

Se deben considerar dos períodos climáticos época seca y época de lluvias, presentando en el EIA la correspondiente al período de elaboración del mismo y presentando estimaciones para el otro periodo a través de herramientas técnicas debidamente validadas.

La caracterización fisicoquímica de las fuentes hídricas presentadas anteriormente, corresponden a época seca y a continuación se presenta la simulación de calidad de agua para época de lluvias.

Para llevar a cabo esta predicción se utilizará el modelo de balance de masas con el fin de obtener la tendencia de las concentraciones de algunos parámetros en época de lluvias.

A continuación, se presenta la definición del sistema, la descripción del modelo, la justificación del modelo, el protocolo de modelación y las conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos.

Se requiere conocer la calidad de agua en cuanto a las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos más representativos, teniendo como parámetros de mayor importancia DBO_5, DQO, OD y SST. Lo anterior significa que se debe utilizar un modelo de calidad de agua para identificar a qué distancia y tiempo estos parámetros se encuentran bajo los límites permisibles y acorde a los objetivos de calidad del cuerpo receptor.

- ✓ Definición del sistema a modelar:

Las características hidráulicas de los puntos de interés aluden a que son fuentes con caudales permanentes durante todo el año, sin embargo, durante épocas de lluvia se presentan caudales que superan los caudales medios mensuales multianuales.

Para el desarrollo de la modelación se cuentan con datos experimentales de calidad de agua de las fuentes hídricas en época seca, estaciones de precipitación del IDEAM, a partir de las cuales es posible obtener los caudales en época de lluvias, así como las características presuntivas de la calidad de presuntos vertimientos.

- ✓ Descripción del modelo a utilizar:

Un modelo es una herramienta que permite representar las condiciones de un sistema (en este caso de una corriente), bajo la simulación de escenarios (actuales o futuros) a partir de unos datos de entrada (condiciones hidráulicas e hidrológicas, parámetros de calidad de la corriente, tasas, constantes, etc.). Por lo general los estudios de calidad de aguas

que se desarrollan aplicando un modelo involucran una serie de fases o etapas, las cuales se describen a continuación:

- Definir el problema (lo que se quiere modelar)
- Selección del modelo (revisión de los datos de entrada)
- Recolección de la información preliminar (datos medidos en campo y/o laboratorio)
- Corridas preliminares del modelo (pruebas con datos de campo)
- Calibración y verificación del modelo
- Creación de escenarios
- Interpretación de resultados

✓ Modelo conceptual y formulación teórica:

Se utiliza un modelo basando en balances de masas partiendo de los siguientes supuestos:

- Modelo unidimensional. Los canales se encuentran bien mezclados tanto vertical como horizontalmente y se modela únicamente en la dirección del flujo.
- Hidráulica en estado estable. Se simula el flujo en estado estable (permanente) y no uniforme.
- Variación diaria del calor. El calor del volumen de agua y la temperatura son simulados como función de aspectos meteorológicos en una escala de variación diaria (24 horas).
- Cinética diaria de la calidad del agua. Todas las variables de la calidad del agua son simuladas en escala de tiempo diaria (24 horas).
- Estado estable, es decir que la concentración no varía en el tiempo, y se puede asumir entonces que lo que entra es igual a lo que sale.
- La constante de decaimiento de la materia orgánica se puede asumir de la que haya sido calculada para ríos con condiciones similares
- La DBO y la DQO son influenciadas por la tasa de oxidación de la materia orgánica kd, esta caracteriza el proceso de descomposición a la temperatura a la que circula el agua en el tramo, está dada como $\theta = 1,047$.
- Los sólidos suspendidos totales dependen de la velocidad de sedimentación.

✓ Datos de entrada al modelo:

Los datos se ingresan en hojas de cálculo de manera secuencial. Se tienen datos de calidad de agua e hidráulicos.

- ✓ Simplificaciones y limitaciones del modelo:
  - o Modelación dinámica a partir de datos de caudales del río en época de lluvias.
  - o Tasa de decaimiento teórica de primer orden en el canal principal, se asume una kd igual a 2,206, tomada de un estudio realizado sobre ríos de baja pendiente (1%), baja profundidad y condiciones hidráulicas similares.
  - o Los posibles vertidos se realizan como una descarga a la misma concentración durante el tiempo modelado.
  - o No se tienen datos sobre otras fuentes puntuales y difusas en los tramos modelados.
- ✓ Justificación del modelo a utilizar:

Por todo lo mencionado anteriormente, el modelo a utilizar fue de balances de masa los cuáles presentan las siguientes ventajas:

- o Está bien documentado (manuales de usuario).
- o Son la base de todos los modelos computacionales.
- o Se facilita su desarrollo por medio del uso de hojas de cálculo.
- o Se ha aplicado con anterioridad en estudios de calidad del agua en el país (Rio Magdalena, Rio Bogotá, Rio Otún, etc.) en los cuales se han obtenido resultados satisfactorios.

5.1.6.1.4 Datos de entrada al modelo en época de lluvia:

Para modelar los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua en época de lluvia, se utilizaron como datos de entrada los estimados para este periodo climático.

En la tabla 1 se muestran los datos de entrada hidráulicos y de calidad de agua que se ingresan al modelo.

Tabla 5.54. Datos hidráulicos de la modelación.

Estación	Nombre	Área (Km^2)	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Q (m^3/s)	V_{media} (m)	H_{media} (m)	Ancho (m)	OD (mg/l)	DBO_5 (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)
UF3EH2	Quebrada Rosal	20,01	16,81	0,0416	34,75	4,37	5,96	2	7,59	<5	21,5	<10
UF3EH5	Quebrada Colegio	0,03	0,15	0,4688	32,22	3,67	6,56	0,6	3,62	<5	8,43	<10
UF3EH6	Río Ovejas	0,04	0,25	0,41	317,5	8,33	3,13	18,2	6,88	<5	32,9	15,5
UF3EH8	Quebrada la laja	1,62	2,94	0,4619	53,02	5,37	1,85	8	7,53	<5	20,5	13
UF3EH12	Quebrada Llanito	0,07	0,35	0,3223	22,09	4,46	1,85	4	4,46	<5	8,75	<10
UF3EH18	Río Pescador	0,16	0,44	0,0504	47,5	1,03	2	5,4	4	<5	17,9	<10
UF3EH19	Río Ovejas	20,1	13,44	0,058	317,3	8,36	3,12	18,2	6,89	<5	7,77	11,3
UF3EH20	Río Mondomo	4,45	7,04	0,1043	218,5	8,51	2,4	16	5,74	<5	25,4	19,5

AA.Modelación de la Quebrada Rosal

A continuación, se presenta la modelación en época de lluvia para la Quebrada Rosal.

Tabla 5.55. Balance de masas para Sólidos Suspendidos Totales

Balance de Caudales		
Caudal	(L/s)	(m3/s)
Quebrada Rosal época de lluvia	34750	34,75
Quebrada Rosal época seca	9,5	0,095

Balance de masas para SST		
Concentración época seca	(mg/L)	(g/m3)
CSST época seca	<10	<10

V: Volumen (m)	59,6
H: Profundidad media (m)	5,96
Vs: Velocidad sedimentación (m/s)	0,1
ks: constante de sedimentación	0,016778523

CSST época lluvia	540,04

El resultado obtenido en la modelación para época de lluvia, indica que en época seca la concentración de los sólidos suspendidos totales en la fuente el Rosal es inferior a 10 mg/l mientras que para época de lluvia este valor se incrementa a 540,04 mg/l, esto es debido a que al aumentar significativamente el caudal de la fuente, la profundidad y la velocidad de la corriente, hay más arrastre de sedimentos del lecho, es decir se aumenta el transporte de sedimentos, lo que genera una concentración de sólidos suspendidos totales más elevada.

Tabla 5.56. Balance de masas para La DBO_5

Balance de masas para DBO_5		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
$CDBO_{5\ epoca\ seca}$	<5	<0,005

U (m/s)	4,37
H: Profundidad media (m)	5,96
ka (20ºC) en d-1	1,853365349

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	2,127164538
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23
Kd (d-1)	2,14383

TRH (días)	6,91138E-05
$CDBO_5$ epoca de lluvia	3,776213202

El valor de DBO_5 estimado por el modelo arroja que en época de lluvia la concentración de la DBO_5 sería de 3,77 mg/l, lo que indica que la concentración continúa siendo inferior a <5 mg/l, este es un resultado coherente, pues se espera que al aumentar el caudal se incremente la dilución y por tanto se reduzca significativamente la materia orgánica en la corriente representándose esto en una disminución en la concentración de la DBO_5.

Tabla 5.57. Balance de masas para DQO

Balance de masas para DQO		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
CDQO época seca	21,5	0,0215

U (m/s)	4,37
H: Profundidad media (m)	5,96
ka (20ºC) en d-1	1,85336

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	2,12716
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23
Kd (d-1)	2,14383

TRH (días)	6,91138E-05
CDQO época lluvia	5,849277

Los resultados estimados para la DQO son similares a los obtenidos en la DBO_5, los cuales están principalmente influenciados en el aumento de caudal, la profundidad y la velocidad media de la corriente, es por esta razón que la carga orgánica se diluye obteniendo una reducción significativa en la concentración.

BB. Modelación de la Quebrada Colegio

A continuación, se presenta la modelación de calidad de agua en época de lluvia para la Quebrada Colegio, los datos de entrada al modelo se ilustran en la tabla 1**.**

Tabla 5.58. Balance De Masas Para Sólidos Suspendidos Totales

Balance de Caudales		
Caudal	(L/s)	(m3/s)
Quebrada Colegio época de lluvia	32220	32,22
Quebrada Colegio época seca	8,35	8,35
Balance de masas para SST		
Concentración época seca	(mg/L)	(g/m3)
CSST época seca	<10	<10

V: Volumen (m)	19,68
H: Profundidad media (m)	6,56
Vs: Velocidad sedimentación (m/s)	0,333333333
ks: constante de sedimentación	0,050813008

CSST época lluvia	194,832

El resultado simulado para época de lluvia, muestra que partiendo de la concentración del parámetro SST en época seca la concentración de los sólidos suspendidos totales en la Quebrada Colegio es inferior a 10 mg/l mientras que para época de lluvia este valor se incrementa a 194,832 mg/l, esto es debido a que al aumentar el caudal de la quebrada, la profundidad y velocidad de la corriente, hay más arrastre de sedimentos del lecho, es decir se aumenta el transporte de sedimentos, lo que genera una concentración de sólidos suspendidos totales superior.

Tabla 5.59. Balance de masas Para DBO_5

Balance de masas para DBO_5		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
$CDBO_{5\ epoca\ seca}$	<5	<0,005

U (m/s)	3,67
H: Profundidad media (m)	6,56
ka (20ºC) en d-1	1,470845254

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	1,688134433
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23
Kd (d-1)	1,701366841

TRH (días)	6,91138E-05
$CDBO_5$ época de lluvia	4,167097063

El valor simulado de DBO_5 en época de lluvia arroja una concentración de 4,167 mg/l, resultado que continúa siendo similar a la concentración en época seca, es decir, inferior a 5 mg/l, lo cual es lógico ya que al aumentar el caudal en época de lluvia se incrementa la dilución y por tanto se reduce la concentración de la DBO_5.

Tabla 5.60. Balance de masas para la DQO.

Balance de masas para DQO		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
CDQO época seca	8,43	0,00843

U (m/s)	3,67
H: Profundidad media (m)	6,56
ka (20ºC) en d-1	1,470845254

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	1,688134433
Tf (ºC)	23,17

To (ºC)	23
Kd (d-1)	1,701366841

TRH (días)	6,91138E-05
CDQO época lluvia	7,169107803

En época seca se midio una concentración de la DQO en la fuente sin nombre de 8,43 mg/l, para época de lluvia esta concentración se disminuye a 7,169 mg/l lo cual es debido al aumento de caudal de dilución, profundidad y velocidad en la corriente.

CC. Modelación del Río Ovejas

A continuación, se presenta la modelación de calidad de agua en época de lluvia para el Río Ovejas, los datos de entrada al modelo se ilustran en la tabla 1**.**

Tabla 5.61. Balance de masas para Sólidos Suspendidos Totales.

Balance de Caudales		
Caudal	(L/s)	(m3/s)
Río Ovejas época de lluvia	317500	317,5
Río Ovejas época seca	11028	11,028

Balance de masas para SST		
Concentración época seca	(mg/L)	(g/m3)
CSST época seca	15,5	15,5

V: Volumen (m)	284,83
H: Profundidad media (m)	3,13
Vs: Velocidad sedimentación (m/s)	0,010989011
ks: constante de sedimentación	0,003510866

CSST época de lluvia	414,865

La concentración simulada para época de lluvia, muestra que partiendo de la concentración del parámetro SST en época seca la concentración de los sólidos suspendidos totales es de 15,5 mg/l mientras que para época de lluvia este valor se incrementa a 414,8 mg/l, esto es debido a que al aumentar el caudal de la fuente, la profundidad y velocidad de la corriente, hay más arrastre de sedimentos del lecho, es decir se aumenta el transporte de sedimentos, lo que genera una concentración de sólidos suspendidos totales más alta.

Tabla 5.62. Balance De Masas Para DBO_5.

Balance de masas para DBO_5		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
$CDBO_5$ época seca	<5	<0,005

U (m/s)	8,33
H: Profundidad media (m)	3,13
ka (20ºC) en d-1	6,723504574

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	7,716773439
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23
Kd (d-1)	7,777261211

TRH (días)	6,91138E-05
$CDBO_5$ época de lluvia	0,9116012145

El valor modelado de DBO_5 en época de lluvia arroja una concentración de 0,911 mg/l, concentración que continúa siendo inferior a <5 mg/l medido en época seca.

Tabla 5.63. Balance de masas para DQO.

Balance de masas para DQO		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
CDQO época seca	32,9	0,0329

U (m/s)	8,33
H: Profundidad media (m)	3,13
ka (20ºC) en d-1	6,723504574

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	7,716773439
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23

Kd (d-1)	7,777261211

TRH (días)	6,91138E-05
CDQO época lluvia	6,120751012

En época seca la concentración de la DQO en el río Ovejas es de 32,9 mg/l, para época de lluvia esta concentración es inferior con un valor de 6,12075 mg/l lo cual es debido al aumento de caudal de dilución, profundidad y velocidad en la corriente.

DD. Modelación Quebrada Las Lajas

A continuación, se presentan las concentraciones de calidad de agua simuladas en época de lluvia para la quebrada Las Lajas, los datos de entrada al modelo se registran en la tabla 1.

Tabla 5.64. Balance de masas para Sólidos Suspendidos Totales.

Balance de Caudales		
Caudal	(L/s)	(m3/s)
Quebrada Las Lajas época de lluvia	53020	53,02
Quebrada Las Lajas época seca	10,50	10,50
Balance de masas para SST		
Concentración época seca	(mg/L)	(g/m3)
CSST época seca	13	13

V: Volumen (m)	74
H: Profundidad media (m)	1,85
Vs: Velocidad sedimentación (m/s)	0,025
ks: constante de sedimentación	0,013513514

CSST época de lluvia	962

La concentración de SST en época de lluvia muestra un incremento en la concentración con respecto a la época seca, arrojando un valor de 962 mg/l, esto se debe al aumento del caudal, la profundidad y la velocidad en el canal.

Tabla 5.65. Balance de masas para DBO_5

Balance de masas para DBO5		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
$CDBO_5$	<5	<0,005

U (m/s)	5,37
H: Profundidad media (m)	1,85
ka (20ºC) en d-1	11,88007714

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	13,63513071
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23
Kd (d-1)	13,74200941

TRH (días)	6,91138E-05
$CDBO_5$ epoca de lluvia	3,159187827

Para época seca la concentración de la DBO_5 registra un valor inferior a 5,0 mg/l, en época de lluvia el modelo estima una concentración todavía más baja de 3,15 mg/l.

Tabla 5.66. Balance de masas para DQO

Balance de masas para DQO		
Concentración de DQO	(mg/L)	(Kg/m3)
CDQO época seca	20,5	0,0205

U (m/s)	5,37
H: Profundidad media (m)	1,85
ka (20ºC) en d-1	11,88007714

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	13,63513071
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23

Kd (d-1)	13,74200941

TRH (días)	6,91138E-05
CDQO época de lluvia	11,58435724

Para la época de lluvia la concentración de la DQO disminuye a 11,58 mg/l con respecto a la concentración medida en época seca.

EE. Modelación Quebrada Llanito

A continuación, se presentan las concentraciones de calidad de agua simuladas en época de lluvia para la quebrada Llanito, los datos de entrada al modelo se registran en la tabla 1.

Tabla 5.67. Balance de masas para Sólidos Suspendidos Totales

Balance de Caudales		
Caudal	(L/s)	(m3/s)
Quebrada Llanito época de lluvia	22090	22,09
Quebrada Llanito época seca	7,21	7,21
Balance de masas para SST		
Concentración	(mg/L)	(g/m3)
CSST época seca	<10	<10

V: Volumen (m)	37
H: Profundidad media (m)	1,85
Vs: Velocidad sedimentación (m/s)	0,05
ks: constante de sedimentación	0,027027027

CSST época de lluvia	366,3

La modelación en época de lluvia para los SST muestra un incremento de la concentración pasando de ser inferior a 10 mg/l en época seca a 366,3 mg/l en época de lluvia.

Tabla 5.68. Balance de masas para DBO_5

Balance de masas para DBO_5		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
$CDBO_{5\ epoca\ seca}$	<5	<0,005

U (m/s)	4,46
H: Profundidad media (m)	1,85
ka (20ºC) en d-1	10,82678586

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	12,42623584
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23
Kd (d-1)	12,52363864

TRH (días)	6,91138E-05
$CDBO_{5\ epoca\ de\ lluvia}$	3,5661102949

Para la DBO_5 el modelo arroja que la concentración en época de lluvia continua siendo inferior a <5 mg/l.

Tabla 5.69. Balance de masas para DQO

Balance de masas para DQO		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
CDQO época seca	8,75	0,00875

U (m/s)	4,46
H: Profundidad media (m)	1,85
ka (20ºC) en d-1	10,82678586

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	12,42623584
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23

Kd (d-1)	12,52363864

TRH (días)	6,91138E-05
CDQO época de lluvia	4,1010911241

Para la DQO se tiene un resultado similar a la DBO_5, debido a que las concentraciones de ambos parámetros en época seca son inferiores a <5 mg/l, para época de lluvia el modelo arroja un valor de 4,10 mg/l.

FF. Modelación del Río Pescador

A continuación, se presentan las concentraciones de calidad de agua simuladas en época de lluvia para el Río Pescador, los datos de entrada al modelo se registran en la tabla 1.

Tabla 5.70. Balance de masas para Sólidos Suspendidos Totales

Balance de Caudales		
Caudal	(L/s)	(m3/s)
Río Pescador época de lluvia	47500	47,50
Río Pescador época seca	8,03	8,03

Balance de masas para SST		
Concentración época seca	(mg/L)	(g/m3)
CSST época seca	<10	<10

V: Volumen (m)	54
H: Profundidad media (m)	2
Vs: Velocidad sedimentación (m/s)	0,037037037
ks: constante de sedimentación	0,018518519

CSST época de lluvia	534,6

La modelación en época de lluvia para los SST muestra un incremento de la concentración pasando de ser inferior a 10 mg/l en época seca a 534,6 mg/l en época de lluvia, lo cual se debe al arrastre de sedimentos del lecho por aumento de caudal, velocidad y profundidad del agua.

Tabla 5.71. Balance de masas para DBO_5

Balance de masas para DBO_5		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
$CDBO_{5\ epoca\ seca}$	<5	<0,005

U (m/s)	1,03
H: Profundidad media (m)	2
ka (20ºC) en d-1	4,62874578

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	5,312554204
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23
Kd (d-1)	5,354196552

TRH (días)	6,91138E-05
$CDBO_{5\ epoca\ de\ lluvia}$	3,24150261

Para la DBO_5 el modelo muestra que la concentración en época de lluvia continua siendo inferior a <5 mg/l.

Tabla 5.72. Balance de masas para la DQO

Balance de masas para DQO		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
CDQO época seca	17,9	0,0179

U (m/s)	1,03
H: Profundidad media (m)	2
ka (20ºC) en d-1	4,62874578

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	5,312554204
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23

Kd (d-1)	5,354196552

CDQO época de lluvia	4,8372

Para la DQO en época de lluvia el modelo arroja un valor de 4,8372 mg/l.

GG. Modelación Río Mondomo

A continuación, se presentan las concentraciones de calidad de agua simuladas en época de lluvia para el Río Mondomo, los datos de entrada al modelo se registran en la tabla 1.

Tabla 5.73. Balance De Masas Para Sólidos Suspendidos Totales

Balance de Caudales		
Caudal	(L/s)	(m3/s)
Río Mondomo época de lluvia	218150	218,150
Río Mondomo época seca	20000	20
Balance de masas para SST		
Concentración época seca	(mg/L)	(g/m3)
CSST época seca	19,5	19,5

V: Volumen (m)	192
H: Profundidad media (m)	2,4
Vs: Velocidad sedimentación (m/s)	0,0125
ks: constante de sedimentación	0,005208333

CSST época de lluvia	3744

Los parámetros morfometricos de la cuenca son bastante extensos en cuanto a área, perímetro y longitud del cauce, al correrse el modelo en época de lluvia, el caudal, la velocidad y la profundidad aumentan significativamente, por tal motivo el arrastre de sedimentos del lecho incrementa los sólidos suspendidos, el resultado de este parámetro en época de lluvias es una concentración de 3744 mg/l.

Tabla 5.74. Balance De Masas Para DBO_5

Balance de masas para DBO_5		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
$CDBO_{5\ epoca\ seca}$	<5	<0,005

U (m/s)	8,51
H: Profundidad media (m)	2,4
ka (20ºC) en d-1	10,121331

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	11,61656355
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23
Kd (d-1)	11,70761975

TRH (días)	6,91138E-05
$CDBO_5$ epoca de lluvia	2,6055680757

Tabla 5.75. Balance de masas para la DQO

Balance de masas para DQO		
Concentración época seca	(mg/L)	(Kg/m3)
CDQO época seca	25,4	0,0254

U (m/s)	8,51
H: Profundidad media (m)	2,4
ka (20ºC) en d-1	10,121331

θ	1,047
T vertimiento (ºC)	23
Kd (20ºC) (d-1)	11,61656355
Tf (ºC)	23,17
To (ºC)	23
Kd (d-1)	11,70761975

TRH (días)	6,91138E-05

CDQO época de lluvia	3,139067168

5.1.6.1.5 Análisis de resultados modelación en época de lluvia

En términos generales, los resultados obtenidos en la modelación de calidad de agua en época de lluvia para los parámetros DQO, DBO_5 y SST muestran un reducción considerable para la DQO y la DBO_5 en las todas las fuentes hídricas modeladas, todo lo contrario ocurre con los Sólidos Suspendidos Totales los cuales se incrementan significativamente con respecto a lo caracterizado en época seca, lo cual se debe específicamente al aumento de caudal para la época de lluvias donde también la profundidad y la velocidad de la corriente aumentan ocasionando movimientos y arrastre de material suspendido del lecho lo que conllevaría a un evidente crecimiento en la concentración de los SST.

En los gráficos 1 y 2 es posible comparar la tendencia de las concentraciones en época de lluvia para todas las estaciones monitoreadas.

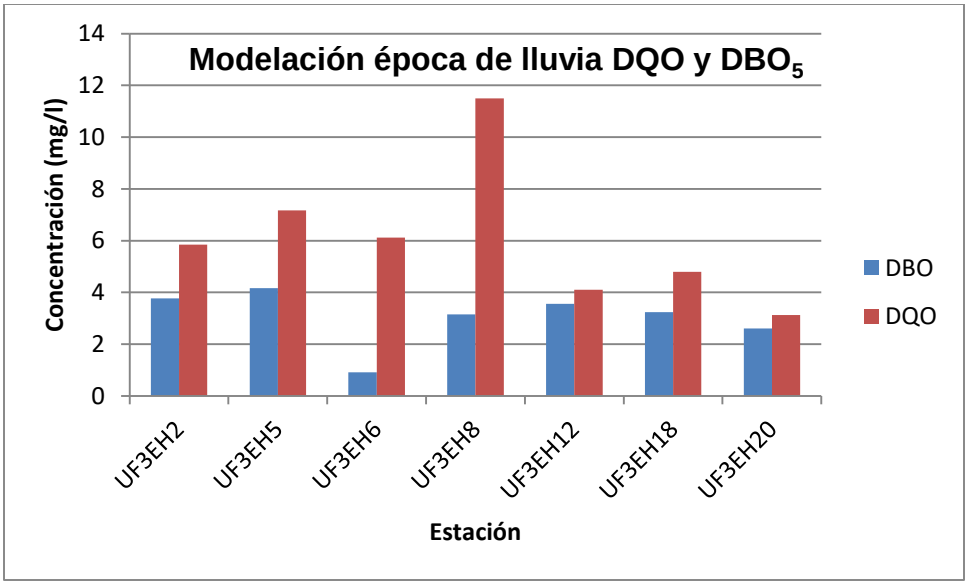


Gráfico 1. Comparativo concentraciones de DQO y DBO_5.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

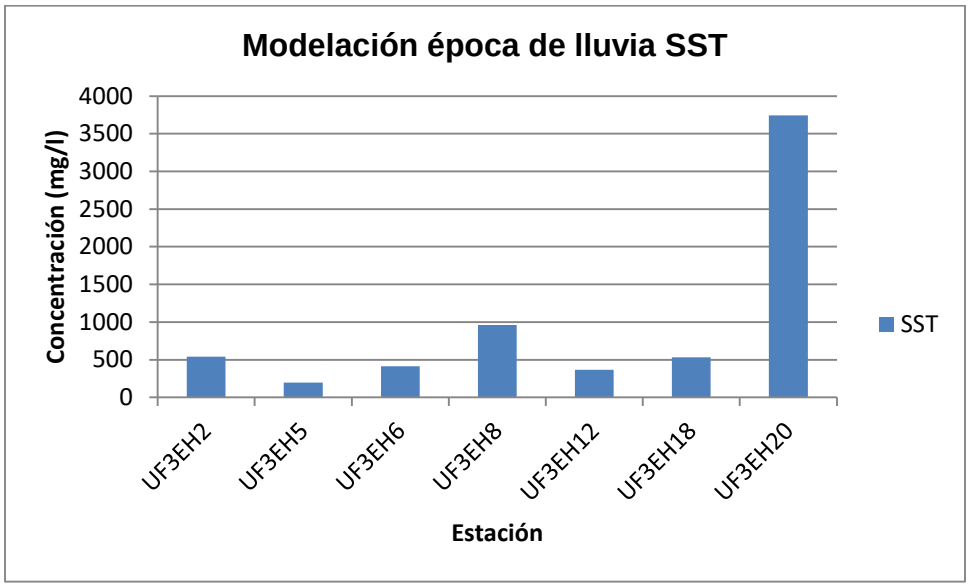


Gráfico 2. Comparativo de concentraciones SST
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Es fundamental aclarar en el presente estudio que esta modelación de calidad de agua en época de lluvia, fue posible únicamente para los parámetros DBO_5, DQO y SST, esto es debido a que actualmente no se cuenta con modelos confiables y validados por las autoridades ambientales que permitan simular la tendencia de las concentraciones en las fuentes hídricas.

5.1.6.2 Cuerpos de agua marino-costeros

En el caso del área de influencia de la UF3 no se encuentran zonas marino-costeras por lo cual no es necesario realizar caracterización de este tipo de cuerpos de agua.

5.1.7 Usos del agua

5.1.7.1 Generalidades de usos y usuarios del agua en los municipios intervenidos por el área de influencia

La Unidad Funcional 3 del proyecto de la segunda calzada atraviesa el municipio de Caldono en su totalidad y en una pequeña porción los municipios de Santander de Quilichao y de Piendamó.

En el municipio de Caldono pertenece principalmente a la subcuenca del rio Ovejas, y la hidrografía del AID de la UF3 está compuesta por las corrientes que nacen en la cordillera central para desembocar al rio Cauca a través del rio Ovejas.

A continuación, se describen los principales usos identificados en el Municipio de Caldono

5.1.7.1.1 Consumo Humano

Este es el principal uso del agua en el municipio de Caldono, algunas veredas del municipio carecen de acueductos y es normal encontrar que la población se abastece de aljibes, nacimientos y quebradas cercanas a sus viviendas, predominando las soluciones individuales para el abastecimiento de agua.

Los sistemas de acueductos veredales y multiveredales tienen problemas para cumplir con el abastecimiento de sus usuarios ya sea por la falta de mantenimiento a sus estructuras o porque en realidad las fuentes escogidas no dan abasto para cumplir con la demanda, de igual manera la gran mayoría de acueductos instalados en el área rural del municipio de Caldono no cuentan con un tratamiento de agua potable, la configuración de los sistemas consta de captación, desarenador, tanque de almacenamiento y red de distribución, esto pone en riesgo la salud de la población más vulnerable de la zona

5.1.7.1.2 Consumo Industrial

Es importante enunciar que la industria del municipio de Caldono está asociada directamente a la tecnificación agrícola, por lo que principalmente se usa para la producción de alimentos, Fique, café y almidón. Este uso del agua para fines industriales no es el principal debido al poco desarrollo de este sector en el municipio.

5.1.7.1.3 Consumo Agrícola

El uso agrícola del agua es muy importante para el municipio ya que según las destinaciones que le dan al suelo, se presenta un área importante destinado a la ganadería extensiva, y el uso agrícola ocupa un lugar muy importante de teniendo en cuenta la extensión a que esta se refiere, el agua para el uso agrícola se puede decir que un 30% de los cultivos del municipio están suscritos a un distrito de riego, mientras que el resto utilizan las condiciones climatológicas para suplir su demanda de agua.

5.1.7.1.4 Contaminación en las fuentes superficiales.

En términos generales lo encontrado a lo largo del corredor se puede determinar que los principales focos de contaminación de las fuentes superficiales están asociados a la producción y mala disposición de los residuos sólidos los cuales llegan a los cauces de las quebradas e inician allí su descomposición, el lavado y beneficio de café juegan un papel importante para lo referente a la contaminación de las aguas superficiales. De igual manera el proceso que ocurre en las rallanderias alteran significativamente la calidad del agua ya que en el proceso de extracción del almidón de azúcar se debe utilizar el agua en toda la transformación y los residuos como el afrecho los depositan en los cauces de las quebradas aumentando los niveles de carga orgánica en las fuentes. Esta problemática es muy evidente en las zonas aledañas al centro poblado Pescador.

5.1.7.2 Descripción de usos y usuarios en el área de influencia

Durante el trabajo de campo se pudo recolectar información primaria referente al uso del agua en el área de influencia directa para la Unidad Funciona 3 de la segunda calzada de la vía Popayán - Santander de Quilichao en el departamento del Cauca, se pudo determinar que es una zona rica en aguas ya que en esta zona del proyecto la atraviesan los ríos Pescador, Ovejas y Mondomo estas fuentes presentan altos grados de contaminación debido a las razones descritas anteriormente.

En el área de estudio se identificaron siete acueductos veredales que cuya cobertura se intercepta con el AID del proyecto. El registro de campo se presenta en el Anexo 5.1.3 Usos del agua_UF3.

5.1.7.2.1 Acueducto veredal La Chapa.

El acueducto veredal la chapa es un sistema de abastecimiento de agua que tiene alrededor de 41 años de construido, su bocatoma y captación se encuentran dentro de un resguardo indígena. Durante las épocas de estío el sistema no compensaba la demanda de agua de sus usuarios por lo tanto se optó por la construcción de una segunda bocatoma sobre la quebrada la Estefana. En este sistema no se cuenta con un sistema de micro medición que permita tener un control consumo por parte de los usuarios por eso se puede ver que algunos usuarios no hacen el uso adecuado del recurso.

Actualmente la junta administradora del acueducto se encuentra realizando la etapa reconstructiva de la planta de tratamiento de agua potable, y la instalación de micro y macro medidores

Tabla 5.76. Descripción técnica del sistema de acueducto de la vereda La Chapa

Nombre	Acueducto Veredal La Chapa	
Fuente Abastecedora	Quebrada la chapa y quebrada la Estefana	
Área de protección a la cuenca	1 ha aprox	
Cuenta con concesión de aguas	Si cuentan con una concesión de aguas vigente.	
Caudal colectado	Quebrada la chapa 7.04 lts segundo, quebrada la Estefana 15.66 lts por segundo	
Tipo de Bocatoma	Tiene una construcción de 41 años, ubicadas en el resguardo la concepción	
Descripción	Presa	
Desarenador	Estructura en concreto	
Descripción	Tanque en regular estado y operación	
Ubicación	Norte	813677
	Este	1057712
Tubería de Conducción	Tubería PVC y manguera, 2 km de distancia	
Tanques de	Tiene dos tanques	

Almacenamiento		
Ubicación	Norte	813797
	Oeste	1057498
Volumen	52000 litros aprox.	
Numero de Acometidas.	80 acometidas, 400 personas	

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

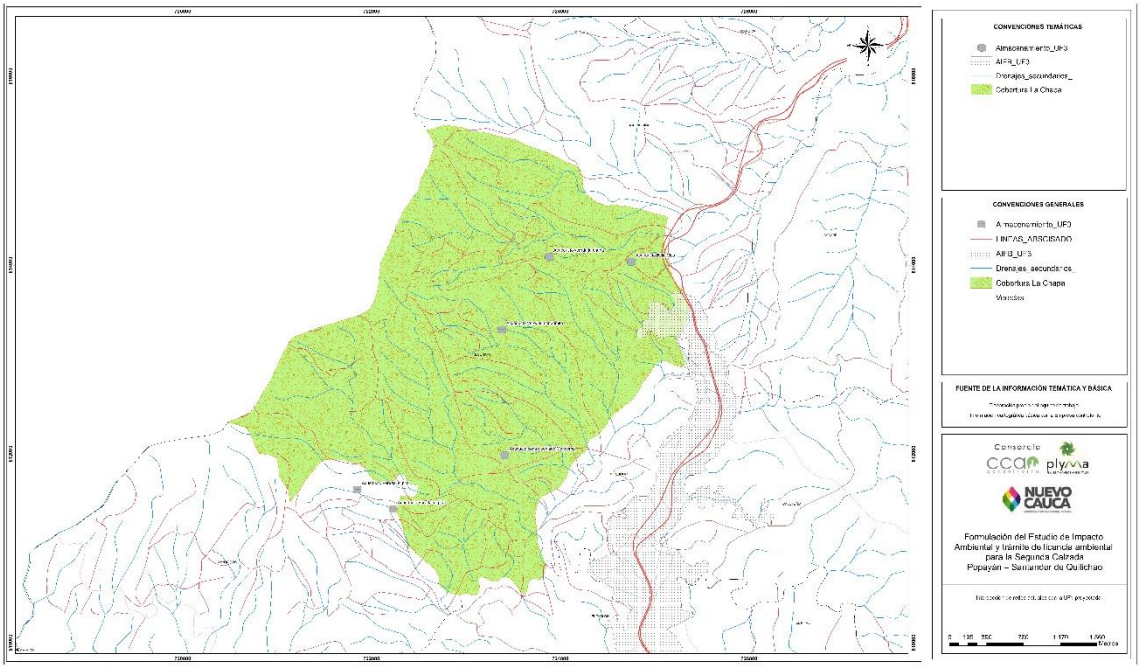


Figura 5.78. Cobertura del acueducto veredal La Chapa
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.7.2.2 Acueducto Bellavista

Este acueducto cuenta con solo la captación y el almacenamiento al igual que el acueducto de la vereda La Chapa cuenta con dos bocatomas para poder suplir la demanda hídrica en la temporada de verano. Este sistema requiere con urgencia la construcción de un desarenador para facilitar las tareas de mantenimiento, así como para prevenir posibles taponamientos de las redes. Se recomienda también la construcción de un sistema de tratamiento de potabilización para poder disminuir la probabilidad de adquirir enfermedades de origen hídrico.

Tabla 5.77. Descripción técnica del Acueducto Veredal Bellavista

Nombre	Acueducto vereda Bellavista	
Fuente Abastecedora	Quebrada La Chapa alta	
Área de protección a la cuenca	1 ha aprox	
Cuenta con concesión de aguas	Si cuentan con una concesión vigente, otorgada por la CRC	
Caudal adjudicado	4 litros por segundo	
Tipo de Bocatoma	Presa	
Descripción	Tienen dos bocatomas en la misma cuenca, en tiempos de verano utilizan las dos.	
Ubicación	Norte	814224
	Oeste	1057405
Ubicación	Norte	814215
	Oeste	1057424
Tubería de Conducción	En PVC de 2", 1 km aprox	
Número de plantas de agua potable	NO	
Tanques de Almacenamiento	en concreto	
Ubicación	Norte	813745
	Oeste	1058368
Volumen	27000 litros	
Numero de Acometidas.	60 acometidas, 300 habitantes aprox.	

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

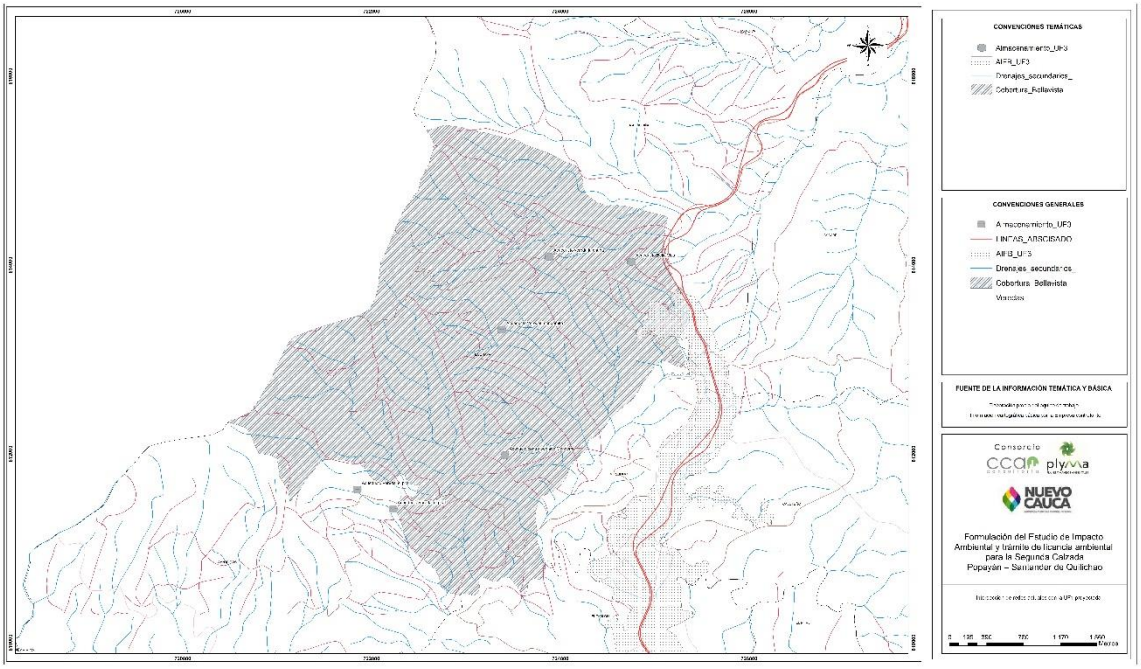


Figura 5.79. Cobertura acueducto Veredal Bellavista
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.62 Bocatoma 1 Acueducto Bellavista
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.63 Bocatoma 2 Bellavista
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.64 Tanque de almacenamiento Acueducto Bellavista
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.7.2.3 Acueducto El Rosal El Tablón

Este sistema de abastecimiento es uno de los más extensos que se encontraron en el AId de la UF3 es un sistema sencillo que cuenta solo con bocatoma desarenador y almacenamiento. Este sistema cuenta con cuatro redes de distribución que amplían la

cobertura hasta las veredas El Tablón, El Rosal, El Pital Parte alta, y Monterilla. En total 1380 personas aproximadamente se abastecen de este sistema.

Tabla 5.78. Descripción técnica acueducto El Rosal – El Tablón

Nombre	Acueducto veredal El Rosal El Tablón	
Fuente Abastecedora	Quebrada Picacho	
Área de protección a la cuenca	5 hectáreas	
Cuenta con concesión de aguas	Sin información	
Caudal colectado	5 l/s	
Tipo de Bocatoma	Construido en concreto de buen estado	
Descripción	Tipo Presa	
Ubicación	Norte	803767
	Oeste	1068919
Desarenador	Tanque de concreto con dos compartimientos	
Descripción	Desarenador en concreto en una sola estructura con dos compartimientos	
Ubicación	Norte	803758
	Oeste	1068905
Tubería de Conducción	En PVC de 8", que se reparten así: 2" vereda las rosas, 2" vereda el tablón, 2 vereda el pital parte alta y 2 monterilla	
Número de plantas de agua potable	No tiene planta de tratamiento de agua potable.	
Tanques de Almacenamiento	Tienen dos tanques continuos, uno grande y otro pequeño	
Ubicación	Norte	805337
	Oeste	1061634
Volumen	27 metros cúbicos	
Numero de Acometidas.	135 acometidas. 680 personas apro. Vda 3l rosal, 150 acometidas y 700 personas aprox.	

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

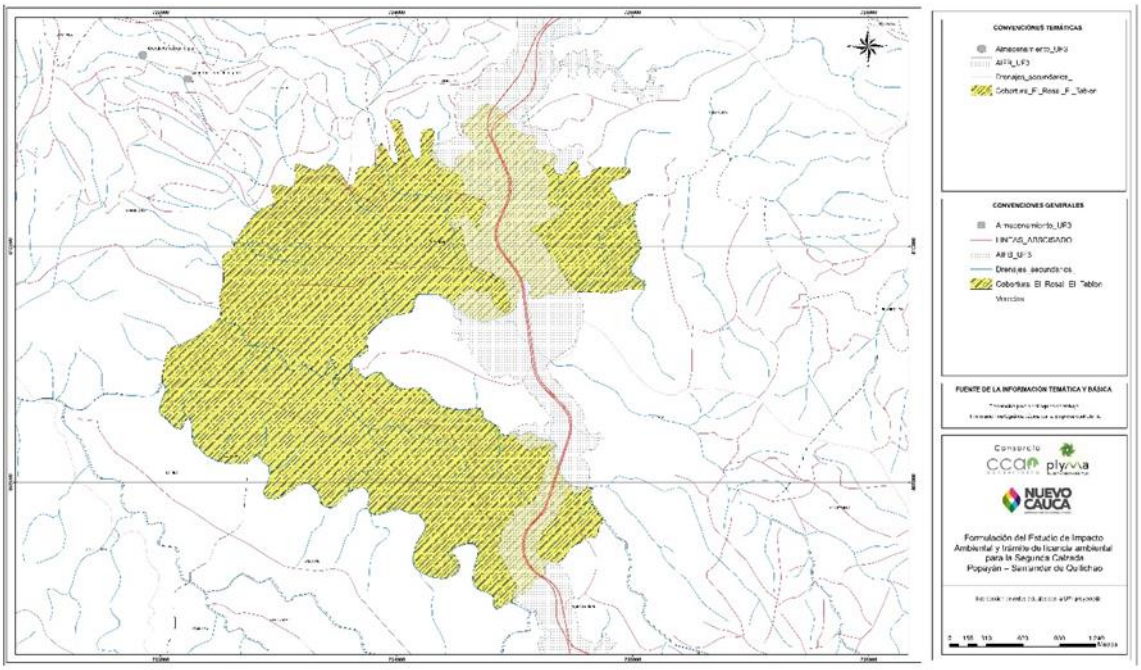


Figura 5.80. Cobertura del acueducto Multiveredal El Rosal El Tablón
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.65 Bocatoma El Rosal
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.66 Desarenador El Rosal
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.67 Tanque de almacenamiento
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.68 Viaductos
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.7.2.4 Acueducto Centro poblado Pescador

Este sistema está construido desde 1970 se pudo ingresar hasta el sitio de instalación del desarenador y se pudo observar que estaba en regular estado y que requiere un tratamiento de refuerzo o realizar una construcción nueva ya que este cumplió con su

ciclo de vida. El caudal captado por este sistema es de 17l/s lo suficiente para abastecer a los usuarios del centro poblado Pescador y los de la vereda del mismo Nombre. El sistema básicamente cuenta con dos redes de distribución una que cubre la población del centro poblado y la segunda abastece a los usuarios ubicados en la vereda.

Tabla 5.79 Descripción técnica del acueducto del centro poblado Pescador

Nombre	Acueducto Centro poblado Pescador	
Fuente Abastecedora	Rio Cabuyal, quebrada la Esperanza, Esperanza oriente	
Área de protección a la cuenca	14 ha	
Cuenta con concesión de aguas	Si cuentan con una concesión vigente, otorgada por la CRC	
Caudal adjudicado	17 litros/segundo	
Tipo de Bocatoma	Presa construida desde 1970	
Descripción	Concreto muestra la falta de mantenimiento en estas infraestructuras	
Ubicación	Norte	resguardo
	Oeste	resguardo
Desarenador	Si tiene	
Descripción	En concreto en mal estado	
Ubicación	Norte	resguardo
	Oeste	resguardo
Tubería de Conducción	PVC 6" con 2 km de recorrido. PVC 3" con 2500 mt	
Ubicación tanques No 1	Norte	801871
	Oeste	1059022
Volumen	210 metros cúbicos, que abastece el tanque No 2	
Ubicación tanques No 2	Norte	801890
	Oeste	1058961
Volumen	75 metros cúbicos ubicado en crucero el pescador que abastece la vereda el pescador	
Numero de Acometidas.	928 usuarios	

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

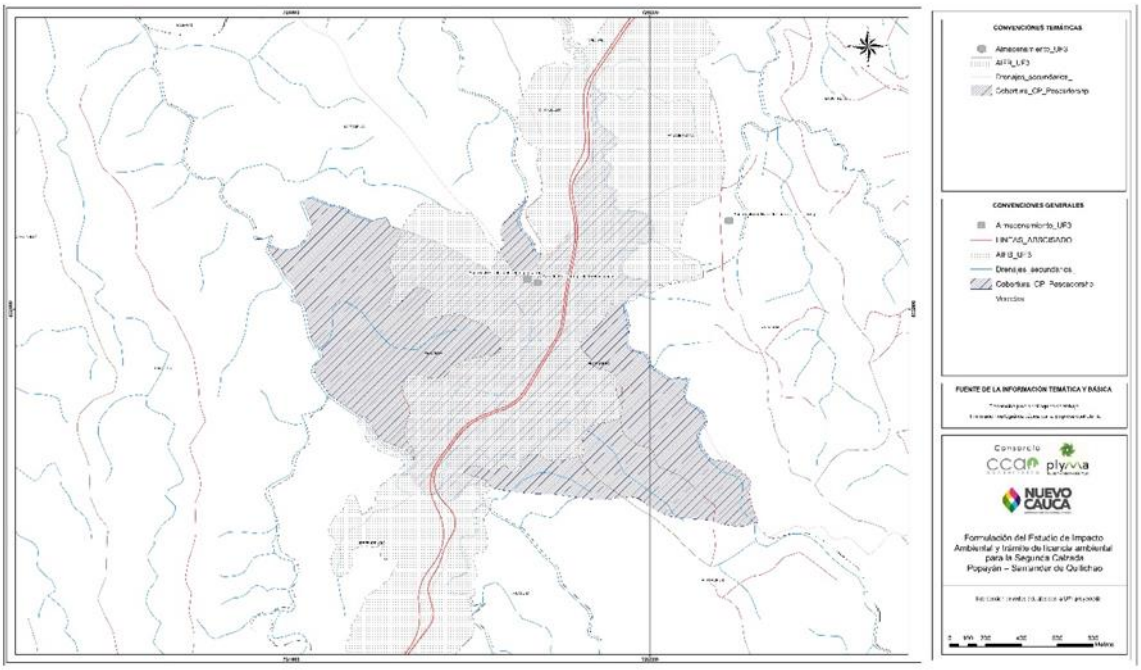


Figura 5.81. Cobertura del acueducto del centro poblado Pescador
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.69 Fime Centro Poblado Pescador
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.70 Filtros en la PTAP del sistema
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.7.2.5 Acueducto Vereda El Pital

El acueducto veredal de EL Pital es un sistema que posee infraestructura muy reciente y por lo tanto esta en un correcto funcionamiento, tal como el caso de la bocatoma, el desarenador que fue construido este año, y la planta de tratamiento de agua potable que se inauguró en 2014.

Este sistema tiene una organización muy bien estructurada en el que realiza balances de agua producida vs agua facturada, cuentan con micro medición en todos los usuarios del acueducto.

Tabla 5.80 Descripción técnica del acueducto El Pital

Nombre	Acueducto El Pital	
Fuente Abastecedora	Quebrada El calvario	
Área de protección a la cuenca	Área propia del acueducto 5 ha	
Cuenta con concesión de aguas	Sin información	
Caudal colectado	10 L/s	
Tipo de Bocatoma	Captación en canal con lechos porosos, construida en el año de 1972	
Descripción	En Concreto con filtros de piedra en regular estado, con una captación total de la quebrada en 4 '	
Ubicación	Norte	811319
	Oeste	1055407

Desarenador	Si, construcción desde el año 2016	
Descripción	Canal En Concreto tipo canoa con tapa de cemento y salida de 4 '	
Ubicación	Norte	811328
	Oeste	1055450
Tubería de Conducción	Tubería en PVC 4" con una longitud de 2km aproximadamente hasta el tanque de almacenamiento	
Número de plantas de agua potable	1	
Caudal de diseño	L/s	
Nombre	El calvario	
Tipo de Tratamiento	Fime, construida en el año 2014. Con dosificación de cloro en macro goteo.	
Ubicación	Norte	811332
	Oeste	1055459
Área del predio	65 metros cuadrados	
Tanques de Almacenamiento	Si, concreto en regular estado	
Ubicación tanques No 1	Norte	811327
	Oeste	1055474
Volumen	16000 litros	
Ubicación tanques No 2	Norte	811123
	Oeste	1055854
Volumen	288 metros cúbicos	
Numero de Acometidas.	279 usuarios con micro medición. 1395 habitantes	

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

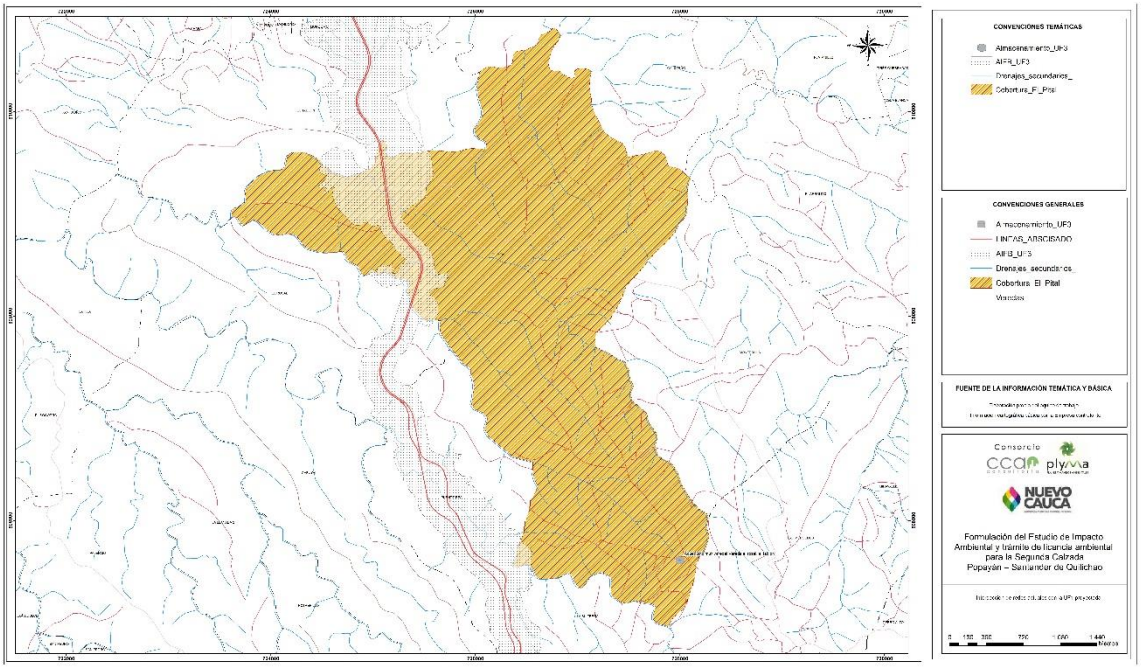


Figura 5.82. Cobertura del acueducto veredal El Pital
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.71 Bocatoma El Pital
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.72 Tanque almacenamiento El CEDRIL
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

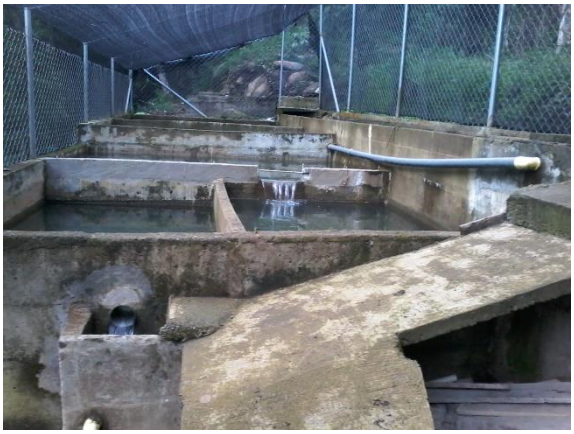


Foto 5.73 PTAP El Pital
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.74 Tanque de almacenamiento El Pital
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.7.2.6 Acueducto Veredal El Crucero

Este sistema es bastante extenso ya que surten un total de 11 veredas del municipio de Caldono, por ende su fuente abastecedora es una de las más importantes dela zona que

es el Rio Ovejas en la parte alta ya que aguas abajo ya presenta altos grados de contaminación disminuyendo la disponibilidad del recurso.

Este sistema cuenta con una conducción de 30 km de longitud y adicionalmente este sistema está compuesto por 5 redes de distribución e igual número de tanques de almacenamiento. No cuentan con una planta de tratamiento ni con micro medición.

Tabla 5.81. Descripción técnica del acueducto de la vereda El Crucero

Nombre	Acueducto El Crucero	
Fuente Abastecedora	Rio ovejas	
Área de protección a la cuenca	1 ha	
Cuenta con concesión de aguas	Sin información	
Caudal colectado	17.5 litros por segundo	
Tipo de Bocatoma	Presa	
Descripción	Concreto	
Ubicación	Norte	785260
	Oeste	1067621
Desarenador	Si, construcción desde el año 2016	
Descripción	Concreto por compartimientos	
Ubicación	Norte	785251
	Oeste	1067584
Tubería de Conducción	8" Asbesto cemento y PVC, en asbesto 5.000 metros, PVC 30.000 metros	
Tanques de Almacenamiento	Cuenta con 5 en concreto	
Ubicación tanques No 1	Norte	792673
	Oeste	1064216
Volumen	100 metros cúbicos	
Ubicación tanques No 2	Norte	797996
	Oeste	1064155
Volumen	94 metros cúbicos	
Ubicación tanques No 3	Norte	798956
	Oeste	1064497
Volumen	101 metros cúbicos	
Ubicación tanques No 4	Norte	799620
	Oeste	1065002
Volumen	108 metros cúbicos	
Ubicación tanques No 5	Norte	802218
	Oeste	1060086
Volumen	63,25 metros cúbicos	
Numero de Acometidas.	806 usuarios, que abastece a 6000 personas Crucero: 81 La primavera: 10	

	El cortijo: 41 El centro: 102 La venta: 78 El Darién: 74 Campo alegre: 52 La buitrera: 116 Panamericana: 82 Buena vista: 44 Cabuyal: 126 La isla: 10

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

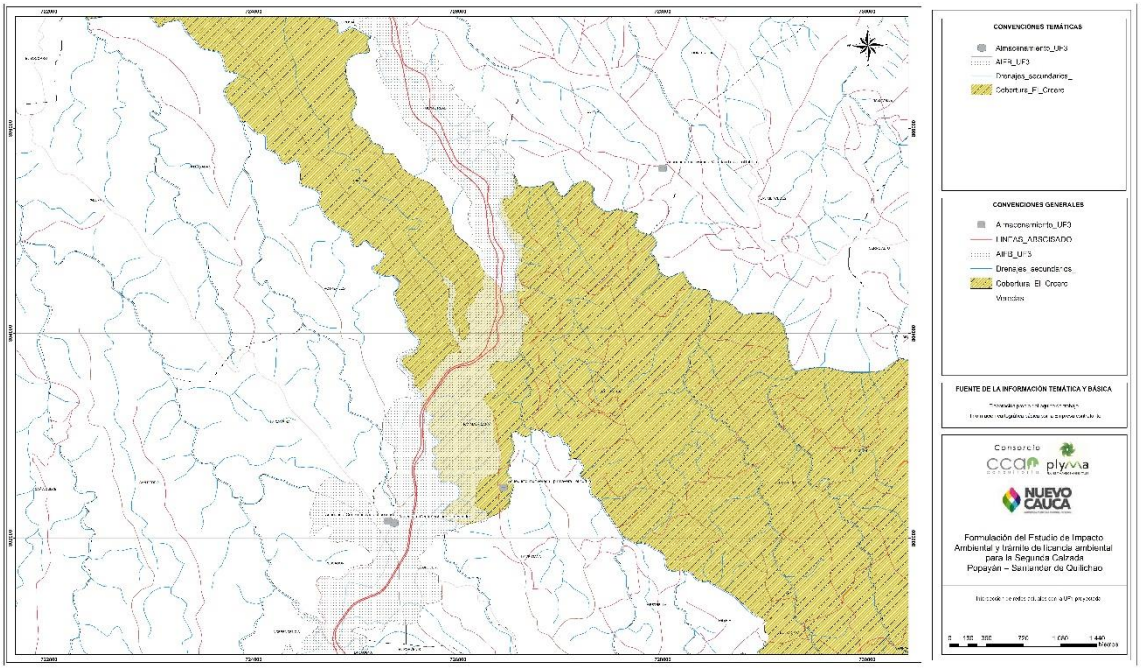


Figura 5.83 Cobertura del acueducto veredal El Crucero
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.75 Bocatoma el Crucero
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.76 Desarenador
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.77Tanque de almacenamiento
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.78 Tanque de almacenamiento
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.7.2.7 Acueducto veredal Mondomito

El acueducto de Mondomito es un sistema convencional construido en su totalidad en concreto, la bocatoma es una infraestructura tipo dique con rejilla central todos los componentes hasta el tanque de almacenamiento se encuentran relativamente cerca lo que facilita el mantenimiento de las estructuras.

La planta cuenta con planta de tratamiento de agua potable, es un sistema FIME (Filtración de múltiples etapas) con inyección de cloro, lo que demuestra que la calidad del agua cruda captada es buena.

Tabla 5.82 Descripción técnica del acueducto veredal Mondomito.

Nombre	Acueducto Mondomito	
Fuente Abastecedora	Quebrada los canelos	
Área de protección a la cuenca	2 ha	
Cuenta con concesión de aguas	Sin información	
Caudal colectado	1.5 litros por segundo	
Tipo de Bocatoma	Presa	
Descripción	En concreto, con captación central, con una longitud de tubería al desarenador de 18 metros en tubería de 3" PVC	
Ubicación	Norte	813201
	Oeste	1056824
Desarenador	Si, construcción desde el año 2016	
Descripción	En concreto, con compartimientos	
Ubicación	Norte	813187
	Oeste	1056827
Tubería de Conducción	3" en PVC, con una longitud a la planta de tratamiento de 400 metros de tubería	
Número de plantas de agua potable	1	
Caudal de diseño	2.5 litros por segundo	
Nombre		
Tipo de Tratamiento	Fime	
Ubicación	Norte	813037
	Oeste	1056993
Área del predio	525 metros cuadrados	
Tanques de Almacenamiento	En concreto	
Ubicación tanques No 1	Norte	813024
	Oeste	1057000
Volumen	22 metros cúbicos	
Numero de Acometidas.	130 usuarios, con un promedio de 650 personas	

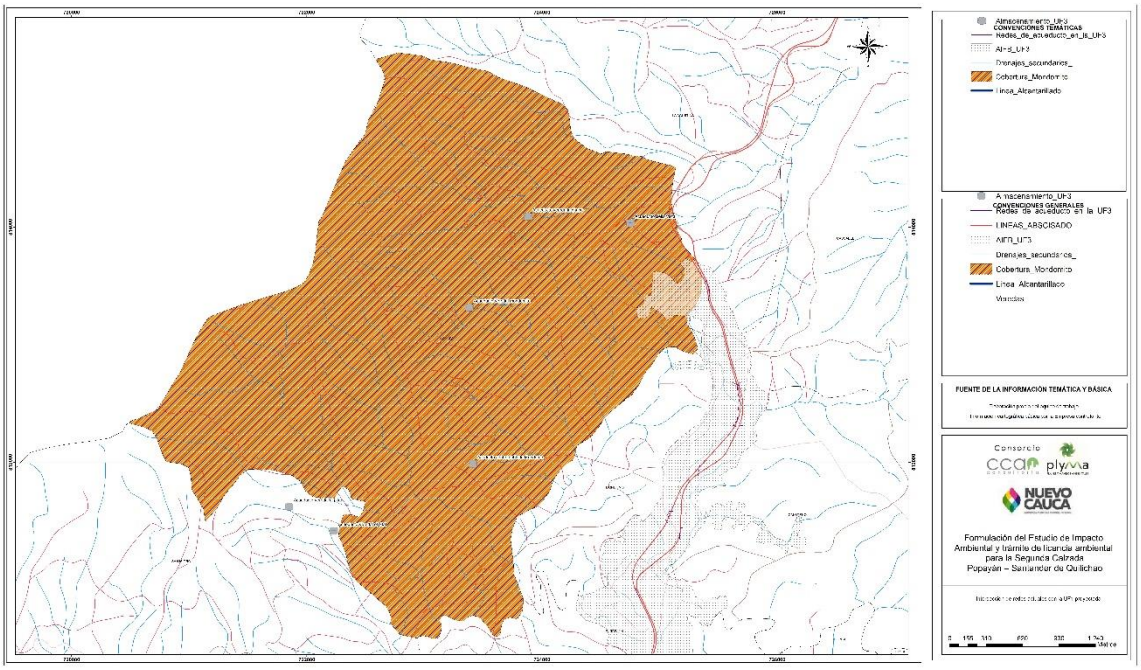


Figura 5.84. Cobertura de acueducto para el sistema de abastecimiento de la vereda Mondomito.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.79 Bocatoma Mondomito
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.80 Desarenador Mondomito
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.81 PTAP en construcción
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.82 Tanque de almacenamiento
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.7.2.8 Acueducto centro Poblado Mondomo

El acueducto del corregimiento de Mondomo es un acueducto muy bien constituido, tiene una junta administradora y es uno de los sistemas de abastecimiento de agua más avanzados del país, debido a la construcción de la planta de tratamiento de agua potable que utiliza un método natural de filtración de múltiples etapas y no requiere la adición de

químicos para para obtener los excelentes resultados en la calidad del líquido, y sin el uso de energía eléctrica.

La planta de tratamiento fue galardonada con un premio nacional otorgado por la fundación Corona, debido al diseño y la construcción innovadora de esta estructura.

Tabla 5.83. Descripción técnica del sistema de acueducto del centro poblado de Mondomo.

Nombre	Acueducto Centro Poblado Mondomo	
Fuente Abastecedora	Quebrada san Pablo	
Área de protección a la cuenca	13 ha	
Cuenta con concesión de aguas	Sin información	
Caudal colectado	18 l/s	
Tipo de Bocatoma	Tipo dique	
Descripción	Bocatoma en concreto	
Número de plantas de agua potable	1	
Caudal de diseño	18l/s	
Nombre	Planta Mondomo	
Tipo de Tratamiento	Fime, Filtración de múltiples etapas	
Ubicación	Norte	811699
	Oeste	1056979
Área del predio	2500mtcuad	
Tanques de Almacenamiento	Tanque en concreto con macromedidor	
Ubicación	Norte	811695
	Oeste	1057035
Volumen	403 metros cúbicos	
Numero de Acometidas.	781 usuarios sólo abastece en el centro poblado	

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

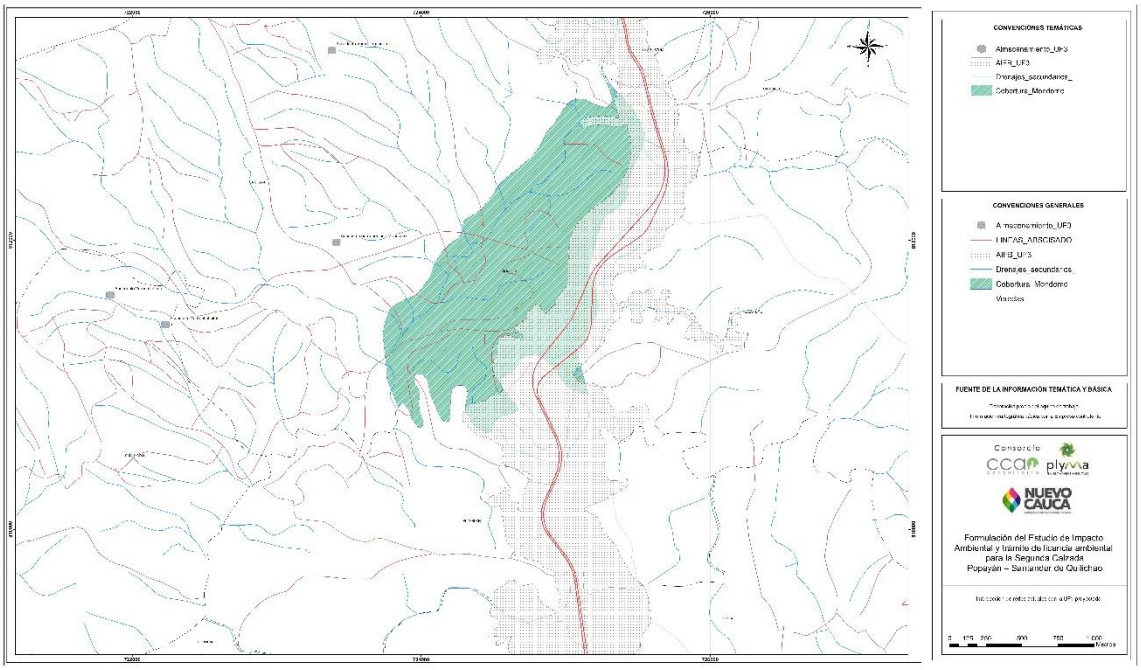


Figura 5.85 Cobertura del acueducto del centro poblado de Mondomo
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.7.2.9 Usuarios individuales del agua en el área de influencia de la UF3

En el área de influencia directa de la UF3 se identificaron 39 usuarios realizando el uso del recurso hídrico principalmente para las actividades domésticas, en este estudio se identificaron estas captaciones y se referenciaron geográficamente, se pudo determinar además que debido a la amplia riqueza de las aguas subterráneas la mayoría de estos usuarios individuales toman agua de los nacimientos cercanos a sus lugares de residencia, es importante aclarar que algunos de estos usuarios están conectados a los distintos sistemas de abastecimiento de agua potable descritos en los numerales anteriores. A continuación en la Tabla 5.84 se describen los usuarios individuales identificados en el AID de la UF3

Tabla 5.84. Usuarios individuales identificados en el AID de la UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Usuario	Fuente de abastecimiento	Ubicación de viviendas		Uso del Agua	Población
		X	Y		

Usuario	Fuente de abastecimiento	Ubicación de viviendas		Uso del Agua	Población
		X	Y		
UF3F01	Nacimiento	810656	1058643	Domestico	6
UF3F02	Nacimiento	806949	1058759	Domestico	3
UF3F03	Fuente sin nombre	806601	1059029	Domestico	1
UF3F04	Fuente sin nombre	806368	1058980	Domestico	5
UF3F05	Fuente sin nombre	806438	1059057	Domestico	60
UF3F06	Fuente sin nombre	806255	1059277	Industrial	4
UF3F07	Nacimiento	806167	1059326	Domestico	8
UF3F08	Nacimiento	806136	1059336	Domestico	4
UF3F09	Nacimiento	805868	1059270	Domestico	9
UF3F10	Nacimiento	805823	1059373	Domestico	4
UF3F12	Nacimiento	805741	1059490	Domestico	5
UF3F13	Fuente sin nombre	805685	1059510	Domestico	3
UF3F14	Quebrada sin nombre pasa por la vía	803392	1059665	Domestico	5
UF3F15	Fuente sin nombre	803877	1060136	Domestico	3
UF3F17	Nacimiento	805269	1059850	Domestico	4
UF3F18	Nacimiento	805500	1059596	Domestico	3
UF3F35	Nacimiento	824116	1064292	Domestico	6
UF3G01	Quebrada Tiembla	812918	1058890	Industrial	8
UF3G03	Nacimiento	806930	1058786	Industrial	4
UF3G04	Fuente sin nombre	806097	1059334	Domestico	7
UF3G05	Fuente sin nombre	805156	1059948	Domestico	6
UF3G06	Nacimiento	805162	1059952	Industrial	8
UF3G07	Fuente sin nombre	805324	1059764	Industrial	5
UF3G08	Fuente sin nombre	805534	1059583	Industrial	9
UF3G09	Fuente sin nombre	806237	1059291	Domestico	3
UF3G10	Fuente sin nombre	806138	1059333	Servicios	11
UF3G11	Fuente sin nombre	806020	1059389	Domestico	3
UF3G12	Fuente sin nombre	805897	1059400	Domestico	4
UF3G13	Fuente sin nombre	805872	1059417	Domestico	3
UF3G14	Nacimiento	805878	1059416	Domestico	5
UF3G17	Fuente sin nombre	805773	1059383	Domestico	7

Usuario	Fuente de abastecimiento	Ubicación de viviendas		Uso del Agua	Población
		X	Y		
UF3G18	Fuente sin nombre	805768	1059421	Domestico	12
UF3G19	Fuente sin nombre	803862	1060076	Domestico	2
Uf3h01	Fuente sin nombre	805255	1059863	Domestico	2
Uf3h04	Nacimiento	806133	1059336	Domestico	20
Uf3h06	Fuente sin nombre	805852	1059450	Domestico	30
Uf3h07	Fuente sin nombre	805836	1059446	Domestico	3
Uf3h08	Fuente sin nombre	805792	1059483	Domestico	4
Uf3h12	Fuente sin nombre	805286	1059819	Domestico	5

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016



Foto 5.83 Uso industrial (rallanderia) en la UF3



Foto 5.84 Almacenamiento de agua en la UF3

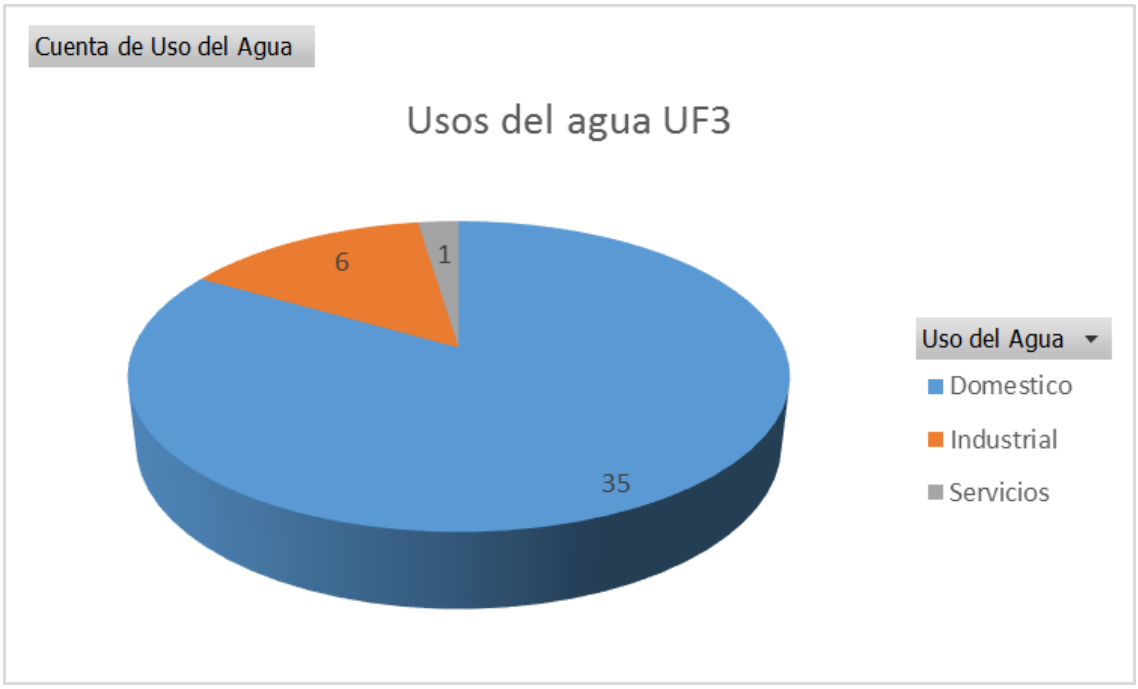


Figura 5.86 Distribución de usos del agua en el AI de la UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.7.3 Estimación de la demanda doméstica actual en el área de influencia

Dotación neta máxima

Para efectos del cálculo de la demanda hídrica para el uso doméstico en el área de influencia directa es de 125 l/hab-dia. y el porcentaje máximo de pérdidas técnicas máximas admisibles es del 25% de acuerdo a lo establecido en la Resolución 2320 de 2009 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Tabla 5.85 Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de Complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab/día)	Dotación neta máxima (L/hab/día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Dotación Bruta

$$Dbruta = \frac{dneta}{(1 - \%p)}$$

Dbruta: dotación bruta

dneta: dotación neta

%p: pérdidas técnicas máximas admisibles

Donde:

$$Dbruta = \frac{125}{(1 - 0.25)}$$

$$Dbruta = 166.67 \frac{lt}{hab - dia}$$

Tabla 5.86 Demanda individual estimada en el AI de la UF3

Código usuario	Demanda
UF3F01	0,012
UF3F02	0,006
UF3F03	0,002
UF3F04	0,010
UF3F05	0,116
UF3F06	0,008
UF3F07	0,015

Código usuario	Demanda
UF3F08	0,008
UF3F09	0,017
UF3F10	0,008
UF3F12	0,010
UF3F13	0,006
UF3F14	0,010
UF3F15	0,006
UF3F17	0,008
UF3F18	0,006
UF3F35	0,012
UF3G01	0,015
UF3G03	0,008
UF3G04	0,014
UF3G05	0,012
UF3G06	0,015
UF3G07	0,010
UF3G08	0,017
UF3G09	0,006
UF3G10	0,021
UF3G11	0,006
UF3G12	0,008
UF3G13	0,006
UF3G14	0,010
UF3G17	0,014
UF3G18	0,023
UF3G19	0,004
Uf3h01	0,004
Uf3h04	0,039
Uf3h06	0,058
Uf3h07	0,006
Uf3h08	0,008
Uf3h12	0,010

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

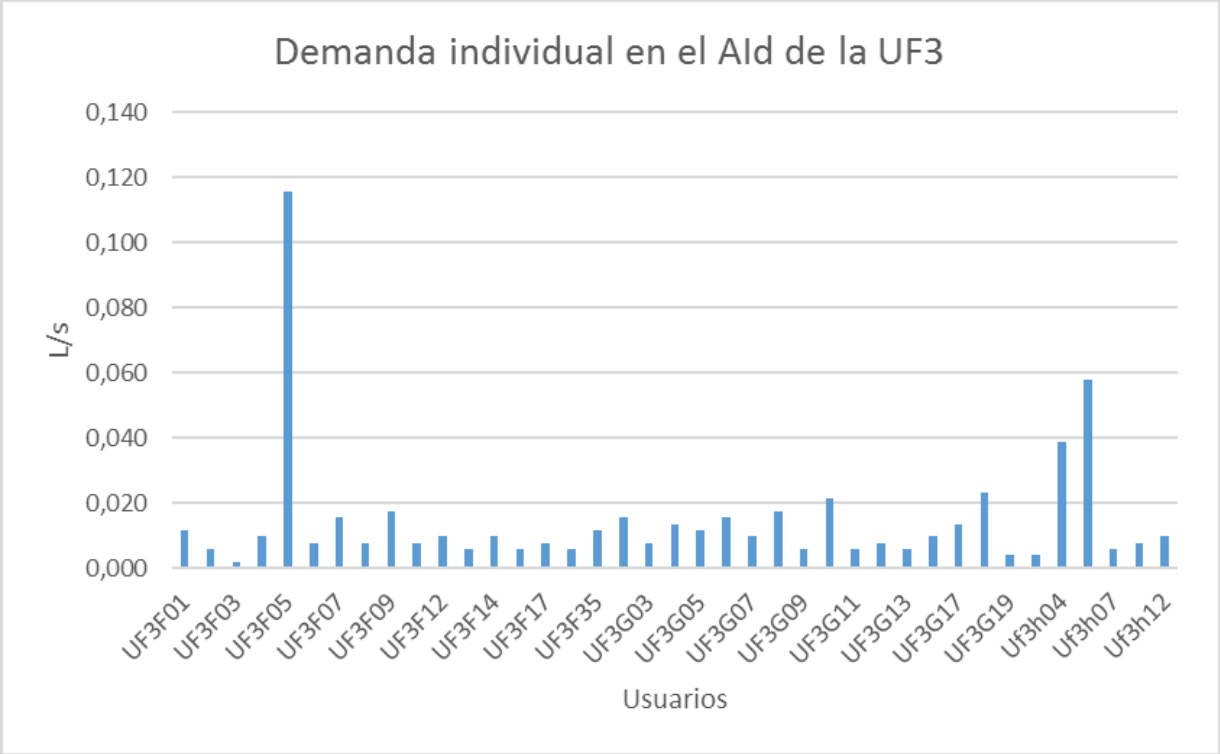


Figura 5.87. Demanda estimada para usuarios individuales en el AID de la UF3
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

En la Tabla 5.87 se muestra un gráfico comparativo para las demandas domesticas estimadas para los usuarios individuales identificados en el AI de la UF3, es evidente que la diferencia más notoria se presenta para el usuario identificado con el UF3H05 este es el que cuenta con una demanda más alta que los demás usuarios identificados esto se debe al uso servicios que le da al agua este usuario, los demás usuarios identificados se encuentran en un rango muy similar. En la Tabla 5.87 se muestra la demanda hídrica total estimada para la UF3 teniendo en cuenta los usuarios colectivos e individuales identificados en el AI del proyecto.

Tabla 5.87 Demanda hídrica total en el AI UF3

Usuarios	Demanda (l/s)
Acueducto La Chapa	22
Acueducto Bellavista	4
Acueducto El Rosal El Tablon	5
Acueducto Pescador	17

Usuarios	Demanda (l/s)
Acueducto El Pital	10
Acueducto El crucero	17,5
Acueducto Mondomito	1,5
Acueducto CP Mondomo	18
Usuarios Individuales	0,567
Total	**95,567**

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., S.A.S., 2016

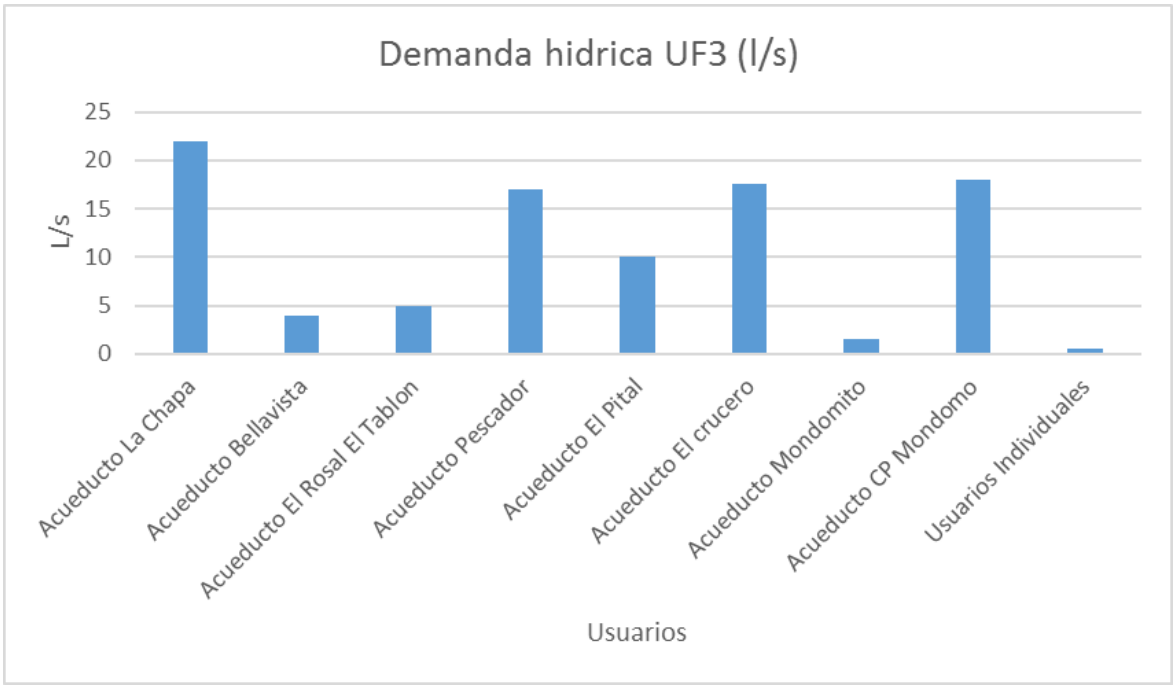


Figura 5.88 Distribución de las demandas hídricas en el AI de la UF3

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., S.A.S., 2016

5.1.7.4 Identificación de posibles conflictos por uso del agua en el área de influencia directa.

Debido a la ubicación de la segunda calzada se puede asegurar que en ninguna de las fases que componen el proyecto de la construcción de la unidad funcional 3 de la vía Popayán – Santander de Quilichao no se afectaran las fuentes que sirven de abastecimiento a los acueductos identificados en el área de influencia de la UF3 del presente proyecto. A continuación, en la Tabla 5.88, se muestran los usuarios que actualmente se abastecen de las mismas fuentes que serán objeto de concesiones.

Tabla 5.88 Usuarios sobre las fuentes a solicitar concesión de aguas

Sistema de Acueducto	Fuente de Abastecimiento	Demanda Actual (l/s)	Demanda Proyectada (l/s)	Ubicación
Centro Poblado Pescador	Rio Cabuyal, Q la esperanza, La esperanza Oriente	17	17,5	Aguas arriba de la C2
Multiveredal El Crucero	Rio Ovejas	17,5	18	Aguas arriba de la C4

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., S.A.S., 2016

Sin embargo, existe la potencialidad de un conflicto ya que muchas de las redes de distribución se encuentran instaladas en las zonas aledañas a la actual vía panamericana, y que pueden ser cruzadas por la vía proyectada. La relación de longitudes y de diámetros que se puedan ver afectar en la fase de construcción de la segunda calzada de la vía panamericana en la UF3 se muestra en la Tabla 5.89.

Tabla 5.89 Relación de las redes de acueductos que intersectan la vía panamericana, discriminada por diámetro y material.

Diam	Material	Operador	LONG_TOTAL
3,0	PVC	Acueducto Mondomo	122
3,0	PVC	Acueducto Mondomo	44
2,0	PVC	Acueducto Mondomo	318
1,5	PVC	Acueducto Mondomo	84
3,0	PVC	Acueducto Mondomo	384
2,0	PVC	Acueducto Mondomito	211
0,5	PVC	Acueducto Mondomo	277
1,0	PVC	Acueducto Mondomo	303
16,0	PVC	Emquilichao	1999
1,3	PVC	Acueducto Mondomo	90
1,5	PVC	Acueducto Mondomo	259
16,0	PVC	Emquilichao	14969
2,0	PVC	Acueducto Pescador	1502
2,0	PVC	Acueducto El Crucero	249
2,0	PVC	Acueducto El Crucero	1476
2,0	PVC	Acueducto El Pital	36
2,0	PVC	Acueducto Belavista	180
2,0	PVC	Acueducto Belavista	15
2,0	PVC	Acueducto Belavista	413

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.8 Hidrogeología

Dadas las características del proyecto de infraestructura vial relacionado con la construcción de una segunda calzada adosada a la existente, que no implica la ejecución de obras subterráneas. La hidrogeología se enfoca en la consolidación de un modelo conceptual que comprende la identificación de los acuíferos existentes en el área de influencia, teniendo en cuenta, los estudios e investigaciones hidrogeológicas realizadas por diferentes instituciones estatales, así como los planes de ordenamiento y reglamentación de corrientes hídricas que determinó para la zona objeto de estudio, la Corporación Autónoma Regional del Centro de Cauca (CRC).

En esta componente se realizan todas las actividades encaminadas en definir las unidades hidrogeológicas dentro del área de influencia, además de identificar la interacción entre las aguas subterráneas y aguas superficiales en la zona de estudio. Estas actividades se desarrollan conforme a la Resolución 0751 del 26 de marzo de 2015.

Inicialmente se presenta la metodología para la definición de las unidades hidrogeológicas y del modelo hidrogeológico conceptual donde se identifican las zonas potenciales de recarga y descarga de aguas subterráneas, con todos los insumos que se utilizarán.

Vale la pena aclarar que un modelo hidrogeológico conceptual se basa en una serie de hipótesis y asunciones que reducen el problema del flujo del agua subterránea y el dominio real del medio subterráneo a una versión simplificada de la realidad para representar de manera adecuada los mecanismos de recarga, tránsito y descarga del agua subterránea.

El modelo hidrogeológico conceptual tiene en cuenta aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrogeoquímicos, hidrológicos, hidrogeológicos y climáticos. Es importante resaltar que estos modelos son dinámicos y a medida que se disponga de información nueva, se debe reevaluar y ajustar (Vélez, M.V, 2010). En la Figura 5.89 se puede observar un esquema adaptado de la teoría de círculos crecientes (IDEAM, 2004) para el análisis hidrogeológico.

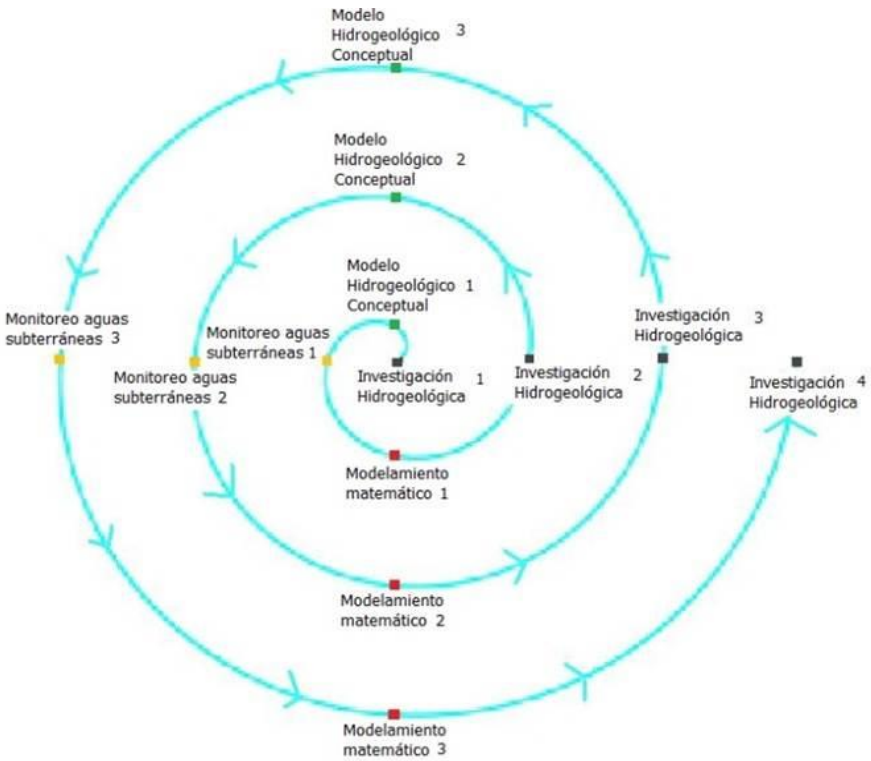


Figura 5.89. Teoría de los ciclos crecientes en los sistemas de aguas subterráneas
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016 (Adaptado de IDEAM, 2004).

5.1.8.1 Metodología

Un modelo hidrogeológico conceptual es un esquema lógico, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, que trata de predecir el comportamiento del flujo del agua, determinar recursos explotables y prever posibles impactos ambientales sobre el sistema de aguas subterráneas. Su objetivo es, ser una herramienta de diseño que represente el estado hidrogeológico de un área definida de una manera simplificada y que describa la posible distribución del agua subterránea incluyendo las zonas de recarga, almacenamiento y descarga; éste tiene un valor predictivo muy útil al momento de manejar el recurso de agua subterránea.

A continuación se presenta el marco teórico de la metodología de trabajo que se desarrollará para la caracterización de la componente hidrogeológica del presente estudio (Figura 5.90).

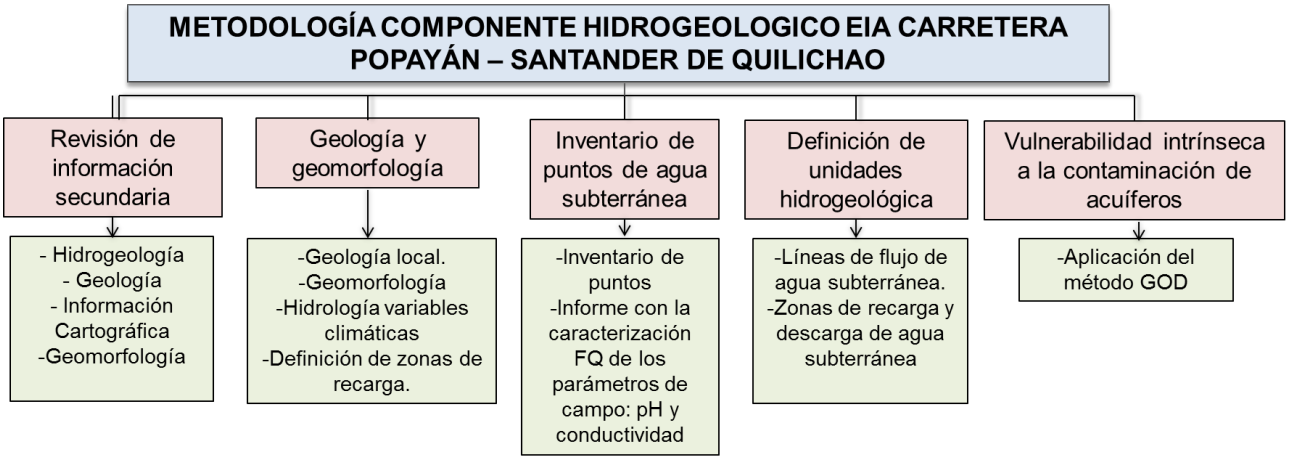


Figura 5.90. Metodología de trabajo que se desarrollará para la definición del componente hidrogeológico.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Como se muestra en la Figura 5.90 en el desarrollo del componente hidrogeológico inicialmente se realiza el análisis de información secundaria teniente a conocer las características regionales de la zona en estudio en aspectos como hidrogeología, geología, geomorfología, luego con la información ya levantada de los compontes de geología y geomorfología se definen las unidades hidrogeológicas, se construye el modelo hidrogeológico conceptual y finalmente se realiza la vulnerabilidad intrínseca aplicando la metodología GOD.

5.1.8.2 Análisis de Información Previa

5.1.8.2.1 Revisión de información secundaria

La recolección y análisis de información secundaria, es la fase inicial de un proyecto, cuyo inventario permite hacer un diagnóstico de la cantidad y calidad de información con la que se cuenta y determinar si es necesario información adicional.

Como se menciona en la metodología propuesta, la fase inicial corresponde a la recolección de información secundaria de la zona de estudio relacionada con geología, geomorfología e hidrogeología. Se obtuvo información de dos tipos: información recolectada por el Consorcio, que comprende cartografía, y algunos estudios realizados en la zona con diversos objetivos e información recolectada por otras fuentes. En la Tabla 5.90, se muestra en resumen los estudios consultados.

Tabla 5.90. Información secundaria recolectada.

No	Título	Año	Autor	Descripción
1	Estudio Nacional del Agua	2014	IDEAM	Estudio donde se presenta la definición de las provincias y unidades hidrogeológicas del país, en escala regional
2	Desarrollo del modelo hidrogeológico conceptual de la meseta de Popayán	2002	Olmos, E.	Modelo hidrogeológico conceptual de la meseta de Popayán
3	Mapa geológico plancha 342	1999	INGEOMINAS	Memoria técnica y mapa geológico de la plancha 342 de Ingeominas escala 1:100.000
4	Mapa geológico plancha 320	1999	INGEOMINAS	Memoria técnica y mapa geológico de la plancha 320 de Ingeominas escala 1:100.000
5	Mapa geológico plancha 321	1999	INGEOMINAS	Memoria técnica y mapa geológico de la plancha 321 de Ingeominas escala 1:100.000
6	Aproximación de la recarga de agua subterránea en el norte del Departamento del Cauca, Colombia	2015	Pérez, C et al - Universidad del Valle	El objetivo del estudio fue estimar la recarga del acuífero como herramienta para su gestión en las actividades desarrolladas en la región.
7	Diagnóstico de la oferta y demanda hídrica del acuífero del Valle del Patía. CRC - Universidad del Valle	2013	CRC - Universidad del Valle	Estudio de la oferta y la demanda hídrica del acuífero del Valle del Patía, contando con el apoyo técnico y logístico de la Subdirección Ambiental de la CRC y con la participación de las organizaciones estatales y comunitarias de la zona de estudio
8	Estudio geoeléctrico en Valle alto del Río Patía	1995	Pérez, R	Prospección eléctrica en el valle alto del Río Patía para definir la geometría de los sedimentos en la zona
9	Plan de Ordenación y Manejo de la parte alta de la Subcuenca Hidrográfica del Río Palace	2010	CRC - ACUC GL Convenio 1037-13-12-05	Plan de Ordenamiento y Manejo de la Subcuenca Alta Palacé

No	Título	Año	Autor	Descripción
10	Caracterización y consolidación de información hidrogeológica secundaria disponible de los sistemas acuíferos de la región Andina de Occidente	2013	Bustamante, L. et al	En este trabajo se desarrolla una síntesis de los estudios hidrogeológicos a escala regional realizados en la región Andina Occidente que incluye el acuífero denominado como Cauca - Patía
11	Evaluación de Acuíferos el Valle del Cauca - Hidrogeología del Valle del Río Cauca entre Santander de Quilichao y el Río Sonso	1970	INGEOMINAS	Entre 1967 y 1970 INGEOMINAS y la CVC, llevaron a cabo el estudio hidrogeológico del valle del Río Cauca entre Santander de Quilichao y el Río Sonso, y con límites Este y Oeste las estribaciones de las cordilleras Central y Occidental, con un área total de 4600 km^2
12	Agua subterránea en La Ladera, Popayán, Cauca	1953	INGEOMINAS	En el informe se consignan los diferentes resultados y conclusiones del estudio hidrogeológico, realizado para determinar la posibilidad de abastecer con agua subterránea potable el predio la Ladera, en el municipio de Popayán.
13	Balance hídrico de las aguas subterráneas	2010	García, M	Se presenta el balance hídrico de la zona urbana del municipio de Santiago de Cali, donde se observan características acuíferas de la Formación Popayán

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.8.2.2 Geología

La base para la definición de las unidades hidrogeológicas es la geología y a continuación se presenta un resumen de la geología correspondiente a la Unidad Funcional 3, la cual se encuentra descrita en detalle el numeral Geología. En la Tabla 5.91 se observa el resumen de las unidades geológicas y en la Figura 5.91 el mapa geológico.

Tabla 5.91 Geología local de la Unidad Funcional 3.

Unidad Geológica	Nomenclatura	Descripción
Deposito aluvial	Qal	Acumulación local de gravas y arenas en algunos segmentos de los principales ríos de la zona de estudio, la composición de las gravas es rocas volcánicas como andesitas, basaltos y tobas, y fragmentos de líticos, pómez y cristales de origen volcánico.
Formación Popayán	Ngpc1	Cenizas de caída color amarillo de baja plasticidad, en estado avanzado de meteorización originando limos homogéneos.

Unidad Geológica	Nomenclatura	Descripción
Formación Popayán	Ngpc3	Cenizas de caída color rojizo de alta plasticidad, en estado avanzado de meteorización originando limos homogéneos.
Formación Popayán	Ngcp4	Arcillas amarillas y blancas
Formación Popayán	Ngpfg	Flujos grises de cenizas y bloques
Formación Esmita	Ngme2	Areniscas y lodolitas muy competentes

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

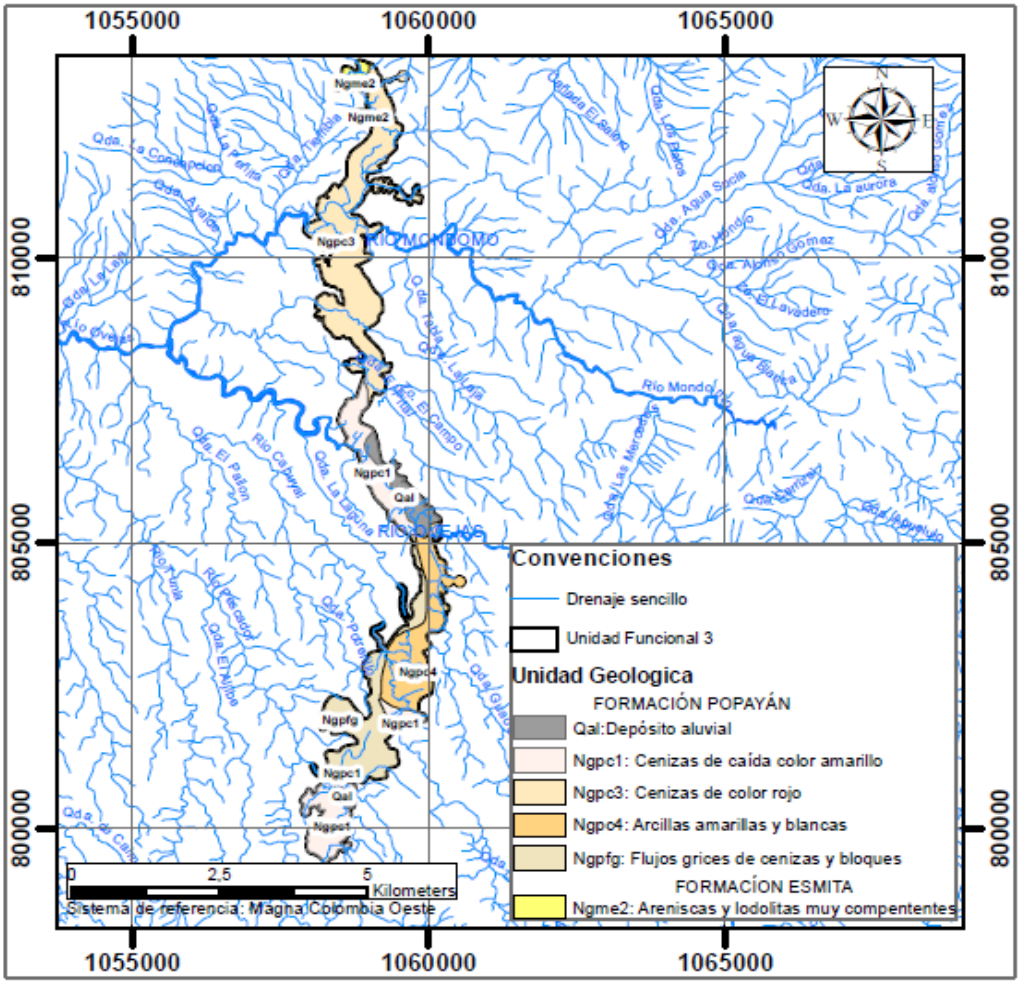


Figura 5.91. Mapa geológico Unidad Funcional 3.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Una de las unidades geológicas que se presenta a lo largo de la zona de estudio es la Formación Popayán, esta formación se encuentra en contacto discordante sobre sedimentos terciarios y cretácicos, litológicamente está conformada por una secuencia de materiales depositados en un ambiente fluviotorrencial, de tobas, cenizas, lavas aglomeradas, bloques de diabasas gabros, basaltos, gravas y areniscas esporádicas, altamente meteorizadas embebidas dentro de una matriz areno limo arcilloso. Dado su predominio arcilloso sus condiciones acuíferas son pobres, sin embargo, es posible que los horizontes conglomeráticos intercalados constituyan acuíferos de mayor producción. (García, M, 2010).

En otras zonas como se menciona en el estudio “Desarrollo del modelo hidrogeológico conceptual de la meseta de Popayán” de Olmos (2002), el conjunto de sedimentos no consolidados también de la Formación Popayán, constituyen un acuífero aprovechable, debido a su proximidad a la superficie y composición, principalmente entre los límites de los ríos Cauca, Molino y Ejido, donde el acuífero alcanza mayores espesores hacia la conexión de las tres corrientes. Finalmente se estableció que las alimentaciones de este acuífero provienen de la filtración de agua lluvia al norte de Popayán, más allá de la ciudad, junto al aporte de agua subterránea de acuíferos infrayacentes, a través de las fallas que atraviesan la meseta y adicionalmente fijan el trazado de las principales corrientes superficiales.

Según lo anterior en la zona de estudio la Formación Popayán (Ngpc1) no corresponde a un acuífero aprovechable, al igual que los depósitos de flujo de lodos (Qfl) ya que por presentar matriz arcillosa no tiene capacidad de almacenar aguas subterráneas. Las unidades geológicas con potencial de agua subterránea serían (Ngme2) y el depósito aluvial (Qal) por presentar materiales arenosos con alta porosidad y permeabilidad.

5.1.8.2.3 Geomorfología

Así como las características litológicas tienen importancia relevante, también la tienen las características geomorfológicas, del área de estudio, ya que la conformación del relieve juega un papel clave en las investigaciones hidrogeológicas. Ésta disciplina aporta mapas y datos que relacionan la diversidad de geoformas con las características del drenaje, las cuales contribuyen significativamente en la identificación de áreas de recarga de aguas subterráneas (Singhal, 2010). A continuación en la Tabla 5.92 se presenta un resumen de las unidades geomorfológicas y en la Figura 5.92 se observa el mapa geomorfológico; información que se describen en detalle en el numeral de Geomorfología.

Tabla 5.92. Geomorfología Local de la Unidad Funcional 3.

Unidad	Nomenclatura	Descripción
Unidad Geomorfológica 1: Unidad de depósitos fluviales	UDF	Corresponde a depósitos fluviales restringidos a llanuras de inundación, como las del río Quinamayó y sus principales afluentes las

Unidad	Nomenclatura	Descripción
		quebradas El Duende y Chaquemaque que son llanuras amplias; estrechas como en los ríos Ovejas y Mondomo. Presenta topografía plana y no posee un drenaje específico, a excepción de los ríos y quebradas que la depositaron
Unidad Geomorfológica 2: Unidad de lomas abultadas de alta pendiente y cimas redondeadas	ULAPCR	Su morfología es de lomas abultadas, de alta pendiente, con cimas redondeadas a ligeramente agudas. Al menos en el área de estudio, debido a su expresión discontinua, en general esta unidad no tiene un drenaje propio bien desarrollado; pero en las zonas de alta pendiente se observa un drenaje paralelo a sub-paralelo bien desarrollado, de densidad media. En otros sectores aislados se observa un drenaje dendrítico de mediana a alta densidad, como en su manifestación más norte en el área de estudio
Unidad Geomorfológica 3: Unidad de montañas altas y pendientes empinadas y alargadas	UMAPE	El patrón principal de drenaje es paralelo con tributarios cortos igualmente paralelos, con densidad de drenaje media; la pendiente es baja, el drenaje es sub-dendrítico a sub-paralelo y de baja densidad. En general la franja más oriental tiene montañas altas, empinadas y alargadas, con divisorias agudas y poco sinuosas; los valles son rectos y en forma de V en corte transversal; mientras que la zona de baja pendiente tiene lomas bajas, de divisorias suaves y cortas
Unidad Geomorfológica 4: Unidad asociada a sedimentitas de la formación Esmita	USFE	Patrón paralelo a sub-paralelo, hacia el norte y occidente paulatinamente se vuelve sub-dendrítico a dendrítico. Presenta morfología montañosa, de lomas sinuosas con divisorias generalmente agudas y valles profundos en V, con laderas de alta pendiente.
Unidad Geomorfológica 5: Unidad de Valles sinuosos, estrechos y profundos	UVSEP	El drenaje en la unidad es claramente dendrítico algo contorsionado, sinuoso y de alta densidad, en algunas partes es dendrítico de densidad media con variaciones a sub-dendrítico. La densidad de drenaje expresa que la unidad está dominada en su composición por materiales finos e impermeables, comportamiento que, sumado a su morfología, corresponde al de una secuencia de depósitos vulcano-sedimentarios dispuestos horizontalmente, probablemente de caída aérea. Estos materiales son susceptibles a deslizamientos y colapsos.

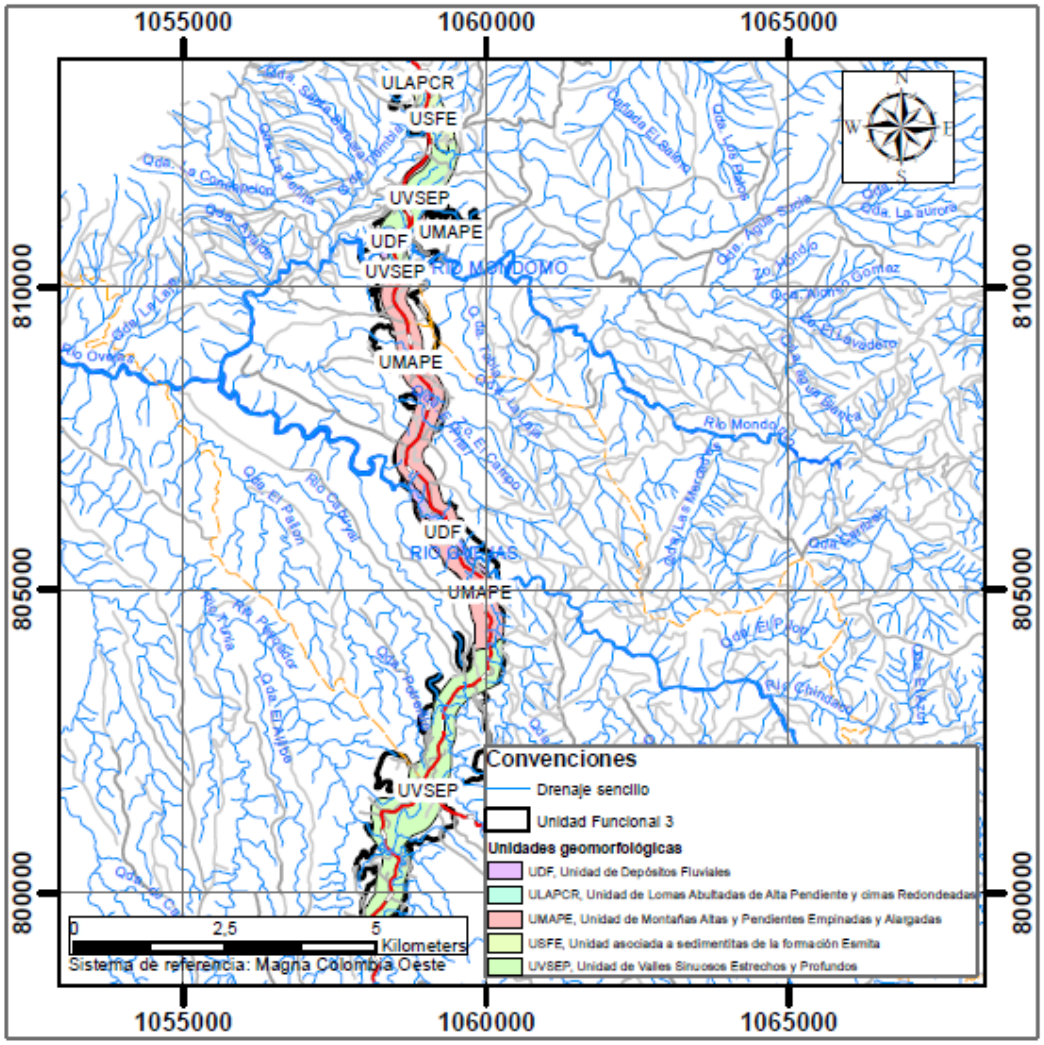


Figura 5.92 Mapa geomorfológico de la Unidad Funcional 3.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

De acuerdo con la información anterior y al DEM de la zona de estudio se puede concluir que en las unidades geomorfológicas con mayores pendientes (UVSEP, UMAPE y ULAPCR) se produce escorrentía superficial rápida con flujos subsuperficiales que descargan a las zonas de menor pendiente como la que presentan las unidades USFE y UDF.

5.1.8.2.4 Hidrología

Para determinar la recarga de las unidades hidrogeológicas presentes y realizar un análisis de los procesos de recarga que se dan en los acuíferos de la zona y su cuantificación de la información de carácter hidrológica es importante.

Las variables de interés especial para efectos de simulación hidrogeológica son los caudales aforados, la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración, sobre las cuales se habla en los siguientes apartados.

A. Caudales

En la Tabla 5.93 se presentan los caudales medios mensuales para las estaciones de interés que se describen con detalle en el capítulo 5.1.5 Hidrología, además de todos los procedimientos seguidos para este componente.

Tabla 5.93 Caudales medios estaciones de interés.

Caudales medios mensuales [m3/s]					
Estación / Mes	**Pte Carretera 26027030**	**Totoro 26027080**	**Pte Carretera 26027100**	**Pte Carretera 26027200**	**Pte Ferrocarril 26027210**
Enero	7,56	1,29	7,63	5,62	5,21
Febrero	6,57	1,04	6,90	5,39	5,06
Marzo	6,12	1,16	7,69	6,17	5,50
Abril	7,78	1,24	8,77	7,03	5,80
Mayo	7,35	1,15	8,93	7,06	5,71
Junio	5,60	0,99	9,74	7,92	3,45
Julio	3,81	1,21	10,53	8,93	1,97
Agosto	3,02	0,98	7,46	6,95	1,41
Septiembre	2,82	0,72	4,90	4,76	1,50
Octubre	4,50	1,00	6,43	5,53	3,38
Noviembre	8,47	1,60	9,01	7,26	6,95
Diciembre	9,17	1,42	9,39	6,91	6,55
Anual	6,07	1,15	8,12	6,63	4,37

B. Temperatura

En la Figura 5.93 se muestra la distribución espacial de la temperatura media anual en las áreas de influencia directa e indirecta de todo el proyecto. Información que se muestra en detalle en el capítulo 5.1.10 Atmósfera.

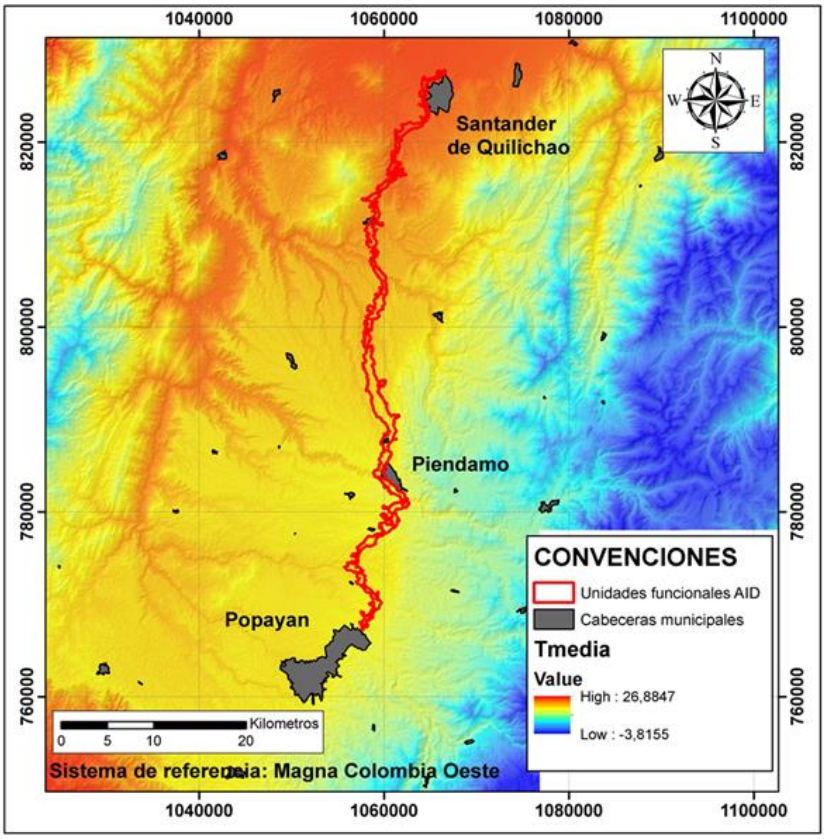


Figura 5.93 Mapa de temperatura media anual.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

En la Tabla 5.94 se presentan el resultado de la integración espacial de la Unidad Funcional 3 sobre el mapa de temperatura media anual; se observan rangos de variaciones en la temperatura media anual de 1,6 °C.

Tabla 5.94 Valores de temperatura anual [°C].

Temperatura [°C]	UF3
Máxima	36,4
Medio	35,5
Mínima	34,8

C. Precipitación

En la Figura 5.140 se presenta el mapa de precipitación media anual para el área de influencia directa e indirecta de todo el proyecto. Información que se muestra en detalle en el capítulo 5.1.10 Atmósfera.

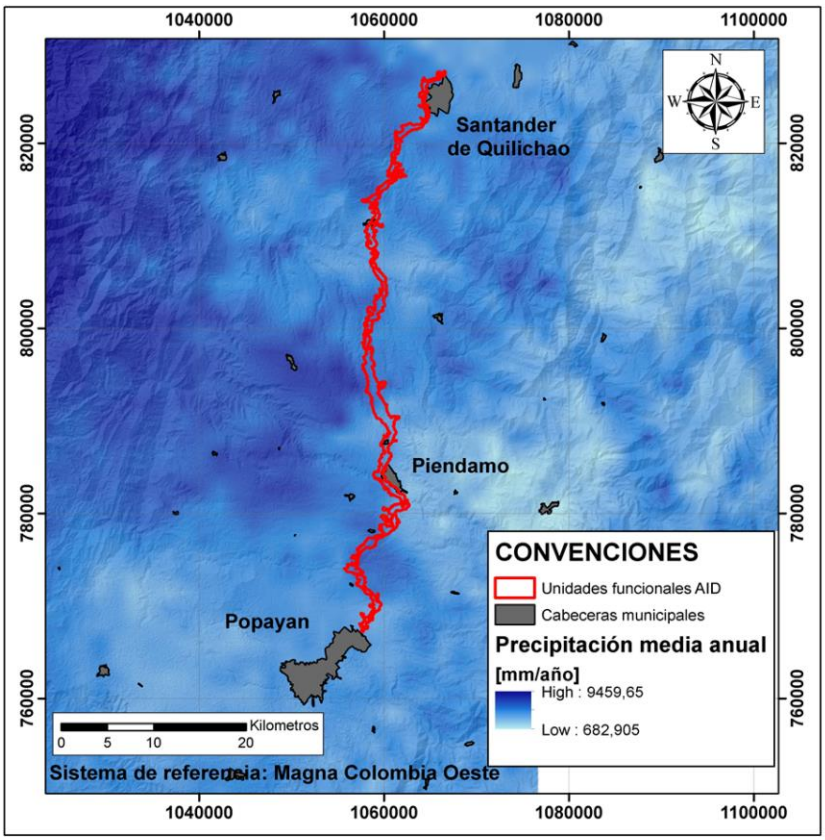


Figura 5.94. Mapa de precipitación media anual [mm/año].
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Sobre el mapa de precipitación se realizó la integración espacial con el polígono perteneciente a la Unidad Funcional 3; en la Tabla 5.122 se presentan los valores máximos, medio y mínimos anuales para la Unidad Funcional 3.

Tabla 5.95. Valores anuales de precipitación [mm/año].

Precipitación [mm/año]	UF3
Máxima	2.859
Medio	2.428
Mínima	2.131

D. Evapotranspiración:

En la Figura 5.143 se presenta la distribución espacial de la evaporación obtenida por el método de Cenicafé-Budyko y en la Figura 5.96 por el método de Turc para toda el área del proyecto. En la Tabla 5.124 se presentan los valores máximos, medios y mínimos anuales, producto de la integración espacial del polígono de la Unidad Funcional 3 sobre los mapas de evapotranspiración real estimados por los dos métodos mencionados anteriormente. Ambas metodologías se describen en detalle en el capítulo 5.1.10 Atmósfera.

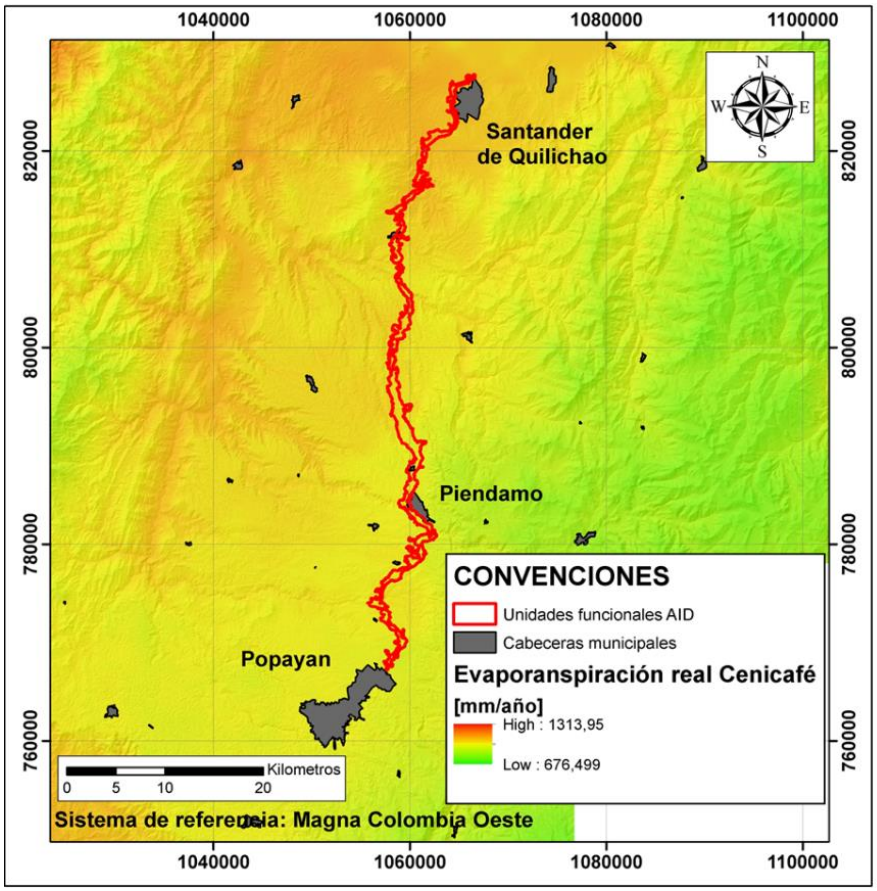


Figura 5.95. Mapa de evapotranspiración real por el método Cenicafé-Budyko.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

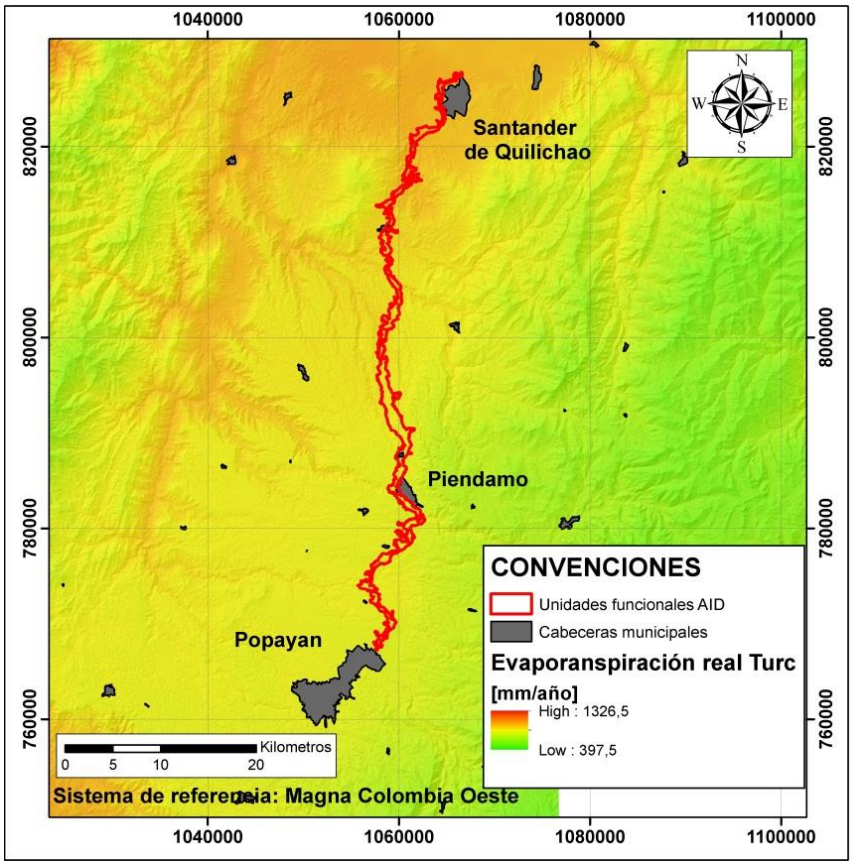


Figura 5.96. Mapa de evapotranspiración real por el método de Turc.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Tabla 5.96. Evapotranspiración media anual [mm/año].

Evapotranspiración Cenicafé-Budyko [mm/año]	UF3
Máxima	1.117,1
Medio	1.060,6
Mínima	1.090,4
Evapotranspiración Turc [mm/año]	UF3
Máxima	1.035,8
Medio	957,2
Mínima	999,1

5.1.8.3 Inventario de Puntos de Agua Subterránea

El inventario de puntos de agua se realizó en la campaña de campo del componente hidrogeológico los días 28 de junio a 06 de Julio de 2016. Recorrido acompañado por una persona de la zona que conocía el área de todo el proyecto.

Para el inventario de los nacimientos y aljibes se realizaron recorridos por los principales senderos y quebradas de la zona de estudio en el área de influencia directa del corredor vial. La comisión encargada del inventario empleó un equipo multiparamétrico marca HACH®, el cual tiene el computador o interfaz del equipo y cuatro sondas; conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno (pH), temperatura y solidos disueltos totales, para realizar la medición in situ de estos parámetros. La calibración del equipo multiparamétrico se realizó cada 4 días, con el fin de generar confiabilidad en los datos.

Para caracterizar los puntos de agua se usaron: un equipo GPS, cámara fotográfica, y un recipiente graduado para la medición volumétrica del caudal cuando fuese posible. Cada punto cuenta con un registro fotográfico.

En la Unidad Funcional 3, se inventariaron 14 puntos cuya localización se muestra en la Figura 5.97 y en la Tabla 5.97 se presenta un resumen de la información levantada en campo para los nacimientos y aljibes, la base de datos completa está en el Anexo 5.1.7 Hidrogeología.

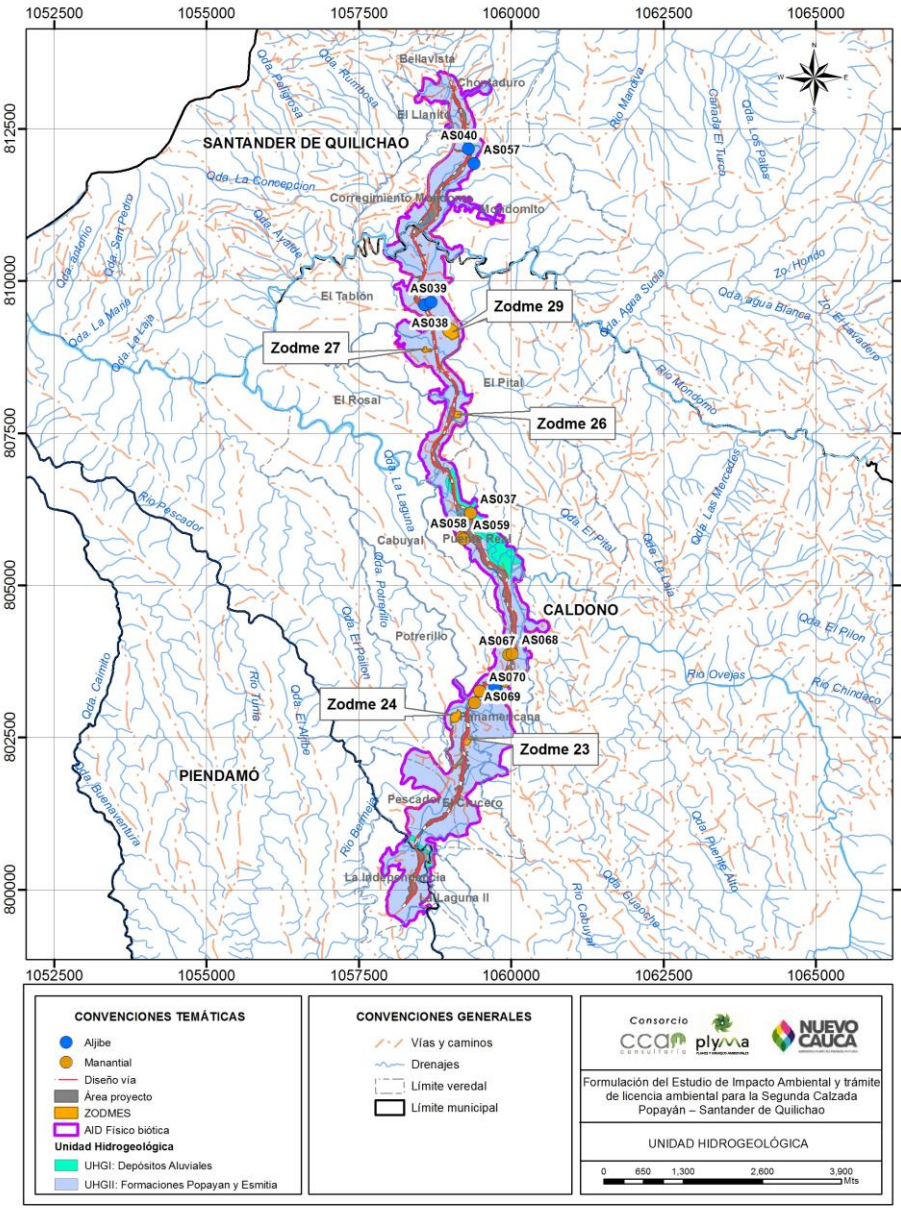


Figura 5.97. Localización de los puntos de agua subterránea inventariados en la Unidad Funcional 3.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Tabla 5.97. Puntos de agua inventariados

ID Punto	Este [m]	Norte [m]	Tipo Punto	Condición	pH	C.E (µmS/cm)	T (°C)	SDT (mg/L)
AS035	1060138	803003	Aljibe	Productivo	2,0	12,0	27,0	14
AS036	1060114	803024	Aljibe	Productivo	2,0	18,0	27,0	17
AS037	1059718	805876	Manantial	Productivo	3,5	97,0	26,0	56,5
AS038	1058964	809298	Aljibe	Productivo	2,0	20,0	26,0	18
AS039	1059073	809340	Aljibe	Productivo	2,0	70,0	26,0	43
AS040	1059683	811856	Aljibe	Productivo	2,0	25,0	28,0	20,5
AS054	1060289	803111	Manantial	Productivo	1,6	57,0	26,0	36,5
AS057	1059773	811619	Aljibe	Inactivo	5,0	45,0	25,0	30,5
AS058	1059576	805476	Manantial	Productivo	1,5	20,0	27,0	18
AS059	1059603	805449	Manantial	Productivo	3,2	69,0	27,0	42,5
AS067	1059965	803866	Manantial	Productivo	_	_	_	_
AS068	1060024	803874	Manantial	Productivo	_	_	_	_
AS069	1059406	803075	Manantial	Productivo	_	_	_	_
AS070	1059492	803264	Manantial	Productivo	_	_	_	_

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

De los 14 puntos, 8 corresponden a manantiales y 6 son aljibes. La profundidad de los aljibes varía entre 5 m hasta 27 m; 2 aljibes no tienen información de profundidad puesto que no fue posible medirla en campo. Los diámetros de los aljibes son en promedio 0,80 m. Los niveles freáticos, por su parte, se encontraron en promedio para todos los puntos en 10,75 m. En cuanto al método de extracción en la mayoría la extracción es manual.

En la mayoría de los puntos inventariados, el agua es incolora, inodora y clara. El principal uso del recurso subterráneo en la zona es doméstico para labores de limpieza en el hogar y para aseo personal.

Los parámetros fisicoquímicos medidos en campo, se analizan a continuación:

5.1.8.3.1 Análisis fisicoquímicos de parámetros de campo

En cada uno de los puntos se realizó la medida in situ de potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica (C.E), sólidos disueltos (SDT), y temperatura (T), a continuación, se realiza un análisis de los resultados obtenidos.

A. Temperatura:

La temperatura en todos los puntos oscila entre 25°C y 28°C lo que da una variación de 3°C. El promedio de temperatura es de 26,5°C. Las horas de medición están entre las 10 am y las 4 pm. En la Figura 5.98 se observa la distribución de valores de temperatura.

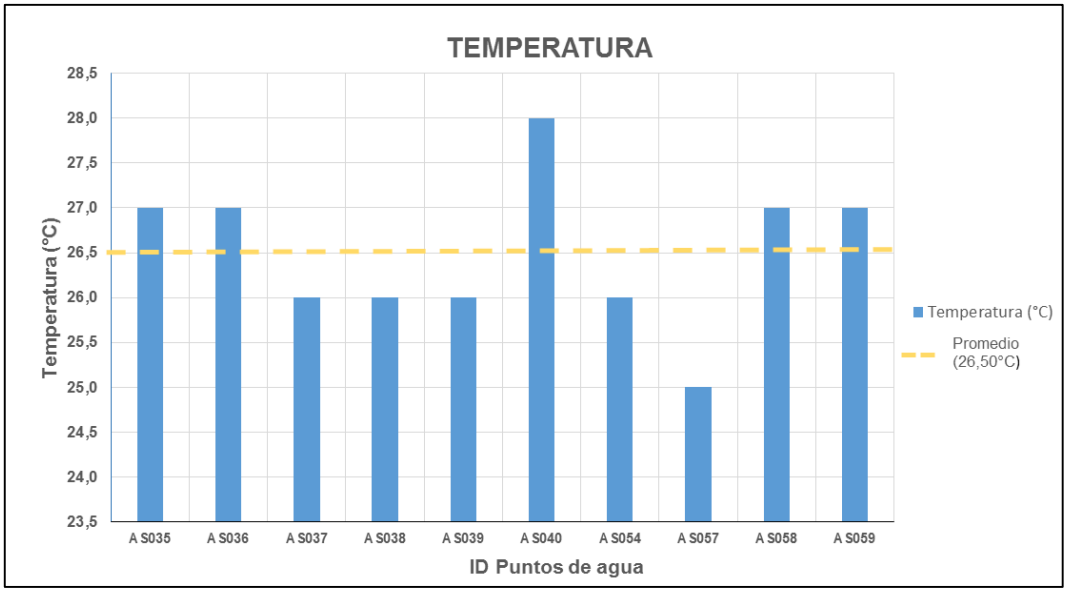


Figura 5.98. Distribución de valores de temperatura.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

B. Conductividad eléctrica:

La conductividad eléctrica se interpreta como la capacidad que tiene una muestra para conducir cargas eléctricas, esta conducción de cargas se da por especies cargadas eléctricamente, es decir iones, los iones se encuentran disueltos en el agua, por lo tanto, a mayor conductividad eléctrica mayor es la concentración de iones y de sólidos disueltos. (Domenico & Schwartz, 1997)

La conductividad registrada en los puntos de agua es variable se registran valores que van desde 12,00 µmS/cm hasta 97 µmS/cm, con un promedio de 43,30 µmS/cm. En general conductividades entre 7 y 100 µS/cm son bajas, ya que corresponde agua lluvia que se infiltra en el suelo y no permanece mucho tiempo en el medio subterráneo, es decir los tiempos de residencia son cortos y estos materiales tienen baja capacidad para reaccionar con el agua, todos los puntos se ubican en este rango.

Conductividades entre 100 µS/cm y 1000 µS/cm corresponden a tiempos de residencia medios a bajos, pero con interacción entre el medio subterráneo y el agua, probablemente el aumento de conductividad del agua se da en la zona no saturada.

En la Figura 5.99 se muestra la distribución de valores de conductividad eléctrica.

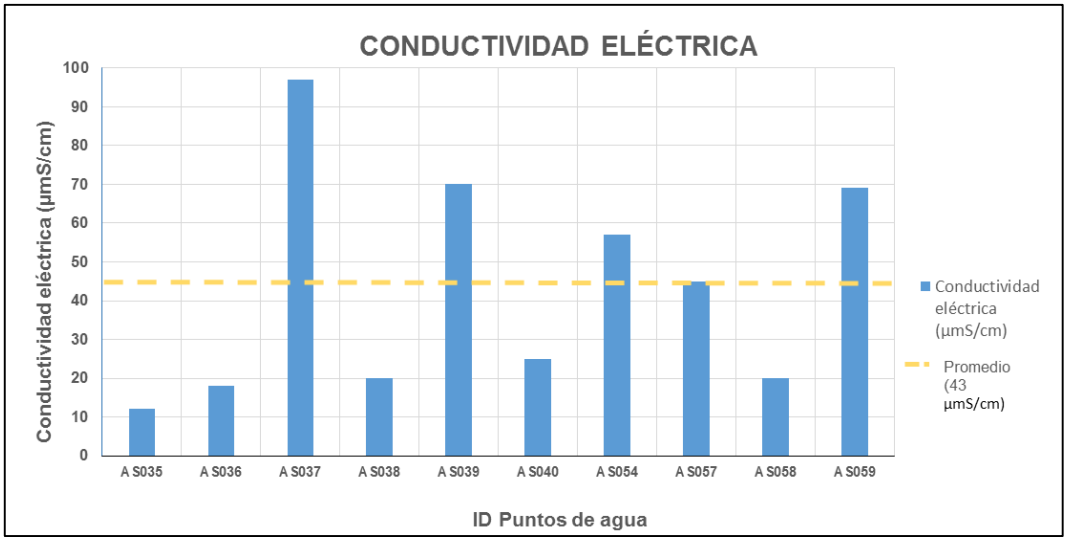


Figura 5.99 Distribución de valores de conductividad eléctrica.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

C. Sólidos disueltos totales:

El agua al estar en contacto con el medio sea superficial o subterráneo contiene materiales sólidos entre los que se encuentran los sólidos disueltos totales, que se refieren al material disuelto por el agua, es decir los sólidos que se encuentran inmersos en solución.

Los sólidos disueltos totales están relacionados directamente con la capacidad del agua y del medio por el que está fluye para naturalmente ceder minerales de la roca al agua, es decir a mayor cantidad de sólidos disueltos en el agua mayor es la capacidad de la roca para ceder minerales (solubilidad de los minerales) y mayor es la capacidad del agua para albergar estos compuestos.

Los valores de SDT oscilan entre 14,5 mg/L hasta 56,50 mg/L con un promedio de 29,65 mg/L.

En la Figura 5.100 se observa la distribución de valores de SDT de los puntos inventariados.

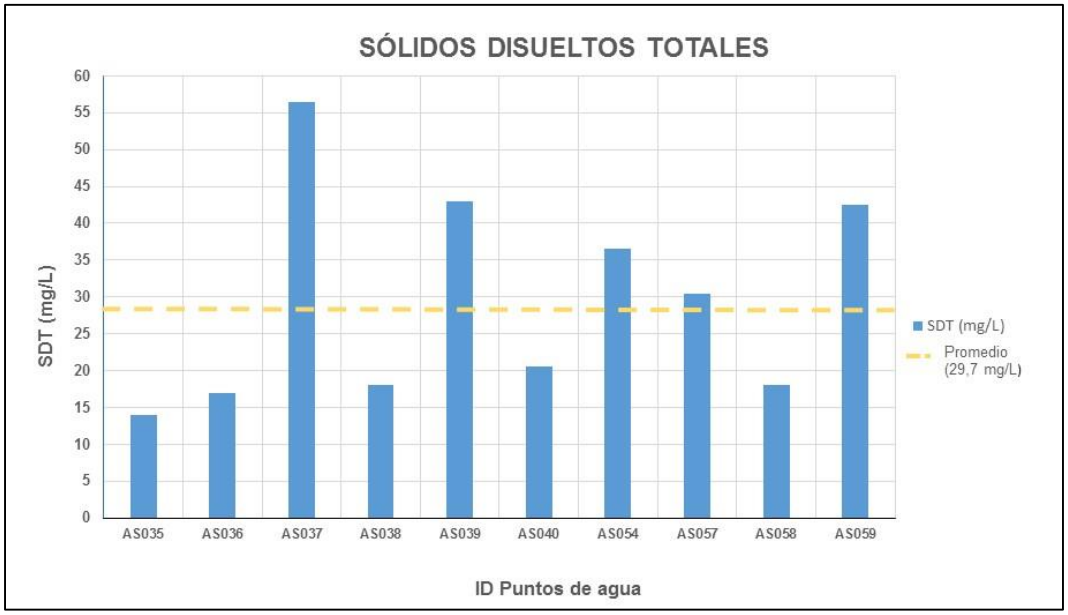


Figura 5.100. Distribución de valores de solidos disueltos totales.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

D. Potencial de oxigeno (pH):

El pH de los puntos visitados varía entre 1,50 y 2,48 unidades de pH, con un promedio de 2,48, lo que indica que las aguas de los puntos visitados en general tienen un pH ácido. En la Figura 5.101 se muestra la distribución de valores. Unidades de pH tan bajas menores a 3 que presentan la mayoría de los puntos de los inventariados son probablemente debidos a fuentes de contaminación cerca de los puntos.

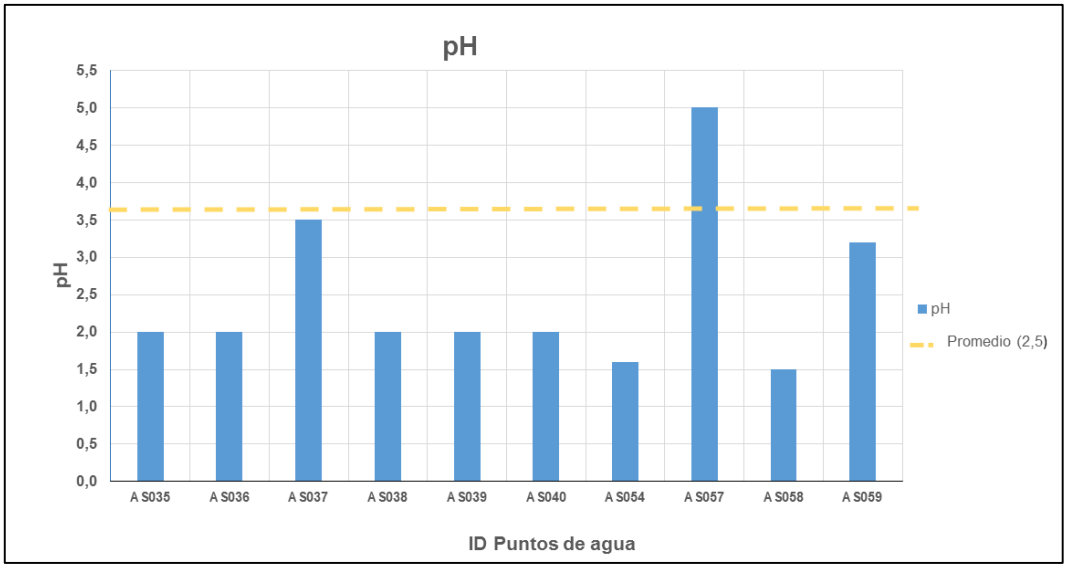


Figura 5.101 Distribución de valores de pH.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.8.3.2 Relación entre los puntos de agua y la geología:

Del inventario de los puntos de aguas subterráneas, cuatro (4) puntos que representan el 28,6% se ubican en la unidad Ngpc3 que corresponde a cenizas de caída color rojizo de alta plasticidad, en estado avanzado de meteorización originando limos homogéneos. Tres (7) puntos que suman el 50% se ubican en la unidad Ngpc4 que se describe como arcillas amarillas y blancas. Dos (2) puntos (14,3%) se ubican en la unidad Ngpc1 que concierne a cenizas de caída color amarillo de baja plasticidad que conforman la Formación Popayán. Finalmente, un (1) punto (7%) corresponde a un deposito aluvial (ver Figura 5.102).

Por otro lado, con relación de los puntos de aguas subterráneas con las unidades geomorfológicas, cuatro (7) de los puntos se ubican en geoformas de colina, tres (3) en talud y el resto en planicies (ver Tabla 5.98).

Aunque regionalmente la Formación Popayán no representa un acuífero aprovechable por la presencia de estratos arcillosos, las cenizas de las unidades Ngpc1 y Ngpc3 si permiten la absorción y retención de agua. La unidad de depósitos aluviales representa una permeabilidad primaria debido a las arenas y gravas (ver Figura 5.103. Geología y puntos de agua).

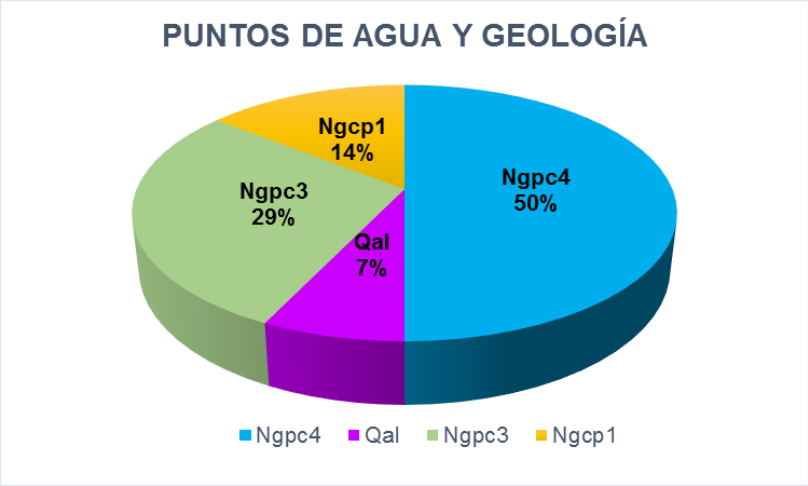


Figura 5.102. Diagrama de tortas de puntos de agua y geología.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Tabla 5.98. Puntos inventariados respecto a la geología y geomorfología

ID Punto	Unidad litológica	Geoforma
AS035	Ngpc4	Colina
AS036	Ngpc4	Colina
AS037	Qal	Talud
AS038	Ngpc3	Lleno
AS039	Ngpc3	Planicie
AS040	Ngpc3	Colina
AS054	Ngpc4	Colina
AS057	Ngpc3	Lomo
AS058	Ngcp1	Talud
AS059	Ngcp1	Talud
AS067	Ngpc4	Colina
AS068	Ngpc4	Colina
AS069	Ngpc4	Colina
AS070	Ngpc4	Colina

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

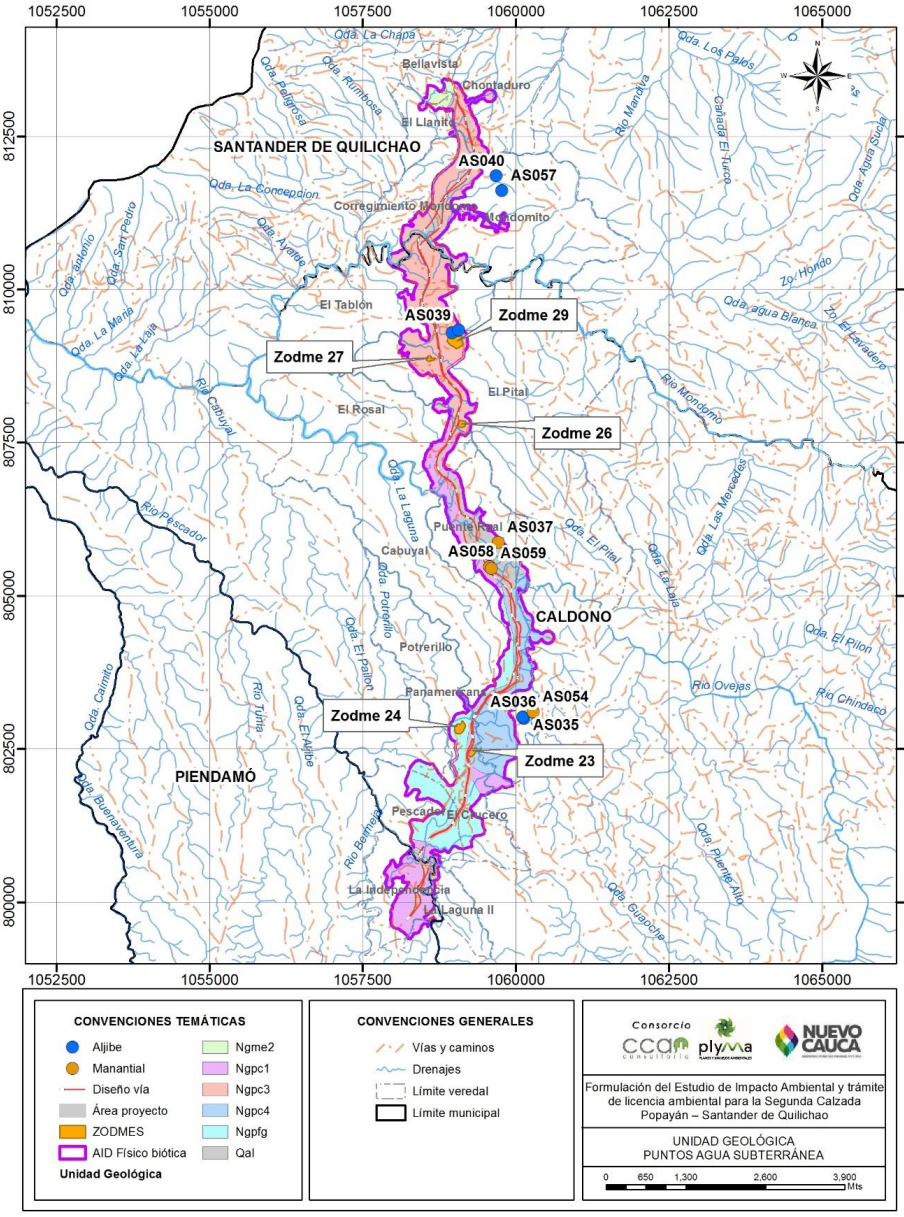


Figura 5.103. Geología y puntos de agua
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.8.4 Definición de zonas potenciales de recarga

Con el objetivo de delimitar las zonas de potencial de recarga alto, medio y bajo, se realizó un análisis del mapa de pendientes, asumiendo que los lugares con altas pendientes tienen menor potencial de infiltración que los lugares con pendientes bajas debido a que permiten mayor escorrentía superficial hacia los arroyos o cuerpos de agua.

Se clasificaron como zonas con alto potencial de recarga los lugares con pendientes inferiores al 10°; las zonas de potencial de recarga media fueron definidas con pendientes entre 10° y 30 °; por ultimo las zonas con bajo potencial de recarga son los sitios que las pendientes superan los 30°; en la Figura 5.104 se muestra la zonificación de recarga potencial para el polígono de estudio de la Unidad Funcional 3.

Para la Unidad Funcional 3 se considera de acuerdo a la zonificación de la recarga potencial por geomorfología, que predomina la recarga media en el 53,8 % del área, la recarga potencial alta en el 43,9 % y la baja en el 2,3 % del área de estudio. Para mayor detalle remitirse al capítulo 5.1.5 Hidrología.

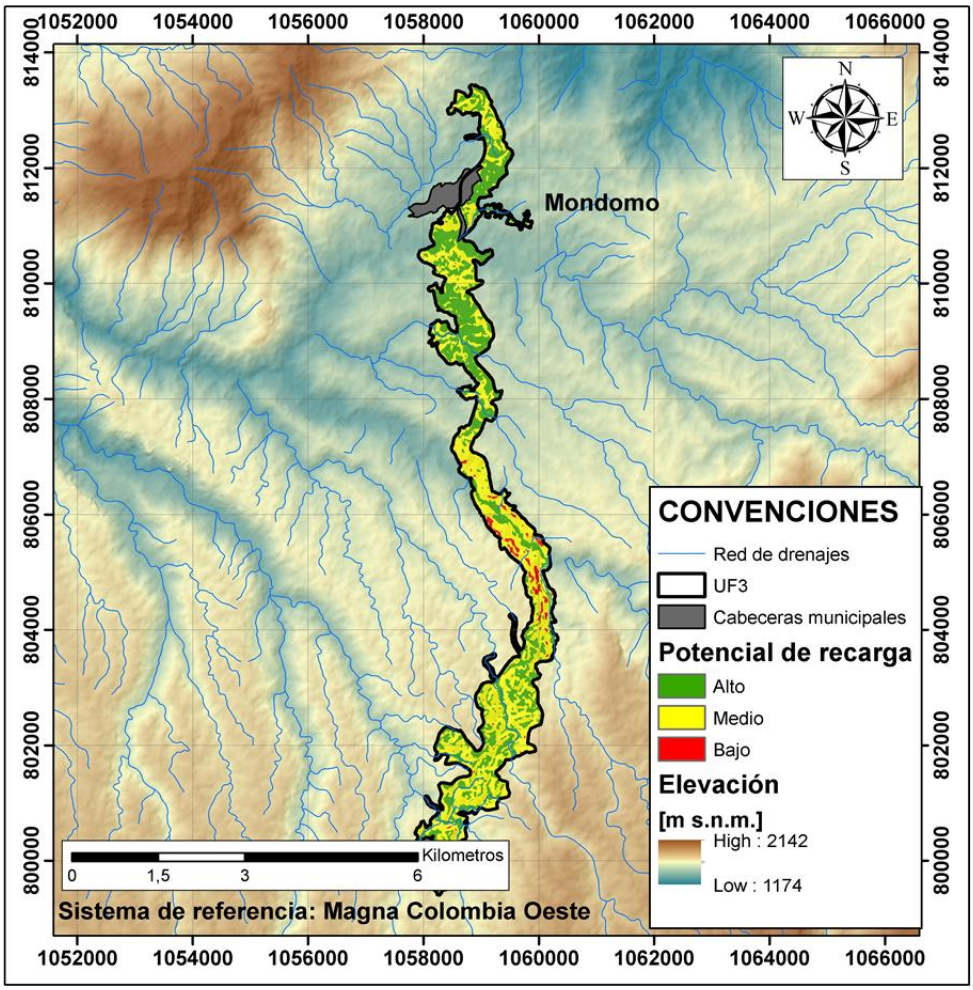


Figura 5.104. Zonas potenciales de recarga.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.8.5 Definición de Unidades Hidrogeológicas

En este numeral se presentan las unidades hidrogeológicas que hacen parte de la Unidad Funcional 3. Inicialmente se hace una caracterización hidrogeológica regional de la zona de estudio, con el fin de identificar acuíferos regionales. Esta caracterización se realiza de acuerdo al atlas de aguas subterráneas para Colombia, escala 1:1.000.000 del IDEAM (2004). Posteriormente, se presentan la descripción de las unidades hidrogeológicas de carácter local para la Unidad Funcional 3.

5.1.8.5.1 Contexto hidrogeológico regional de la zona

El área de estudio regionalmente se encuentra dentro de la provincia hidrogeológica denominada por IDEAM (2004), como Cauca- Patía. Las Provincias Hidrogeológicas son zonas donde se identifican Sistemas Acuíferos que podrían ser subdivididos a nivel subregional en cuencas hidrogeológicas en función de su ambiente geológico y condiciones de conexión hidráulica. La provincia Cauca-Patía está conformada por un sistema de acuíferos de tipo libres, confinados a semiconfinados, en la Figura 5.105 se presenta la provincia hidrogeológica para el área de estudio.

Según la Figura 5.105, parte de los puntos de agua inventariados se encuentran sobre lo que IDEAM (2004), denominó Basamento o acuifugas, que son unidades hidrogeológicas que no pueden trasmitir ni almacenar agua, vale la pena anotar que esta clasificación es de carácter regional.

Dentro de la provincia hidrogeológica Cauca-Patía se tiene un sistema acuífero SAM 3.3 conformado por dos unidades hidrogeológicas de acuerdo al estudio del IDEAM (2004), denominadas como Acuífero Popayán y Acuífero Esmita. En la Figura 5.106 se presenta el sistema acuífero para el área de interés.

Las Unidades Hidrogeológicas Acuífero Popayán y Acuífero Esmita, son considerados como acuíferos de tipo libres a parcialmente confinados. Tienen una permeabilidad de 6,5 m/día, y cubren un área de 2.523 km^2 en los departamentos del Cauca y del Valle del Cauca. (IDEAM, 2004).

Conociendo el contexto regional del área de estudio, a continuación, se detallan las unidades hidrogeológicas de carácter local de la Unidad Funcional 3.

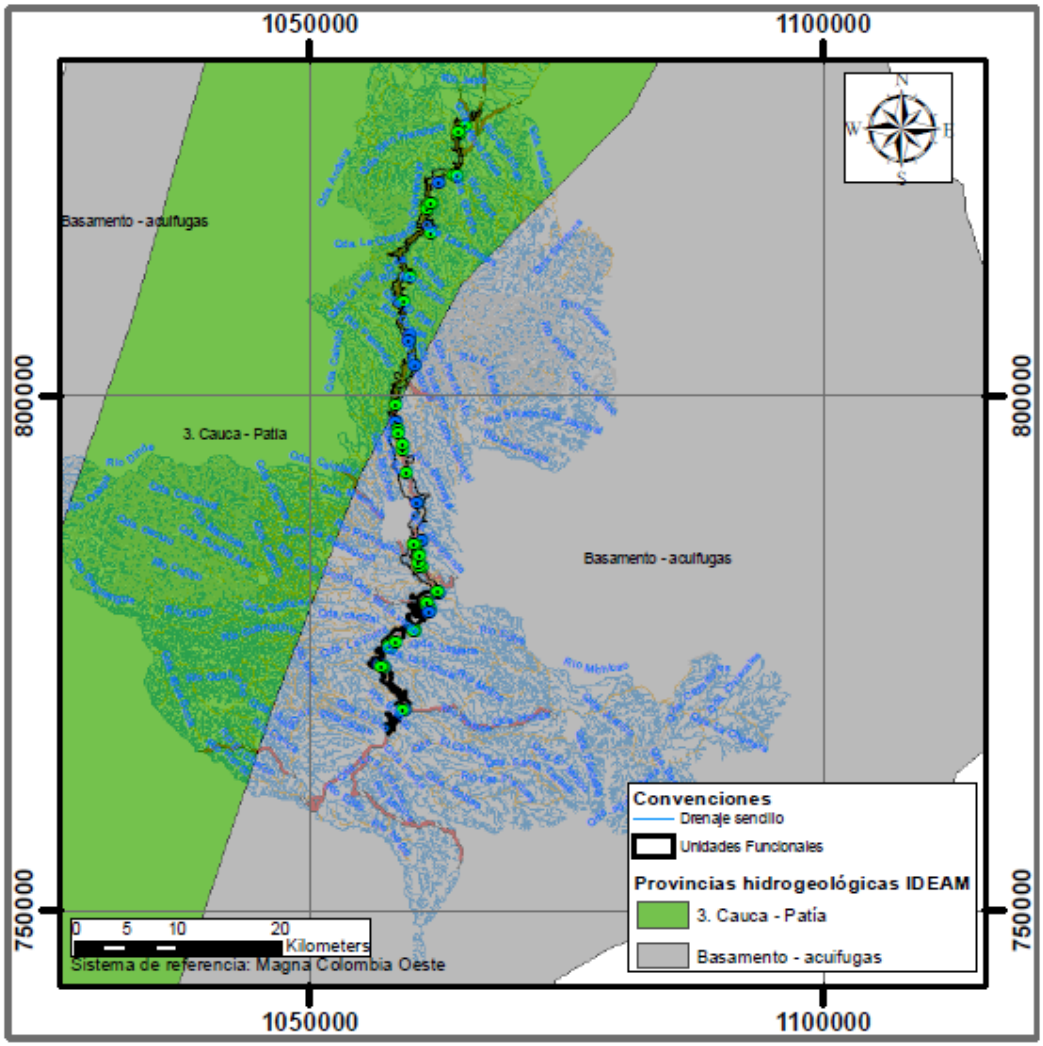


Figura 5.105. Provincias hidrogeológicas para el área de estudio.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016 con información del IDEAM, 2004.

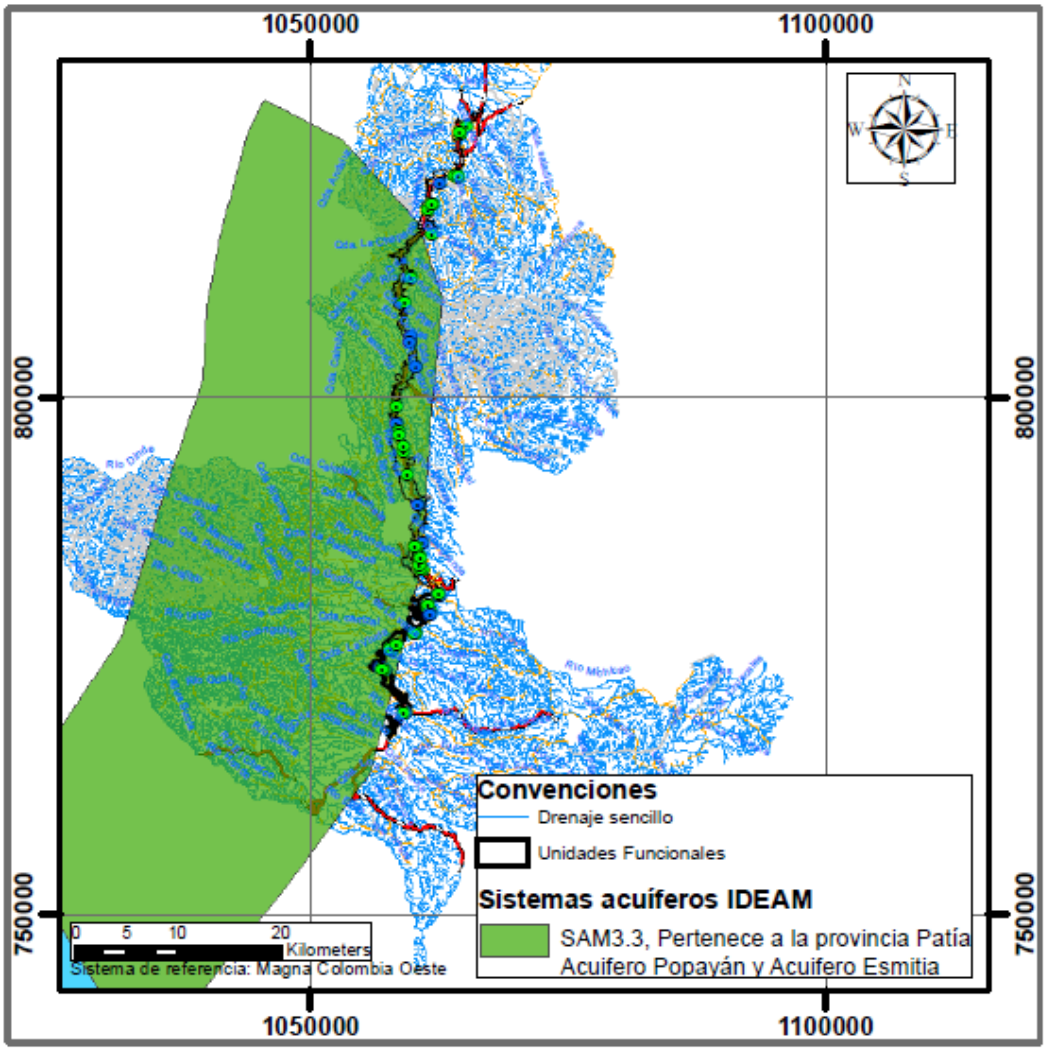


Figura 5.106. Sistemas acuíferos de la zona de estudio.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016 con información del IDEAM, 2004.

5.1.8.5.2 Unidades hidrogeológicas locales

Para la zona de estudio se definieron 2 unidades hidrogeológicas, las cuales están integradas de la siguiente manera: depósitos aluviales (Qal) de los principales drenajes de la zona, constituidos por niveles de arenas, gravas redondeadas y, ocasionalmente, arcillas, con espesores del orden de 30 m denominados como UHGI; y la unidad UHGII

conformada por capas de ceniza y flujos de tobas y andesitas de la Formación Popayán y las capas de lodolita y arcillolita de la Formación Esmita.

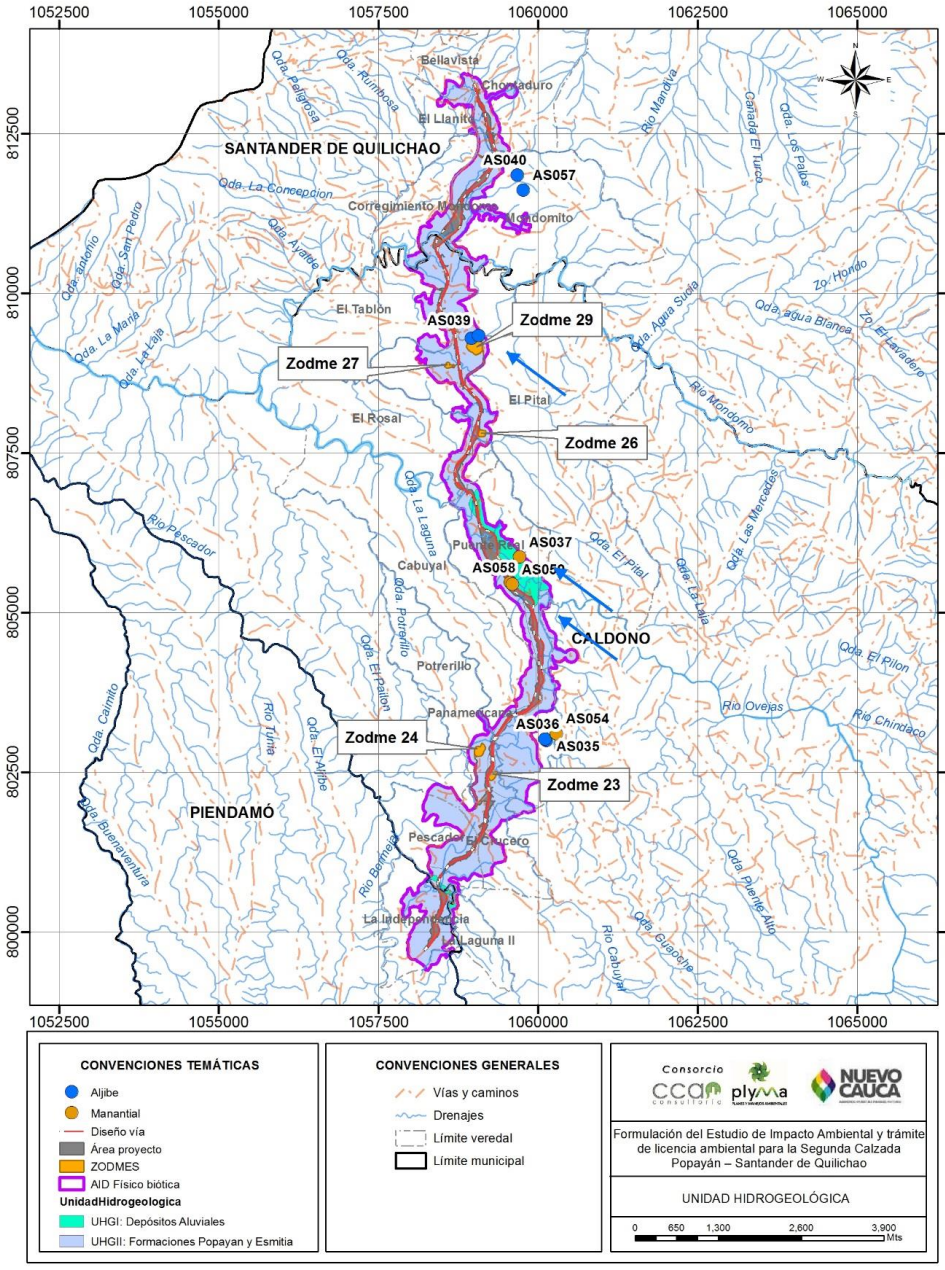


Figura 5.107. Mapa de unidades hidrogeológicas Unidad Funcional 3.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

A. UHGI: Depósitos aluviales

Está representada por los depósitos asociados a las terrazas y llanuras aluviales de los principales afluentes de la zona. En general para esta unidad hidrogeológica se tienen espesores reportados en campo entre los 5 m y 50 m, constituidos por arenas y gravas de tamaños variables, dispuestos de forma horizontal, suprayaciendo la unidad geológica de la Formación Popayán.

En la zona de estudio no se cuenta con ensayos de campo para determinar la permeabilidad de los depósitos aluviales. Sin embargo, en la Tabla 5.99 se presentan rangos de variación de la permeabilidad, según distintos autores, para algunos materiales porosos no consolidados. Cabe anotar que los intervalos presentados a continuación poseen amplios rangos de variación.

Tabla 5.99. Rangos de variación de permeabilidad [m/d] en sedimentos no consolidados según fuentes bibliográficas.

	Doménico (1998)	**Smith & Weathcraft (1993)**	**Freeze (1979)**	**Fetter (2001)**	**Sanders (1998)**
Grava	25 - 2500	100 - $1x10^5$	100 a $1x10^6$	10 a 1000	---
Arena gruesa	0,1 - 500	0,01 - 1000	1 - 1000	1 – 100	1 - 100
Arena media	0,1 - 50				---
Arena fina	---			0,01 – 1	0,01 - 1
Arena arcillosa	---	---	0,01 - 100	0,001 - 0,1	
Limos	$1x10^{-4}$ - 2	$1x10^{-4}$ - 1	$1x10^{-4}$ - 1	0,001 - 0,1	$1x10^{-4}$ - 1

Dado que esta unidad hidrogeológica corresponde a depósitos no consolidados, se le asignaron valores de permeabilidad entre 0,1 – 1000 m/día. La importancia hidrogeológica de los depósitos aluviales radica en que presentan permeabilidad primaria, lo que se traduce en una mayor capacidad para almacenamiento y distribución de flujos de agua en las direcciones de mayor gradiente. Esta unidad hidrogeológica se considera como un acuífero de interés debido a los espesores que presenta.

B. UHGII: Formaciones Popayán y Esmita

Regionalmente estas dos unidades se relacionan como unidades acuíferas, las cuales tienen potencial de almacenar agua subterránea en su estructura, ya que según la cartografía geológica regional la Formación Esmita tiene niveles de areniscas y conglomerados en profundidad los cuales son de interés hidrogeológico.

Para la Unidad Funcional 3, se encuentran las capas confinantes de esta unidad, y no afloran los niveles de areniscas y conglomerados, por tal motivo se unió a la Formación

Popayán, como una unidad hidrogeológica considerada como un acuitardo, en donde el flujo de agua subterránea es lento y el aprovechamiento de agua subterránea es bajo.

La Formación Esmita está localizada al extremo norte de la Unidad Funcional 3, en el segmento norte de la vía Popayán – Santander de Quilichao, al norte del río Ovejas y del corregimiento de Mondomo, en la jurisdicción del municipio de Santander de Quilichao. Corresponde a una secuencia de rocas sedimentarias de ambiente transicional marino – continental de 340 m de espesor. En la Unidad Funcional 3 aflora una porción reducida de esta formación compuesta por intercalaciones de lodolita y arcillolita meteorizada.

Por su parte, la Formación Popayán en la zona de estudio está compuesta por flujos grises de ceniza y bloques. Presenta aglomerados de bloques heterométricos de andesitas y dioritas duros, embebidos en una matriz de ceniza grisácea. Las cenizas presentes son color amarillo de baja plasticidad, en estado avanzado de meteorización originando limos homogéneos.

Los espesores de esta unidad pueden alcanzar hasta los 80 m en algunas zonas de acuerdo a información secundaria. La Formación Popayán no muestra una estratificación bien definida, y se puede considerar como una masa uniforme, proveniente de la acumulación y descomposición de cenizas finas (INGEOMINAS, 1953). Aparentemente estas cenizas son bastante impermeables, pero debido a su composición de flujos de bloques en matriz limosa, la permeabilidad no es tan baja, y el agua de infiltración, por falta de una estratificación bien definida, no se acumula en determinados niveles sino en forma de pequeños cauces subterráneos, donde la velocidad del flujo es lenta y descarga en la unidad hidrogeológica de depósitos aluviales

Sobre esta unidad se encuentra el 90% de puntos de agua que están registrados. Los valores de conductividades eléctricas varían entre 12,00 µmS/cm hasta 97 µmS/cm, con un promedio de 43,30 µmS/cm. Estos valores indican tiempos de residencia bajos a medios de agua en contacto con roca. Estos valores corresponden además a flujos subsuperficiales de agua subterránea.

Teniendo en cuenta que para esta unidad no se realizaron pruebas de permeabilidad, se asignaron valores de permeabilidad basados en información secundaria. Para los materiales que constituyen la Unidad UHGII se determinó que existen valores promedio de permeabilidad correspondientes a $1{,}02x10^{-2}$ [m/día] (Lizcano, A., Herrera, M.C., & Santamarina, J.C, 2006).

En conclusión, esta unidad puede almacenar el agua subsuperficial recolectada en épocas de alta precipitación y transmitir parte de esta agua a la UHGI. El tiempo de residencia del agua subterránea en esta es corto, de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos de campo descritos anteriormente. La velocidad de flujo es baja y es

considerada de baja productividad de acuerdo a la presencia de materiales finos. Finalmente, esta unidad para el área de estudio se clasifica como un acuitardo.

5.1.8.6 Perfil Hidrogeológico

En la Figura 5.107 se muestra la distribución en planta del perfil hidrogeológico esquemático realizado para la zona de estudio y se indica la disposición general de los flujos preferenciales de agua subterránea en las unidades.

En las Figura 5.108, se representa esquemáticamente las zonas de recarga y descarga, así como las direcciones de flujo y los espesores inferidos de cada unidad hidrogeológica para el área de interés. El perfil A-A´ tiene una dirección de N20W aproximadamente, y sigue el trazado parcial de la Unidad Funcional 3.

Este perfil representa el modelo hidrogeológico conceptual de la zona de estudio, donde se observa la zona preferencial de recarga, los principales puntos de agua registrados con sus respectivas conductividades eléctricas (en unidades de µS/cm), la distribución de las unidades hidrogeológicas y las líneas inferidas de flujo de agua sub-superficial.

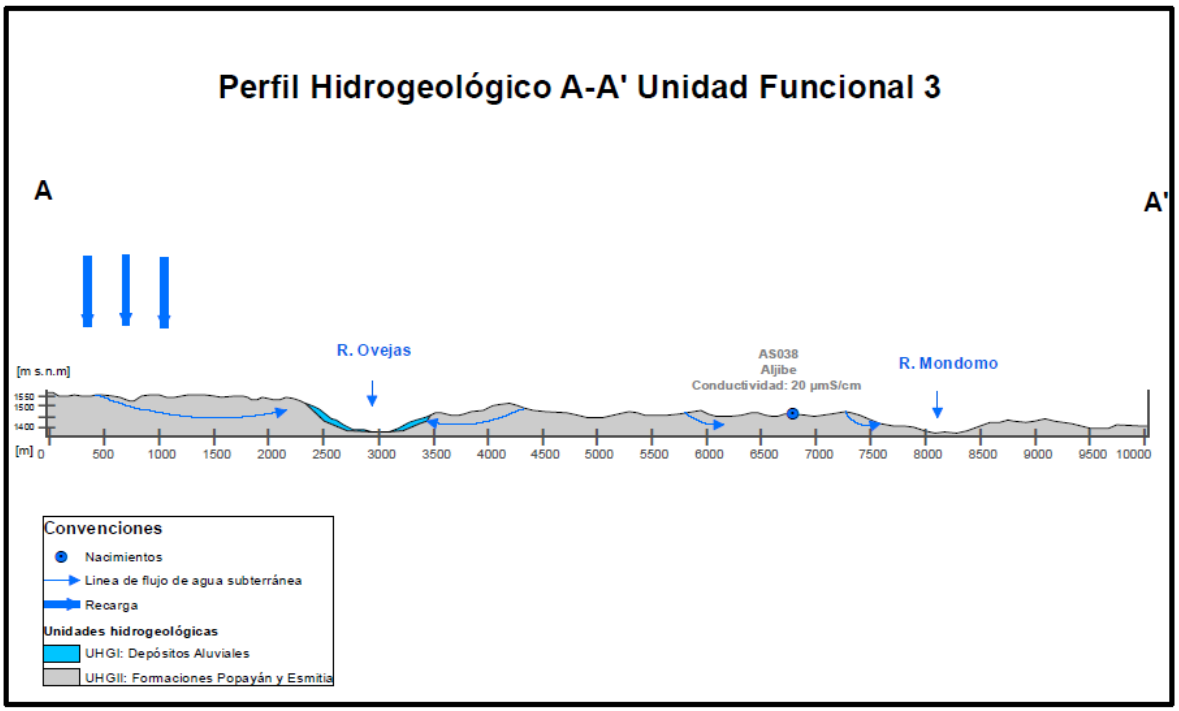


Figura 5.108. Perfil hidrogeológico A-A' Unidad Funcional 3.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

5.1.8.7 Vulnerabilidad intrinseca a la contaminación de acuíferos

Una vez se tiene el conocimiento espacial de las zonas acuíferas, de su comportamiento hidráulico, del tipo y usos del suelo, de las características de las diferentes unidades litológicas, de las posibles direcciones de flujo y del valor promedio de la recarga, se hace importante conocer que tan vulnerables a la contaminación, en términos cualitativos, son los diferentes acuíferos.

El término vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero se usa para representar las características intrínsecas que determinan la susceptibilidad de un acuífero a ser adversamente afectado por una carga contaminante (Foster, S.S.D; Hirata, R, 1988). El riesgo a la contaminación resulta de dos factores: la carga contaminante y la vulnerabilidad natural a la contaminación. La carga contaminante se puede controlar, pero la vulnerabilidad no. La contaminación del agua subterránea puede ocurrir por accidente o por negligencia. La mayoría de los incidentes de contaminación se dan por substancias dejadas en la superficie de los acuíferos, ya sea que se almacenen en ella o que caigan accidentalmente. Hay cuatro maneras para que la contaminación llegue a los acuíferos: infiltración, recarga, migración directa o intercambio entre acuíferos.

Los principales factores que inciden en la vulnerabilidad del acuífero son: el tipo de suelos de la zona vadosa o no saturada, el tipo de acuífero, la recarga, la profundidad de los niveles freáticos, la topografía y la conductividad del acuífero. La determinación de la vulnerabilidad de un acuífero sirve como base para implementar políticas de protección de las aguas subterráneas y para un manejo óptimo del recurso.

La construcción de mapas de vulnerabilidad, es una de las técnicas existentes para identificar, dentro de un área, las zonas más susceptibles a la contaminación. Estos mapas se construyen con base en índices cualitativos cuyos valores dependen de los parámetros mencionados anteriormente.

5.1.8.7.1 Aplicación método GOD

El método de GOD fue desarrollado en 1987 por Foster, y su ventaja es que es simple de usar y requiere de pocos parámetros. Éste es considerado como el primer paso para la determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. El método determina la vulnerabilidad intrínseca por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante.

Este método establece la vulnerabilidad del acuífero, como una función de la inaccesibilidad de la zona saturada, desde el punto de vista hidráulico a la penetración de contaminantes y la capacidad de atenuación de los estratos de la zona no saturada como resultado de su retención física y la reacción química con los contaminantes (Foster & Hidata, 1988).

Se trata de un método empírico que establece la vulnerabilidad relativa como la interacción entre la inaccesibilidad hidráulica y la capacidad de atenuación, factores que poseen relaciones complejas que dependen de gran cantidad de variables difíciles sino imposibles de cuantificar. Para solventar este inconveniente la metodología utiliza la clasificación de tres fases discretas que son:

- Tipo de acuífero
- Litología de la zona no saturada
- Profundidad del agua subterránea

La vulnerabilidad según el método se calcula como el producto de los siguientes factores:

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = G*O*D$$

Donde

G = índice por condición de confinamiento del acuífero u ocurrencia del agua subterránea (Groundwater occurrence)

O = índice del substrato litológico en términos de grado de consolidación y características litológicas (Overall aquifer class).

D = índice por profundidad del nivel del agua o techo del acuífero confinado (Depth).

Cada uno de los factores posee valores entre cero y uno, entre mayor es el valor, más desfavorable es la condición. Este método solo asigna un peso indirecto a las variables a través de sus valores.

Algunos otros factores reconocidos como modificadores de la vulnerabilidad son tomados en cuenta por el método dentro de la carga contaminante. Entre estos se puede citar la infiltración efectiva y el tipo de suelo. Figura 5.109.

Otra característica del método importante de destacar es que solo toma en cuenta la posible atenuación antes de alcanzar la zona saturada, sin tomar en cuenta la dilución y dispersión en el acuífero. Las categorías de vulnerabilidad para este método son presentadas a continuación en la Tabla 5.100.

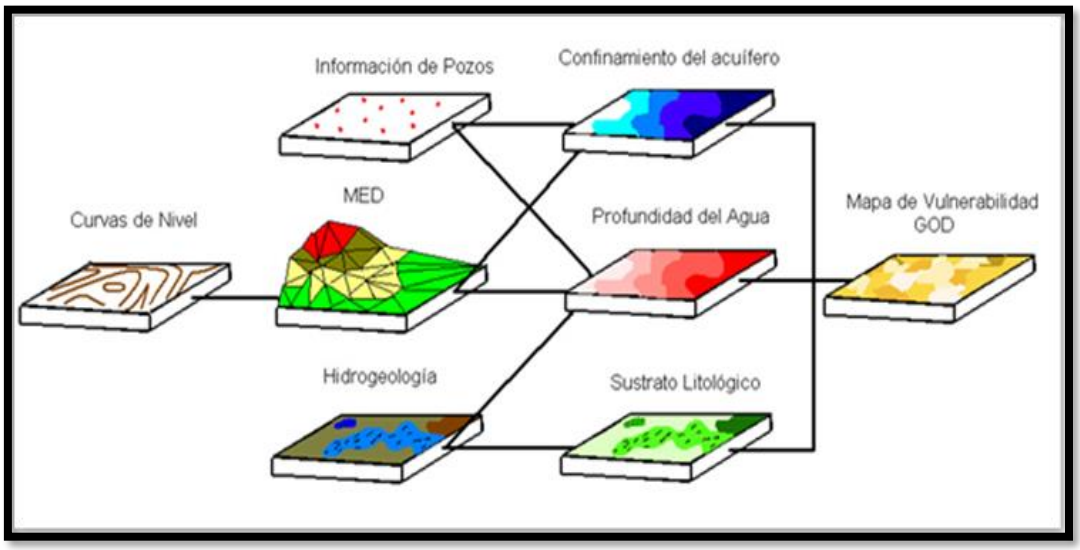


Figura 5.109 Método GOD.
Fuente: Método de GOD, Foster. 1987.

Tabla 5.100. Categorías de vulnerabilidad para el método GOD.

Puntaje	Vulnerabilidad
0,7 - 1,0	Muy Alta
0,5 - 0,7	Alta
0,3 - 0,5	Moderada
0,1 - 0,3	Baja
< 0,1	Muy Baja

Fuente: Método de GOD, Foster. 1987.

Para hallar el índice GOD se partió de la definición de las unidades hidrogeológicas y las unidades geológicas. La Figura 5.110 muestra el método bajo un esquema gráfico.

De acuerdo a la Figura 5.110, se procedió a asignar los valores a las unidades hidrogeológicas con el fin de clasificar las zonas de acuerdo al índice de vulnerabilidad establecido. En la Tabla 5.101 se observa los valores utilizados para definir el índice de vulnerabilidad.

Tabla 5.101. Clasificación de las unidades hidrogeológicas y asignación de valores para el desarrollo del método GOD.

Tipo de acuífero	G	O	D	G*O*D	Clasificación
Acuífero libre UHGI: Depósitos Aluviales	1	0,8	0,9	0,72	Muy alta
Acuitardo UHGII: Formaciones Popayán y Esmita	0,4	0,6	0,7	0,168	Baja

Fuente: Método de GOD, Foster. 1987.

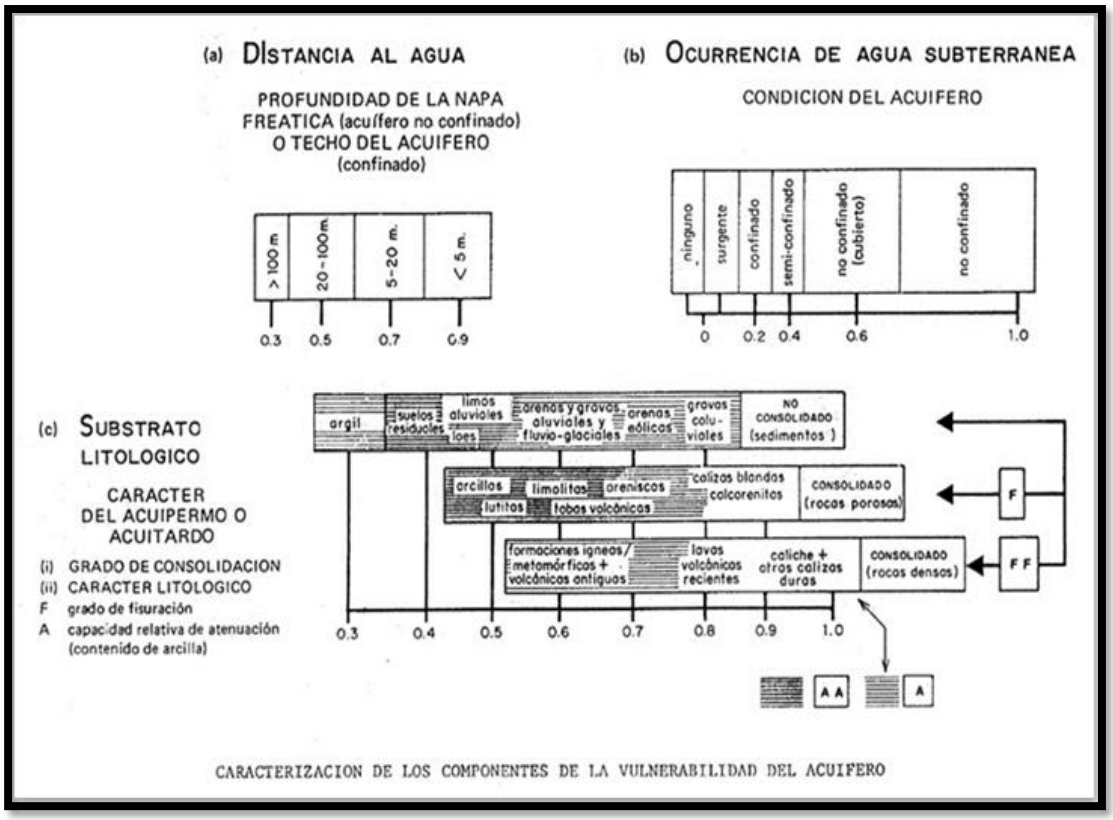


Figura 5.110. Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca.

Fuente: Método de GOD, Foster. 1987.

Con el resultado obtenido se realizó un algebra de mapas con el fin de observar las zonas con mayor vulnerabilidad en el área. Estas zonas serán de mayor cuidado en el área de desarrollo del corredor vial. El resultado se presenta en la Figura 5.111.

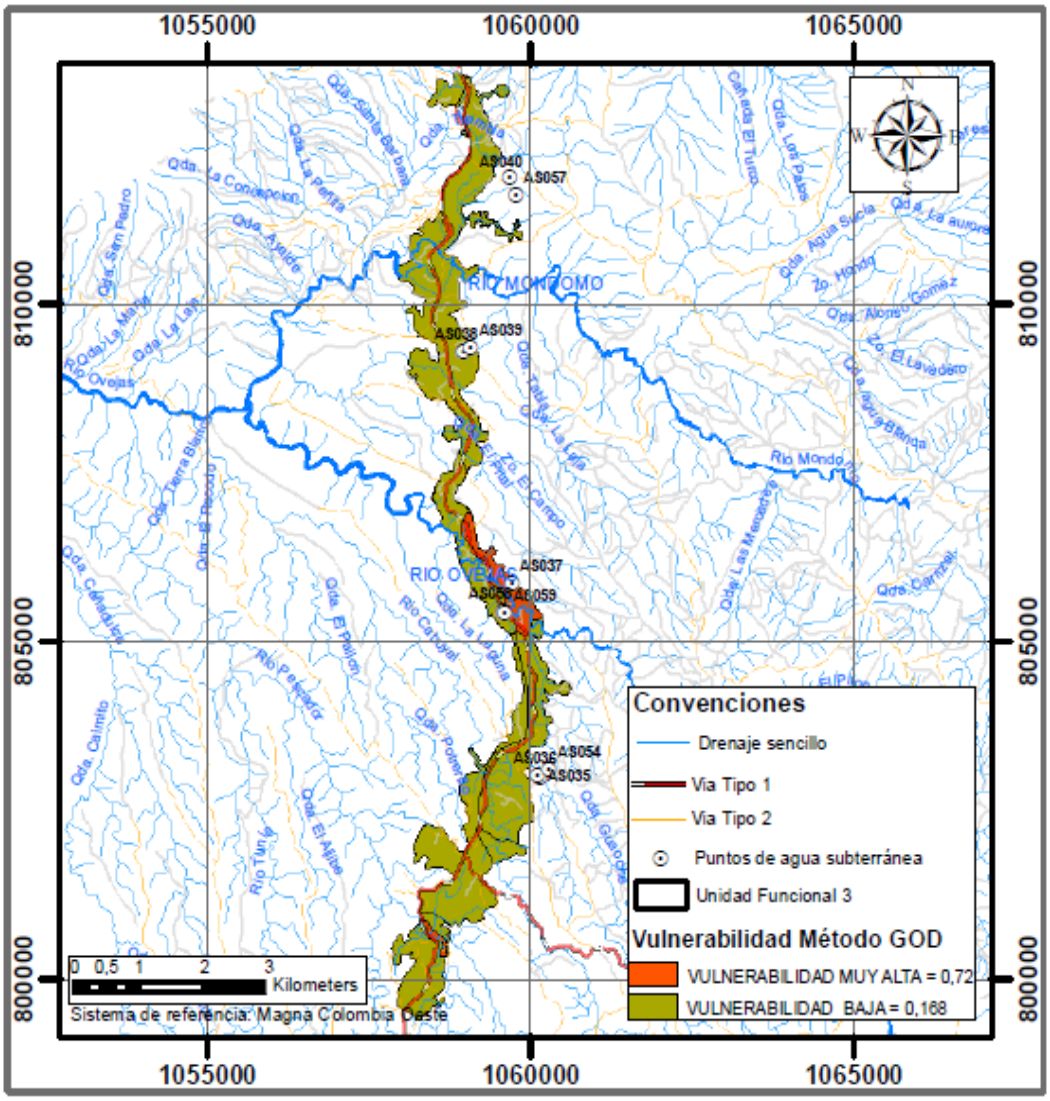


Figura 5.111. Mapa de vulnerabilidad método GOD para la Unidad Funcional 3. Simbología basada en MAVDT (2010).
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

Como se observa en la Figura 5 23 la Unidad Funcional 3, presenta en su gran mayoría un índice de vulnerabilidad baja, que, aunque sea considerado como bajo debe ser una zona de atención, ya que el acuitardo que compone esta zona, la Formación Popayán,

pueden estar expuesto a contaminantes muy móviles y persistentes y a eventos de contaminación continuos durante largos periodos de tiempo. La contaminación del agua subterránea es irremediable y dado que en la zona existen puntos de agua subterránea de los cuales se benefician algunas comunidades, se deben implementar medidas de control y seguimiento, con el fin de impedir su contaminación.

Las zonas de mayor grado de vulnerabilidad en la zona de estudio, corresponden a la unidad hidrogeológica de Depósitos Aluviales, las cuales por su alta permeabilidad y grado de consolidación son las zonas con mayor potencial de contaminación de agua subterránea. Por tal motivo, deben de ser zonas protegidas, además tener un manejo especial para evitar la contaminación del agua subterránea.

Un mejor conocimiento hidrogeológico con la ayuda de perforaciones y niveles piezométricos podría refinar o rediseñar las áreas de vulnerabilidad.

5.1.9 Geotecnia

Para la caracterización geotécnica de los materiales donde se emplazan los sitos de obras, se realizó la campaña de exploración geotécnica, que involucró la ejecución de apiques, sondeos manuales, perforaciones y líneas sísmicas. Adicionalmente se realizó la cartografía geológica con control de campo con la descripción de detalle de puntos localizados en zonas de importancia de la unidad funcional 3.

En cada uno de los puntos geológicos, se diligenció el formato que se presenta en la Figura 5.112. La ficha resume las características geométricas de los taludes, diferentes fallas geotécnicas evidenciadas, clasificación MMR y propuestas de estabilización.



PROYECTO: PROYECTO FONADE. CARRETERAS: CHACHAGUI - MOJARRAS – POPAYAN – SANTANDER Y VARIANTE DE POPAYAN RUTA 25CCB, DEPARTAMENTO DEL CAUCA.

SECTOR:

TALUD (Abs. Inicial / Abs. Final) :	
GRIETAS DE TENSION	
INFILTRACION Y APORTE DE AGUA	
CARCAVAS	
SURCOS	
ALTURA	
PENDIENTE	
LARGO (sobre la vía existente o proyectada)	
NIVELE FREATICO	
CICATRICES	
DESPRENDIMIENTOS ACTUALES	
PRESENCIA DE GRIETA Y FISURAS	
COMUNIDADES VEGETALES	
TIPO DE MATERIAL	
ACTIVIDADES ANTROPICAS	
PRESENCIA DE BLOQUES	
OBSERVACIONES	Inclinación_____ Inclinación propuesta_____ Propuesta de estabilización:
CLASIFICACIÓN MMR	
GRADO DE ESTABILIDAD	

Figura 5.112 Ficha de Investigación en puntos geológicos específicos
Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

5.1.9.1 Zonificación geotécnica – modelo geológico- geotécnico

De acuerdo con la caracterización geotécnica en el corredor vial, derivada de los estudios previos y de la investigación del subsuelo realizada a la fecha que se presentan en el informe de Geología de detalle para Ingeniería (Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016); se definen las unidades geológicas y geotécnicas con comportamiento homogéneo para la Unidad Funcional 3.

En la Tabla 5.102 y en la Figura 5.113 se describen las unidades geotécnicas y el tramo donde se presentan dentro de la unidad funcional 3.

Tabla 5.102 Unidades geológico- geotécnicas

Material	Descripción	Abscisa inicio	Abscisa final	Unidad geológica - geotécnica
Ngpc1	Cenizas de caída de color amarillo con baja plasticidad, en estado avanzado de meteorización originando limos	K41+300	K42+400	UG 1
		K47+600	K49+000	
		K49+400	K50+500	
Ngpfg	Flujos grises de cenizas y bloques. Aglomerado Tipo 1	K42+400	K44+050	UG 2
Ngpc4	Cenizas de caída de color rojizo de alta plasticidad, en estado avanzado de meteorización originando limos	K40+050	K47+600	UG 3
		K48+800	K49+400	
Ngpc3	Cenizas de caída de color rojizo de alta plasticidad, en estado avanzado de meteorización originando limos	K50+500	K54+400	UG 4
		K54+400	K56+988	

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

Para cada zona geotécnicamente homogénea, se definen perfiles geológicos típicos (basados en los resultados de las pruebas de investigación del subsuelo), sus propiedades esfuerzo – deformación y que son el insumo para realizan análisis de estabilidad bajo los mecanismos de falla predominantes (falla rotacional y planar – analizados como círculos de falla con radios muy grandes).

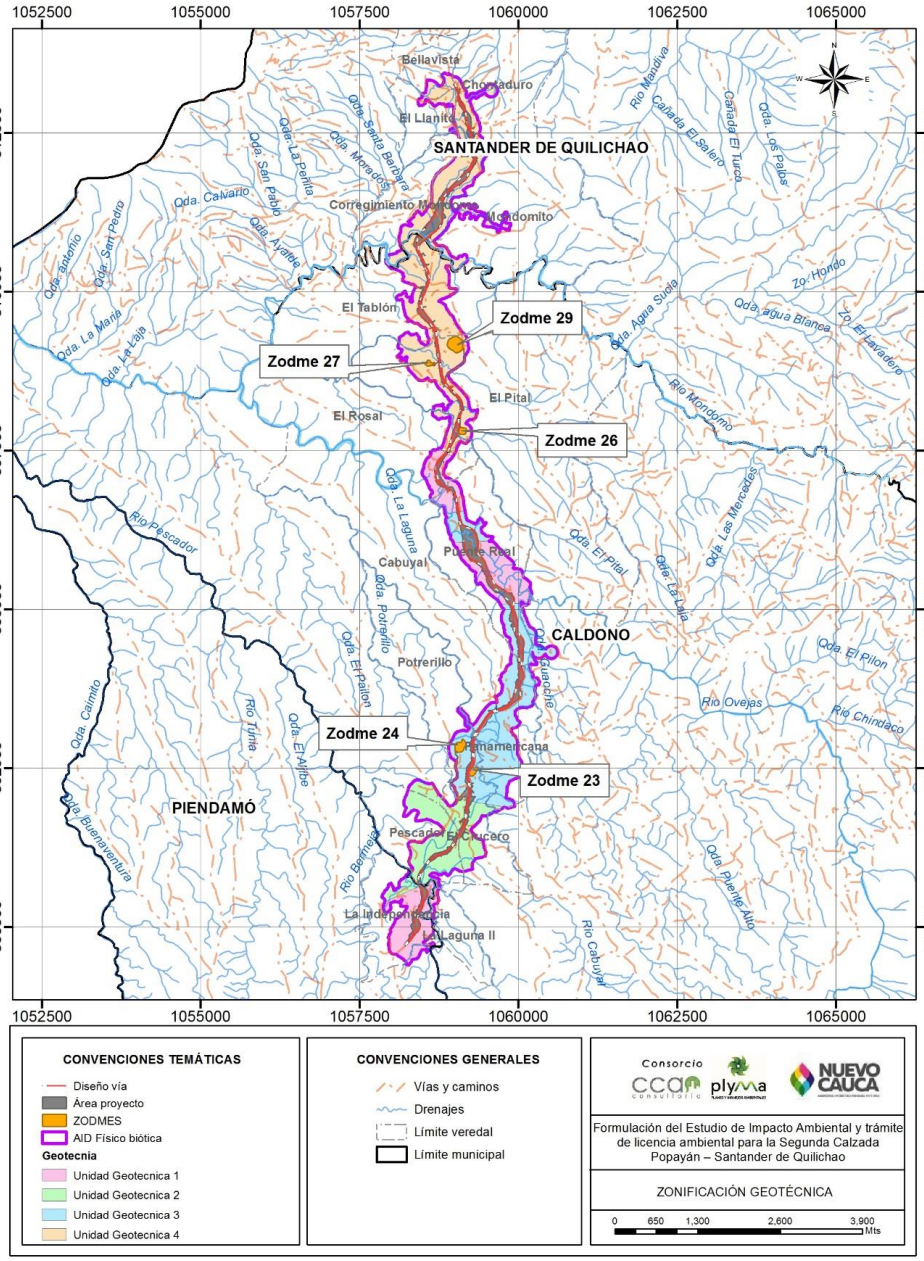


Figura 5.113. Unidades Geotecnicas.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA - PLYMA, 2016

En el Anexo 5.1.1 Planos Geología UF3-GEO se presentan los mapas de la distribución de las unidades geotécnicas en el tramo de la unidad funcional 3.

5.1.9.2 Investigación del subsuelo

Con el objeto de establecer las características geológico-geotécnicas de los materiales que conforman el área de estudio, se realizó exploración geotécnica y toma de muestras para descripción de materiales y ensayos de laboratorio.

A continuación, en la Tabla 5.103 se presenta la ubicación de exploración realizada en la unidad funcional 3, con el fin de generar los modelos geológicos geotécnicos pertinentes para el desarrollo en el análisis de la estabilidad de taludes y la caracterización geotécnica del corredor vial. En el Anexo 5.1.1 Planos Geología _UF3-GEO-02, se presenta la planta con la localización de la totalidad de la exploración haciendo referencia a las unidades geológicas encontradas.

Tabla 5.103 Exploración geotécnica en la unidad funcional 3

Abscisa Diseño	PR Campo	Nomenclatura sondeo	Este	Norte	Calzada
K41+483	PR41-880	BM-12	1058350,6	799906,66	Izquierda
K42+00	PR42+400	BM-13	1058500,2	800450,6	Izquierda
K43+885	PR44-630	BM-14	1059249,7	802127,9	Derecha
K45+540	PR46+234	BM-15	1059786,9	803486,26	Izquierda
K48+840	PR49+500	BM-17	1059029,4	806479,32	Izquierda
K49+380	PR50+103	LRS-10	1059002,9	806804,69	Derecha
K54+010	PR54+784	LRS-11	1058648,9	810854,13	Derecha
K40+710	PR40+955	LRS-7	1058036,8	799384,75	Derecha
K42+220	PR42+636	LRS-8	1058418,1	800782,75	transversal
K47+280	PR48+192	LRS-9	1059842,2	805211,93	Izquierda
K42+348	PR42+778	S1 - PT 42.30 (D)	1058499,4	800954,18	Izquierda
K42+355	PR42+778	S1 - PT 42.30 (I)	1058499,1	800961,83	Izquierda
K53+917	PR54+682	S1 - RM (D)	1058561,6	810808,75	Derecha
K53+915	PR54+682	S1 - RM (I)	1058551	810815,05	Derecha
K48+461	PR49+288	S1 - RO (I)	1059137,2	806099,11	Izquierda
K42+047	PR42+386	S1 - RP (D)	1058512,2	800626,81	Derecha
K42+047	PR42+386	S1 - RP (I)	1058488	800613,96	Derecha
K42+383	PR42+818	S2 - PT 42.30 (D)	1058510,4	800984,74	Izquierda
K42+380	PR42+818	S2 - PT 42.30 (I)	1058499,1	800988,37	Izquierda
K53+960	PR54+724	S2 - RM (D)	1058595,4	810836,55	Derecha
K53+958	PR54+724	S2 - RM (I)	1058583,2	810842,44	Derecha
K48+483	PR49+306	S2 - RO (I)	1059133,1	806120,54	Izquierda
K42+080	PR42+419	S2 - RP (D)	1058493,6	800651,82	Derecha
K42+100	PR42+444	S2 - RP (I)	1058467,4	800662,89	Derecha
K42+420	PR42+858	S3 - PT 42.30 (D)	1058524,6	801024,33	Izquierda
K42+420	PR42+858	S3 - PT 42.30 (I)	1058512,7	801026,32	Izquierda

Abscisa Diseño	PR Campo	Nomenclatura sondeo	Este	Norte	Calzada
K48+530	PR49+386	S3 - RO (I)	1059123,9	806167,37	Izquierda
K42+160	PR42+500	S3 - RP (D)	1058460,5	800723,25	Derecha
K42+165	PR42+500	S3 - RP (I)	1058445,3	800723,04	Derecha
K42+440	PR42+878	S4 - PT 42.30 (D)	1058531,8	801044,3	Izquierda
K42+440	PR42+878	S4 - PT 42.30 (I)	1058522,7	801053,28	Izquierda
K48+620	PR49+523	S4 - RO (I)	1059106,7	806255,06	Izquierda
K42+215	PR42+535	S4 - RP (D)	1058453	800772,21	Derecha
K42+195	PR42+528	S4 - RP (I)	1058440	800752,01	Derecha
K42+470	PR42+903	S5 - PT 42.30 (I)	1058534,8	801080,44	Izquierda
K48+665	PR49+594	S5 - RO (I)	1059097,7	806301,1	Izquierda
K48+693	PR49+614	S6 - RO (I)	1059091,9	806325,75	Izquierda
K49+515	PR50+437	SC-10	1058712,9	806995,06	Izquierda
K54+170	PR54+919	SC-11	1058789,1	811161,04	Izquierda
K56+440	PR57+180	SC-12	1059083,2	813011,67	Derecha
K54+320	PR55+071	SC-13	1058883,4	811116,33	Derecha
K41+730	PR42+055	SC-6	1058491,5	800335,6	Derecha
K43+940	PR44+642	SC-8	1059184,6	802232,16	Izquierda
K45+640	PR46+335	SC-9	1059900,6	803560,14	Izquierda
K43+900	PR44+642	S-D5	1059226,3	802200,05	Izquierda
K56+020	PR56+980	S-D6	1059028,1	812811,37	Derecha
K47+400	PR48+126	S-D7	1059930,2	805193,15	Derecha
K45+514	PR46+211	SIN-13	1059797,8	803449,53	Derecha
K45+760	PR46+456	SIN-14	1060008,6	803617,41	Derecha
K52+770	PR53+679	SIN-16	1058491,7	809982,68	Izquierda
K41+880	PR42+208	SN-10	1058538,2	800473,51	Derecha
K44+845	PR45+590	SN-11	1059380,8	803142,89	Izquierda
K46+990	PR47+708	SN-12	1059975,3	804790,73	Derecha
K52+730	PR53+640	SN-13	1058481,3	809899,8	Derecha
K44+070	PR44+820	SN-14 (D)	1059222,1	802310,47	Derecha
K41+120	PR41+444	S-P10	1058253,2	799831,48	Izquierda
K50+607	PR51+341	S-P11	1059000	807784,73	Derecha
K53+485	PR54+242	S-P12	1058541,8	810443,64	Derecha
K54+260	PR55+000	S-P13	1058856,9	811040,46	Derecha
K49+165	PR49+885	S-P14	1059056,6	806600	Derecha
K46+235	PR46+970	S-P15	1060055	804066,38	Derecha
K40+425	PR40+779	S-P9	1058034,5	799197,39	Izquierda
K53+350	PR54+077	ST-12(D)	1058587,8	810314,1	Derecha
K55+518	PR56+448	ST-13(I)	1059290,5	812332,92	Izquierda
K54+880	PR56+000	ST-14	1059040,3	811790,34	Izquierda
K44+644	PR45+389	ST-8(I)	1059281,7	802921,59	Izquierda
K48+840	PR49+561	STC-11	1059160,8	806300,96	Derecha
K48+960	PR49+688	STC-12	1059082	806394,68	Derecha
K55+455	PR56+266	STC-13	1059321	812066,54	Derecha
K44+118	PR44+800	T-12	1059209,3	802353,8	Derecha
k45+483	PR46+175	T-13	1059796,7	803447,3	Derecha

Abscisa Diseño	PR Campo	Nomenclatura sondeo	Este	Norte	Calzada
K45+431	PR46+127	T-13	1059749,4	803430,97	Derecha
K41+861	PR42+189	T-19	1058530,7	800462,67	Derecha
K44+100	PR44+850	T-20	1059214,9	802336,79	Derecha
k45+320	PR-46	T-21	1059637,5	803406,75	Izquierda
K46+250	PR46+958	T-22	1060046,5	804088,12	Izquierda
K4+990	PR50+716	T-8	1058701,1	807255,34	Derecha
K41+470	PR41+835	V-13	1058372,7	800182,94	Izquierda
K41+970	PR42+388	V-14	1058438,1	800600,53	Izquierda
K43+700	PR44+539	V-15	1059104,8	801610,1	Izquierda
K54+550	PR55+339	V-16	1058796,1	811354,1	Derecha
K55+167	PR56+108	V-17	1059267,3	812022,23	Derecha
K56+000	PR56+775	V-18	1059182,2	812631,72	Izquierda

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

Para la nomenclatura de la exploración geotécnica se utilizaron las siguientes siglas: LRS: Línea de Refracción sísmica; STC: Sondeo en zona de Terraplén y Corte; SIN: Sondeo en Sitio Inestable; T: Trincheras; S-P; Piezocono; S-D: Dilatómetro.

5.1.9.2.1 Exploración geotécnica convencional

Dentro del método convencional se utilizaron equipos de percusión y rotación hincando progresivamente los tubos de acero mediante golpes sucesivos en suelos arenosos y arcillosos hasta profundidades considerables.

5.1.9.2.2 Exploración mediante ensayos de piezocono

El piezocono (CPTU) es una herramienta de investigación geotécnica que permite obtener un perfil estratigráfico del terreno y evaluar los parámetros resistentes de las capas atravesadas.

El ensayo consiste en hincar en el terreno a velocidad constante (2 cm/seg) un cono que permite medir, mediante captores, la resistencia a la penetración, el rozamiento de un manguito ubicado encima de la punta cónica y la presión intersticial del agua a medida que el cono penetra en el terreno. El equipo consiste en el cono de hinca, varillaje hueco por donde pasa el cable de señales, central de toma de datos y el medio de hinca o Penetrómetro.

5.1.9.2.3 Líneas de refracción sísmica

En la Tabla 5.104 se identifican las coordenadas de las líneas de refracción sísmica.

Tabla 5.104 Localización de líneas de refracción sísmica

Línea de refracción	Distancia (m)	Espaciamiento (m)	Este	Norte
LRS11	75	3	1058742.61	810988.48

			1058682.41	810936.54
LRS10	100	4	1059065.21	806637.85
			1059071.44	806526.96
LRS9	50	2	1059840.78	805243.34
			1059884.04	805194.21
LRS8	50	2	1058420.89	800593.04
			1058448.04	800653.56
LRS7	75	3	1058038.66	799546.95
			1058018.30	799480.28

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

En la Tabla 5.105 y en la Tabla 5.106 se identifican las propiedades de los materiales y velocidades de cada una de las líneas de refracción sísmica.

Tabla 5.105 Resumen de la velocidad de la onda P mediante refracción sísmica

Línea de refracción	Velocidad Vp (m/s)	Espesor (m)	Material
LRS-11	546-669	8	Suelo Residual
	710-1200	6	Roca Meteorizada
	1231	-	Roca
LRS-10	672-765	8	Suelo
	796-1169	9	Aglomerado
	1200	2	Aluvial
	1231	-	Aglomerado
LRS-9	424-553	4	Suelo
	595-1108	2	Aglomerado
	1151	1	Aluvial
	1193	-	Aglomerado
LRS-8	379-588	5	Suelo Residual
	617-1331	8	Roca Meteorizada
	1449	-	Aglomerado
LRS-7	367-524	6	Suelo Residual
	576-1204	8	Roca Meteorizada
	1309	-	Aglomerado

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

Tabla 5.106 Resumen de las propiedades de los materiales según líneas sísmicas

Línea de refracción	Velocidad Vp (m/s)	Velocidad Vs (m/s)	Espesor (m)	TIPO DE PERFIL (Según de la NSR-2010)	DESCRIPCIÓN (Según Tabla de la NSR-2010)
LRS-11	546	220	9	D	Perfil de suelo rígido
	1282	370	10	C	Perfil de suelo muy denso o roca blanda.
LRS-10	672	250	14	D	Perfil de suelo rígido
	1232	375	12	C	Perfil de suelo muy denso o roca blanda
LRS-9	424	270	5	D	Perfil de suelo rígido
	1194	455	8	C	Perfil de suelo muy denso o roca blanda.

	-	640	-	C	Perfil de suelo muy denso o roca blanda.
LRS-8	379	170	6	E	Perfil que cumpla el criterio de onda de corte.
	1450	305	6	C	Perfil de suelo muy denso o roca blanda.
LRS-7	367	225	7	D	Perfil de suelo rígido
	1309	260	6	D	Perfil de suelo rígido

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

5.1.9.3 Estabilidad de taludes.

Considerando los modelos geológico – geotécnicos propuestos para los sectores y unidades geológicas establecidas con comportamiento homogéneo relacionados con las secciones representativas para los cortes y terraplenes presentes en la unidad funcional 3, se realizaron los análisis de estabilidad empleando el programa SLIDE 6.0 de la casa Rocscience, que permite determinar factores de seguridad por medio de los métodos de Bishop Simplificado, Spencer, Jambu Simplificado y Morgenstern - Price.

Para los análisis se consideró principalmente mecanismos de falla rotacional. El método escogido por el cual se concluyen los factores de seguridad de los análisis es el de Morgenstern – Price.

Se presentan los resultados y recomendaciones de estabilidad de los escenarios evaluados que corresponden a la condición estática y pseudo-estática para cada uno de los taludes de corte y terraplén representativo de cada unidad geológica perteneciente a la unidad funcional 3.

De los modelos establecidos, se realizaron análisis de estabilidad para los taludes existentes para cada unidad geotécnica (definidos en este capítulo con escenario actual), lo cual permitió calibrar el parámetro de cohesión, con el fin de no subestimar dicha variable, de acuerdo con la metodología empleada para su determinación previa. Los taludes existentes analizados, corresponden a taludes donde no se evidenciaron condiciones de inestabilidad, para lo cual se adoptó de manera conservadora que estos deben contar con un factor de seguridad en la condición sin sismo entre 1.2 y 1.3.

Para condiciones estáticas se requieren factores de seguridad mínimo de 1.5 y para condiciones pseudo-estáticos de 1.05, en cumplimiento con lo establecido en la normativa nacional NSR-10 y finalmente el resultado deberá ser un factor de seguridad que garantice la estabilidad del talud.

Los análisis de estabilidad se realizan considerando la implementación suficiente de obras de drenaje superficial y sub-superficial, de tal manera que para fines prácticos estos se analizan secos, lo que lleva a se debe garantizar que, con dichas obras dentro de la zona

de análisis con menor factor de seguridad en los taludes, no se presente ascensos del nivel freático.

5.1.9.3.1 Resultados análisis de estabilidad

A continuación, en la Tabla 5.107 y Tabla 5.108 se relacionan las alturas de terraplén y corte que se van a tener según el diseño geométrico planteado para el corredor. Con base en la Tabla 5.107 y Tabla 5.108, se plantean los análisis de estabilidad para las alturas promedio encontradas en cada una de las unidades geotécnicas presentes en la unidad funcional 3.

Tabla 5.107 Recomendaciones geométricas de taludes

Unidad geológica	Abscisa inicio	Abscisa Final	Geometría	Altura máxima	Berma
Ngpc1	K41+300	K42+400	0,5H:1V	6,0 m	3,0 m
	K47+600	K49+000			
	K49+400	K50+500			
Ngpfg	K42+400	K44+050	0,5H:1V	6,0 m	3,0 m
Ngpc4	K40+050	K47+600	0,5H:1V	6,0 m	3,0 m
	K48+800	K49+400			
Ngpc3	K50+500	K54+400	0,5H:1V	6,0 m	3,0 m
	K54+400	K56+988			

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

Tabla 5.108 Recomendaciones taludes en terraplén

Unidad geotécnica	Abscisa inicio	Abscisa final	Geometría		Material
UG1	K41+300	K42+400	Terraplenes de altura de 0-5m 1.5H:1V	Terraplenes de altura de 5-12m 2H:1V	Material seleccionado con un peso unitario mínimo de 18 Kpa una cohesión de 5 Kpa y un ángulo de fricción 32°
	K47+600	K49+000			
	K49+400	K50+500			
UG2	K42+400	K44+050			
UG3	K40+050	K47+600			
	K48+800	K49+400			
UG4	K50+500	K54+400			
UG4.1	K54+400	K56+988			

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

5.1.9.3.2 Recomendaciones de estabilidad para taludes de corte y terraplén.

A continuación, se presentan las recomendaciones geométricas para los taludes de corte y terraplén.

- ✓ Todos los taludes mayores a 14 m requieren de la instalación de una fila de drenes horizontales con una separación máxima de 5 m y una longitud mínima de 15 m con una inclinación de 10° respecto a la horizontal hacia arriba, ubicada a 1,5m de altura de la pata del talud. Para taludes mayores a 18m, que presentan una geometría con

terrazas cada 6m de altura de 3m de ancho se deben ubicar drenes en el primer y segundo talud a 1.5 m de altura de la pata del talud y de la berma respectivamente con una separación máxima de 5 m y una longitud mínima de 15 m con una inclinación de 10° respecto a la horizontal hacia arriba. Los taludes menores a 14 m no requieren de la instalación de drenes horizontales.

✓ Para todas las unidades geológicas de la unidad funcional 3, los terraplenes se recomiendan que se proyecten con una pendiente de 1.5H: 1V para taludes menores o iguales a 5 m de altura y para taludes entre 5 y 12 m de altura una geometría de 2H:1V. El material de relleno debe ser seleccionado con un peso unitario de 18 kN/m3, cohesión de 5Kpa y ángulo de fricción de 32°, Se deberá generar un escalonamiento entre la superficie del talud y el terraplén para no inducir una falla sobre el terreno, dicho escalonamiento deberá tener una altura de terrazas de 1 m promedio y la demás geometría dependerá de la topografía específica del sitio.

5.1.10 Atmósfera

5.1.10.1 Meteorología

Se hizo la adquisición de la información hidrometeorológica en cercanías al área de influencia, las cuales son operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La información adquirida incluye seis (6) estaciones pluviométricas PM, dos (2) estaciones Climatológicas principales CO y una (1) estación sinóptica principal SP. Las generalidades de estas estaciones se muestran en la Tabla 5.109, los datos fueron adquiridos a resolución temporal diaria y mensual; en la Figura 5.114 se presenta su ubicación geográfica.

Tabla 5.109. Estaciones hidrometeorológicas.

Código	Estación	Tipo	Coordenadas		Fuente	Registro		Longitud [años]
			Norte	Este		Inicio	Fin	
26020470	Japio	PM	828.865	1.070.714	IDEAM	1965	2016	52
26020390	Ovejas Abajo	PM	807.342	1.054.357	IDEAM	1979	2016	38
26025100	Tunia	CO	787.508	1.061.300	IDEAM	1989	2015	27
26025090	Venta Cajibio	CO	777.587	1.057.344	IDEAM	1973	2015	43
26020030	Piendamó	PM	783.968	1.059.479	IDEAM	1947	2015	69
26020200	El Amparo	PM	819.216	1.065.405	IDEAM	1963	2016	54
26035030	Apto Valencia	SP	763.004	1.052.141	IDEAM	1941	2015	75
26020130	Totoró	PM	772.849	1.073.256	IDEAM	1956	2015	60
26020460	Polindara	PM	766.844	1.074.828	IDEAM	1984	2016	33

Fuente: Jorge Fandiño S.A.S. Infraestructura, 2016

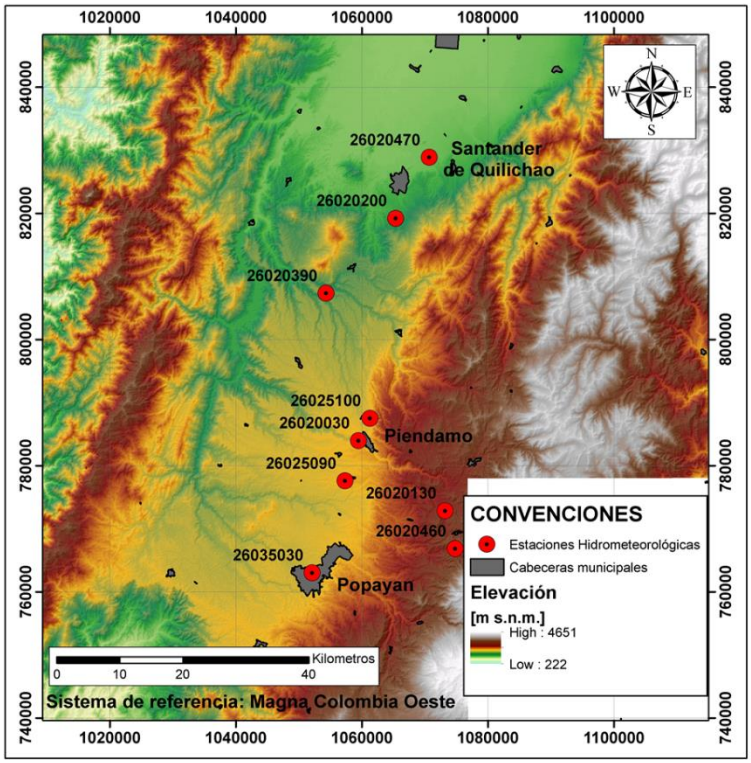


Figura 5.114. Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas (Falta).
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.10.1.1 Temperatura

A partir de los datos de las estaciones 26025100 Tunía, 26025090 Venta Cajibío y 26035030 Apto Valencia, se realizó el análisis de temperatura media, máxima y mínima interanual a escala mensual, los valores de temperatura media mensual para cada estación se muestran en la Tabla 5.110, de igual forma en la Figura 5.115 se presenta la comparación grafica entre las tres estaciones.

Tabla 5.110. Valores mensuales de temperatura [°C].

Temperatura media [°C]			
Mes	26025090 Venta De Cajibío	26025100 Tunía	26035030 Apto G L Valencia
Enero	18,32	19,14	18,97
Febrero	18,36	19,05	19,15
Marzo	18,43	19,15	19,19
Abril	18,45	19,20	19,10
Mayo	18,53	19,06	19,13
Junio	18,77	19,43	19,11

Temperatura media [°C]			
Mes	26025090 Venta De Cajibío	26025100 Tunía	26035030 Apto G L Valencia
Julio	18,95	19,67	19,33
Agosto	19,11	19,90	19,46
Septiembre	18,71	19,66	19,21
Octubre	18,17	19,04	18,76
Noviembre	18,07	18,80	18,52
Diciembre	17,69	18,84	18,72
media	18,46	19,24	19,05

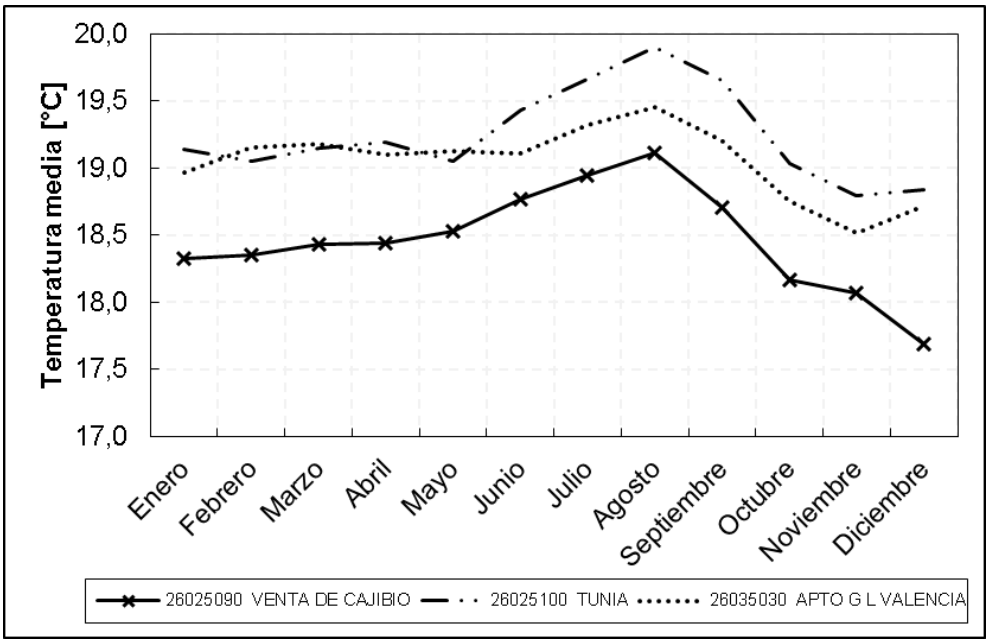


Figura 5.115. Comparación grafica de la variable temperatura para las estaciones de interés.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

Se observa que el ciclo anual de temperaturas para esta variable tiene variaciones de 1,43 °C para Venta de Cajibio, 1,10 °C para la estación Tunía y 0,94 °C para la estación Apto Valencia, se concluye que el ciclo de esta variable no es muy marcado, pero se observa un pico de temperatura en el mes de agosto y un valor mínimo en noviembre con excepción de la estación Apto Valencia.

Se observa que las temperaturas medias para las estaciones analizadas presentan un ciclo unimodal, inversamente proporcional al ciclo de la precipitación, es decir, en la época seca se presenta un aumento de la temperatura media y en la época humedad se presenta lo contrario.

En la Figura 5.116 se muestra la comparación grafica entre las series media, máxima y mínima mensual, para las tres estaciones mencionadas anteriormente; respecto a las temperaturas medias se concluye que para todos los meses del año y para todas las estaciones de análisis, se encuentra entre los rangos definidos por las temperaturas extremas.

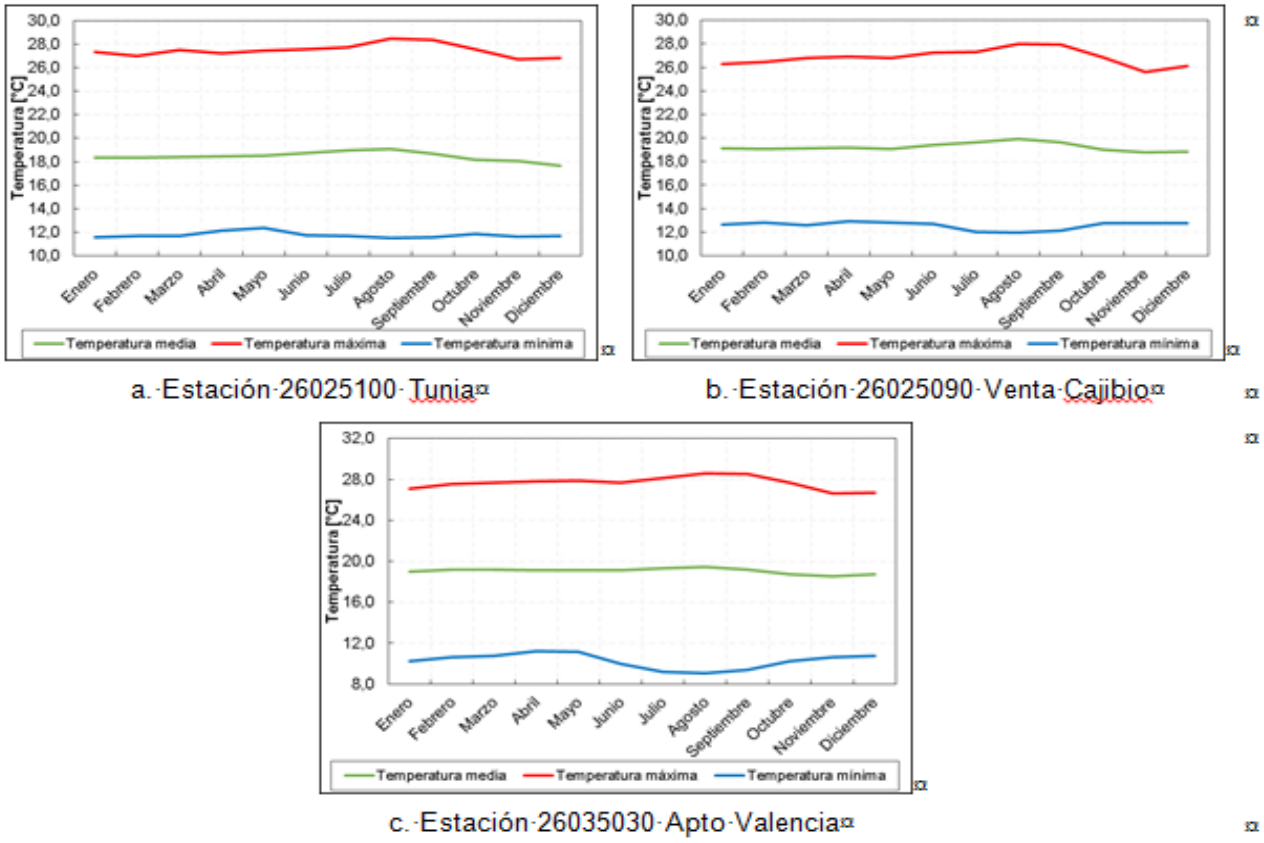


Figura 5.116. Temperatura máxima, media y mínima mensual.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

Adicionalmente se estimó la distribución espacial de la temperatura mediante la ecuación propuesta por Cenicafé (Chávez & Jaramillo, 1998), para la región pacífica. Se construye el campo de temperatura espacialmente distribuido, partiendo del modelo de elevación digital. La ecuación utilizada se presenta a continuación.

$$T_m = 27{,}05 + 0{,}0057\ H$$

Donde, Tmedia es la temperatura media anual en [°C] y H es la altura sobre el nivel medio del mar en [m]. La Figura 5.117 muestra la distribución espacial de la temperatura media anual en las áreas de influencia directa e indirecta.

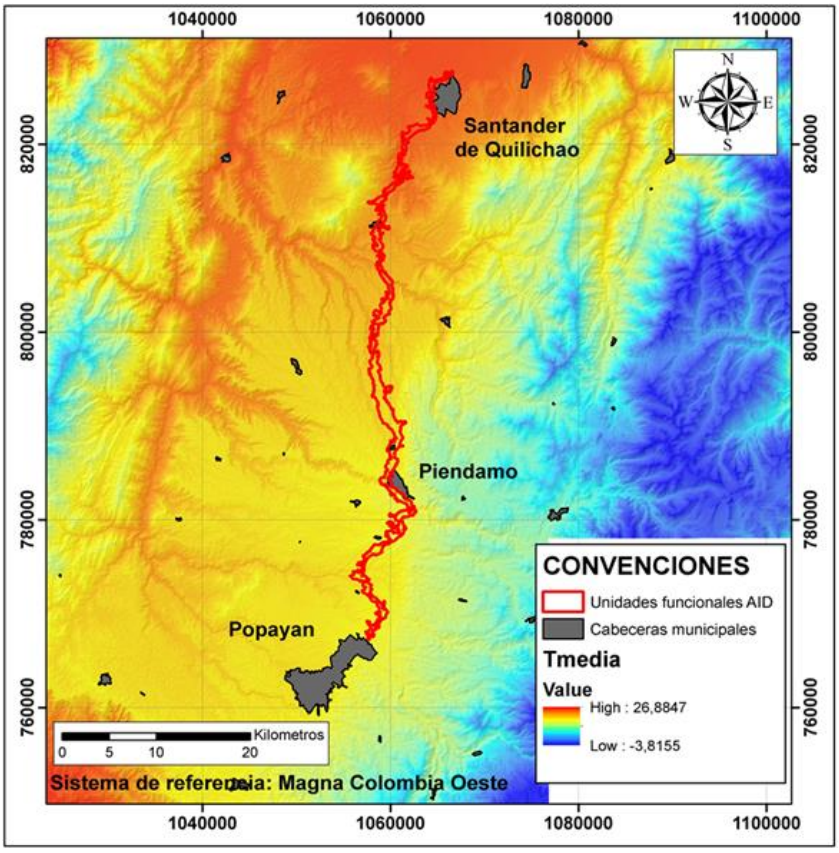


Figura 5.117. Mapa de temperatura media anual.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

En la Tabla 5.111 se presentan el resultado de la integración espacial de las unidades funcionales sobre el mapa de temperatura media anual; se observan rangos de variaciones en la temperatura media anual entre 1,3 °C para la unidad funcional 1; de 2,6 °C para la unidad funcional 2; 1,6 °C para la unidad funcional 3 y 3,3 °C para la unidad funcional 4.

Tabla 5.111. Valores de temperatura anual [°C].

Temperatura [°C]	UF1	UF2	UF3	UF4
Máxima	38,2	38,3	36,4	36,2

Medio	37,5	36,9	35,5	33,7
Mínima	36,9	35,7	34,8	32,9

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.10.1.2 Temperatura de punto de rocío

El punto de rocío es el valor al que debe descender la temperatura del aire para que el vapor de agua existente comience a condensarse, se realizó el análisis de temperatura de punto de rocío media, máxima y mínima interanual a escala mensual de las estaciones 26025100 Tunía, 26025090 Venta Cajibio y 26035030 Apto Valencia; en la Tabla 5.112 y la Figura 5.118 se presentan los valores medios mensuales de las estaciones y en la Figura 5.119 se presenta la comparación grafica entre los valores medios, máximos y mínimos mensuales.

Tabla 5.112. Valores mensuales de temperatura de punto de rocío [°C].

Punto de rocío [°C]			
Mes	26025090 Venta De Cajibio	26025100 Tunía	26035030 Apto G L Valencia
Enero	15,64	15,91	14,90
Febrero	15,72	16,10	14,97
Marzo	15,93	16,27	15,05
Abril	15,97	16,37	15,25
Mayo	15,98	16,33	15,15
Junio	15,47	16,05	14,35
Julio	14,82	15,67	13,12
Agosto	14,78	15,16	12,76
Septiembre	14,85	15,36	13,45
Octubre	15,45	15,66	14,72
Noviembre	15,74	15,92	15,22
Diciembre	15,76	16,01	15,27
Media	15,51	15,90	14,52

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

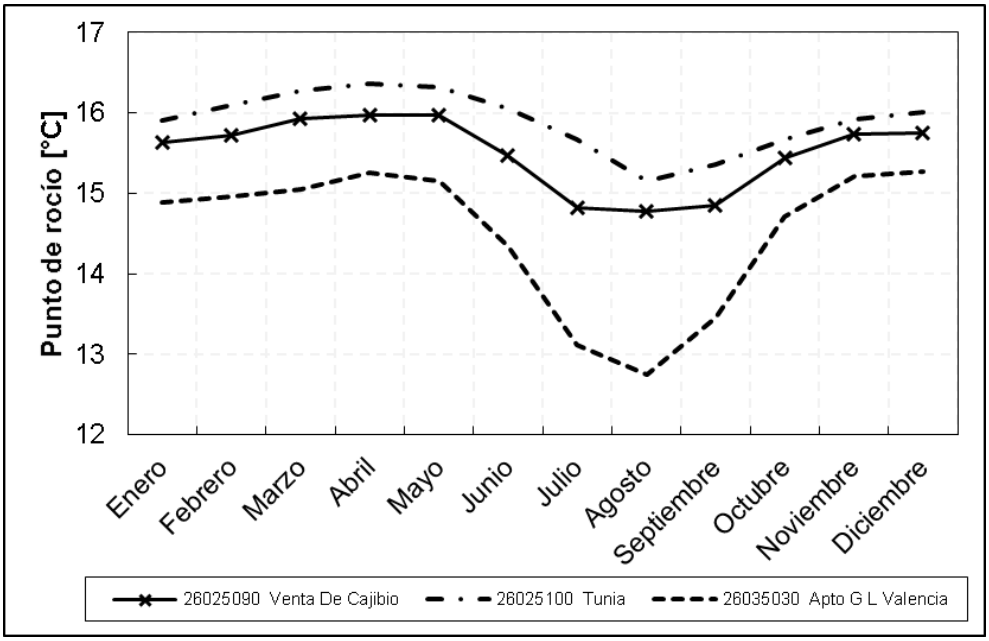


Figura 5.118. Comparación grafica de la variable temperatura para las estaciones de interés.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

Al igual que la temperatura media, la temperatura de punto de roció presenta valores máximos en las épocas secas y valores mínimos en las épocas húmedas, obedeciendo al ciclo anual de las precipitaciones en la región de estudio.

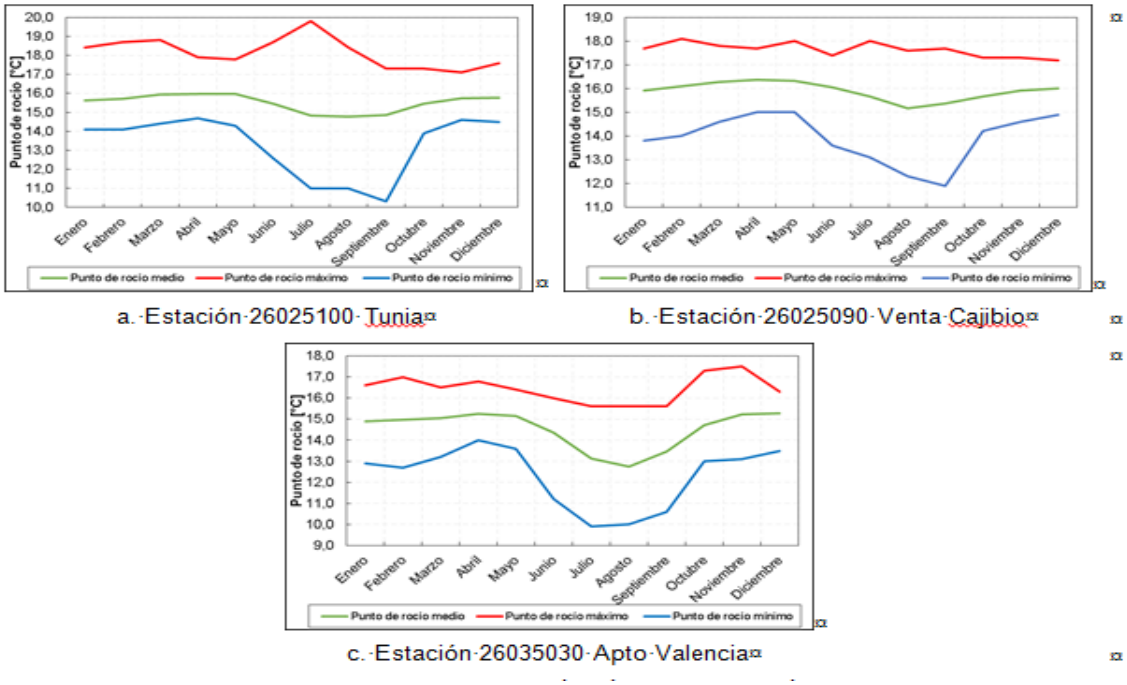


Figura 5.119. Temperatura de punto de rocío máxima, media y mínima mensual.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

La temperatura promedio de punto de rocío se encuentra dentro del rango definido por los valores extremos registrados en las series históricas, se tiene que para la estación Tunía la temperatura de rocío media es de 15,9 °C, para la estación Venta de Cajibio de 15,5 °C y para la estación Apto Valencia de 14,5; esta última estación presenta los rangos de variación de mayor magnitud de aproximadamente 2,5 °C.

De igual forma que la temperatura media, se realizó la estimación de la temperatura de punto de rocío y su distribución espacial; para la estimación de ésta variable se usó la expresión resultante de los análisis de correlación obtenidos para toda Colombia por (Vélez J.I., 2000).

$$T_r = 23{,}3318 - 0{,}00513828H$$

Donde Tr es la temperatura de rocío media anual [°C] y H es la altura sobre el nivel medio del mar en [m]; en la Figura 5.120 se presenta la distribución espacial de la temperatura de punto de rocío para las áreas de influencia.

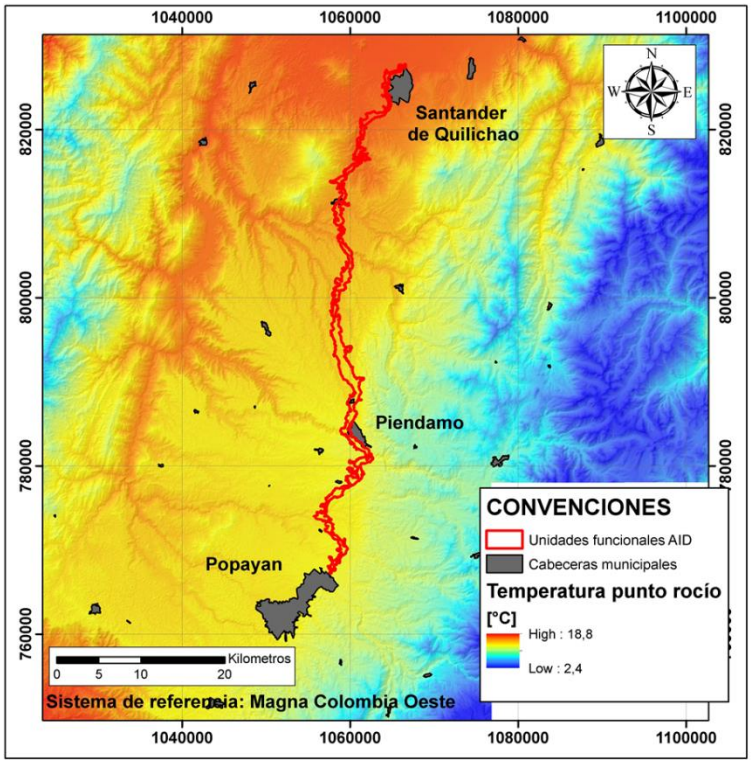


Figura 5.120. Mapa de temperatura de rocío media anual.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

En la Tabla 5.113 se presentan los valores medios, máximos y mínimos anuales para las 4 unidades funcionales; las diferencias máximas de la temperatura de roción se presentan en la unidad funcional 4 con diferencias hasta de 3 °C en el polígono.

Tabla 5.113. Valores de temperatura de punto de rocío anual [°C

Temperatura punto de rocío [°C]	UF1	UF2	UF3	UF4
Máxima	33,4	33,4	31,7	31,6
Medio	32,8	32,2	30,1	29,3
Mínima	32,2	31,1	30,3	28,6

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.10.1.3 Presión atmosférica

Para calcular P puede emplearse una simplificación de la ley de los gases ideales, a una temperatura atmosférica estándar de 20°C (FAO, 2006).

$$P = 101{,}3\left(\frac{293 - 0{,}0065H}{293}\right)^{5{,}26}$$

Donde P es la presión atmosférica [kPa] y H es la elevación [m.s.n.m.], empleando la ecuación anterior se obtiene la distribución espacial de la presión atmosférica como se observa en la Figura 5.121 .

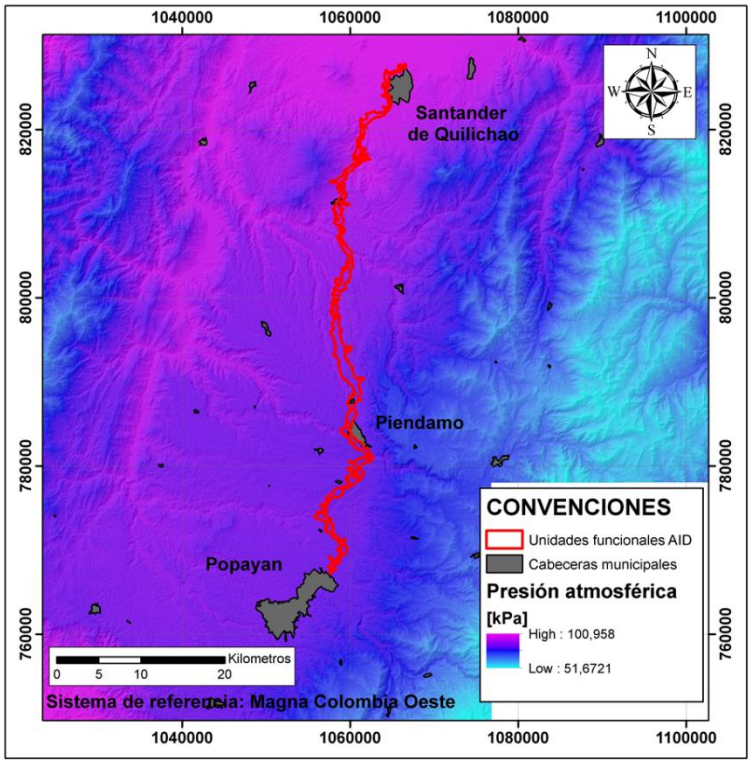


Figura 5.121. Distribución espacial de la presión atmosférica.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

En la Tabla 5.114 se presentan los valores máximos, medios y mínimos anuales para las unidades funcionales de interés.

Tabla 5.114. Valores de presión atmosférica anual [kPa].

Presión atmosférica [kPa]	UF1	UF2	UF3	UF4
Máxima	82,5	84,6	86,2	89,7
Medio	81,3	82,5	84,9	88,3
Mínima	80,2	80,1	83,4	83,8

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.10.1.4 Presión de vapor

La presión de vapor es la presión de un sistema cuando el líquido se hallan en equilibrio con su vapor, en la Tabla 5.115 y en la Figura 5.122 se presentan los valores medios mensuales y la comparación entre valores medios, máximos y mínimos mensuales respectivamente de la variable presión de vapor, para las estaciones 26025100 Tunía, 26025090 Venta Cajibío y 26035030 Apto Valencia.

Tabla 5.115. Valores mensuales de presión de vapor [mb].

Presión de vapor [mb]			
Mes	**26025090 Venta De Cajibío**	**26025100 Tunía**	**26035030 Apto G L Valencia**
Enero	17,95	18,20	17,04
Febrero	18,01	18,47	17,12
Marzo	18,25	18,61	17,20
Abril	18,28	18,71	17,39
Mayo	18,25	18,68	17,30
Junio	17,71	18,38	16,49
Julio	17,14	17,99	15,34
Agosto	17,11	17,48	14,93
Septiembre	17,18	17,63	15,58
Octubre	17,71	17,90	16,84
Noviembre	18,04	18,16	17,36
Diciembre	18,06	18,28	17,41
Media	17,81	18,21	16,67

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

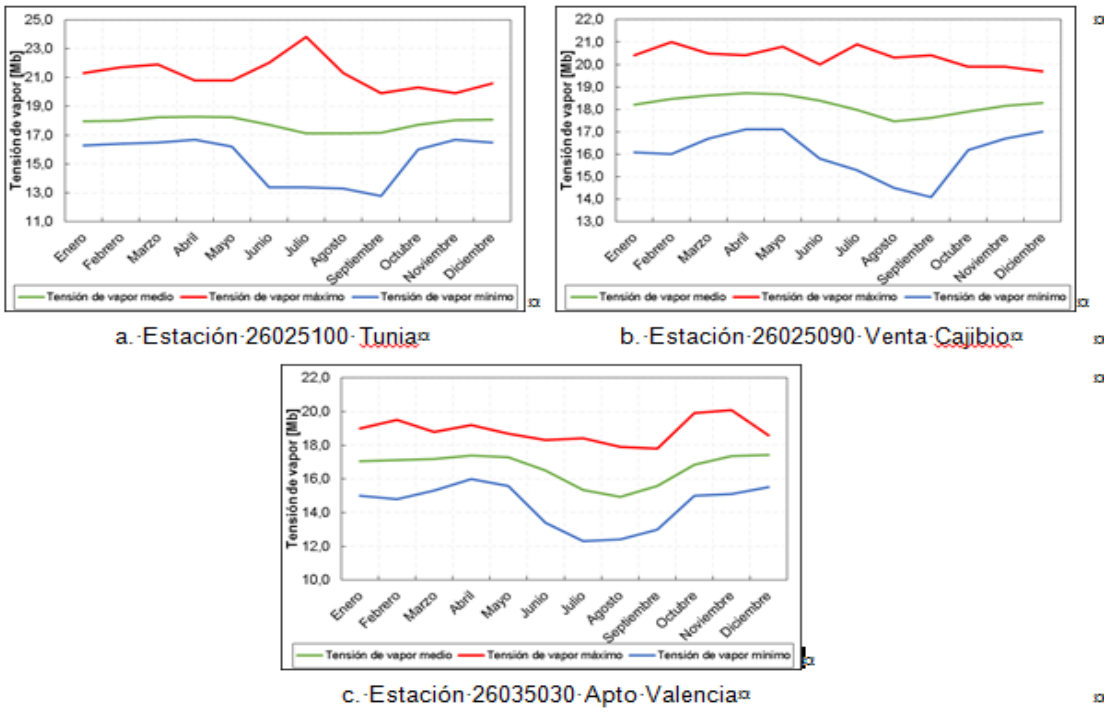


Figura 5.122. Presión de vapor máxima, media y mínima mensual.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

También se realizó la comparación en la magnitud de la variable para las tres estaciones analizadas, tal como se muestra en la Figura 5.123.

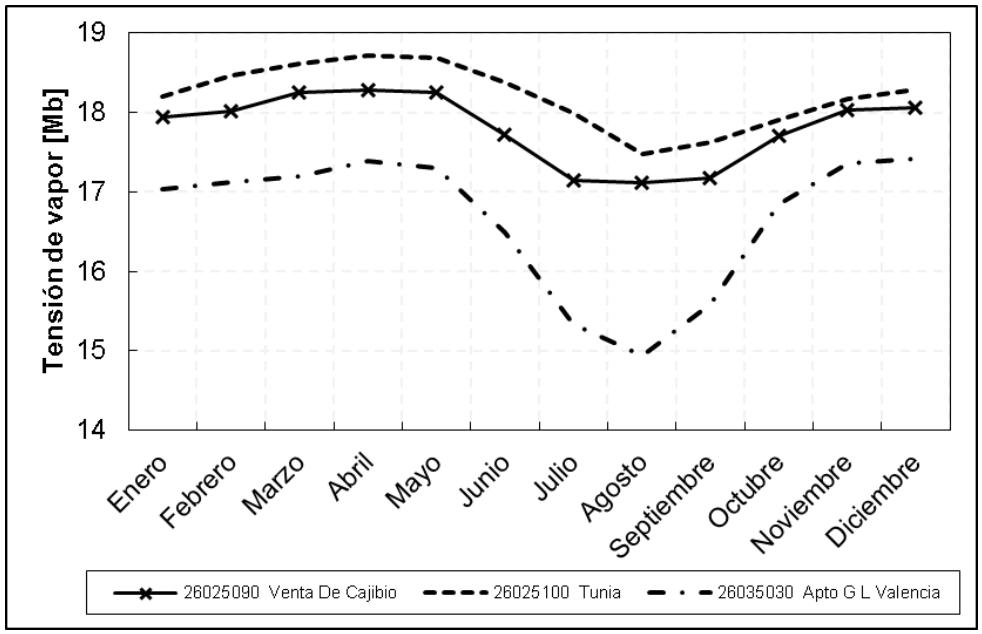


Figura 5.123. Comparación grafica de la variable Nubosidad para las estaciones de interés.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

De la gráfica anterior se puede observar el ciclo unimodal de la variable, acorde con el ciclo de la precipitación, sin embargo, su rango de variación es pequeño para las estaciones Venta de Cajibío y Tunía (entre 18,3 – 17,1 mb y 18,7 - 17,5 mb respectivamente), caso contrario ocurre con la estación Apto G L Valencia tiene un rango de variación medio entre 17,4 y 14,9 mb, con una diferencia de 2,5 mb.

Adicionalmente se realizó la estimación de la distribución espacial de la presión de vapor definida por la siguiente relación.

$$P_v = 611 \exp^{\left(\frac{17{,}27\ T_r}{237{,}3 + T_r}\right)}$$

Donde Pv es la presión de vapor [Pa] y Tr es la temperatura de rocío media anual [°C]; en la Figura 5.124 se presenta la distribución espacial de la presión de vapor media anual para la zona de influencia.

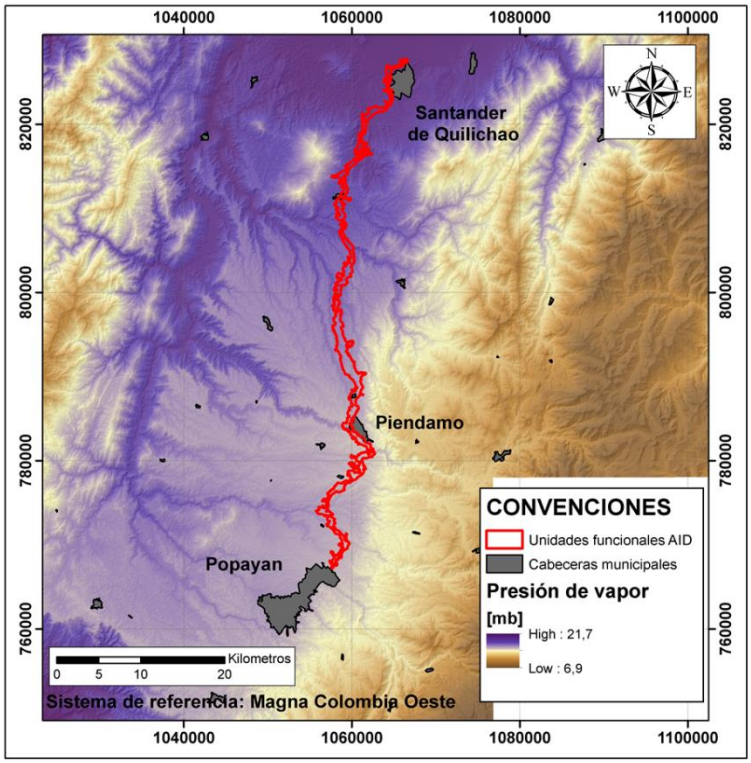


Figura 5.124. Distribución espacial de la presión de vapor [mb].
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.10.1.5 Presión de vapor saturado

Por su parte la presión de vapor saturado está definida por la relación que se presenta a continuación.

$$P_{vs} = 611 \exp^{\left(\frac{17{,}27\ T_m}{237{,}3+\ T_m}\right)}$$

Donde Pvs es la presión de vapor saturado [Pa] y Tm es la temperatura media anual [°C]; en la Figura 5.125 se observa la distribución geográfica de la variable presión de vapor saturado para las áreas de influencia.

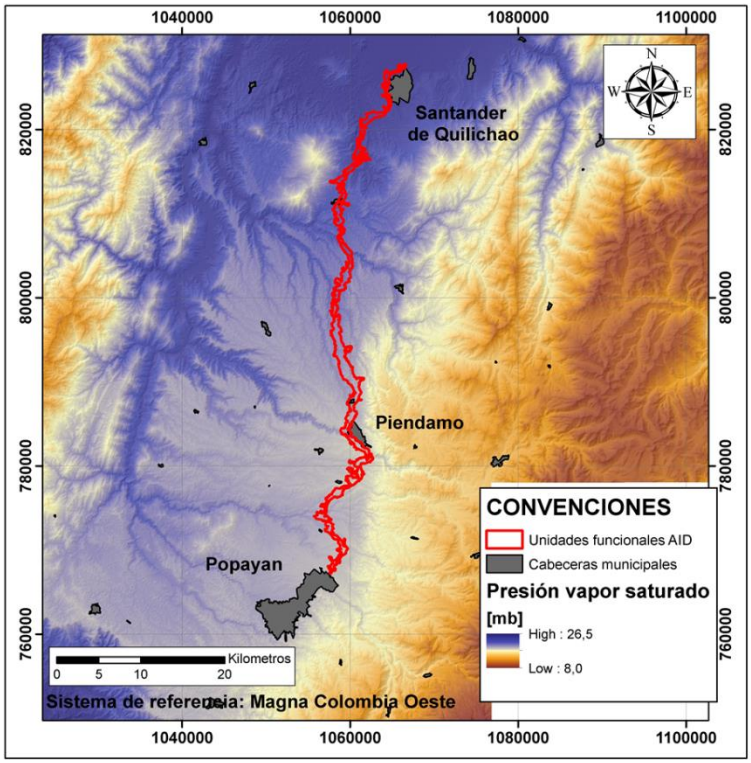


Figura 5.125. Distribución espacial de la presión de vapor saturada [mb].
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.10.1.6 Humedad relativa

De la misma manera que para la temperatura, a partir de las estaciones 26025100 Tunía, 26025090 Venta Cajibío y 26035030 Apto Valencia, se realizó el análisis de humedad relativa media, máxima y mínima interanual a escala mensual, los valores medios para cada mes se presentan en Tabla 5.116, al igual que la comparación entre las tres estaciones de interés (Figura 5.126).

Tabla 5.116. Valores mensuales de humedad relativa [%].

Humedad relativa [%]			
Mes	**26025090 Venta De Cajibío**	**26025100 Tunía**	**26035030 Apto G L Valencia**
Enero	84,34	82,29	79,14
Febrero	84,92	83,50	78,78
Marzo	85,26	83,96	78,82
Abril	85,62	84,38	79,73
Mayo	85,10	84,54	79,52
Junio	82,00	81,92	76,58

Humedad relativa [%]			
Mes	**26025090 Venta De Cajibío**	**26025100 Tunía**	**26035030 Apto G L Valencia**
Julio	78,47	79,39	70,58
Agosto	77,06	76,40	68,98
Septiembre	79,41	78,13	72,58
Octubre	84,35	82,04	79,22
Noviembre	86,00	84,36	82,16
Diciembre	85,71	84,29	81,82
Media	83,19	82,10	77,33

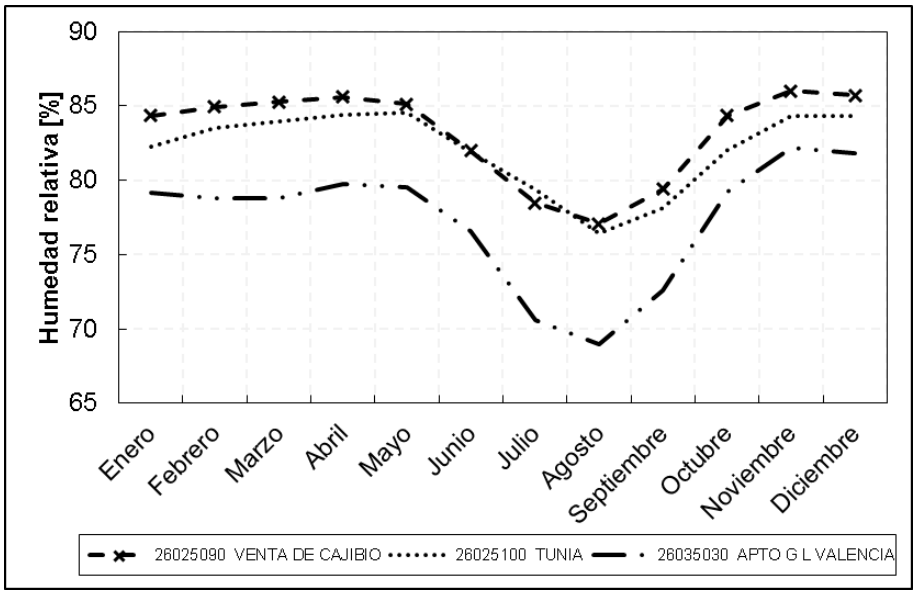


Figura 5.126. Comparación grafica de la variable humedad relativa para las estaciones de interés.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

Al igual que las variables anteriores, la humedad relativa presenta un ciclo unimodal, directamente proporcional al ciclo de precipitación, donde se identifican valores mínimos de la humedad en los meses de julio, agosto y septiembre; y valores máximos en noviembre, diciembre y enero.

En la Figura 5.127 se muestra la comparación grafica entre las series media, máxima y mínima mensual, donde se observa que los valores medios se encuentran dentro de los rangos definidos por los valores extremos máximos y mínimos.

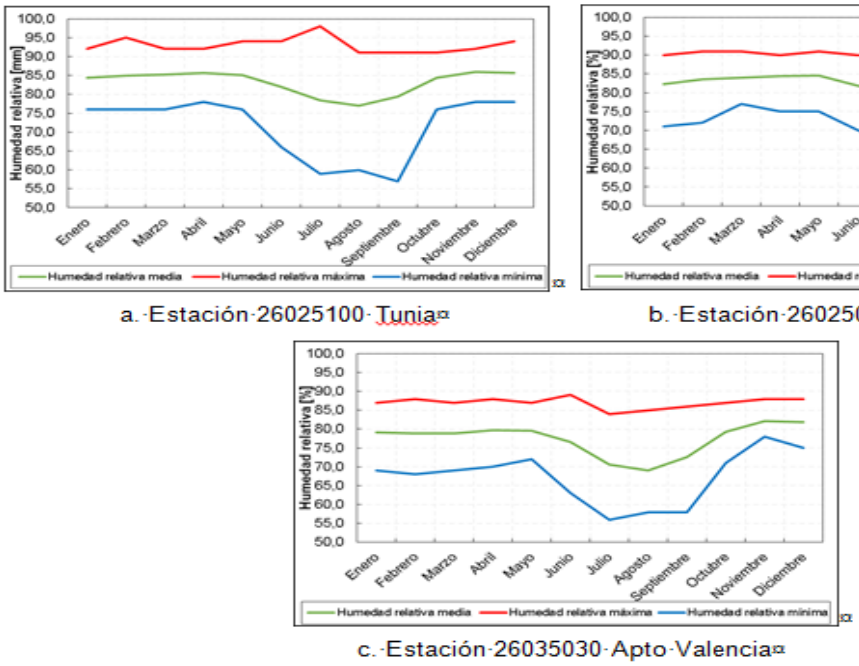


Figura 5.127. Humedad relativa máxima, media y mínima mensual.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

En conclusión, se identifica que el ciclo anual para la variable humedad relativa es unimodal, identificando un periodo seco y otro periodo húmedo.

5.1.10.1.7 Brillo solar

En la Tabla 5.117 se presentan los valores medios mensuales para las estaciones 26025090 Venta Cajibío y 26035030 Apto Valencia, en la Tabla 5.117 se presenta la comparación entre las dos estaciones mencionadas.

Tabla 5.117. Valores mensuales de brillo solar [horas].

Humedad relativa [%]		
Mes	**26025090 venta de Cajibío**	**26035030 apto g l valencia**
enero	129,25	159,41
febrero	109,28	127,72
marzo	108,56	123,38
abril	102,11	110,81
mayo	113,47	114,99
junio	139,10	144,33
julio	166,99	170,63
agosto	168,65	166,68

Humedad relativa [%]		
Mes	**26025090 venta de Cajibío**	**26035030 apto g l valencia**
septiembre	129,72	135,56
octubre	113,25	114,77
noviembre	100,74	116,80
diciembre	102,42	135,88
media	123,63	135,08

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

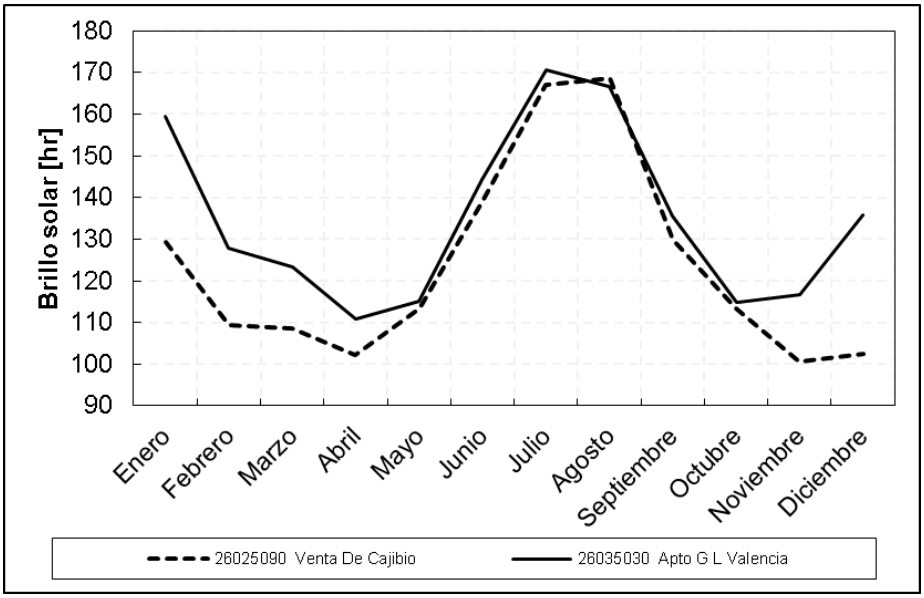
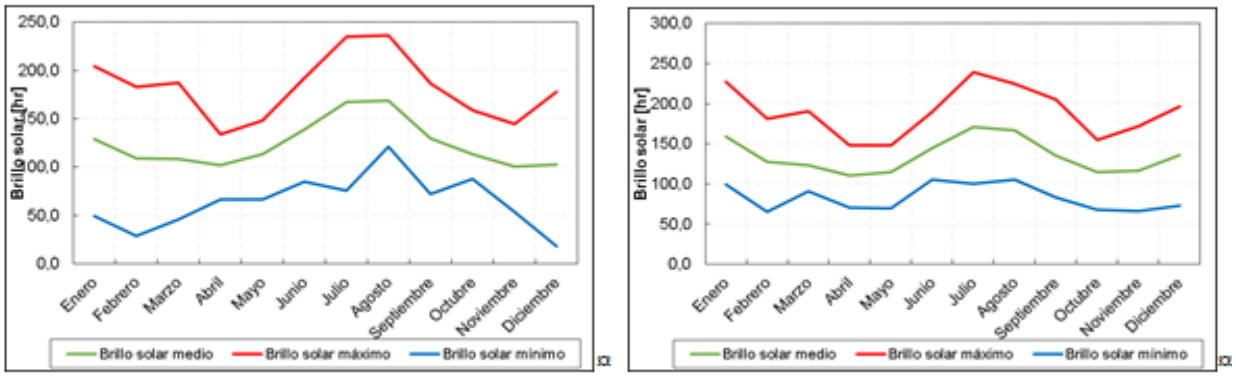


Figura 5.128. Comparación grafica de la variable Brillo solar para las estaciones de interés.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

Se observa que en los meses de junio y septiembre se presentan picos de brillo solar, los cuales son coincidentes con los meses con poca precipitación del ciclo de precipitación, de igual manera los meses con menor brillo solar concuerdan con los meses con precipitaciones más altas. El brillo solar promedio en la estación corresponde a 123 horas y 135 horas respectivamente.

En la Figura 5.129 se muestra la comparación gráfica entre las series máxima, mínima y media mensual para cada una de las estaciones, donde se evidencia que la variable brillo solar obedece a un ciclo bimodal y que los valores medios están dentro de los rangos establecidos por los valores extremos.



a. Estación 26025090 Venta Cajibio

b. Estación 26035030 Apto Valencia

Figura 5.129. Brillo solar máximo, medio y mínimo mensual.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.10.1.8 Nubosidad

En la Tabla 5.118 se presentan los valores medios de nubosidad para las estaciones 26025100 Tunía, 26025090 Venta Cajibío y 26035030 Apto Valencia, por su parte en la Figura 5.130 se presenta la comparación entre las tres estaciones, donde se identifica que todas tienen el mismo ciclo anual con valores mínimos entre julio y agosto.

Tabla 5.118. Valores mensuales de nubosidad [Octas].

Nubosidad [Octas]			
Mes	26025090 Venta De Cajibío	26025100 Tunía	26035030 Apto G L Valencia
Enero	5,92	5,58	4,70
Febrero	6,14	5,81	4,76
Marzo	6,17	6,08	4,76
Abril	6,22	6,00	5,13
Mayo	6,20	6,08	5,14
Junio	5,61	5,54	4,88
Julio	5,11	5,33	4,60
Agosto	5,33	4,96	4,46
Septiembre	5,84	5,60	4,95
Octubre	6,35	6,16	5,12
Noviembre	6,49	6,52	5,42
Diciembre	6,20	6,08	4,76
Media	6,49	6,52	5,42

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

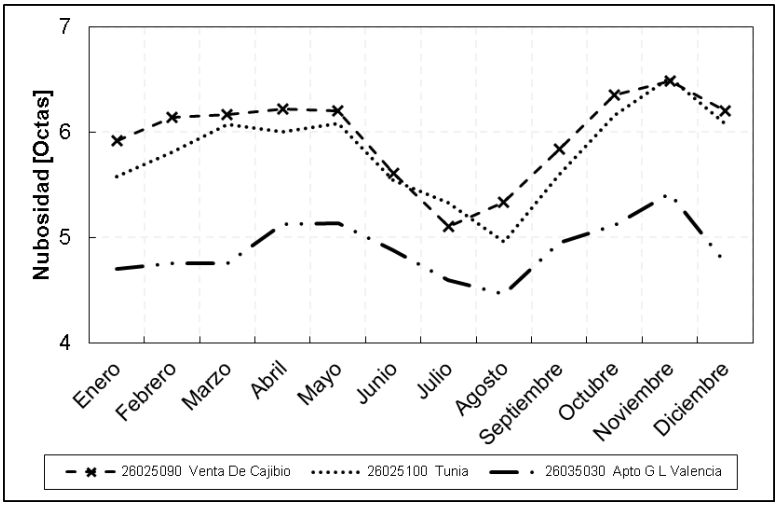


Figura 5.130. Comparación grafica de la variable Nubosidad para las estaciones de interés.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

En la Figura 5.131 se muestra la comparación gráfica entre las series máxima, mínima y media mensual para las tres estaciones analizadas.

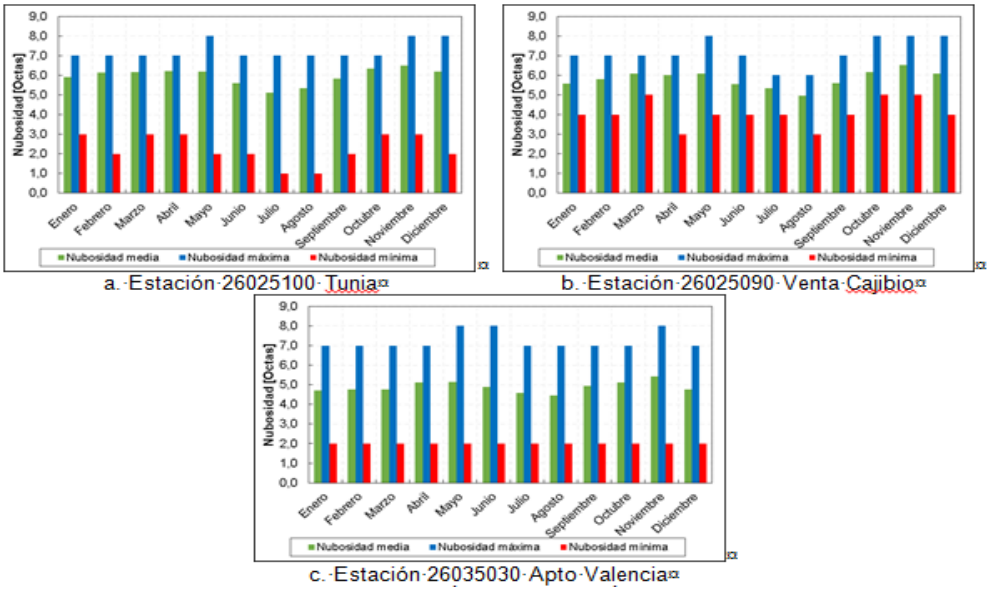


Figura 5.131. Nubosidad máxima, media y mínima mensual.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

Se concluye que en promedio la nubosidad de la zona de influencia es aproximadamente de 6 Octas, es decir que 6/8 del cielo cubierto por nubes la mayor parte del tiempo; se observa que los meses en los que la nubosidad disminuye, son concordantes con los meses en los que la precipitación se reduce; adicionalmente se identifica que la nubosidad máxima promedio registrada para todos los meses del año es de 8 Octas para las tres estaciones.

5.1.10.1.9 Viento

Para el análisis de la velocidad media y la dirección preferencial del viento en el área de influencia, se usaron los datos de la 26035030 Apto Valencia, cuya longitud de registros es de 41 años a escala mensual. En la Figura 5.132 se presentan los valores de velocidad media mensual del viento y en la Tabla 5.119 se presentan los valores mensuales de la velocidad del viento para la estación.

Tabla 5.119. Valores medios, máximos y mínimos mensuales [m/s].

Mes	Velocidad media del viento [m/s]	Velocidad máxima del viento [m/s]	Velocidad mínima del viento [m/s]
Enero	1,0	1,9	0,3
Febrero	1,0	1,9	0,3
Marzo	1,0	1,7	0,3
Abril	1,0	1,7	0,3
Mayo	1,0	1,7	0,2
Junio	1,1	2,2	0,1
Julio	1,3	2,2	0,2
Agosto	1,3	2,7	0,3
Septiembre	1,2	2,5	0,2
Octubre	0,9	2,0	0,1
Noviembre	0,9	2,2	0,1
Diciembre	0,9	1,7	0,2
Media	1,0	2,0	0,2

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

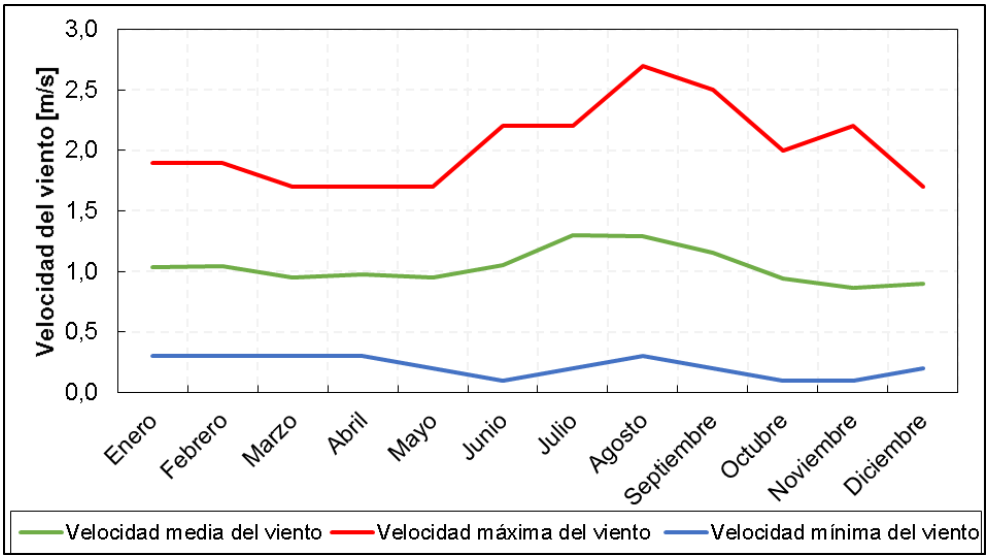


Figura 5.132. Valores mensuales de la velocidad del viento [m/s].
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

De la figura anterior se puede concluir que la velocidad media anual del viento para la estación analizada es 1,0 m/s, el valor máximo promedio anual es de 2,0 m/s y el mínimo promedio anual de 0,2 m/s.

Adicionalmente se construyó la rosa de los vientos para la estación 26035030 Apto Valencia como se muestra en la Figura 5.133; donde se observa que la dirección predominante del viento es al Sur-Oeste el 10 % del periodo registrado, cabe resaltar que se presenta calma en los vientos el 56% del tiempo.

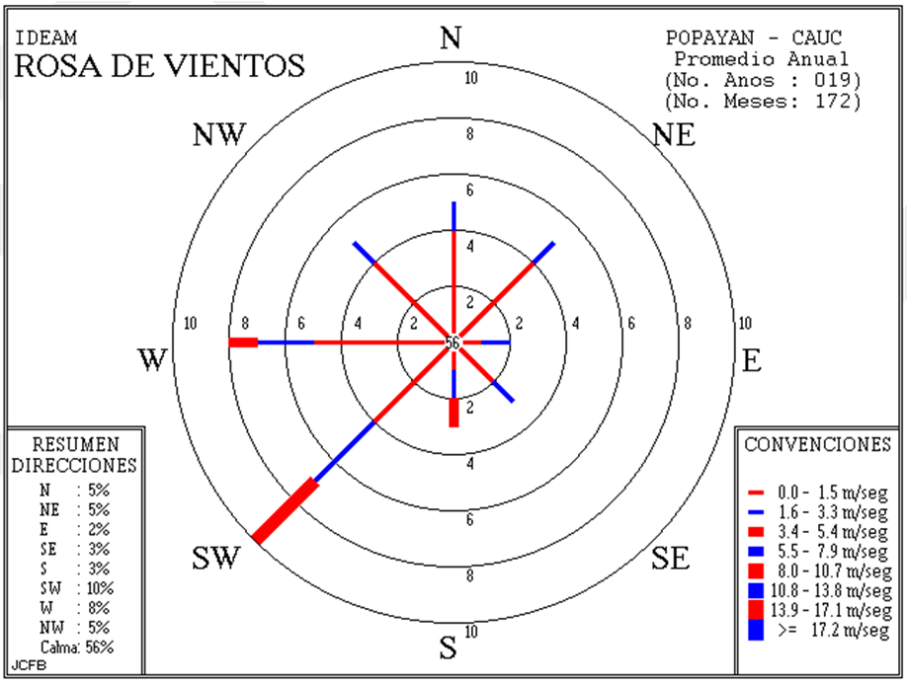


Figura 5.133. Rosa de los vientos estación 26035030 Apto Valencia (IDEAM, 2016).

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.10.1.10 Precipitación

A. Análisis de información

Las longitudes de registro de las nueve estaciones de precipitación a escala temporal diaria varían entre 13 y 75 años. Como primer análisis exploratorio de la información se verifica la cantidad de datos faltantes, los resultados se muestran en la Tabla 5.120

Tabla 5.120. Datos faltantes estaciones de precipitación.

Código	Estación	Tipo	Inicio	Fin	Longitud [años]	Faltantes
26020470	Japio	PM	2004	2016	13	10,93%
26020390	Ovejas Abajo	PM	1979	2016	38	12,93%
26025100	Tunía	CO	1989	2015	27	5,31%
26025090	Venta de Cajibío	CO	1973	2015	43	4,83%
26020030	Piendamó	PM	1947	2015	69	1,18%
26020200	El Amparo	PM	1963	2016	54	7,39%
26035030	Apto G L Valencia	SP	1941	2015	75	5,53%
26020130	Totoró	PM	1956	2015	60	7,42%
26020460	Polindara	PM	1984	2016	33	5,04%

En la Figura 5.134 se presenta el ciclo anual de la precipitación, que se muestra junto con el error medio estadístico asociado (definido como la desviación estándar sobre la raíz del número de datos mensuales disponibles). Dicho ciclo tiene un comportamiento unimodal para todas las estaciones analizadas, se observa un periodo seco caracterizado por una diminución en las precipitaciones medias mensuales, entre los meses de mayo y septiembre, registrando un valor mínimo en el mes de agosto para las mayoría de estaciones; También se identifica un periodo húmedo donde se presenta un aumento en las precipitaciones medias mensuales entre los meses de octubre y abril, presentando su valor máximo en el mes noviembre para todas las estaciones.

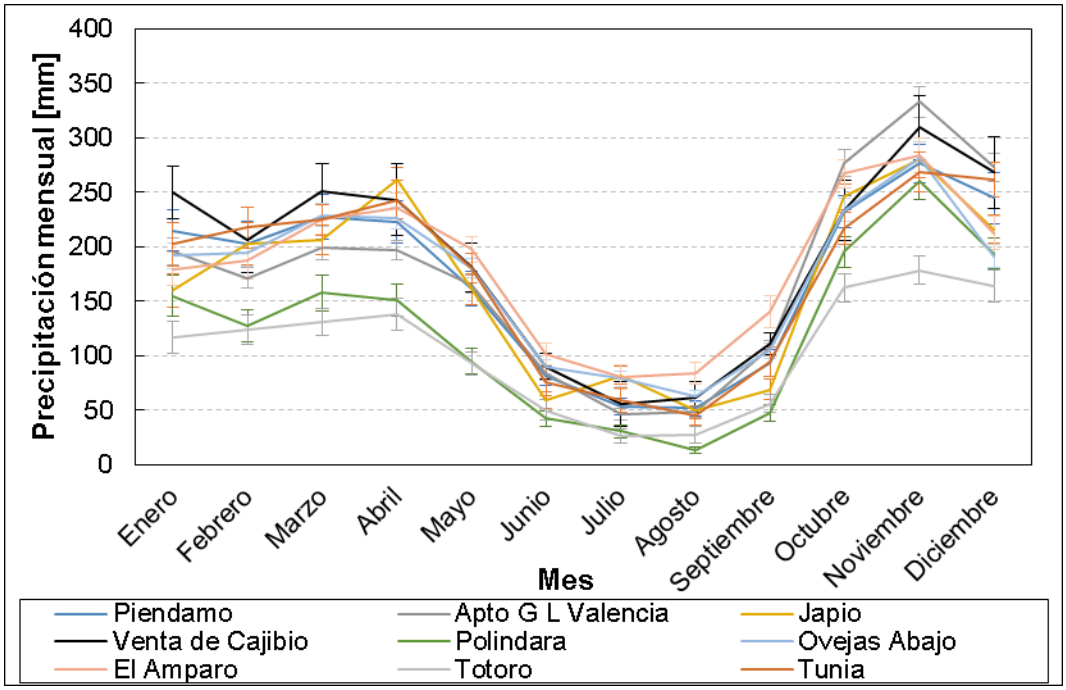


Figura 5.134. Ciclo anual de precipitación.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

En la Figura 5.135 se presentan los valores de las anomalías estandarizadas de las lluvias mensuales; donde se puede corroborar la existencia de un régimen unimodal; compuesto por un periodo seco, definido entre mayo y septiembre y un periodo húmedo correspondiente a octubre-abril; se resalta que el mes de mayo se considera como un mes de transición entre los ambos periodos.

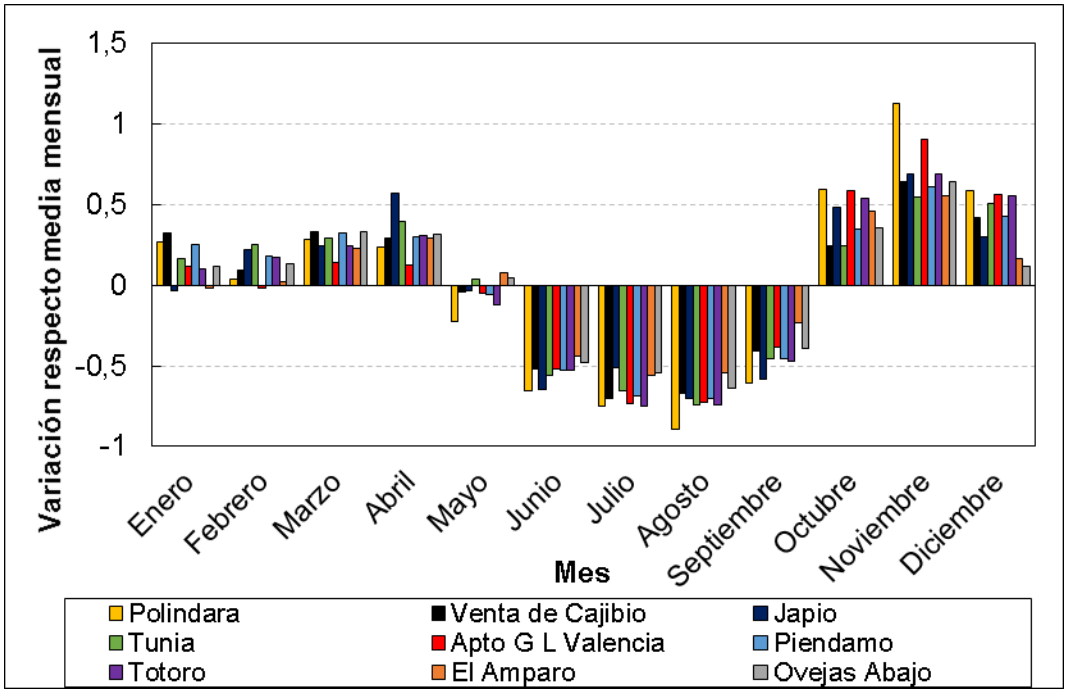
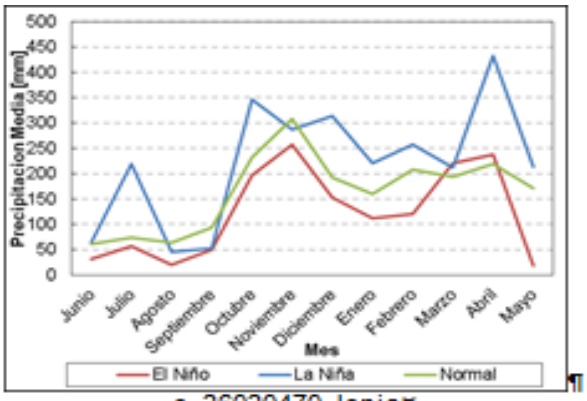


Figura 5.135. Ciclo anual de anomalías de precipitación.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

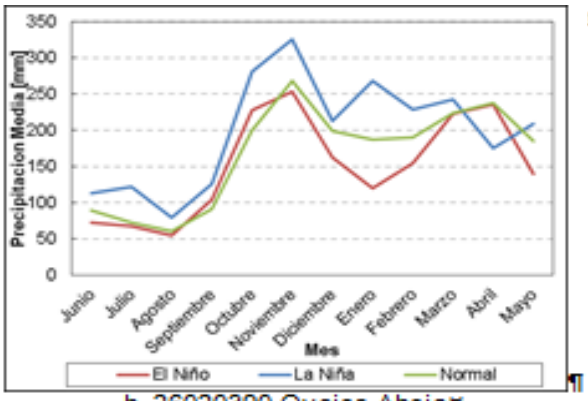
B. Influencia del fenómeno ENSO en el régimen de precipitación

Debido a la importancia del fenómeno ENSO en la hidrología de Colombia, se construyen los ciclos de precipitación para cada estación, clasificando los años hidrológicos (comprendidos entre junio del año 0 y mayo del año +1) de acuerdo a las tres fases del fenómeno ENSO: El Niño, La Niña y la fase normal, como se muestra en la Figura 5.136; la finalidad es determinar los efectos del fenómeno macroclimático ENSO sobre el régimen de precipitaciones en la zona.

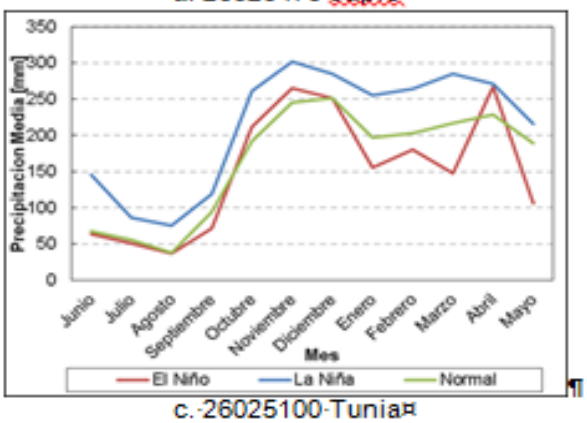
Los efectos del fenómeno ENSO en la mayor parte del país se reflejan en un aumento en las precipitaciones para la fase fría (La Niña) y una disminución en éstas para la fase cálida (El Niño), lo que se confirma en las figuras presentadas.



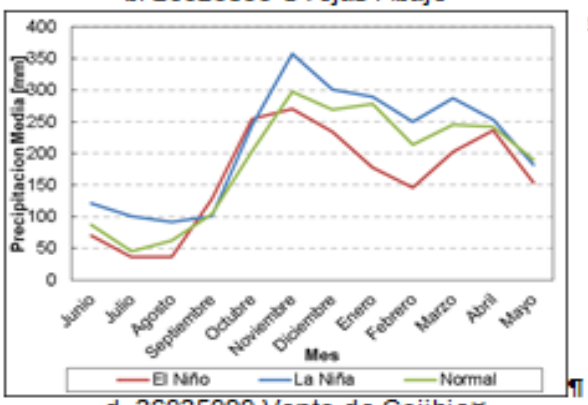
a. 26020470 Japio



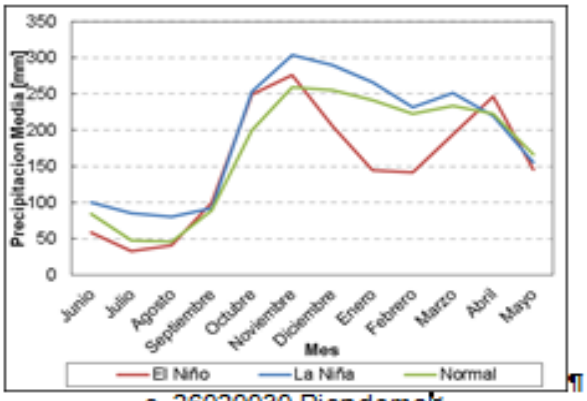
b. 26020390 Ovejas Abajo



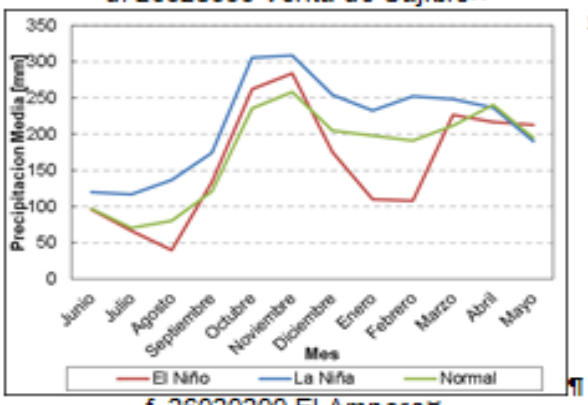
c. 26025100 Tunia



d. 26025090 Venta de Cajibio



e. 26020030 Piendamo



f. 26020200 El Amparo

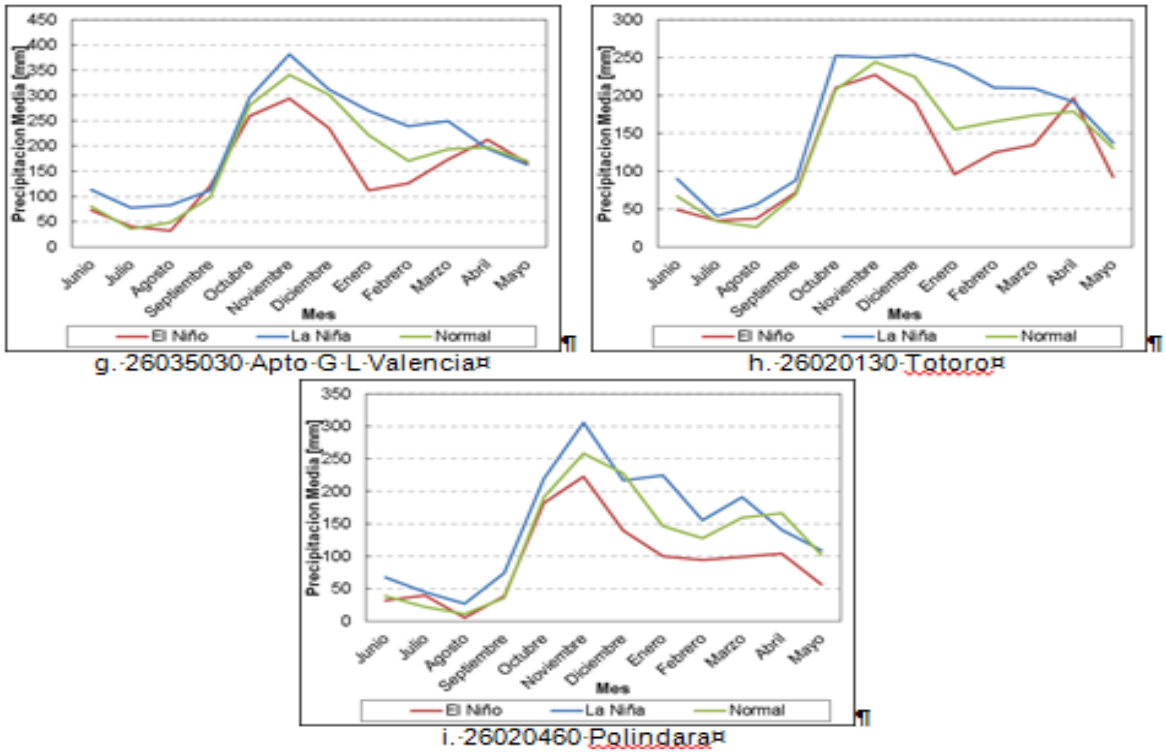
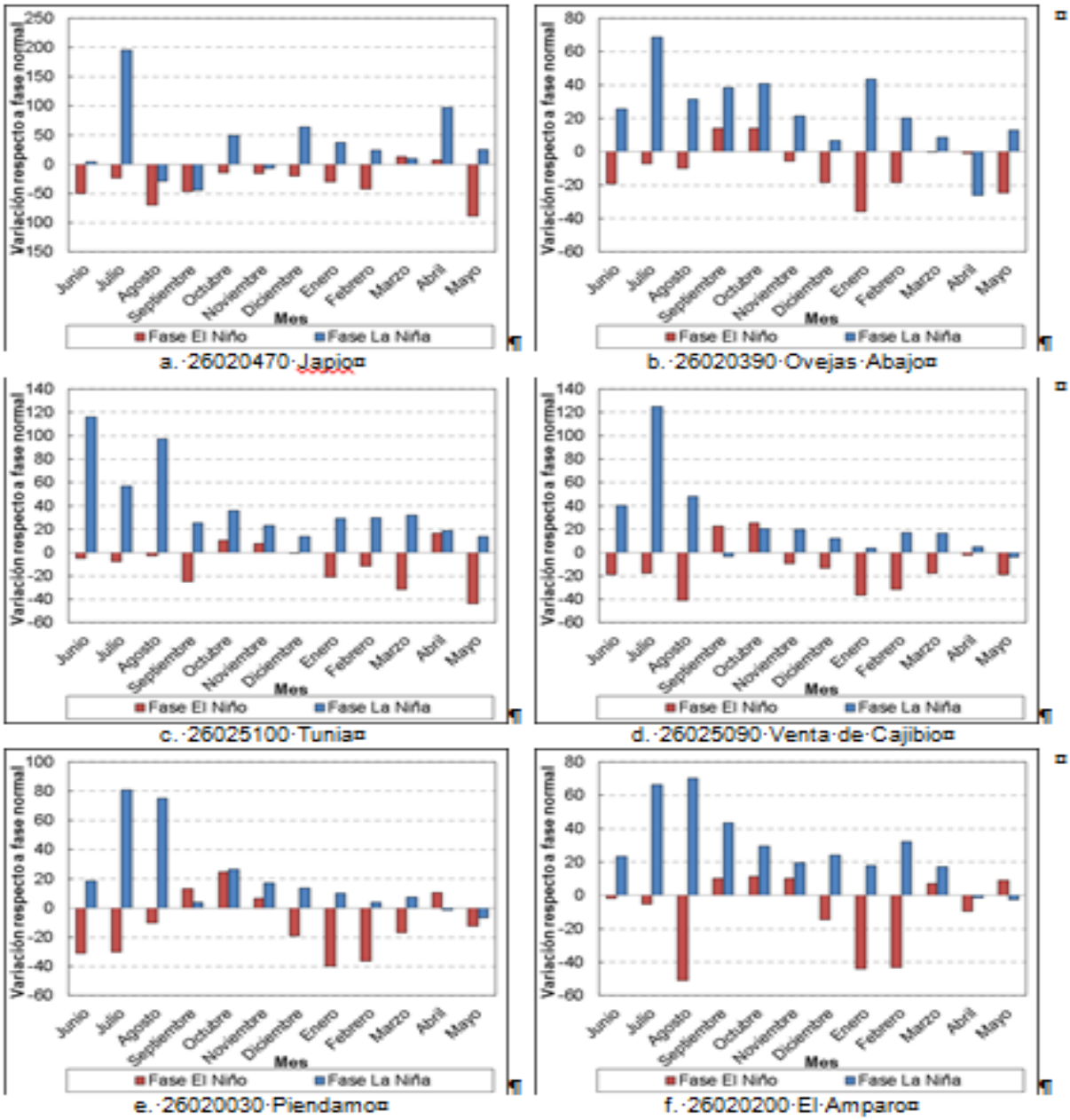


Figura 5.136. Efectos del ENSO en las estaciones.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

Adicionalmente se muestra un gráfico de barras (Figura 5.137) con la variación porcentual de la precipitación para las fases del ENSO con respecto a la fase normal para cada estación, de las cuales se concluye que durante años El Niño en general se presenta un déficit de lluvias para todos los meses del año, mientras que para años La Niña típicamente se presentan mayores valores de precipitación.



a. 26020470 Japio

b. 26020390 Ovejas Abajo

c. 26025100 Tunia

d. 26025090 Venta de Cajibio

e. 26020030 Piendamo

f. 26020200 El Amparo

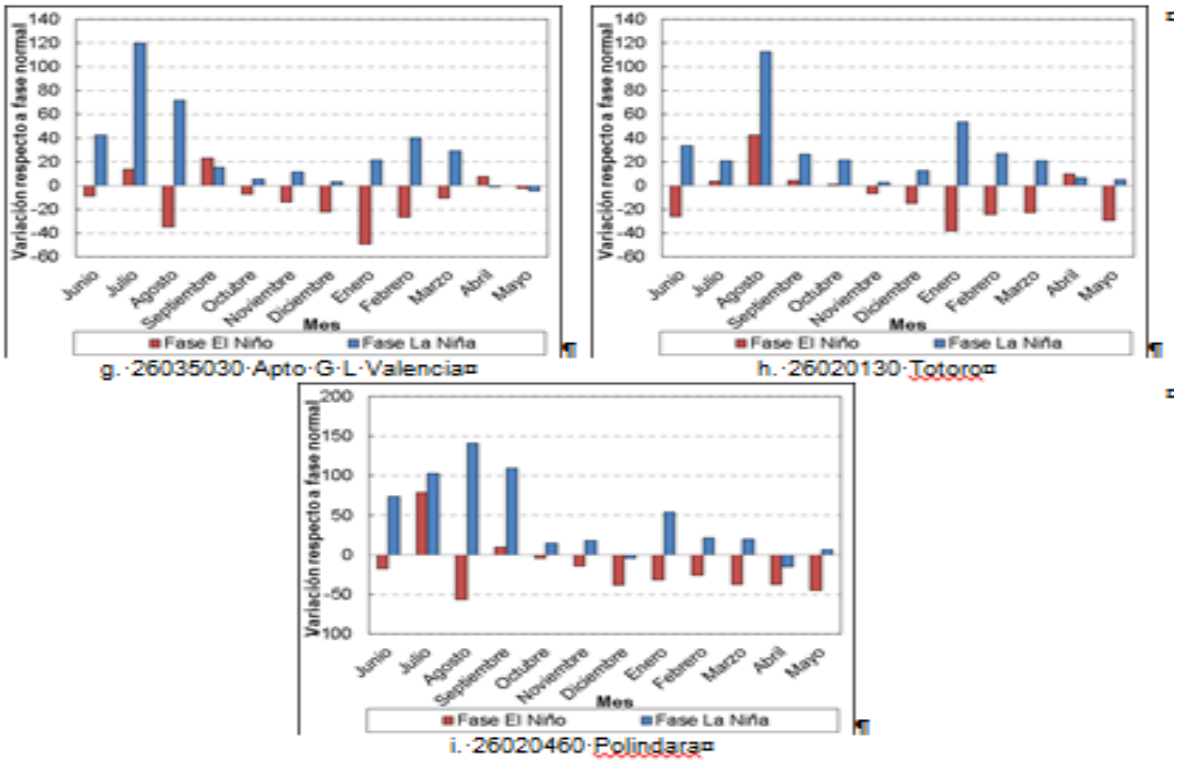


Figura 5.137. Variación porcentual de la precipitación para las fases El Niño y La Niña, con respecto a la fase normal de las estaciones.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

C. Reconstrucción de valores

Debido a la existencia de datos faltantes dentro de los registros de precipitación diaria de las estaciones adquiridas, se hace necesaria la reconstrucción, para hacerlo se utiliza un método que parte de los registros de las estaciones vecinas, utilizando la precipitación media anual como estándar de comparación (Vélez, 2000). El método estima los datos faltantes en el registro de una estación, mediante la siguiente ecuación:

$$P_x = \frac{N_x}{M}\left(\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \ldots + \frac{P_m}{N_m}\right)$$

Donde Px es el dato faltante, Nx la precipitación media en la estación dada, Pn el registro existente en la fecha faltante de cada una de las estaciones vecinas y Nm, la media correspondiente a cada estación vecina.

En la Tabla 5.121 se presentan los resultados de la reconstrucción, mostrando las diferencias entre las precipitaciones medias anuales de las estaciones originales y las reconstruidas.

Tabla 5.121. Precipitación de las series reconstruidas.

Código	Estación	Faltantes	P media anual [mm/año]		Diferencia
			Original	Reconstruidos	
26020470	Japio	0,00%	1.993,6	1.856,2	137,4
26020390	Ovejas Abajo	0,32%	2.064,5	2.015,5	49
26025100	Tunía	0,73%	2.091,3	2.097,5	6,2
26025090	Venta de Cajibío	0,00%	2.263,0	2.249,6	13,4
26020030	Piendamó	0,02%	2.062,6	2.066,1	3,5
26020200	El Amparo	0,00%	2.196,0	2.201,2	5,2
26035030	Apto G L Valencia	0,01 %	2.098,1	2.067,5	30,6
26020130	Totoro	0,49%	1.671,7	1.656,7	15
26020460	Polindara	0,26%	1.469,3	1.478,8	9,5

Se puede concluir que las precipitaciones medias calculadas con los valores reconstruidos no tienen diferencias significativas con respecto a la precipitación media anual de los datos originales; esto sugiere que el método de reconstrucción de datos diarios utilizado no distorsiona los valores de la precipitación en el largo plazo. De igual forma se verificó el ciclo anual en cada estación reconstruida, observándose que se conserva el mismo régimen.

D. Distribución espacial

El mapa de precipitación se construyó aplicando la herramienta de interpolación Kriging con deriva externa, usando como deriva externa el mapa de (Álvarez, 2007) y los registros históricos mensuales de 58 estaciones de precipitación (Hurtado, 2009), adicionales a las 9 estaciones que se adquirieron a escala diaria y que se encuentran ubicadas en cercanías del área de interés. La longitud de las series históricas de todas las estaciones es superior a 20 años. La distribución espacial de las estaciones usadas se presenta en la Figura 5.138.

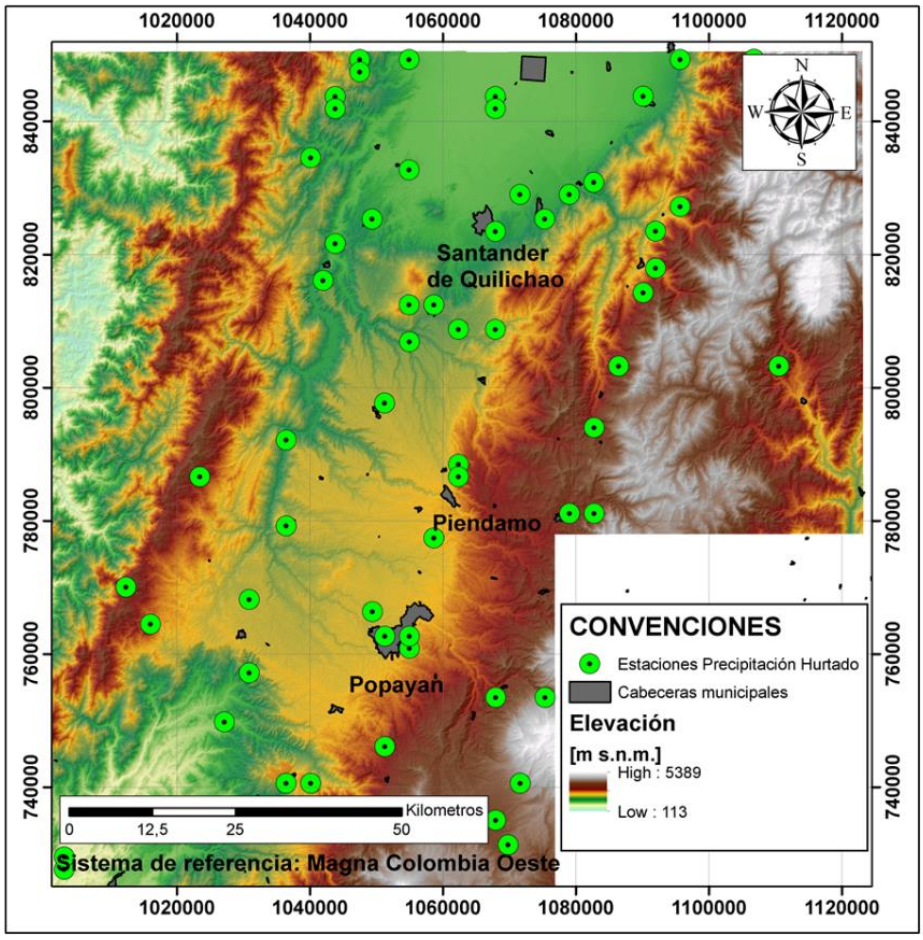


Figura 5.138. Ubicación de las estaciones mensuales de precipitación (Hurtado, 2009).
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

En la Figura 5.139 se presenta el variograma ajustado a un modelo tipo efecto pepita más esférico.

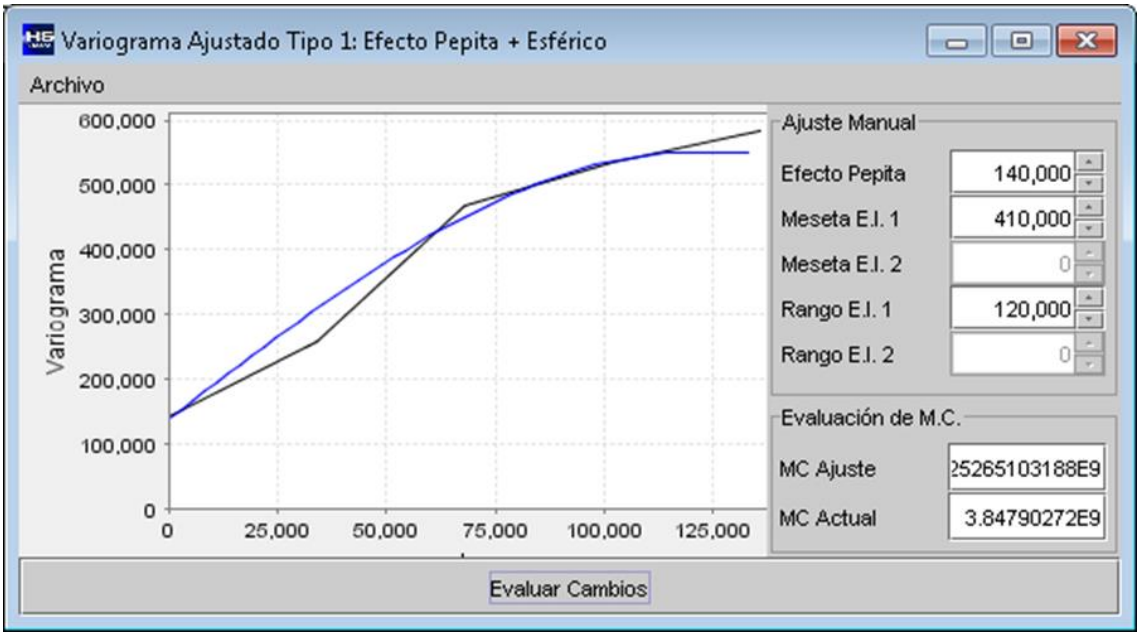


Figura 5.139. Variograma ajustado con modelo tipo Efecto pepita + Esférico.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

En la Figura 5.140 se presenta el mapa de precipitación media anual para el área de influencia directa e indirecta.

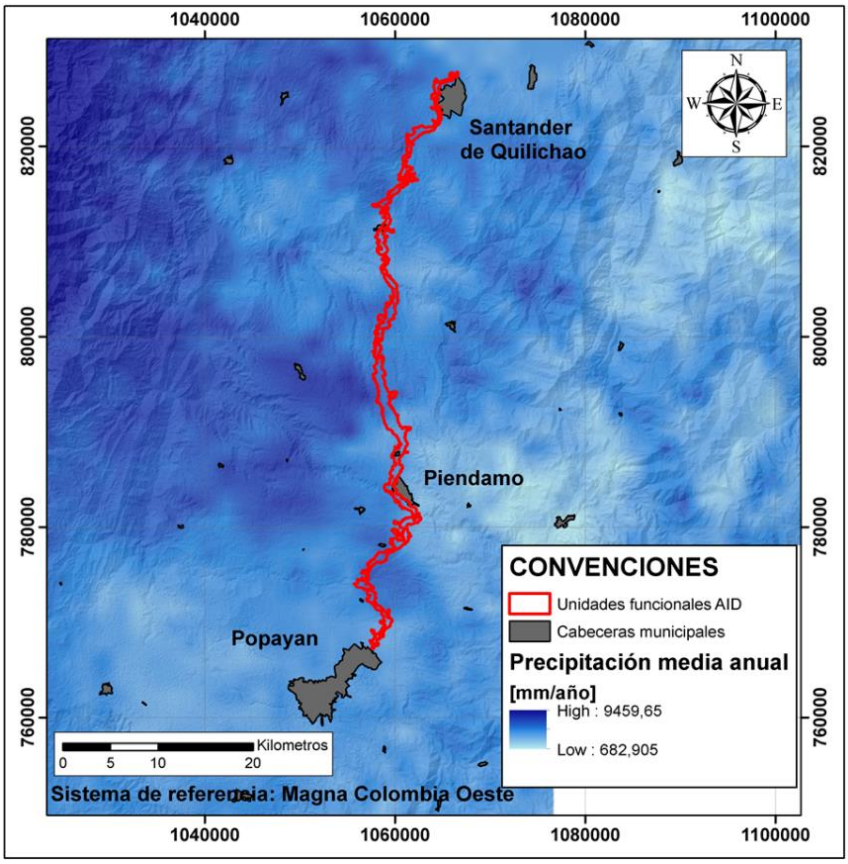


Figura 5.140. Mapa de precipitación media anual [mm/año].
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

Sobre el mapa de precipitación se realizó la integración espacial con los polígonos pertenecientes a las unidades funcionales; En la se Tabla 5.122 presentan los valores máximos, medio y mínimos anuales para las 4 unidades funcionales.

Tabla 5.122. Valores anuales de precipitación [mm/año].

Precipitación [mm/año]	UF1	UF2	UF3	UF4
Máxima	3.010	2.896	2.859	2.874
Medio	2.411	2.420	2.428	2.540
Mínima	1.917	1.893	2.131	2.257

Se considera que los resultados obtenidos para las unidades funcionales concuerdan con los valores de precipitación media multianual de las estaciones analizadas, por tal motivo se concluye que el mapa de precipitación se ajusta a las condiciones reales de la zona de

estudio y representan un acercamiento del comportamiento espacial de la precipitación en la zona de estudio.

5.1.10.1.11 Evaporación

Para el análisis de esta variable, se compararon los valores de evaporación media multianual mensual en las estaciones 26025100 Tunía, 26025090 Venta Cajibío y 26035030 Apto Valencia, con los valores mínimos y máximos mensuales multianuales. En La Tabla 5.123 se presentan los valores medios mensuales y en la Figura 5.141 se muestran los valores medios para las estaciones de forma gráfica.

Tabla 5.123Valores mensuales de evaporación [mm].

Evaporación [mm]			
Mes	**26025090 Venta De Cajibío**	**26025100 Tunía**	**26035030 Apto G L Valencia**
Enero	93,16	88,37	95,66
Febrero	85,57	79,32	89,83
Marzo	94,11	80,79	100,52
Abril	87,61	71,97	87,36
Mayo	84,84	77,05	86,30
Junio	93,34	83,88	93,55
Julio	117,39	93,92	109,64
Agosto	129,12	106,77	108,74
Septiembre	111,81	97,14	104,93
Octubre	93,78	87,90	93,43
Noviembre	83,40	79,78	85,16
Diciembre	83,35	79,26	86,48
Media	1.157,49	1.026,15	1.141,60

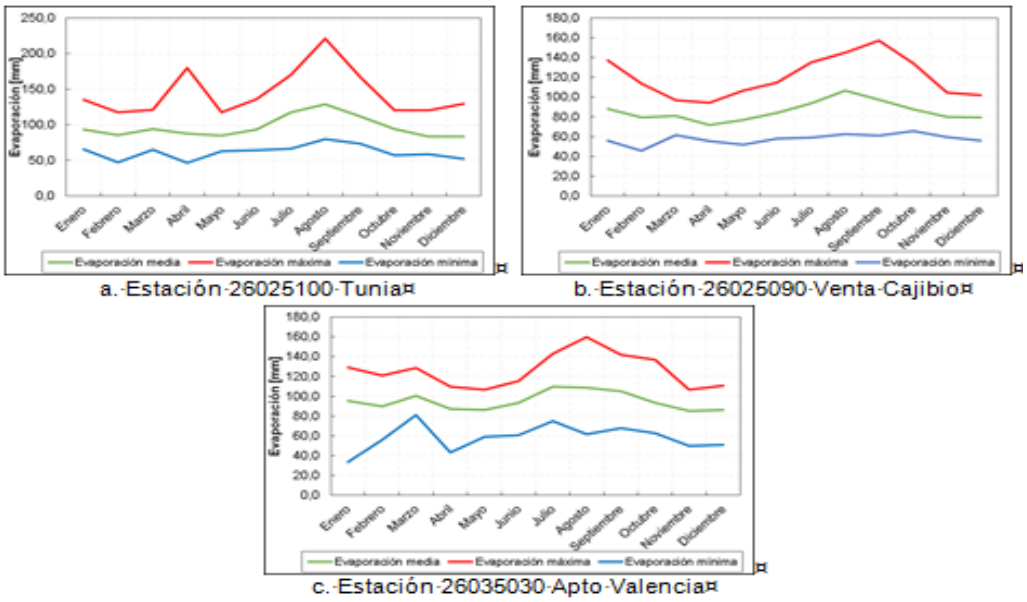


Figura 5.141. Evaporación mensual [mm].
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

Se observa que el valor máximo de evaporación se presenta en los meses de agosto y septiembre, por su parte los valores mínimos se presentan en los meses de noviembre y diciembre.

En la Figura 5.142 se presenta las series de evaporación media para las tres estaciones analizadas, se identifica un ciclo unimodal para la variable, donde se observa un periodo de alta evaporación (entre junio y septiembre) y un periodo de baja evaporación (entre noviembre y marzo), los dos meses restantes se consideran de transición con valores muy cercanos a la media multianual de cada estación.

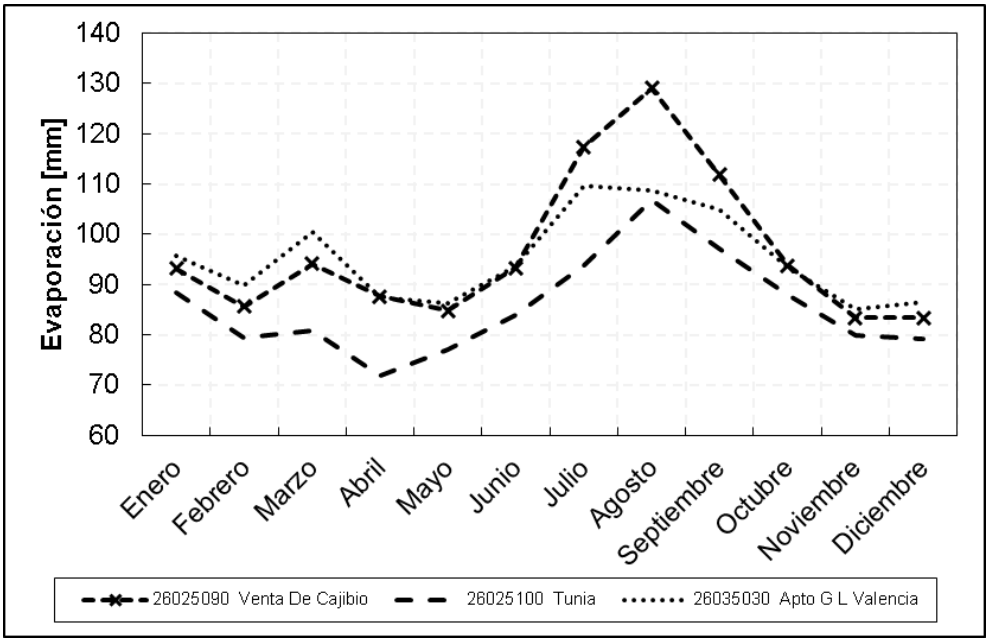


Figura 5.142. Comparación grafica de la variable evaporación para las estaciones de interés.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.10.1.12 Evapotranspiración real

Al igual que para las anteriores variables, se estima el campo de evapotranspiración real, usando el método de Cenicafé-Budyko y el de Turc como se describen a continuación.

A. Cenicafé-Budyko

Esta metodología permite calcular la evapotranspiración potencial de forma sencilla, pues ésta solo depende de la elevación sobre el nivel del mar. La ecuación fue producto de una regresión con los valores obtenidos de aplicar el método de Penman a los datos de las estaciones climáticas en Colombia.

$$ETP = 1700{,}17 \exp(-0{,}0002\ H)$$

Donde, ETP es la evapotranspiración potencial [mm/año] y H es la elevación [m.s.n.m.].

La evapotranspiración potencial se transforma a evapotranspiración real mediante la expresión de Budyko, presentada a continuación.

$$ETR = \left(\left(ETP \cdot P \cdot \tanh\left(\frac{P}{ETP} \right) \right) * \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P} \right) \right) + \left(senh\left(\frac{ETP}{P} \right) \right) \right)^{0,5}$$

Donde, ETR es la evapotranspiración real [mm/año], ETP es la evapotranspiración potencial [mm/año] y P es la precipitación media en la cuenca [mm/año]. En la Figura 5.143 se presenta la distribución espacial de la evaporación obtenida por este método.

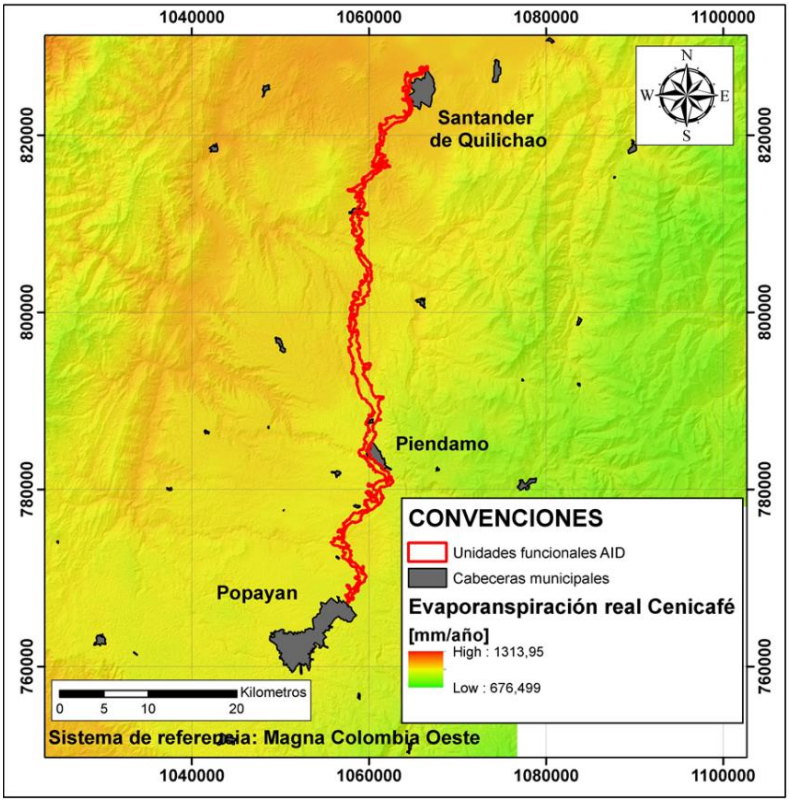


Figura 5.143. Mapa de evapotranspiración real por el método Cenicafé-Budyko.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

B. Turc

Está basada en un balance de masas, en función de elementos meteorológicos simples como la temperatura y la precipitación de la cuenca.

Si P/L > 0,316

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0{,}9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Si P/L < 0,316 $$ETR = P$$

Donde, ETR es la evapotranspiración real [mm/año], P es la precipitación media en la cuenca [mm/año], T la temperatura promedio anual en °C y L es un parámetro heliotérmico en función de la temperatura y se expresa como se muestra en la ecuación.

$$L = 300 + 25T + 0{,}05T^3$$

En la Figura 31 se presenta el mapa obtenido.

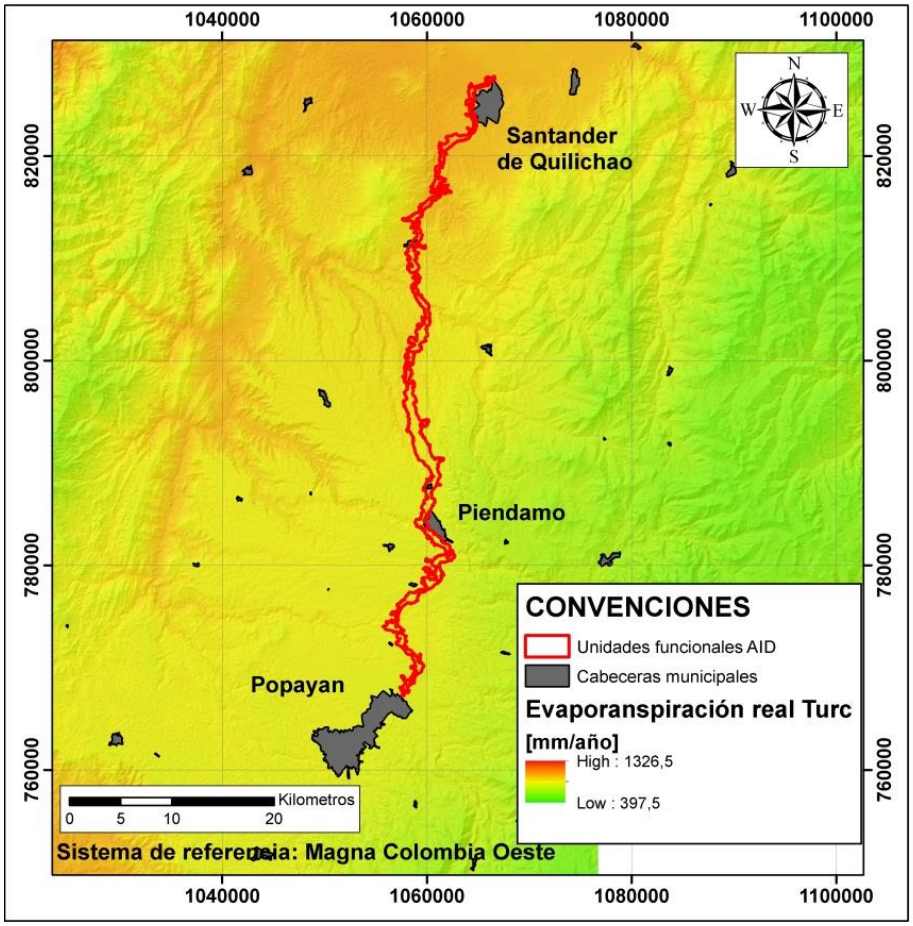


Figura 5.144. Mapa de evapotranspiración real por el método de Turc.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

Por su parte en la Tabla 5.124 se presentan los valores máximos, medios y mínimos anuales, producto de la integración espacial de los polígonos de las unidades funcionales sobre los mapas de evapotranspiración real estimados por los dos métodos descritos anteriormente.

Tabla 5.124. Evapotranspiración media anual [mm/año].

Evapotranspiración Cenicafé-Budyko [mm/año]	**UF1**	**UF2**	**UF3**	**UF4**
Máxima	1.076,2	1.101,7	1.117,1	1.1193,3
Medio	968,2	970,5	1.060,6	1.088,8
Mínima	1.026,3	1.048,4	1.090,4	1.160,1
Evapotranspiración Turc [mm/año]	**UF1**	**UF2**	**UF3**	**UF4**
Máxima	934,7	993,6	1.035,8	1.176,6
Medio	824,9	825,4	957,2	971,7
Mínima	880,4	918,1	999,1	1.123,2

Los valores medios obtenidos para cada una de las unidades funcionales, es consecuente con los valores multianuales de las estaciones que monitorean la evaporación en la zona de estudio, sin embargo, el mapa de evapotranspiración real estimado por el método de Cenicafé-Budyko se ajusta más a los valores medidos y podrá ser usado para la estimación de los caudales característicos empleando metodologías de regionalización, obteniendo mayor grado de confiabilidad.

5.1.10.2 Identificación de fuentes de emisiones

En esta unidad funcional se nota una alta concentración de residencias en los bordes la vía, destacándose los corregimientos de Pescador y Mondomo como puntos donde se concentran la mayor parte de los receptores sensibles del sector.

Se observan actividades agropecuarias y agrícolas importantes, zonas destinadas al pastoreo y diversidad de cultivos, además de áreas con una fuerte intervención antrópica, que han generado zonas erosionadas que conforman fuentes de emisión de material particulado, sumadas a otras actividades propias de las zonas rurales como quemas controladas y el empleo de combustibles sólidos como leña y carbón en cocinas, además del tráfico vehicular por vías descubiertas y por la vía panamericana.

5.1.10.3 Calidad de aire

En las últimas décadas a nivel mundial, se ha generado gran inquietud de cómo encontrar posibles soluciones al creciente fenómeno de los contaminantes atmosféricos, básicamente los originados por fuentes fijas (industria), fuentes móviles (vehículos) y algunos proyectos. Cuando se habla de la problemática ambiental atmosférica se piensa en el recurso aire, dejando de lado en forma involuntaria a los seres vivos, en especial a

las personas, para los cuales no se alcanza a dimensionar el deterioro en su calidad de vida y el daño físico representado en su salud.

De acuerdo con lo anterior el Consorcio CCA Consultoría – PLYMA y el Concesionario Nuevo Cauca a partir de este diagnóstico ambiental como línea base, quiere definir en la zona de influencia donde se realizará el proyecto "Segunda Calzada Vía Panamericana Popayán-Santander de Quilichao en la Unidad Funcional 3 Pescador - Mondomo" donde se podrá afectar el ambiente por material particulado PST y PM10, Dióxido de Azufre (SO_2), Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y Monóxido de Carbono (CO) y las condiciones meteorológicas, en especial la que permita elaborar la Rosa de Vientos para determinar la tendencia de arrastre de los contaminantes.

Para cumplir con lo anterior, las evaluaciones de calidad del aire, se realizaron entre el 25 de febrero al 13 de marzo de 2016.

5.1.10.3.1 Descripción de los contaminantes monitoreados

PST (Partículas Suspendidas Totales): Material particulado que incluye tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras, que no se sedimentan en periodos cortos, sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad.

PM_{10} (Material Particulado Menor a 10 Micras): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales.

NO_2 (Dióxido de Nitrógeno): Gas de color pardo rojizo fuertemente tóxico, cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas.

SO_2 (Dióxido de Azufre): Gas inodoro, no inflamable que posee un fuerte olor en altas concentraciones.

CO (Monóxido de carbono): Gas inflamable, incoloro e insípido que se produce por la combustión de combustibles fósiles.

5.1.10.3.2 Ubicación de las Estaciones de Muestreo

Las estaciones de muestreo de la calidad del aire y condiciones meteorológicas se ubicaron en la zona de influencia según lo definido en la visita previa realizada por el personal técnico de CCA Consultoría – PLYMA, Concesionario Nuevo Cauca y GSA SAS. La definición de la ubicación de los puntos se hizo teniendo en cuenta la posible afectación de las comunidades asentadas en las cercanías al futuro proyecto "Segunda Calzada Vía Panamericana Popayán - Santander de Quilichao en la Unidad Funcional 3 Pescador - Mondomo" tanto para la línea base como para futuras mediciones.

El criterio de la ubicación de las estaciones se basa en el interés de muestrear las condiciones más representativas y normales de la zona, con el desarrollo normal de las

actividades presentes en la dinámica normal del sector, adicionalmente en asentamientos urbanos que serán impactados cuando se inicie la ejecución de las obras del futuro proyecto. Cumpliendo con las exigencias establecidas en el Protocolo de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire definido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). En este orden de ideas, se eligieron los siguientes puntos:

Tabla 5.125 Ubicación estaciones

Punto	Nombre Punto	Coordenadas				
		MAGNA-SIRGAS / Colombia Oeste zone.		GEOGRÁFICAS		
		X	Y	N	W	M.S.N.M
3	Corregimiento de Mondomo – Santander de Quilichao.	1058599	811660	2°53´34,3´´	76°33´01,6´´	1424
4	Pescador – Municipio de Caldono	1058993	801929	2°48´17,5´´	76°32´49,0´´	1590

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2016

A continuación en la Figura 5.145, se puede apreciar en una vista satelital la ubicación de los puntos con la herramienta Google earth pro.

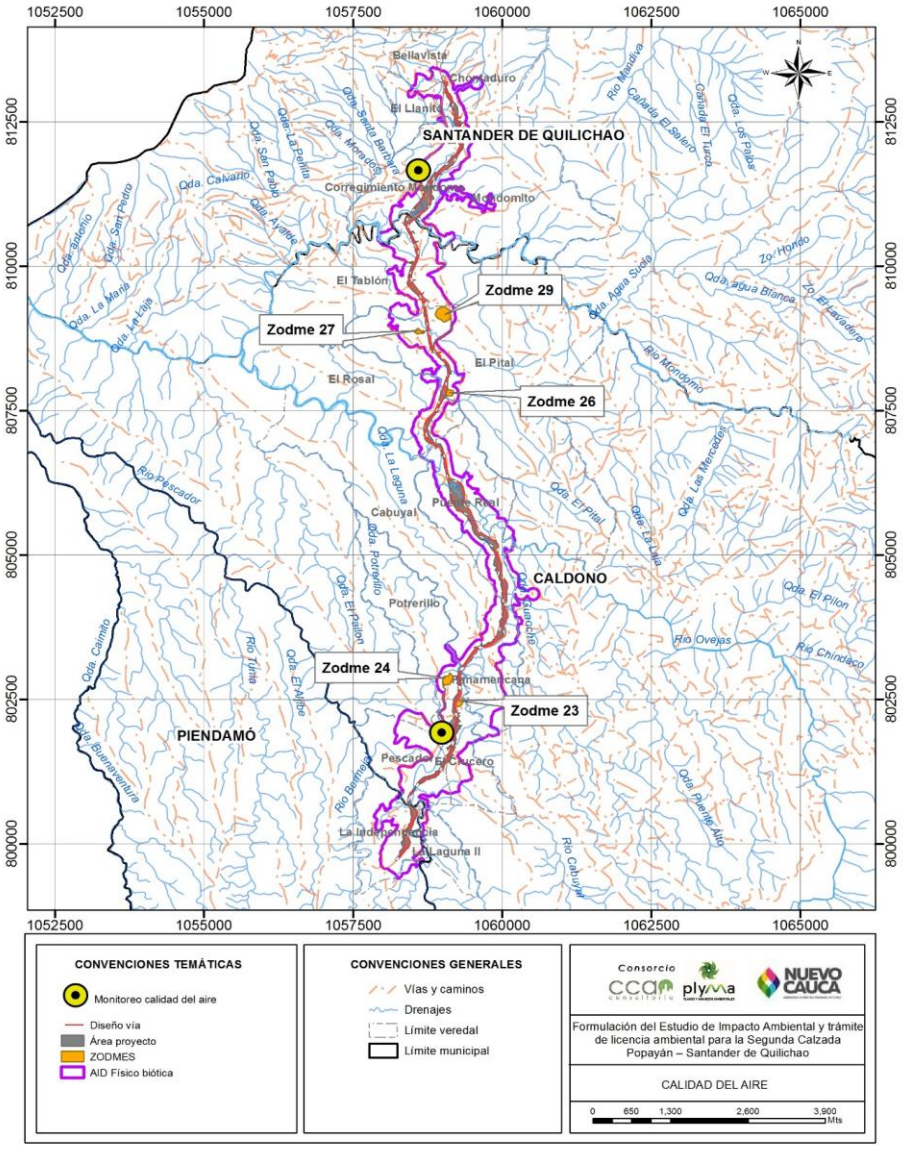


Figura 5.145 Ubicación estaciones de monitoreo

Nota: Datum utilizado para las coordenadas WGS84

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORIA –PLYMA, 2016

5.1.10.3.3 Descripción de los sitios de monitoreo de calidad del aire

- ✓ Punto de monitoreo 4 – Pescador.

El punto 4 se ubica en el corregimiento de Pescador, en la zona conocida como el crucero. Al constituirse como un corredor suburbano al borde de vía, en este punto la principal fuente de contaminación la constituye el tráfico vehicular y el material re-suspendido de vía panamericana y vías descubiertas rurales. En la zona se observan, además, áreas con procesos erosivos por adecuación de terrenos para construcción y adecuación de vías, así como quemas para la adecuación de potreros.





Foto 5.85 Condiciones de la zona Punto de monitoreo 4 – Pescador.

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2016

- ✓ Punto de monitoreo 3 – Mondomo.

El sector de Mondomo, si bien tiene la misma caracterizas del sector de Pescador, constituye un centro urbano más consolidado y de mayor actividad. Si bien el punto de monitoreo se ubica aproximadamente a 60 metros de la actual vía panamericana, se encuentra aislado de la misma, por el terreno, la vegetación y las viviendas colindantes, quedando hacia el interior de corregimiento, en sector residencial. En esta zona se observan vías descubiertas, algunas construcciones y suelos erosionados que constituyen las principales fuentes de contaminación en la zona principalmente material particulado.



Foto 5.86Condiciones de la zona Punto de monitoreo 3 – Mondomo

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2016

Adicionalmente se tuvo en cuenta lo siguiente:

- ✓ Los equipos fueron localizados sobre estructuras de andamio con una altura a nivel de piso de 4 metros (Ver Anexo 5.1.5 Aire y Ruido se presenta reporte fotográfico PST, PM10, NO_2, SO_2, CO)
- ✓ Se localizaron los equipos en un área sin obstrucciones para el flujo del aire. La distancia más cercana a un obstáculo superó dos veces su altura.

A continuación, se presentan los montajes realizados en cada punto de monitoreo:



Figura 5.146 Punto 3. Mondomo
Fuente: GSA S.A.S, 2016



Figura 5.147 Punto 4. Pescador
Fuente: GSA S.A.S., 2016

5.1.10.3.4 Resultados

Los resultados obtenidos en el muestreo serán comparados con la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 Por la cual se modifica la Resolución 601 en el Anexo 1, Artículos 4, 5, 6, 8 y 10.

En la Tabla 5.126 se presentan los resultados de los monitoreos de calidad del aire para los puntos 3 y 4 ubicados en la Unidad Funcional 3, con sus resultados estadísticos descriptivos más representativos.

Entre la Tabla 5.126 se presentan los datos diarios de monitoreo de calidad de aire para los contaminantes PM10, PST, SO_2 y NO_2 y sus respectivos límites máximos permisibles diarios establecidos por la Resolución 610 de 2010.

De acuerdo con estos resultados se observa claramente que tanto los límites diarios como el octohorario para el caso del CO no son superados en ningún momento durante el monitoreo realizado entre el 25 de febrero y el 13 de marzo de 2016, y que estos registros se encuentran muy por debajo de dichos límites.

Tabla 5.126Resultados del monitoreo de calidad de aire – Unidad Funcional 3.

Fecha	Punto 3 - Mondomo					Punto 4 - Pescador				
	PM10 (µg/m³)	PST (µg/m³)	SO_2 (µg/m³)	NO_2 (µg/m³)	CO (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	PST (µg/m³)	SO_2 (µg/m³)	NO_2 (µg/m³)	CO (µg/m³)
25-feb-16	17,10	36,20	8,17	25,41	368,18	24,80	36,50	12,17	24,50	388,64
26-feb-16	23,20	40,10	12,18	25,42	234,09	28,30	47,50	11,77	23,82	623,86
27-feb-16	27,00	45,80	14,27	25,98	714,77	31,10	46,10	16,26	24,38	667,05
28-feb-16	32,70	49,40	11,72	26,22	685,23	34,70	61,20	18,28	25,29	660,23
29-feb-16	28,40	52,90	7,18	25,68	231,82	34,20	53,40	17,36	25,30	115,91
01-mar-16	22,10	39,00	8,69	25,34	844,32	27,10	46,50	8,58	25,33	912,50
02-mar-16	23,70	40,20	9,97	24,78	569,32	28,60	43,60	7,79	24,45	685,23
03-mar-16	20,20	32,80	11,44	25,12	1302,27	21,50	34,60	16,40	24,60	343,18
04-mar-16	18,70	29,40	13,04	25,71	732,95	23,20	36,60	8,48	24,37	501,14
05-mar-16	23,30	41,10	7,78	24,61	161,36	23,70	38,10	12,11	24,02	271,59
06-mar-16	17,20	28,40	13,60	25,14	234,09	20,70	36,90	8,58	24,25	238,64
07-mar-16	22,40	40,90	8,39	25,34	234,09	29,10	47,20	13,25	24,64	88,64
08-mar-16	38,80	70,20	9,96	25,69	445,45	36,20	57,90	10,59	25,11	365,91
09-mar-16	30,30	51,70	9,33	25,90	220,45	34,20	56,40	9,23	25,30	146,59
10-mar-16	13,30	30,50	7,14	26,19	464,77	28,70	49,20	8,52	24,93	496,59
11-mar-16	42,10	69,60	8,61	26,01	715,91	35,30	54,50	11,44	25,36	698,86
12-mar-16	31,10	51,40	14,89	25,64	494,32	36,30	44,90	8,51	25,64	569,32
13-mar-16	26,10	47,40	10,01	25,98	640,91	30,90	46,10	12,82	25,89	528,41
Mínimo	13,30	28,40	7,14	24,61	161,36	20,70	34,60	7,79	23,82	88,64
Máximo	42,10	70,20	14,89	26,22	1302,27	36,30	61,20	18,28	25,89	912,50

Fecha	Punto 3 - Mondomo					Punto 4 - Pescador				
	PM10 (µg/m³)	**PST (µg/m³)**	**SO_2 (µg/m³)**	**NO_2 (µg/m³)**	**CO (µg/m³)**	**PM10 (µg/m³)**	**PST (µg/m³)**	**SO_2 (µg/m³)**	**NO_2 (µg/m³)**	**CO (µg/m³)**
Promedio aritmético	25,43	44,28	10,35	25,56	516,35	29,37	46,51	11,79	24,84	461,24
Promedio geométrico	24,41	42,83	10,09	25,56	441,79	28,93	45,86	11,35	24,84	389,62
Desviación estándar	7,54	12,07	2,46	0,46	293,24	5,12	7,96	3,39	0,59	231,19

Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2016 (Información suministrada por GSA)

5.1.10.3.5 Análisis del monitoreo de calidad de aire vs límite

A. Concentración de material particulado PM_{10}

El muestreo de PM_{10} inició mediciones el jueves 25 de febrero de 2016 a las 00:00 horas, para completar el ciclo de muestreo correspondiente al día de medición, se programó el equipo para que se apagara automáticamente a las 24 horas ±1 hora; la actividad para el cambio de filtro dependió de las condiciones climáticas; esta actividad se realizó al día siguiente después de la jornada de muestreo.

Los resultados obtenidos en el punto de muestreo Nº3 Mondomo y Nº4 Pescador durante el estudio se presentan en la Tabla 5.126 y en la Figura 5.148.

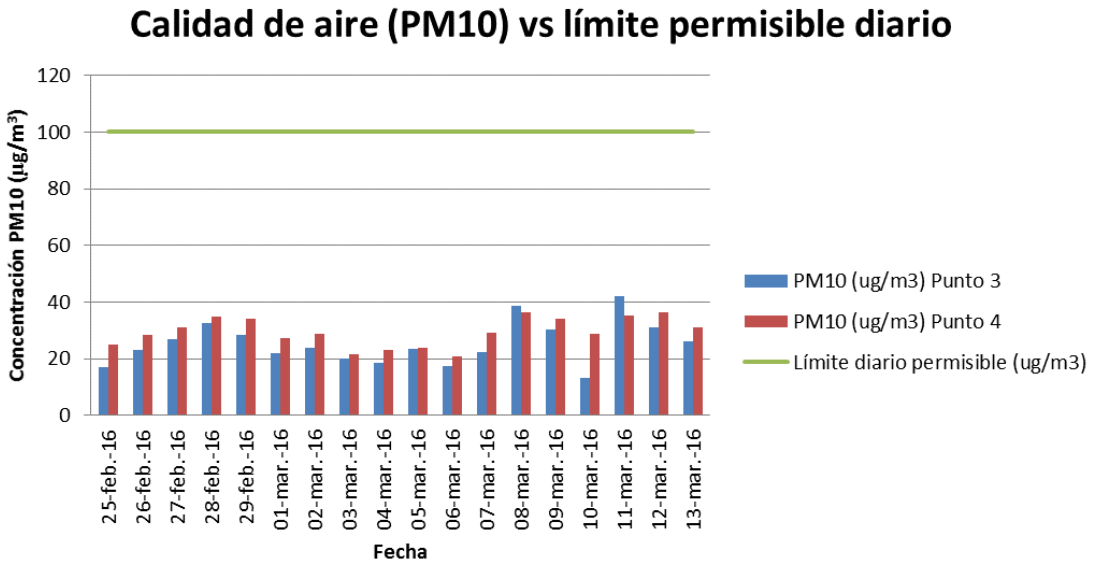


Figura 5.148 Concentración material particulado PM_{10} Vs Límite permisible diario
Fuente: GSA S.A.S., 2016

B. Concentración de material particulado (PST)

El muestreo de PST inició mediciones el jueves 25 de febrero de 2016 a las 00:00 horas, para completar el ciclo de muestreo correspondiente al día de medición, se programó el equipo para que se apagara automáticamente a las 24 horas ±1 hora; la actividad para el cambio de filtro dependió de las condiciones climáticas; esta actividad se realizó al día siguiente después de la jornada de muestreo.

Los resultados obtenidos en el punto de muestreo Nº3 Mondomo y Nº4 Pescador durante el estudio se presentan en la Tabla 5.126 y en la Figura 5.149.

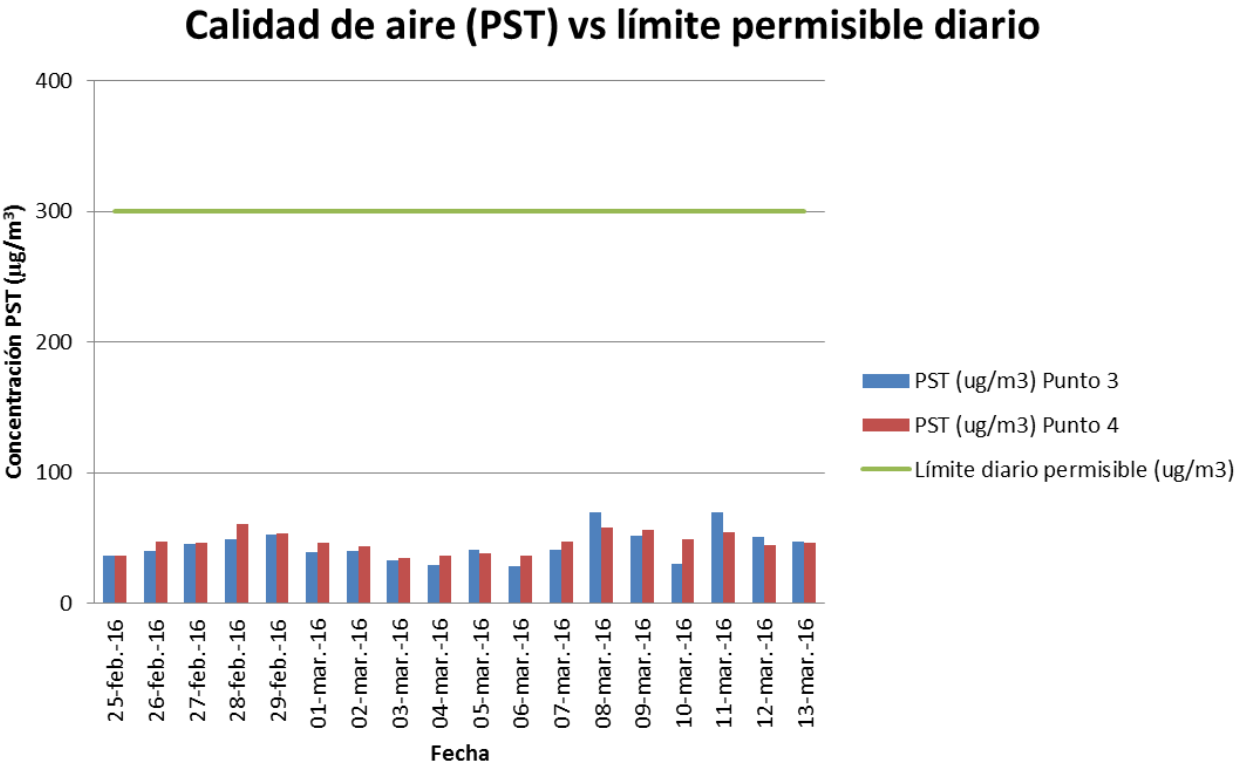


Figura 5.149 Concentración material particulado PST Vs Límite permisible diario
Fuente: GSA S.A.S., 2016

C. Concentración de Dióxido de Azufre (SO_2)

En las muestras recolectadas durante los 18 días de muestreo en los ocho puntos definidos, se aprecia en los informes de resultados del laboratorio de análisis que estos están por debajo del límite de detección 0,7µg, sin embargo; se realizan los cálculos de la concertación con este límite de detección para hallar el límite de cuantificación de la concentración mínima reportada. (Ver Anexo 5.1.5 AireyRuido se presenta el. resultados de laboratorio para PM10, PST, Dióxido de Azufre SO2 y Dioxido de Nitrógeno NO2 Y CO.)

Los resultados obtenidos en el punto de muestreo Nº3 Mondomo y Nº4 Pescador durante el estudio se presentan en la Tabla 5.126 y en la Figura 5.150.

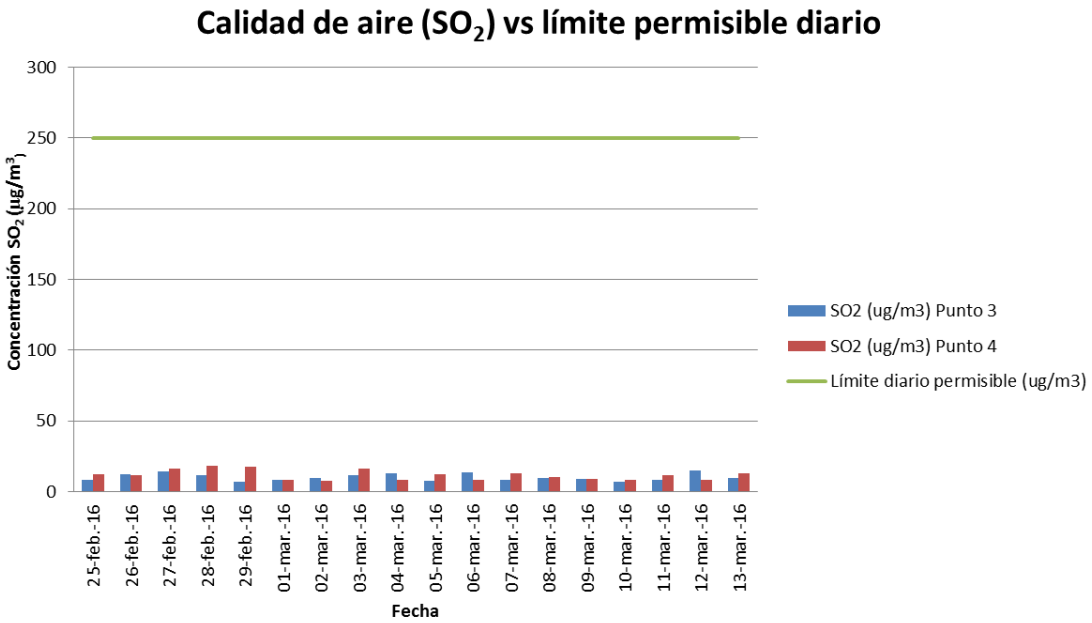


Figura 5.150 Concentración SO2 Vs Límite permisible diario.
Fuente: GSA S.A.S., 2016

D. Concentración de óxidos de nitrógeno (NO_2)

En las muestras recolectadas durante los 18 días de muestreo, se aprecia en los informes de resultados del laboratorio de análisis que solo se detectó esta variable en algunas muestras del punto 1, los demás días están por debajo del límite de detección 1µg, sin embargo; se realizan los cálculos de la concertación con este límite de detección para hallar el límite de cuantificación de la concentración mínima reportada. (Ver Anexo 7. resultados de laboratorio para PM10, PST, Dióxido de Azufre SO2 y Dióxido de Nitrógeno NO2 Y CO.)

Los resultados obtenidos en el punto de muestreo Nº3 Mondomo y Nº4 Pescador durante el estudio se presentan en la Tabla 5.126 y en la Figura 5.151.

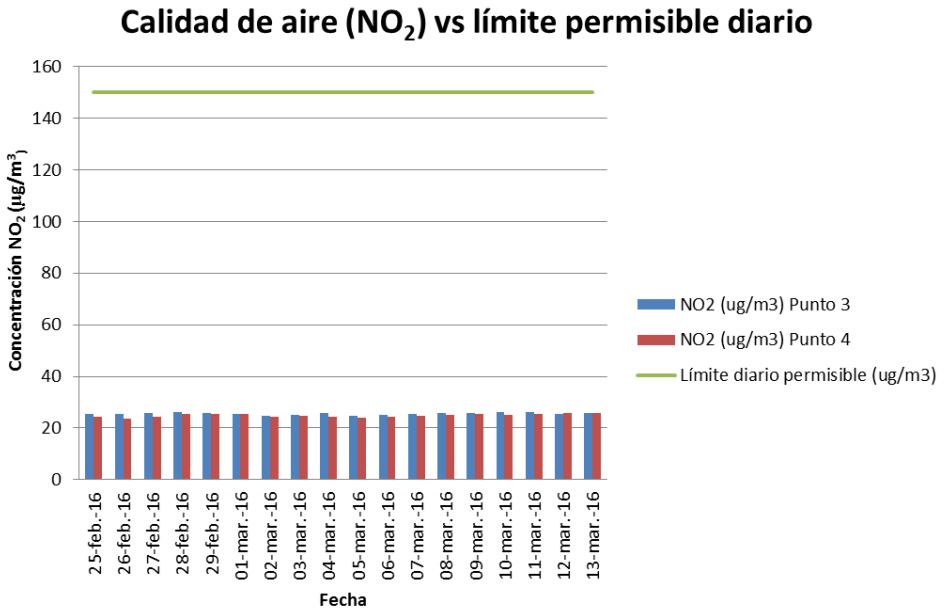


Figura 5.151 Concentración NO2 Vs Límite permisible diario.
Fuente: GSA S.A.S., 2016

E. Concentración de Monóxido de Carbono (CO)

Los resultados obtenidos en el punto de muestreo Nº3 Mondomo y Nº4 Pescador durante el estudio se presentan en la Tabla 5.126 y en la Figura 5.152.

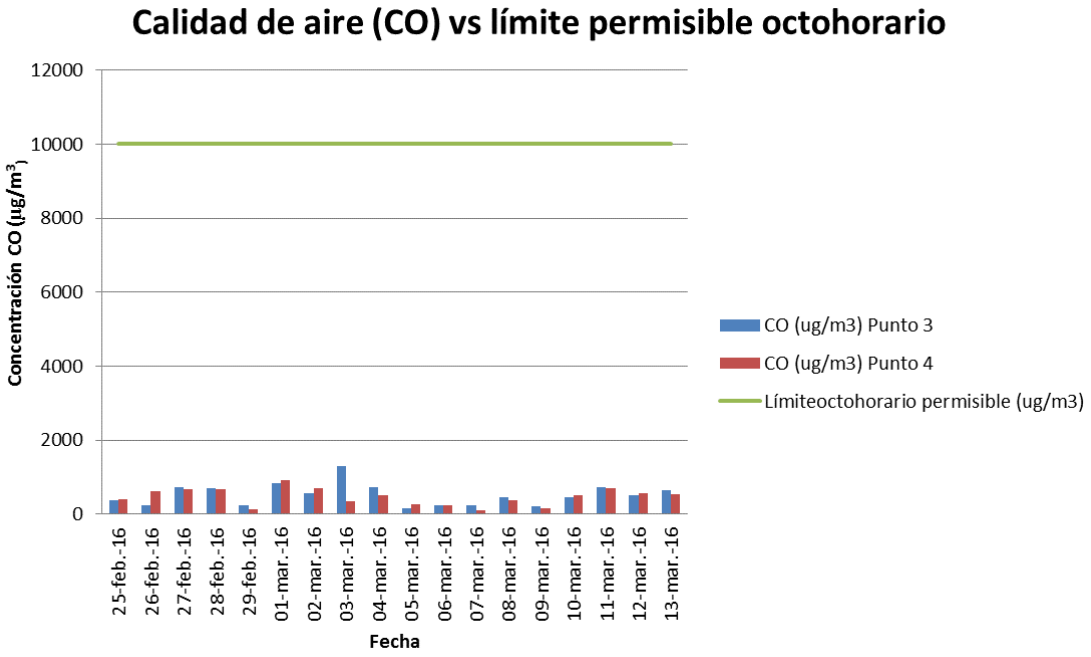


Figura 5.152 Concentración de Monóxido De Carbono (CO). Vs Límite permisible diario.
Fuente: GSA S.A.S., 2016

5.1.10.3.6 Análisis del monitoreo de calidad de aire vs límite máximo permisible anual

De la Figura 5.153 a la Figura 5.156 se presentan las comparaciones entre los promedios aritméticos de PM10, SO_2 y NO_2 y el promedio geométrico de PST con respecto a los estándares máximos permisibles anuales establecidos por la Resolución 610 de 2010.

Los valores promedio para los contaminantes analizados son muy similares, presentando el punto 4 valores promedio más altos que el punto 8 para el PM10, PST y SO_2, situación diferente para el contaminante NO2 el cual presenta un mayor promedio aritmético en el punto 3 que en el punto 4.

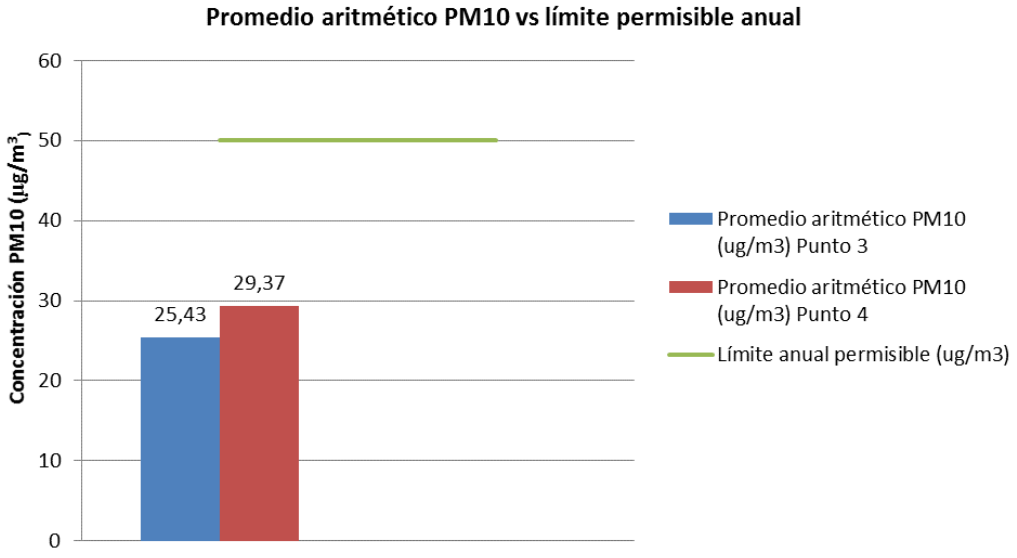


Figura 5.153 Promedio aritmético de PM10 vs. Límite permisible anual
Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2016

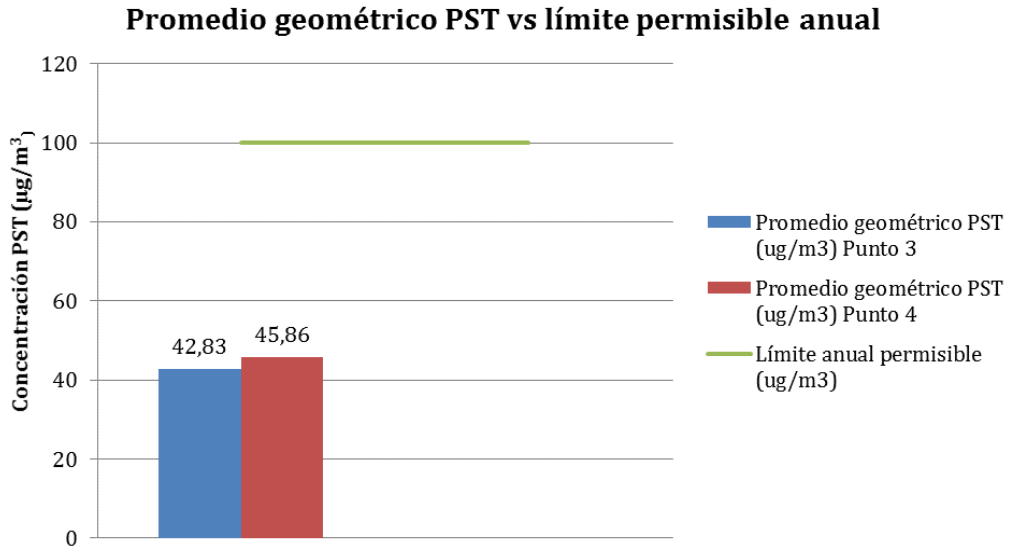


Figura 5.154 Promedio geométrico de PST vs. Límite permisible anual
Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2016

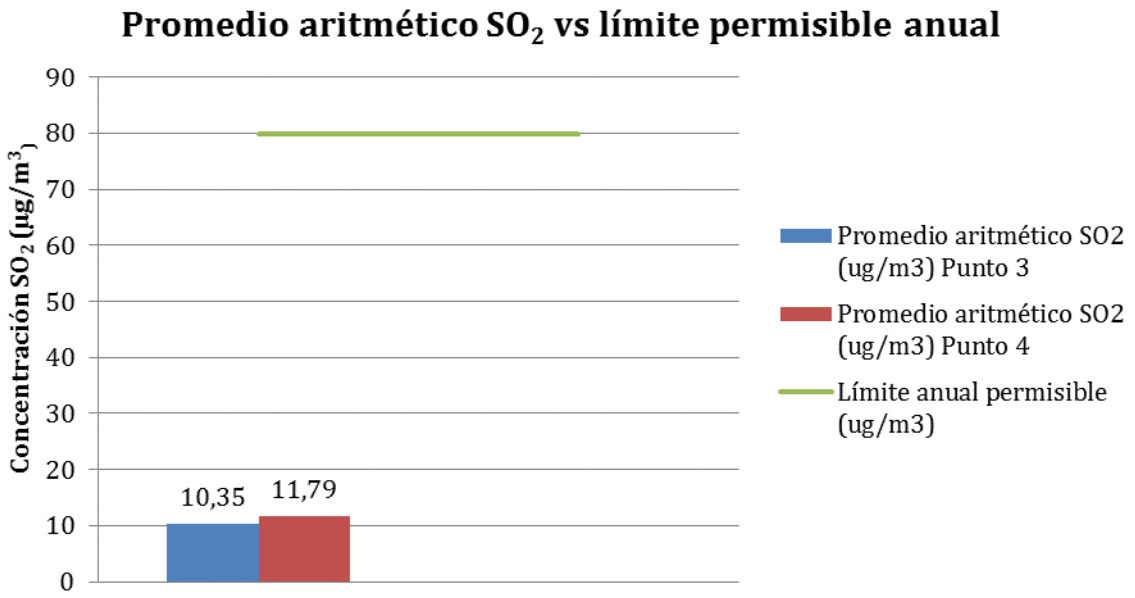


Figura 5.155 Promedio aritmético de SO_2 vs. Límite permisible anual
Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2016

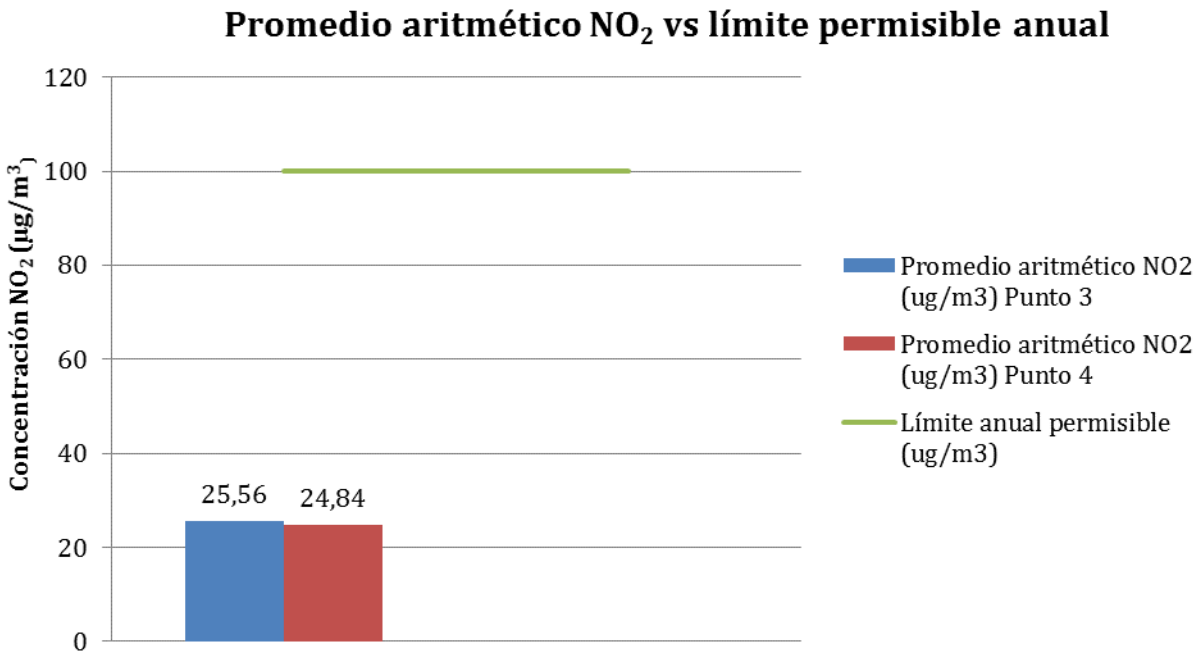


Figura 5.156 Promedio aritmético de NO_2 vs. Límite permisible anual
Fuente: EYC GLOBAL S.A.S., 2016

A. Condiciones Metereológicas

Las estaciones meteorológicas fueron ubicadas con el propósito de tener una mejor aproximación de los fenómenos meteorológicos que ocurren en la zona de influencia del proyecto. Las estaciones fueron en tres puntos diferentes del proyecto y operaron durante los días que se realizó el estudio de calidad del aire. A continuación, se presenta una imagen satelital con la ubicación de las estaciones meteorológicas con la herramienta Google earth pro (ver Figura 5.157).

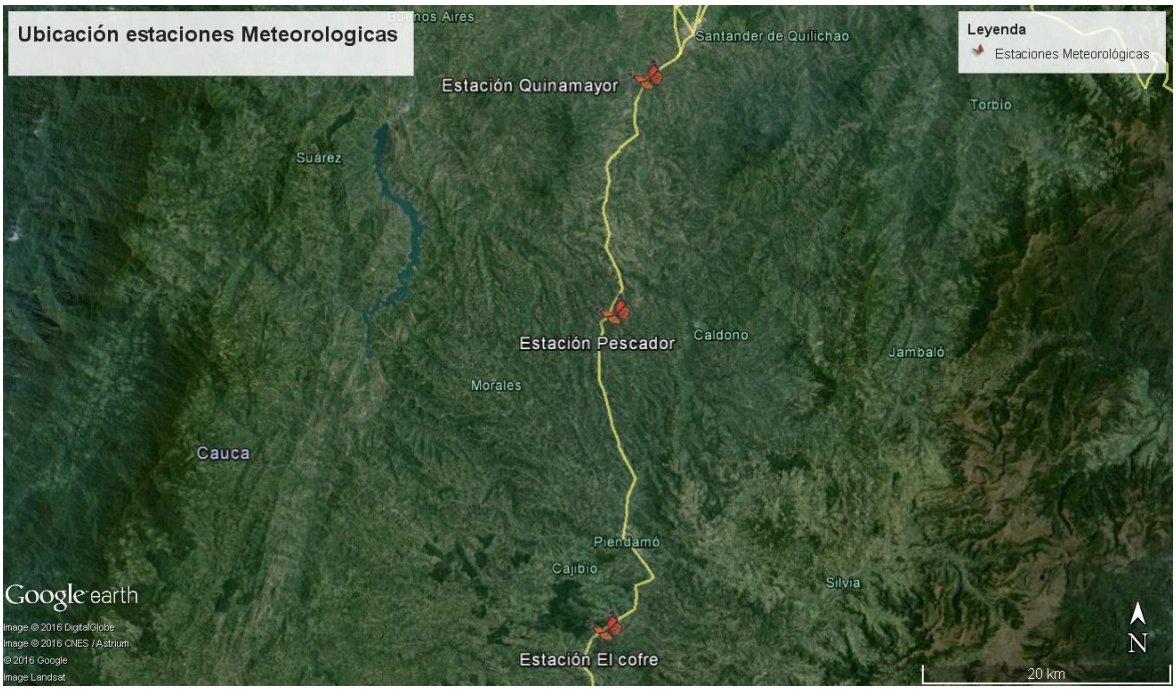


Figura 5.157 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas
Fuente: GSA S.A.S., 2016

B. Estación 2. Pescador.

En la Figura 5.158 se presenta los resultados de la frecuencia y distribución de las velocidades en la Estación 2 Pescador.

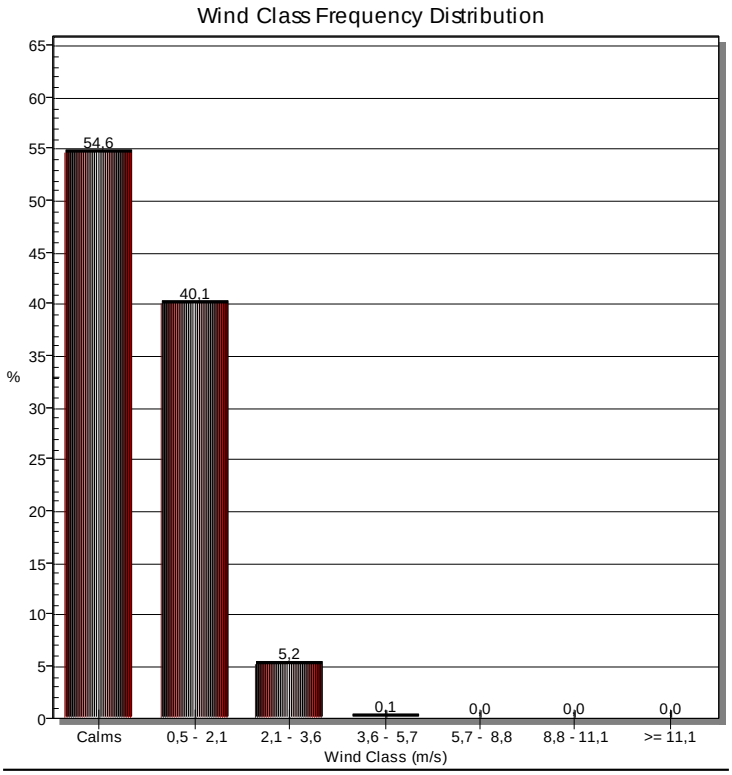


Figura 5.158 Frecuencia y distribución de velocidades para la estación meteorológica No.2 Pescador.

Fuente: GSA S.A.S., 2016

En la Figura 5.159 se puede observar el comportamiento de los vientos, entregado por la rosa de vientos de la estación ubicada en el sector de Pescador. En el sector evaluado hay presencia de vientos que ingresan en mayor cantidad e intensidad por el sur y que se dirigen hacia el norte.

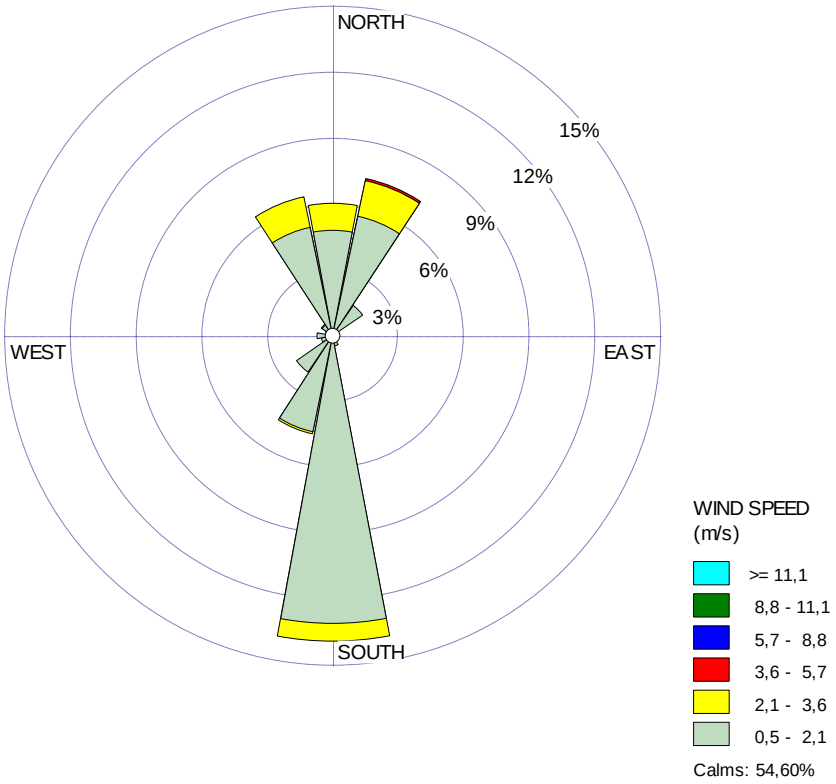


Figura 5.159 Rosa de vientos 24 horas, para la estación meteorológica No.2 Pescador
Fuente: GSA S.A.S., 2016

C. Condiciones Climáticas.

Durante la realización de los muestreos de calidad del aire se presentaron lluvias en algunos días de monitoreo, siendo este un factor que podría mitigar la re-suspensión del material particulado y enmascara algunos contaminantes.

En la Tabla 5.127 se presenta las condiciones climáticas de la estación Nº 2 Pescador en cuanto a la temperatura, humedad, velocidad del viento, presión barométrica y precipitación de lluvia. De forma gráfica se presenta en la Figura 5.160 a la Figura 5.164, dichas condiciones climáticas.

Tabla 5.127 Condiciones climáticas estación 2. Pescador

FECHA / HORARIO	TEMPERATURA PROMEDIO (ºC)*	HUMEDAD PROMEDIO (%)*	VELOCIDAD VIENTO PROMEDIO (m/s) *	PRESIÓN BAROMETRICA (mm Hg)	PRECIPITACION DE LLUVIA (mm)**
2016/02/27 diurno	26,3	66,6	1,7	629,9	0,0
2016/02/27 nocturno	20,1	91,2	0,5	630,4	1,3
2016/02/28 diurno	23,0	80,8	0,9	629,4	5,6
2016/02/28 nocturno	20,2	91,9	0,4	631,3	0,0
2016/02/29 diurno	23,3	79,3	0,8	631,4	0,8
2016/02/29 nocturno	20,7	90,5	0,1	631,9	0,0
2016/03/01 diurno	22,4	82,6	1,3	631,7	0,0
2016/03/01 nocturno	19,2	93,9	0,6	632,5	0,0
2016/03/02 diurno	20,8	89,9	1,5	632,3	0,5
2016/03/02 nocturno	18,4	95,0	0,4	632,3	0,3
2016/03/03 diurno	21,6	85,4	0,5	631,9	1,8
2016/03/03 nocturno	19,2	93,2	0,5	632,2	0,3
2016/03/04 diurno	20,7	88,9	1,2	632,9	13,0
2016/03/04 nocturno	17,7	95,8	0,4	633,9	2,8
2016/03/05 diurno	22,6	79,4	1,2	632,9	0,0
2016/03/05 nocturno	19,1	92,0	0,4	633,7	0,0
2016/03/06 diurno	20,0	88,2	1,3	634,3	1,3
2016/03/06 nocturno	17,4	95,3	0,3	635,3	0,3
2016/03/07 diurno	21,6	80,0	1,7	634,6	0,0
2016/03/07 nocturno	17,8	92,2	0,4	634,4	0,0
2016/03/08 diurno	21,8	77,0	1,1	633,4	0,0
2016/03/08 nocturno	18,8	89,2	0,5	633,1	0,0
2016/03/09 diurno	20,4	87,5	0,8	632,8	0,0
2016/03/09 nocturno	18,3	91,1	0,6	633,5	0,0
2016/03/10 diurno	22,0	79,8	1,1	633,6	0,0
2016/03/10 nocturno	18,3	94,7	0,5	634,2	2,3
2016/03/11 diurno	22,8	82,9	1,3	632,7	0,0
2016/03/11 nocturno	19,8	89,2	0,4	633,2	0,0
2016/03/12 diurno	21,1	84,4	1,0	633,3	36,6
2016/03/12 nocturno	17,9	93,4	0,3	633,6	0,0
2016/03/13 diurno	20,7	88,1	0,8	633,2	1,0
2016/03/13 nocturno	18,2	95,2	0,2	634,5	2,5
* Promedio cada 12 horas para horario diurno y nocturno					
** Datos acumulados de precipitacion por intervalos de 12 horas					

Fuente: GSA S.A.S., 2016

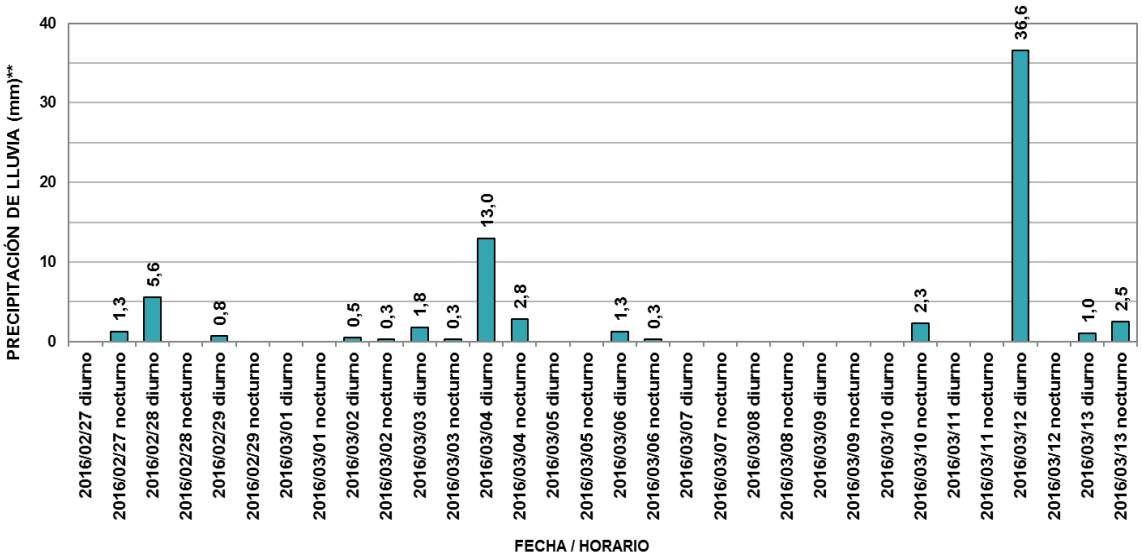


Figura 5.160 Precipitación de lluvia acumulada (mm) por cada 12 horas (horario diurno y nocturno) estación 2. Pescador

Fuente: GSA S.A.S., 2016

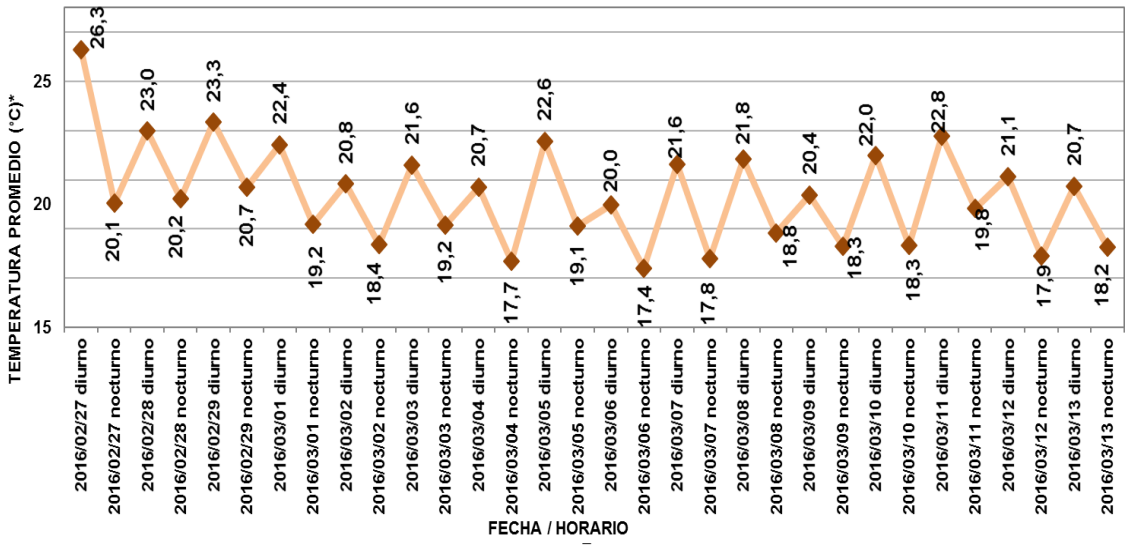


Figura 5.161 Temperatura promedio (°C) para 12 horas (horario diurno y nocturno) estación 2. Pescador

Fuente: GSA S.A.S., 2016

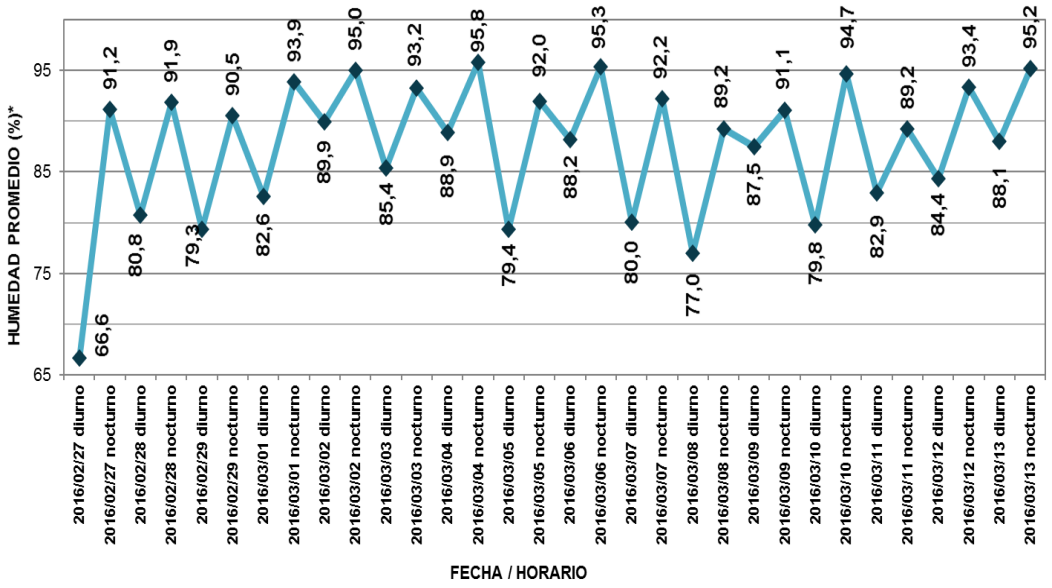


Figura 5.162 Humedad promedio (%) para 12 horas (horario diurno y nocturno) estación 2. Pescador

Fuente: GSA S.A.S., 2016

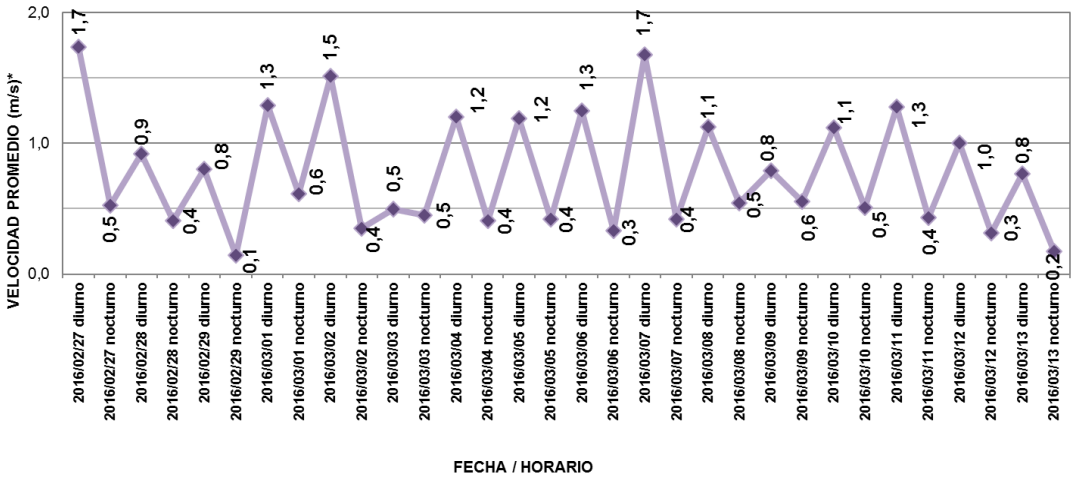


Figura 5.163 Velocidad del viento promedio (m/s) para 12 horas (horario diurno y nocturno) estación 2. Pescador

Fuente: GSA S.A.S., 2016

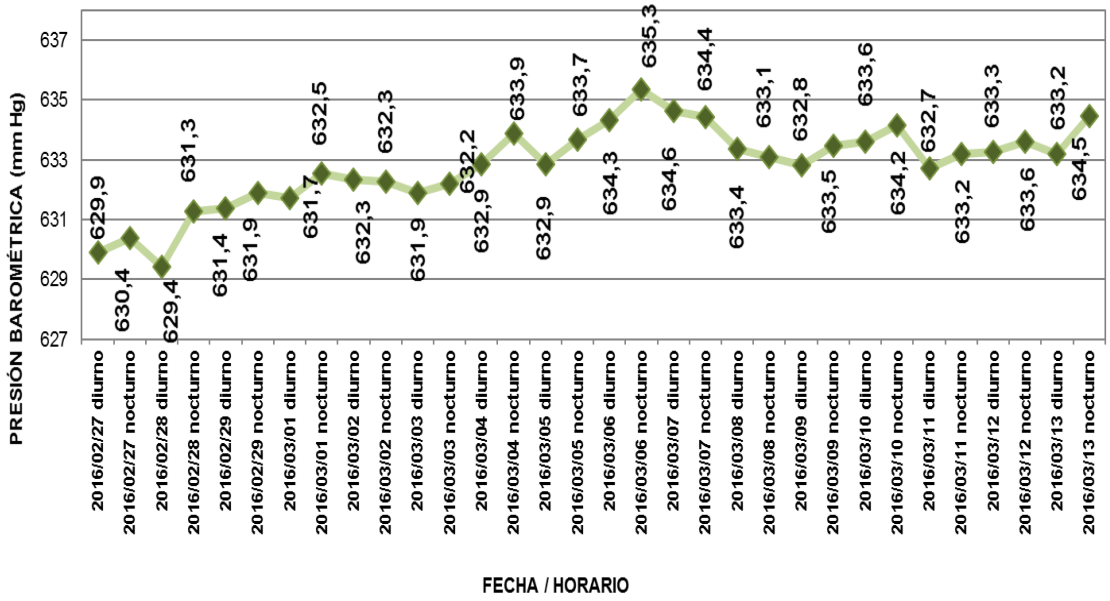


Figura 5.164 Presión barométrica (mm Hg) para 12 horas (horario diurno y nocturno) estación 2. Pescador
Fuente: GSA S.A.S., 2016

5.1.10.3.7 Análisis de resultados y conclusiones.

Se presentan los siguientes análisis de resultados y conclusiones fundamentados en la norma legal de nuestro país (Resolución 610 de 2010) y según los resultados obtenidos durante el desarrollo de los muestreos, las cuales se ponen a consideración de la autoridad ambiental competente.

A. Concentración de material particulado (PM_{10}).

Con las concentraciones obtenidas en los medidores de alto volumen Hi-Vol para PM_{10}, se procedió a calcular la media aritmética, con el fin de poder comparar con la norma actual establecida en la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010, que en su artículo 2 modifica el artículo 4 de la Resolución 601 de 2006 en cuanto a los niveles máximos permisibles para contaminantes criterio, aquí se establecen los niveles máximos permisibles en condiciones de referencia para contaminantes criterio contemplados en la Tabla No. 1 (Ver Tabla 5.128) de la presente resolución, en nuestro caso particular se calcularon con el promedio aritmético para PM_{10}**.**

Tabla 5.128 Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Tiempo de Exposición
PM_{10}	$\mu g/m^3$	50	Anual
		100	24 horas

Nota: $\mu g/m^{3:}$ se presentan a las condiciones de referencia de 298,15° K y 101,325 KPa (25° C y 760 mm.Hg)

Fuente: Resolución 610 del 24 de marzo de 2010**.**

De acuerdo con la norma mencionada anteriormente, las mediciones diarias no podrán sobrepasar los 100 $\mu g/m^3$. De igual forma el promedio aritmético de las concentraciones obtenidas durante 12 meses no podrán sobrepasar los 50 $\mu g/m^3$.

B. Concentración de material particulado (PST).

Con las concentraciones obtenidas en los medidores de alto volumen HI-VOL para PST, se procedió a calcular la media geométrica, con el fin de poder comparar con la norma actual establecida en la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010, que en su artículo 2 modifica el artículo 4 de la Resolución 601 de 2006 en cuanto a los Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio**,** en donde se establecen los niveles máximos permisibles en condiciones de referencia para contaminantes criterio, contemplados en la Tabla No. 1 (Ver Tabla 5.129) de la presente resolución, en este caso particular se calcularon con el promedio geométrico para PST**.**

Tabla 5.129 Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Tiempo de Exposición
PST	$\mu g/m^3$	100	Anual
		300	24 horas

Nota: $\mu g/m^{3:}$ se presentan a las condiciones de referencia de 298,15 ° K y 101,325 K Pa (25 ° C y 760 mm Hg)

Fuente*:* Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.

De acuerdo con la norma referenciada anteriormente, las mediciones diarias no podrán sobrepasar los trescientos microgramos por metro cúbico 300$\mu g/m^3$ para 24 horas. De igual forma, el promedio geométrico de las concentraciones obtenidas durante 12 meses no podrá sobrepasar los 100$\mu g/m^3$.

C. Resumen de resultados para material particulado PM10 Y PST.

En la Tabla 5.130 se presenta las concentraciones halladas en las estaciones Nº 3 y Nº 4 de material particulado PMA_{10} y PST.

Tabla 5.130 Resumen concentraciones halladas para material particulado PM10-PST

Punto	Nombre del punto	PM10 Concentración Maxima diaria (ug/m3)	PM10 Concentración promedio anual (ug/m3)	PST Concentración Maxima diaria (ug/m3)	PST Concentración promedio anual (ug/m3)
3	Corregimiento de Mondomo – Santander de Quilichao.	42,1	25,4	70,2	42,8
4	Pescador – Municipio de Caldono	36,3	29,4	61,2	45,9

Fuente: GSA S.A.S., 2016

- Conclusiones generales para Material particulado PM_{10} y PST.

A continuación, se presenta en la Figura 5.165 y Figura 5.166 unos gráficos donde se pueden apreciar los niveles máximos diarios obtenidos para cada estación tanto para PM_{10} como para PST y con base en esta se concluirá respecto a la comparación que se realiza con la norma de concentración diaria y el promedio anual para material particulado (PM_{10}) de 100 $\mu g/m^3$ y la norma diaria para PST de 300 $\mu g/m^3$ para todas las estaciones, teniendo en cuenta los diferentes factores que pudieron ser determinantes en la toma de muestra y los respectivos resultados.

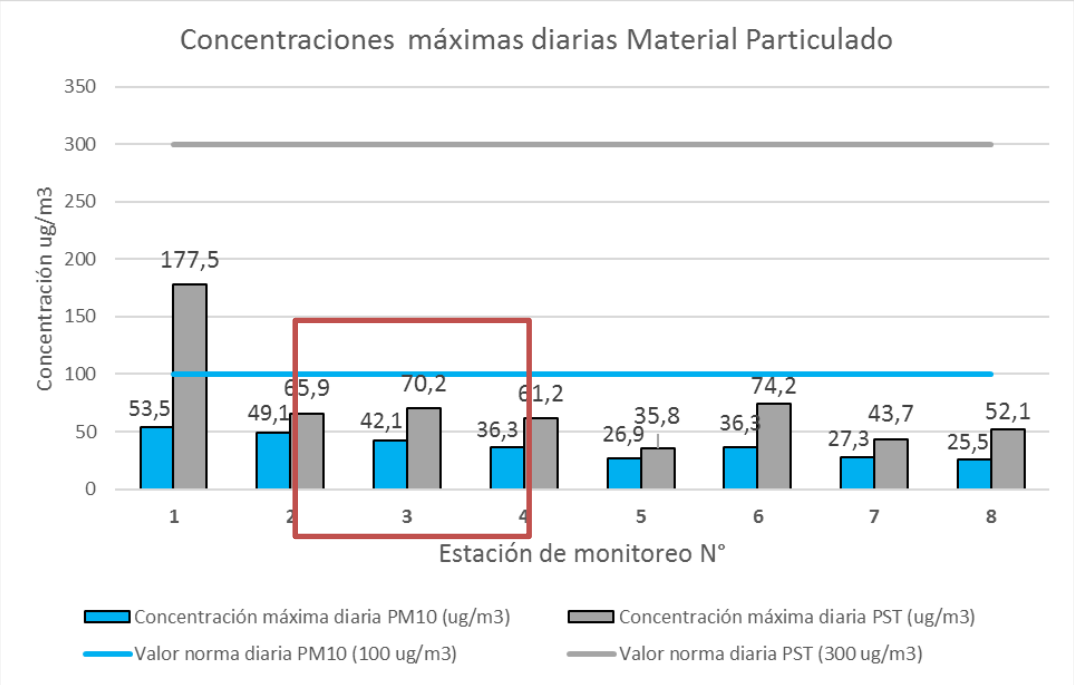


Figura 5.165 Concentraciones máximas diarias, material particulado PM10 y PST.
Fuente: GSA S.A.S., 2016

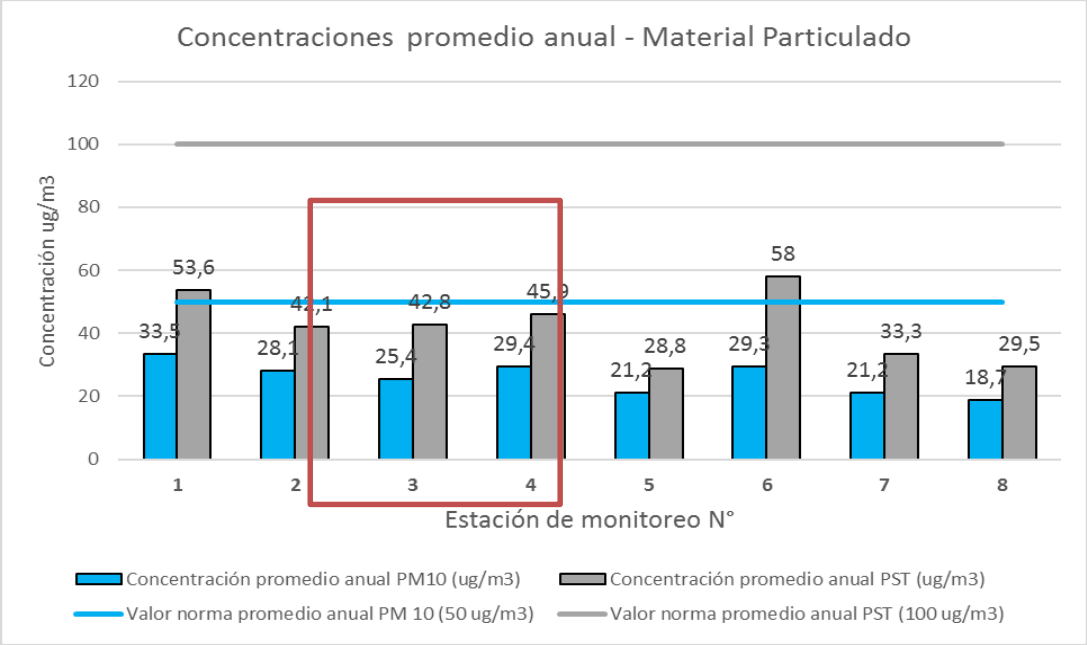


Figura 5.166 Concentraciones promedio anual, material particulado PM10 y PST.
Fuente: GSA S.A.S., 2016

Para este monitoreo en los dos puntos de medición se pudo apreciar que; todas las concentraciones diarias máximas tanto de PM10 como de PST están por debajo de las normas estipuladas por la normativa nacional de 100 μg/m^3 y 300 μg/m^3 respectivamente lo que equivale a un cumplimiento en todos los puntos de la norma.

Al realizar el análisis de las concentraciones promedio anuales se puede apreciar que en ninguna estación se superó los niveles de norma anual tanto para PM10 de 50 μg/m^3 y para PST de 100 μg/m^3, esto debido a que los niveles diarios tampoco fueron superiores y al momento de realizar los promedios no sobrepasaron los niveles de la norma.

Estos resultados se ven afectados directamente por fuentes presentes en la dinámica normal del sector entre las cuales se destacan la vía panamericana la cual por su cercanía con los equipos y por el flujo vehicular constante que presenta es considerada como la fuente principal durante el tiempo de monitoreo.

Al revisar los datos meteorológicos recolectados por la estación ubicada a lo largo del proyecto se tiene en consideración la importancia que representa la lluvia sobre el asentamiento que genera sobre el material particulado, evitando el levantamiento y la re suspensión de dichas partículas para ser transportadas por el viento, se pudo evidenciar

entonces que en la mayoría de días hubo presencia de lluvias con precipitaciones altas, lo que indica que la lluvia fue un factor determinante para que las concentraciones no sobrepasaran los niveles estipulados por la norma en especial para los días 3, 6, 7 y 10 de marzo para los cuales se presentaron fuertes lluvias en los sectores evaluados y se registra por ende los niveles mínimos de concentraciones en las estaciones de monitoreo para PM10 y PST.

Por otro lado, los días donde se presenciaron las concentraciones mayores de material particulado fueron días donde predomino el tiempo seco tales como el 8, 9 y 11 de marzo. También es importante destacar que el comportamiento del flujo vehicular por la vía panamericana es constante lo que hace que el comportamiento en la mayoría de días sea muy similar y que los resultados tengan una similitud entre ellos, sin embargo, se evidenciaron algunos casos de variabilidad representativa, los cuales pueden ser producidos por situaciones esporádicas y que no son de la dinámica normal del sector.

D. Concentración de dióxido de azufre (SO_2).

Con las concentraciones obtenidas en el medidor de 3 gases, se procedió a calcular la media aritmética, con el fin poder comparar los datos obtenidos con la norma actual establecida en la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010, que en su Artículo 2 modifica el artículo 4 de la Resolución 601 de 2006 Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio; en dicho artículo se establecen los niveles máximos permisibles en condiciones de referencia para contaminantes criterio contemplados en la Tabla N°1 (Ver Tabla 5.131); en nuestro caso particular se calcularon con el promedio aritmético para SO_2.

Tabla 5.131 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Tiempo de Exposición
SO_2	µg/m^3	80	Anual
		250	24 horas
		750	3 hora

Nota: µg/m^3 se presentan a las condiciones de referencia de 298,15°K y 101,325 KPa (25 ° C y 760 mmHg)
Fuente: Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.

De acuerdo con la norma anteriormente mencionada, las mediciones diarias no podrán sobrepasar los 250 µg/m^3 para 24 horas. De igual forma, el promedio aritmético de las concentraciones obtenidas durante 12 meses no podrá sobrepasar los 80 µg/m^3 anual.

- Resultados SO2, Norma diaria y anual.

En las estaciones de monitoreo no se presentaron concentraciones de SO2 que sobrepasaran la norma diaria de 250µg/m^3, de mantenerse el mismo comportamiento para este contaminante el promedio hallado para los 18 días de monitoreo cumpliría con

lo establecido en la norma anual de 80μg/m^3, con los siguientes valores máximos hallados en los puntos de monitoreo:

- ✓ Estación N° 3. Mondomo: ≤14,89μg/m^3
- ✓ Estación N° 4. Pescador: ≤18,28μg/m^3

Es importante tener en cuenta que se realizaron los cálculos de la concentración con el límite de detección del laboratorio de análisis para hallar el límite de cuantificación de la concentración.

E. Concentración de Óxidos de Nitrógeno (NO_2)

Con las concentraciones obtenidas en el medidor de 3 gases se procedió a calcular la media aritmética, con el fin poder comparar los datos obtenidos con la norma actual establecida en la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010, que en su Artículo 2 modifica el artículo 4 de la Resolución 601 de 2006 Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio; en dicho artículo se establecen los niveles máximos permisibles en condiciones de referencia para contaminantes criterio, contemplados en la Tabla No. 1 (Ver Tabla 5.132), en nuestro caso particular se calcularon con el promedio aritmético para NO_2.

Tabla 5.132 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Tiempo de Exposición
NO_2	μg/m^3	100	Anual
		150	24 horas
		200	1 hora

Nota: μg/m^3: se presentan a las condiciones de referencia de 298,15°K y 101,325 KPa (25°C y 760 mmHg)

Fuente: Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.

De acuerdo con la norma anteriormente mencionada, las mediciones diarias no podrán sobrepasar los 150 μg/m^3 para 24 horas. De igual forma el promedio aritmético de las concentraciones obtenidas durante 12 meses no podrán sobrepasar los 100 μg/m^3 anual.

- Resultados NO2, Norma diaria y anual.

En las estaciones de monitoreo no se presentaron concentraciones de NO2 que sobrepasaran la norma diaria de 150μg/m^3, de mantenerse el mismo comportamiento para este contaminante el promedio hallado para los 18 días de monitoreo cumplirían con lo establecido en la norma anual de 100μg/m^3 con los siguientes valores máximos hallados en los puntos de monitoreo:

- ✓ Estación N° 3. Mondomo: ≤ 26,22μg/m^3
- ✓ Estación N° 4. Pescador: ≤ 25.894μg/m^3

Los cálculos para los puntos se realizaron con este límite de detección del laboratorio de análisis para hallar el límite de cuantificación de la concentración.

F. Monóxido de carbono (CO) ambiental

Con las concentraciones obtenidas en el medidor de monóxido de carbono CO12M, se procedió a determinar la máxima concentración en $\mu g/m^3$, con el fin de poder comparar con la norma actual establecida Resolución 610 del 24 de marzo de 2010, que en su Artículo 2 modifica el Artículo 4 de la Resolución 601 de 2006 Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio; en dicho artículo se establecen los niveles máximos permisibles en condiciones de referencia para contaminantes criterio, contemplados en la Tabla No. 1 de dicha norma.

La máxima concentración de MONOXIDO DE CARBONO (CO) de una muestra recolectada en forma continua durante 8 horas, deberá ser de 10.000 $\mu g/m^3$, equivalente a 8,8 ppm, mientras que la máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 1 hora, deberá ser de 40.000 $\mu g/m^3$, equivalente a 35 ppm.

Según lo expuesto anteriormente tenemos que, de acuerdo con la información colectada durante los 18 días de muestreo se presentan las siguientes conclusiones:

Resultados CO - Norma Octo-horaria, Estación de Monitoreo Nº3. Mondomo

Para este punto evaluado no se presentaron episodios que superaran el límite establecido por la norma octo-horaria de 10.000µg/m^3, con un valor promedio máximo de 1302,27µg/$m^{3.}$

- Resultados CO - Norma Octo-horaria, Estación de Monitoreo Nº4. Pescador

Para este punto evaluado no se presentaron episodios que superaran el límite establecido por la norma octo-horaria de 10.000µg/m^3, esto se puede observar en la Tabla 5.126 y en la Figura 5.152, con un valor promedio máximo de 912.50µg/$m^{3.}$

G. Rosa de vientos

La variable climática de vientos, constituye uno de los principales parámetros meteorológicos que tienen inferencia en el transporte y dispersión de los contaminantes en el aire.

Para esta campaña de monitoreo se pudo evidenciar que los vientos registrados por la estación meteorológica indicaron que las direcciones de los vientos que predominaron en estos sectores fueron: Sur-Norte y Oeste-Este.

5.1.10.3.8 Conclusiones generales

- ✓ Para material particulado PM_{10} en las dos estaciones de monitoreo se cumple con lo establecido en la norma tanto para la concentración diaria de 100μg/m³ como para la concentración promedio anual permisible de 50μg /m³, presentándose concentraciones máximas de 42,1μg/m³ para el punto 3 y 36,3μg/m³ para el punto 4.
- ✓ Para el material particulado PST se cumple con lo establecido en la norma diaria de 300μg/m³ y anual de 100μg/m³, presentándose concentraciones máximas de 70,2μg/m³ para el punto 3 y 61,2μg/m³ para el punto 4.
- ✓ Para Dióxido de azufre (SO_2) en las dos estaciones de muestreo se cumple con lo establecido en la norma diaria de 250μg/m³ y anual de 800μg/m³.
- ✓ En lo que respecta al dióxido de nitrógeno (NO_2) en las ocho estaciones de muestreo se cumple con lo establecido en la norma diaria de 150μg/m³ y anual de 100μg/m³.
- ✓ Para el Monóxido de Carbono (CO), en cada estación de monitoreo, no se sobrepasó el límite octo-horario (10.000 ug/m³), cumpliendo con lo estipulado por la resolución 610 del 24 de marzo de 2006.

5.1.10.4 Ruido

5.1.10.4.1 Marco normativo - Valor Limite Permisible (VLP)

Estos valores han sido especificados por el gobierno colombiano, a través de la Resolución 0627 del 07 de abril de 2006 expedida por el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el capítulo II, el cual indican lo siguiente en el Capítulo III de ruido ambiental:

Artículo 17. Estándares Máximos Permisibles de Ruido Ambiental: En la Tabla 2 (ver Tabla 5.133) de la presente resolución se establecen los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental, expresados en decibeles ponderados A (dB(A))[17]:

Tabla 5.133 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental, expresados en decibeles dB(A)

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A.	Hospitales bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares	55	50

17 MINISTERIO DE AMBIENTE. Resolución 0627 del 7 de abril de 2006, por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental para el territorio colombiano.

Sector	**Subsector**	**Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)**	
Tranquilidad y Silencio	geriátricos.		
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.	80	75
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: Resolución 627, 2006

Parágrafo Primero: Cuando la emisión de ruido en un sector o Subsector, trascienda a sectores o subsectores vecinos o inmersos en él, los estándares máximos permisibles de emisión de ruido son aquellos que corresponden al sector o Subsector más restrictivo.

Parágrafo Segundo: Las vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales, en general las vías, son objeto de medición de ruido ambiental, más no de emisión de ruido por fuentes móviles

5.1.10.4.2 Ubicación de puntos y procedimiento de medición de ruido.

Para la determinación de los puntos y de los tiempos de medición se aplicó la siguiente metodología:

- ✓ Los sectores monitoreados se ubicaron en el área de influenciada por la futura construcción de la Segunda Calzada de la vía Panamericana para el tramo de la Unidad Funcional 3 Pescador - Mondomo.
- ✓ Los puntos específicos por sector se determinaron según la necesidad de evaluar este contaminante en los lugares más críticos, para el análisis y estudio de ruido ambiental.
- ✓ En cada uno de los puntos de monitoreo se realizó cuatro (4) mediciones de ruido independiente para los niveles equivalentes ponderados A, dos (2) en día semana (diurno y nocturno) y dos (2) en día festivos (diurno y nocturno).
- ✓ Se tuvo presente ubicar los equipos distantes de barreras horizontales y verticales, con el fin de evitar reflexiones acústicas y, por consiguiente, el aumento del ruido objeto de medir.

Los puntos evaluados se presentan en la Tabla 5.134:

Tabla 5.134 Relación de los puntos monitoreados de ruido ambiental.

Punto	Nombre Punto de Ruido Ambiental CONSORCIO CCA CONSULTORIA - PLYMA	Coordenadas Geográficas		Magna Sirgas / Colombia Oeste Zone		msnm
		N	W	X	Y	
3	Corregimiento de Mondomo – Santander de Quilichao.	02°53’35.5”	76°33’02,1”	1058599	811660	1422
4	Pescador – Municipio de Caldono	02°48’18.1”	76°32’48,6”	1058993	801929	1571

Fuente: Consorcio CCA Consultoría– PLYMA, S.A.S., 2016

A continuación en la Figura 5.167 se presenta una vista aérea de los puntos monitoreados.

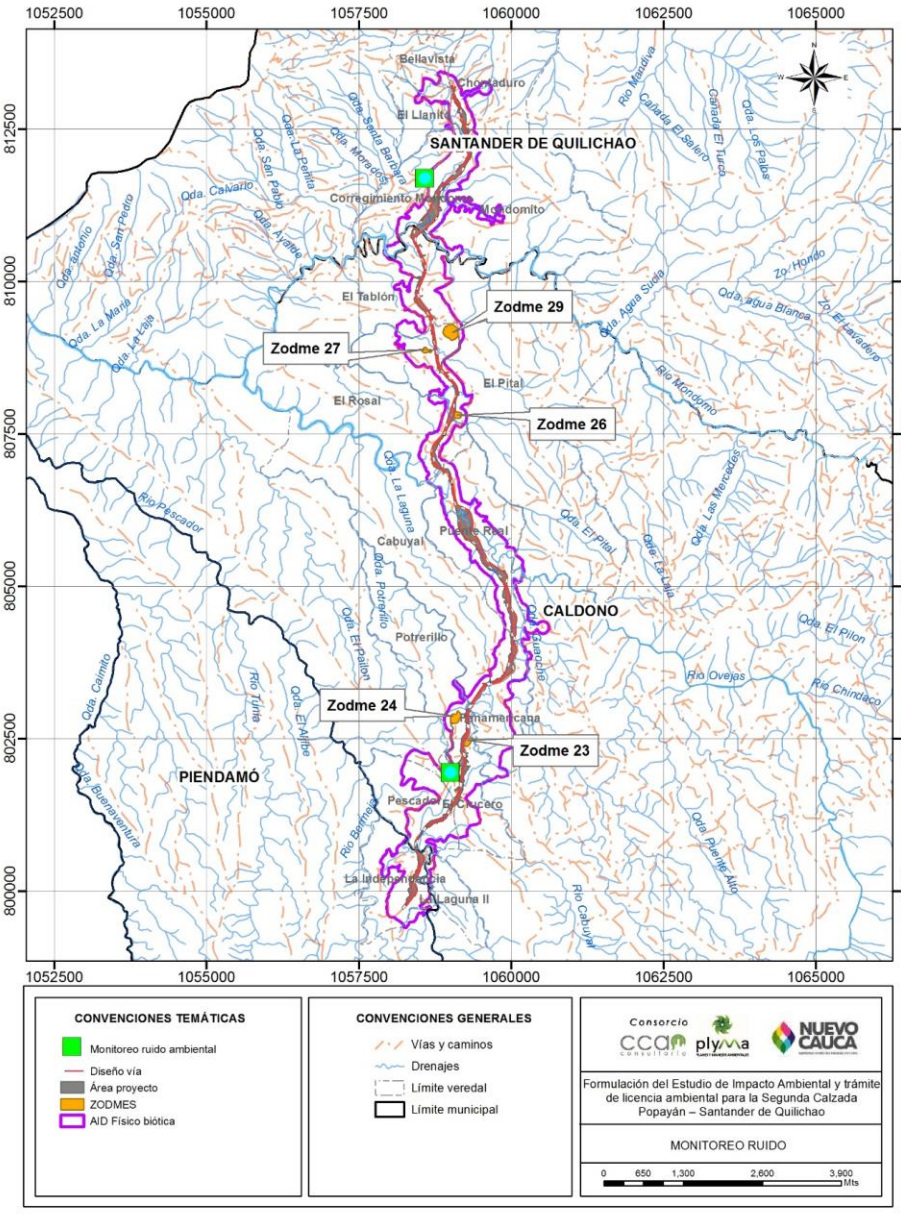


Figura 5.167 Ubicación geográfica de las estaciones de ruido ambiental
Fuente: GSA S.A.S, 2016 de Google earth pro

Nota: Datum utilizado para las coordenadas WGS84.

- ✓ Para las evaluaciones de ruido ambiental efectuadas se tuvo en cuenta lo establecido en la normatividad de ruido, Resolución 0627 del 7 de abril de 2006.
- ✓ Se efectuó una medición de 60 minutos para cada punto para determinar los niveles de línea base.
- ✓ Las mediciones de los niveles equivalentes de presión sonora ponderados A, -LAeq,T, se efectuaron en escala A, respuesta lenta, en tiempo seco, sin presencia de lluvia, o lloviznas, de igual forma durante los monitoreos de ruido ambiental siempre se integró el ruido con velocidades del viento por debajo de tres metros por segundo (3 m/s).
- ✓ El micrófono utilizado siempre contó con la protección de la pantalla anti viento y se ubicó sobre un trípode.
- ✓ En los sitios de medición, únicamente estuvo un profesional de G.S.A S.A.S, encargado de ejecutar las mediciones. Esto con el ánimo de evitar el aumento del ruido por conversar con otra(s) persona(s).
- ✓ Durante la integración del ruido, en cada sitio se reportaron datos de las condiciones meteorológicas: Temperatura, Humedad Relativa, Presión Barométrica, Velocidad y la dirección del viento, ver datos de campo (Anexo 5.1.5 Aire y Ruido).
- ✓ En las mediciones de ruido ambiental el micrófono del sonómetro siempre es ubicado en forma perpendicular a las fuentes y a una altura de 4 metros del nivel del suelo.

5.1.10.4.3 Resultados encontrados de ruido línea base

Los monitoreos se realizaron los días 27-28 de febrero y 03-06 de marzo de 2016 para día semana y día festivo respectivamente, bajo la influencia de las fuentes de ruido típicas del sector y en su dinámica normal, para las zonas que se verán influenciadas por las futuras obras de Segunda Calzada de la vía Panamericana para el tramo entre Popayán y Santander de Quilichao en la Unidad Funcional 3 Pescador - Mondomo. Ver Anexo 2 DATOS DE CAMPO RUIDO AMBIENTAL

A. Resumen ajustes K y Niveles de presión sonora continuos equivalentes corregidos en dBA

Los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A,LAeq,T, LAeq,T Residual y cuando dé lugar el nivel percentil L90, se corrigen por impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas, horarios, tipos de fuentes y receptores, para obtener niveles corregidos de presión sonora continuo equivalente ponderados A, LRAeq,T ,LRAeq,T Residual y cuando dé lugar nivel percentil L90, respectivamente.

Ecuación para las correcciones de los parámetros de medida.

$$LR\ A(X),T = LA(X),T + (KI, KT, KR, KS)$$

Dónde:

a) KI es un ajuste por impulsos (dB(A))

b) KT es un ajuste por tono y contenido de información (dB(A))

c) KR es un ajuste por la hora del día (dB(A))

d) KS es un ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo, bajas frecuencias (dB(A))

e) (X) corresponde a cualquiera de los parámetros de medida (LAeq,T, LAeq,T, Residual y cuando dé lugar el nivel percentil L90).

- Resultados de los niveles de ruido ambiental, corregidos por KT ajuste por tonos. 27-28 de febrero y 03-06 de marzo de 2016.

Es de tener en cuenta que durante la integración del ruido se presentaron los siguientes aportes de ruido en cada punto de monitoreo, los cuales se pueden apreciar en el ANEXO 2. FORMATOS DE CAMPO.

Punto 3 - Mondomó: Este punto fue ubicado en el corregimiento de Mondomó (Calle 5, cerca del centro de salud Quilisalud), lugar en donde se encuentra la comunidad urbana más cercana en esta zona. En los monitoreos de ruido ambiental, se pudo percibir el ruido por la comunidad (música a alto volumen, personas hablando y niños jugando), ruido de vehículos pesados transitando por la vía Panamericana y fauna del sector (aves, insectos, ente otros. Ver Anexo 5.1.5 Aire y Ruido.

Punto 4 – Crucero de Pescador: Este punto fue ubicado en el corregimiento de Pescador (sector crucero de pescador), limitando directamente con la vía Panamericana. En los monitoreos de ruido ambiental, se pudo percibir en su gran mayoría el parque automotor transitando por la autopista, además del ruido comunitario en la zona (música de establecimientos, trabajos locativos cercanos, personas hablando, entre otros). Ver Anexo 5.1.5 Aire y Ruido

En general, las fuentes de ruido presentes en la zona monitoreada para el tramo entre Popayán y Santander de Quilichao, son el parque automotor de la vía panamericana (como ruido de mayor impacto en las zonas, debido al alto flujo vehicular), el tránsito de vehículos por las vías alternas, el ruido comunitario de cada una de los sectores evaluados y la fauna local.

Cabe resaltar que por ser el presente un estudio de línea base, no se presentó influencia de actividades relacionadas con la ejecución del Proyecto ***Segunda Calzada Vía***

Panamericana – Tramo entre Popayán y Santander de Quilichao en la Unidad Funcional 3 Pescador - Mondomo. Los niveles de presión sonora equivalente se corrigen según el procedimiento descrito anteriormente y según lo establecido por la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental Resolución 0627 del 7 de abril de 2006.

En la siguiente Tabla 5.135 se enseñan las correcciones seleccionadas para las mediciones re ruido, conforme a lo estipulado por la Resolución 0627 de 2006,

Tabla 5.135 Resumen Ajustes K – Ruido Ambiental

Ajuste a Aplicar					
K					
DIURNO SEMANA-MARZO 2016					Ajuste Seleccionado
PUNTO N°	KR	KI	KT	KS	
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
Ajuste a Aplicar					
K					
NOCTURNO SEMANA-MARZO 2016					Ajuste Seleccionado
PUNTO N°	KR	KI	KT	KS	
3	0	0	0	0	0
4	0	0	3	0	3
Ajuste a Aplicar					
K					
DIURNO FESTIVO-MARZO 2016					Ajuste Seleccionado
PUNTO N°	KR	KI	KT	KS	
3	0	0	0	0	0
4	0	0	3	0	3
Ajuste a Aplicar					
K					
NOCTURNO FESTIVO-MARZO 2016					Ajuste Seleccionado
PUNTO N°	KR	KI	KT	KS	
3	0	0	3	0	3
4	0	0	0	0	0

f) No se percibieron ruidos por impulso o impactos, no hubo aumentos considerables de nivel de presión sonora por espacio de tiempo de 35 ms y los impactos entre uno y otro fueron inferiores a un (1) s. Por lo tanto, KI toma un valor de 0.

g) KT se ajustó por tono, ver Anexo 5.1.5 Aire y Ruido 4, ajustes K.

h) KR no se ajustó, ya que el estudio no pretendía calcular el parámetro LRAeq, en del cual hace referencia la Resolución Colombiana de Ruido 0627 en el Anexo 2.

i) No se presentaron bajas frecuencias por equipos que las generen, por lo tanto, KS no se ajustó.

- Niveles de ruido (corregido por KT ajustado por tonos)

A continuación en la Tabla 5.136 a la Tabla 5.139 se presentan las tablas con niveles de ruido obtenidos en las mediciones del 05 y 14 de febrero de 2016**.**

Tabla 5.136 Niveles de presión sonora corregidos – Diurno semana.

DIURNO SEMANA-MARZO 2016				
PUNTO No	**NIVEL EQUIVALENTE TOTAL**			
	Hora [hh:mm]	**LAeq,T [dBA]**	**Ajuste en [dBA]**	**Leq CORREGIDO [dBA]**
3	15.21	61,3	0	61,3
4	14:05	73,4	0	73,4

Fuente: GSA S.A.S., 2016

Tabla 5.137 Niveles de presión sonora corregidos – Nocturno semana.

NOCTURNO SEMANA-MARZO 2016				
PUNTO No	**NIVEL EQUIVALENTE TOTAL**			
	Hora [hh:mm]	LAeq,T [dBA]	Ajuste en [dBA]	Leq CORREGIDO [dBA]
3	23:50	68,9	0	68,9
4	01:12	67,1	3	70,1

Fuente: GSA S.A.S., 2016

Tabla 5.138 Niveles de presión sonora corregidos – Diurno Festivo.

DIURNO FESTIVO-MARZO 2016				
PUNTO No	**NIVEL EQUIVALENTE TOTAL**			
	Hora [hh:mm]	**LAeq,T [dBA]**	**Ajuste en [dBA]**	**Leq CORREGIDO [dBA]**
3	14.34	60,7	0	60,7

DIURNO FESTIVO-MARZO 2016				
PUNTO No	**NIVEL EQUIVALENTE TOTAL**			
4	13:09	72,1	3	75,1

Fuente: GSA S.A.S., 2016

Tabla 5.139 Niveles de presión sonora corregidos – Nocturno Festivo.

NOCTURNO FESTIVO-MARZO 2016				
PUNTO No	**NIVEL EQUIVALENTE TOTAL**			
	Hora [hh:mm]	**LAeq,T [dBA]**	**Ajuste en [dBA]**	**Leq CORREGIDO [dBA]**
3	00:33	58,6	3	61,6
4	01:53	66,7	0	66,7

Fuente: GSA S.A.S., 2016

- Graficos de resultados de niveles de ruido corregido

En los siguientes gráficos de la Figura 5.168 a la Figura 5.171 se presentan los niveles de ruido obtenidos para cada uno de los puntos según lo valores presentados en la tablas anteriores:

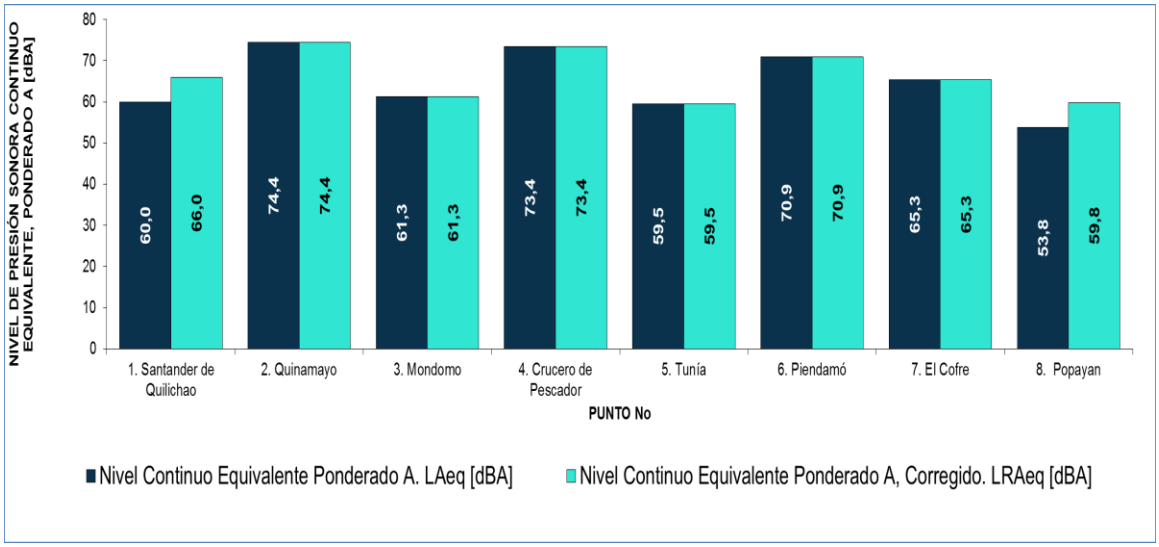


Figura 5.168 Resultados de niveles de ruido Corregidos – Línea Base – horario diurno semana.

Fuente: GSA S.A.S., 2016

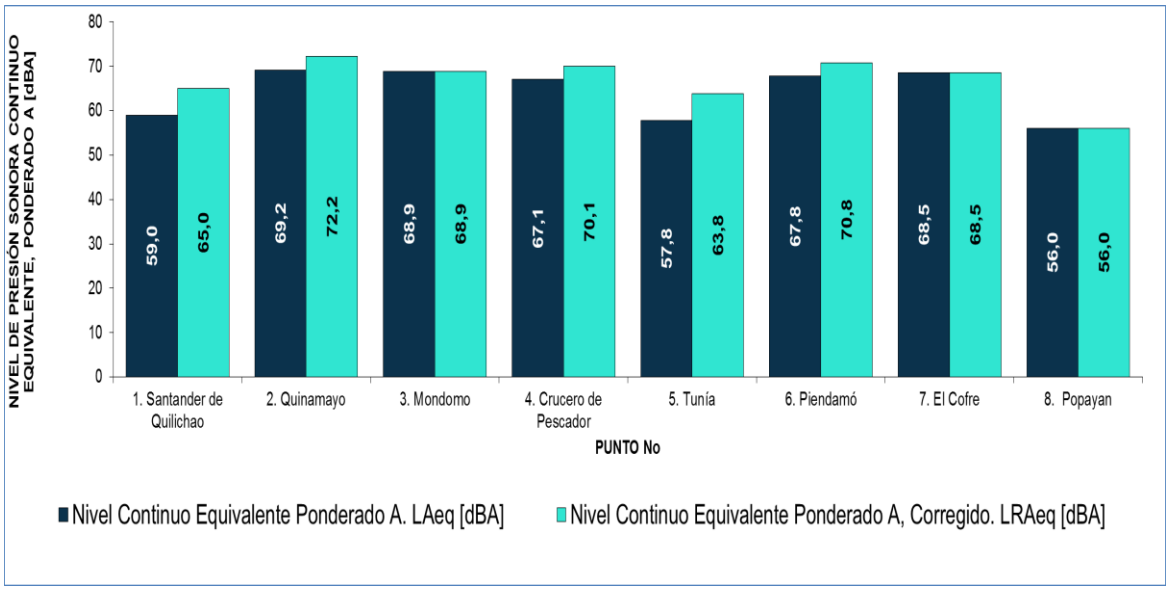


Figura 5.169 Resultados de niveles de ruido Corregidos – Línea Base – horario nocturno semana.

Fuente: GSA S.A.S., 2016

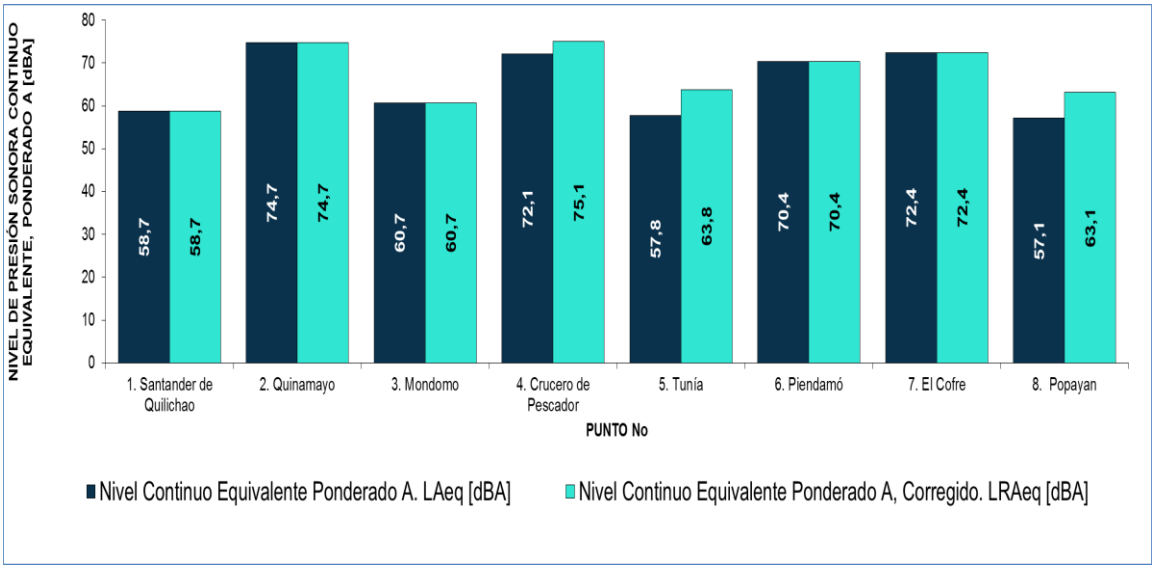


Figura 5.170 Resultados de niveles de ruido Corregidos – Línea Base – horario diurno festivo.

Fuente: GSA S.A.S., 2016

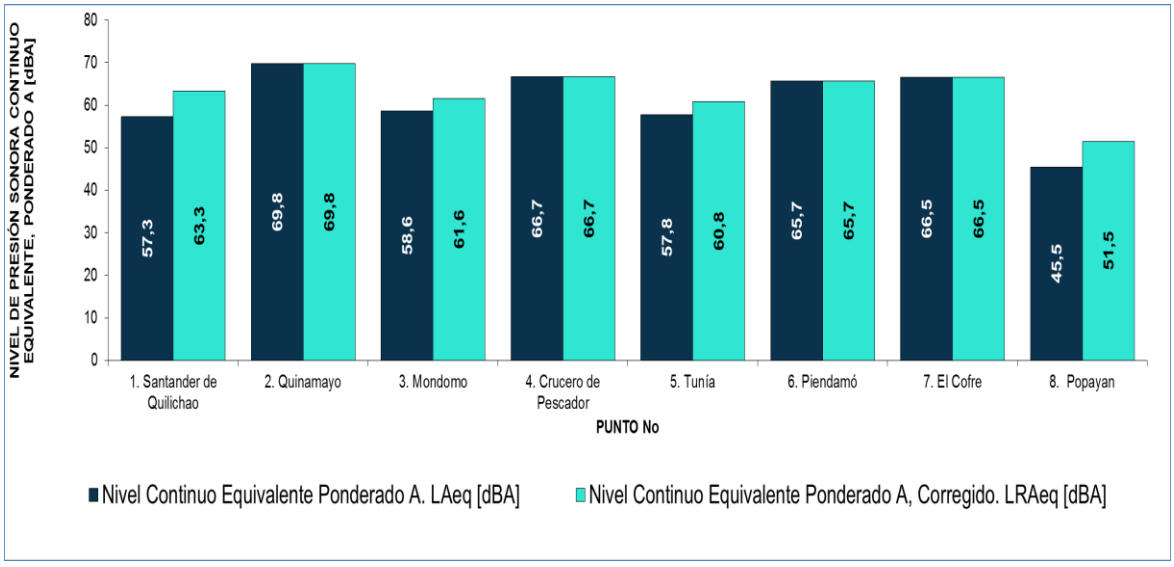


Figura 5.171 Resultados de niveles de ruido Corregidos – Línea Base – horario nocturno festivo.

Fuente: GSA S.A.S., 2016

5.1.10.4.4 Resultados aforo vehicular

El aforo vehicular fue realizado en la vía Panamericana para aquellos sectores que se encontraban directamente influenciados por esta (puntos 4), al igual que demas vías que se encontraban cercanas a otros puntos de medida (Puntos 3). El aforo vehicular fue ejecutado por personal de GESTION Y SERVICIOS AMBIENTALES S.A.S por medio de observación directa, realizando aforo en todos los sentidos de la via, y categorizando los vehiculos presentes en carro pequeño, carro grande, motos y tractomulas. Ver Anexo 2 – Formatos de campo – Aforo Vehicular.

En la Tabla 5.140 se presenta el aforo vehicular, realizado entre febrero y marzo de 2016 en la vìa panamericana.

Tabla 5.140 Aforo vehicular, Medicion de línea base Febrero - Marzo de 2016

AFORO HORARIO DIURNO SEMANA-MARZO 2016						
PUNTO	HORA	VEHÍCULOS/60 MIN				
		Grande	Pequeño	Motos	Tractomulas	Total
3	15.21	0	5	70	0	75
4	14:05	122	228	151	38	539
AFORO HORARIO NOCTURNO SEMANA-MARZO 2016						
PUNTO	HORA	VEHÍCULOS/60 MIN				
		Grande	Pequeño	Motos	Tractomulas	Total
3	23:50	0	1	3	0	4
4	01:12	39	62	19	3	123
AFORO HORARIO DIURNO FESTIVO-MARZO 2016						
PUNTO	HORA	VEHÍCULOS/60 MIN				
		Grande	Pequeño	Motos	Tractomulas	Total
3	14.34	0	6	113	0	119
4	13:09	82	165	141	14	402
AFORO HORARIO NOCTURNO FESTIVO - CONSORCIO CCA PLYMA - MARZO 2016						
PUNTO	HORA	VEHÍCULOS/60 MIN				
		Grande	Pequeño	Motos	Tractomulas	Total
3	00:33	0	0	1	0	1
4	01:53	58	40	25	2	125

5.1.1.1.1 5.3 Resultados condiciones climáticas

A continuación, en la Tabla 5.141 se presentan los valores de las condiciones climáticas más representativas y que dieron lugar en las mediciones realizadas para cada uno de los monitoreos.

Tabla 5.141 Condiciones climáticas.

Rango de temperatura ambiente:	16.0°C – 30.0°C
Dirección predominante y rango de velocidad del viento:	Dirección predominante: Norte - sur; Velocidades inferiores a 0.5 m/s
Presión barométrica:	633.4 mm.Hg
Precipitación de lluvia:	Durante los monitoreos no se presentó lluvia.
Rango de humedad relativa:	20% - 80 %

5.1.10.4.5 Conclusiones

A partir del Estudio de ruido ambiental línea base realizado para la futura Segunda Calzada Vía Panamericana tramo entre Popayán y Santander de Quilichao, y de acuerdo con los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones fundamentadas en las normas legales de nuestro país y según las condiciones que se presentaron durante las evaluaciones de ruido ambiental los días 27 - 28 de febrero y 03 - 06 de marzo de 2016.

Los niveles de ruido reportados por el instrumental de medición obedecen a la dinámica normal del sector y establecen, después de las correcciones respectivas, la línea base de ruido ambiental para el proyecto Segunda Calzada Vía Panamericana tramo entre Popayán y Santander de Quilichao en la Unidad Funcional 3 Pescador - Mondomo, Cauca. Las fuentes identificables en las mediciones comprenden la fauna local, el follaje de la vegetación movida por el viento, ruido comunitario, el tráfico vehicular sobre vías aledañas y el parque automotor presente en la vía Panamericana, el cual es determinado como la mayor fuente generadora de ruido en el sector.

Analizando los niveles corregidos de la Figura 5.168 a la Figura 5.171, se puede apreciar que incluso bajo la dinámica típica del sector y en ausencia de cualquier actividad asociada al proyecto, los monitoreos presentan niveles de ruido altos, situación que es atribuible a la mayor fuente de ruido generadora de la zona como lo es el flujo vehicular presente en la vía Panamericana y demás vías cercanas a los sectores monitoreados.

Debido a que la vía Panamericana es una ruta que comunica con el sur del país, el paso de vehículos es alto y constante, con lo cual, al instrumental encontrarse cerca de la vía, se producen picos de ruido que a su vez generan el alto nivel de presión sonora para las

mediciones. De igual manera, se destaca el ruido producido por la comunidad como lo son, grupo de personas hablando, música en viviendas y establecimientos, trabajos locativos y el ruido generado por la fauna, los cuales, en conjunto con el flujo vehicular, representan la totalidad del ruido ambiental de la zona evaluada.

Observando nuevamente la Figura 5.168 a la Figura 5.171 y haciendo una comparación entre los horarios de monitoreo, se puede apreciar que generalmente las mediciones nocturnas presentan valores menores en relación a las mediciones diurnas, esto pudo darse debido a que el flujo vehicular baja en las horas de la noche, demostrando de esta manera, la gran influencia de ruido aportado por la vía panamericana en los sectores monitoreados.

5.1.10.4.6 Modelo de ruido

A continuación, se presentan los resultados encontrados en los mapas de ruido para los escenarios aplicables a esta unidad funcional y los cuales son: Línea base, doble calzada, zona industrial y ruido total.

A. Línea Base.

Para este escenario se obtienen los niveles de ruido actuales en los cuales se encuentra el proyecto para la Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo), presentándose solamente el ruido generado por la única calzada de la vía panamericana y de vías secundarias que alimentan ésta. En la Figura 5.172 y Figura 5.173puede observarse una representación en 3D del modelo para las condiciones actuales de la Unidad Funcional 3.

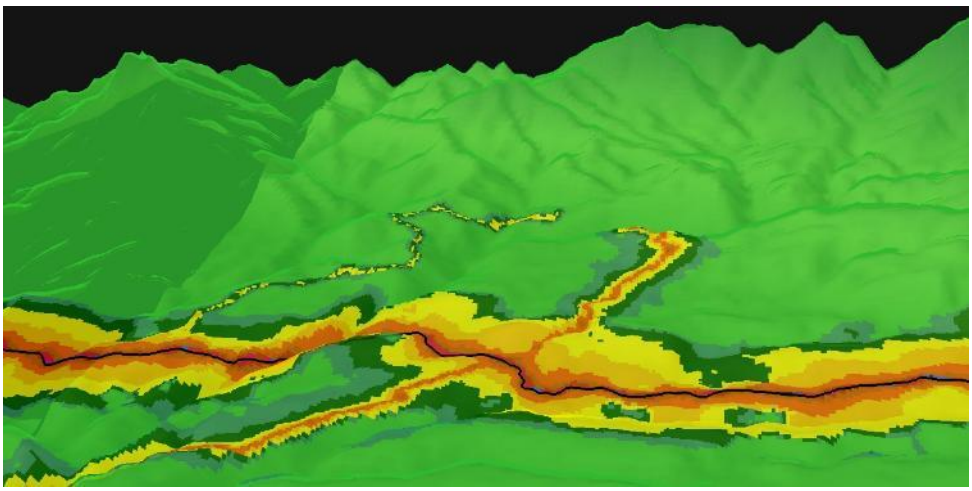


Figura 5.172 Representación en 3D del modelo para Línea base diurno – Crucero el Pescador.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

En esta figura puede observarse las condiciones actuales en las que se encuentra el tramo de Crucero el Pescador, representándose de esta manera el ruido generado por vías arterias en el corregimiento que alimentan la vía Panamericana, entre ellas el cruce de la vía Crucero - Siberia, y el ruido producido por el flujo vehicular de la Panamericana en una sola calzada.

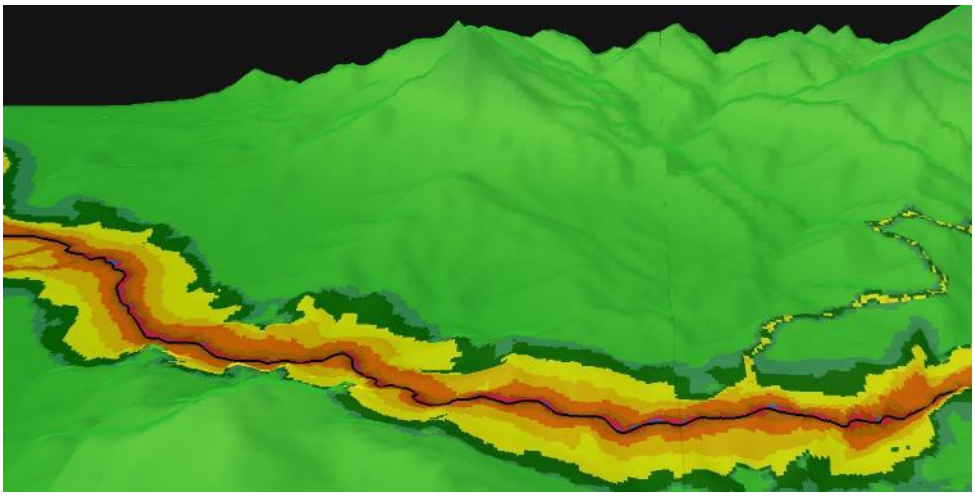


Figura 5.173 Representación en 3D del modelo para Línea base diurno – Mondomo.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

En esta figura puede observarse las condiciones actuales en la que se encuentra el tramo de Mondomo, representando de esta manera el ruido generado por vías secundarias del corregimiento que alimentan la vía panamericana, además del ruido producido por el flujo vehicular de la misma en una sola calzada.

B. Proyección 2020, Doble Calzada.

Para este escenario se obtienen los niveles de ruido de proyectados con el normal funcionamiento de la doble calzada para la Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo), presentándose el ruido generado por ambas calzadas de la vía panamericana y de vías secundarias que alimentan ésta. En la Figura 5.174 y Figura 5.175 puede observarse una representación en 3D del modelo para las condiciones futuras de doble calzada para la Unidad Funcional 3.

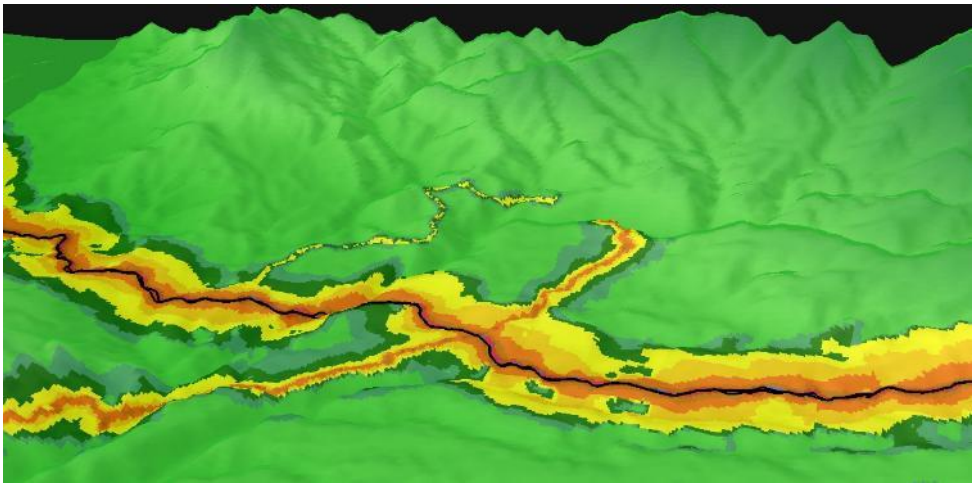


Figura 5.174 Representación en 3D del modelo para proyección Doble Calzada diurno – Crucero el Pescador.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

En esta figura puede observarse las condiciones proyectadas en las que se encontraría el tramo de Crucero el Pescador con la doble calzada de la vía panamericana, representándose de esta manera el ruido generado por vías arterias en el corregimiento que alimentan la vía Panamericana, entre ellas la Crucero - Siberia y el ruido producido por el flujo vehicular de la Panamericana en doble calzada.

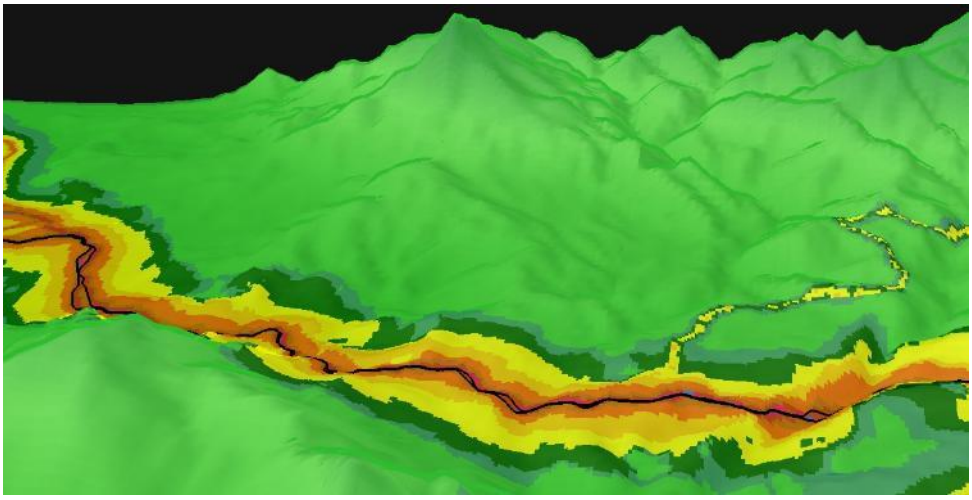


Figura 5.175 Representación en 3D del modelo para proyección Doble Calzada diurno – Mondomo.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

En esta figura puede observarse las condiciones proyectadas en las que se encontraría el tramo de Mondomo con la doble calzada de la vía Panamericana, representándose de esta manera el ruido generado por vías secundarias del corregimiento que alimentan la vía panamericana, además del ruido producido por el flujo vehicular de la misma en doble calzada.

5.1.10.5 Mapas de ruido finales

5.1.10.5.1 Horario Diurno

A. Línea Base

A continuación, se presentan los mapas de ruido obtenidos para el escenario línea base en la Unidad Funcional 3. En estos se pueden observar los niveles de ruido generados por el flujo vehicular de la vía Panamericana para una sola calzada en horario diurno.

- Curvas Isófonas

En la Figura 5.176 se presenta el mapa de ruido en representación de líneas isofónicas para el escenario línea base de la Unidad Funcional 3 en horario diurno.

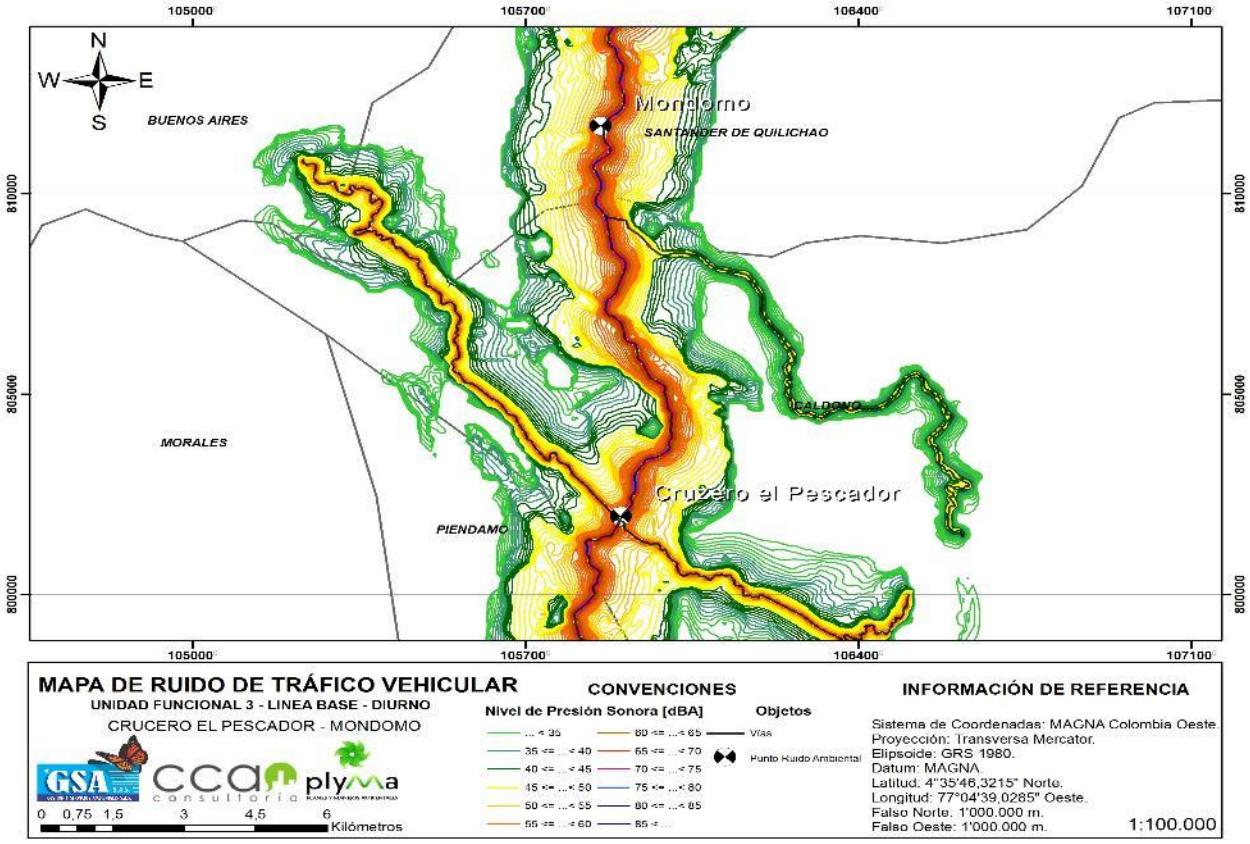


Figura 5.176 Mapa de ruido en representación de curvas isófonas - Línea base - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Diurno.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

- Raster

En la Figura 5.177 se presenta el mapa de ruido en representación raster para el escenario línea base de la Unidad Funcional 3 en horario diurno.

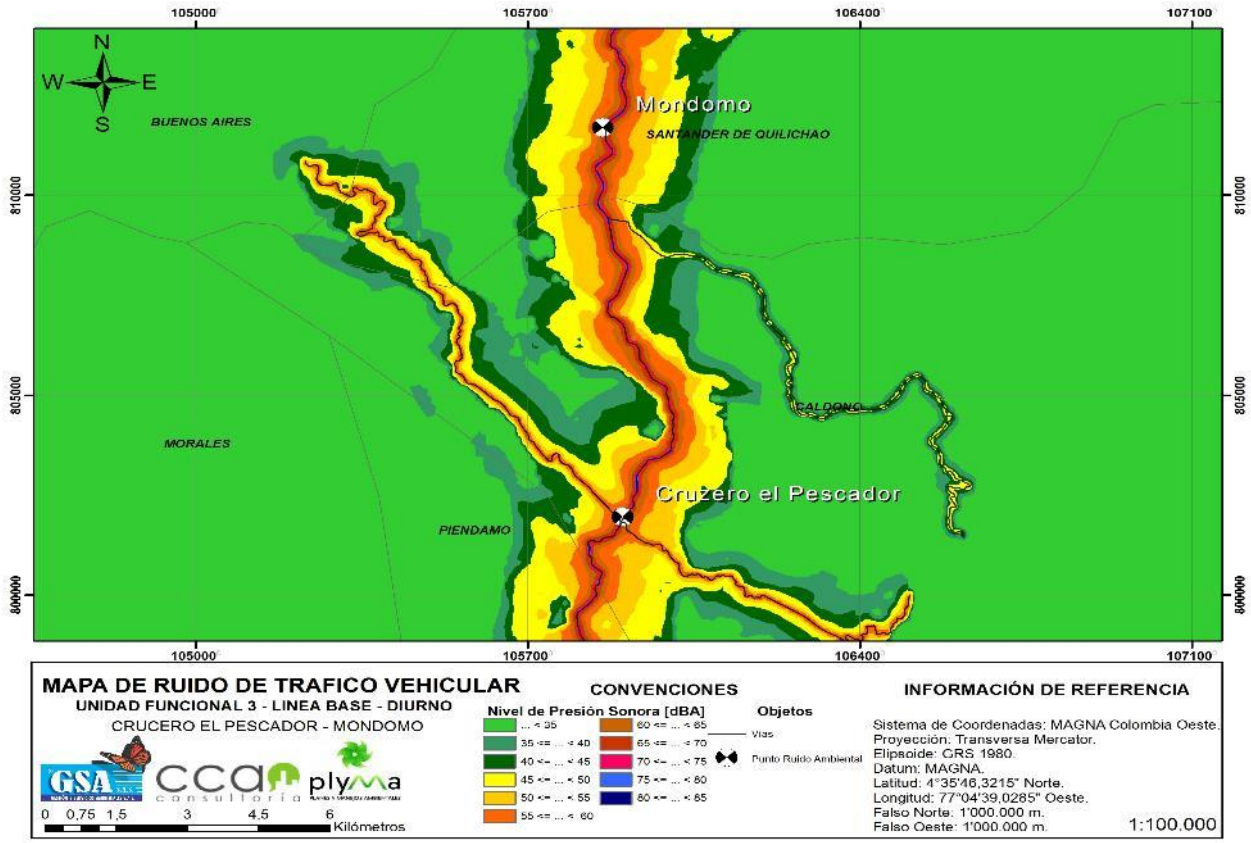


Figura 5.177 Mapa de ruido en representación raster – Línea base - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Diurno.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

B. Proyección 2020, Doble Calzada

A continuación, se presentan los mapas de ruido obtenidos para el escenario proyectado de la doble calzada de la vía panamericana en la Unidad Funcional 3. En estos se pueden observar los niveles de ruido generados por el flujo vehicular de la vía Panamericana para las dos calzadas en horario diurno.

- Curvas Isófonas

En la Figura 5.177 se presenta el mapa de ruido en representación de líneas isofónicas para el escenario proyectado de doble calzada de la Unidad Funcional 3 en horario diurno.

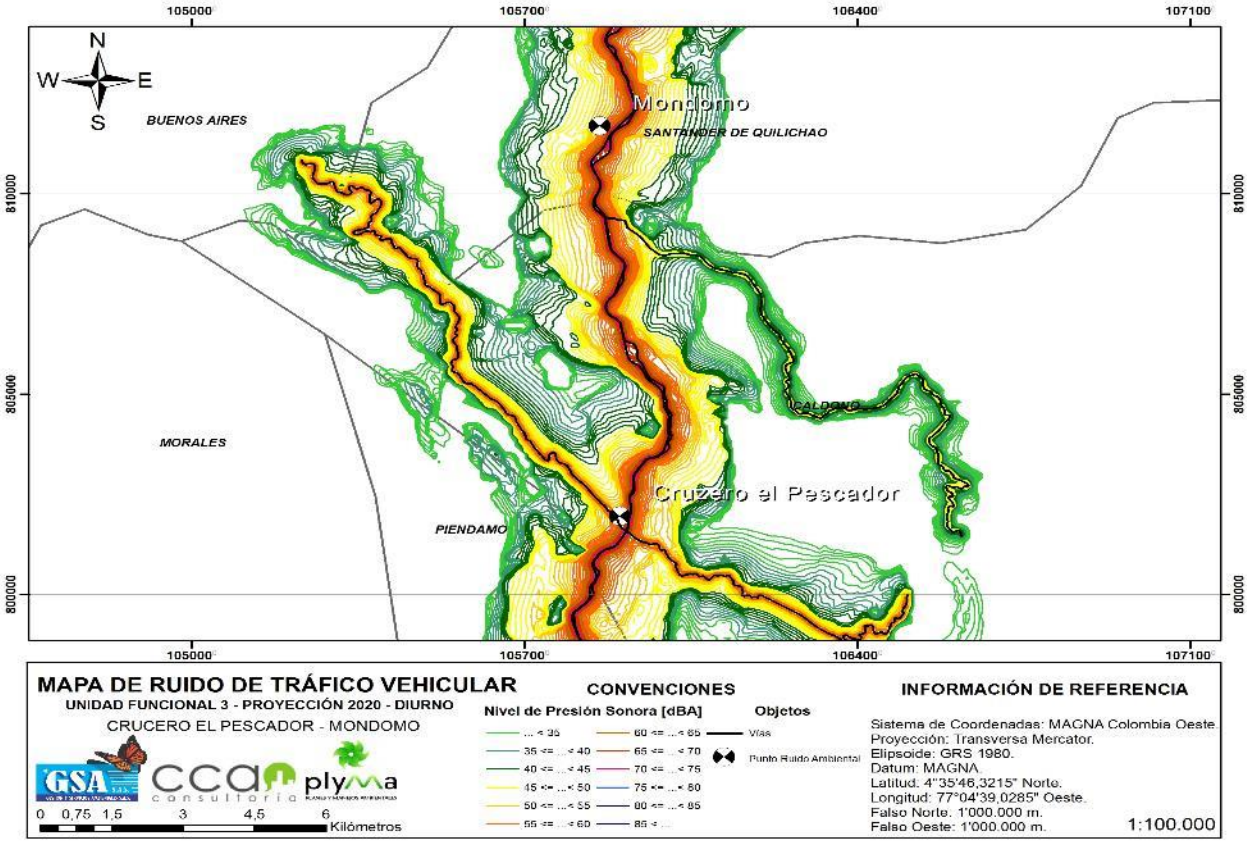


Figura 5.178 Mapa de ruido en representación de curvas isófonas - proyección Doble calzada Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Diurno.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

- Raster

En la Figura 5.179 se presenta el mapa de ruido en representación raster para el escenario proyectado de doble calzada de la Unidad Funcional 3 en horario diurno.

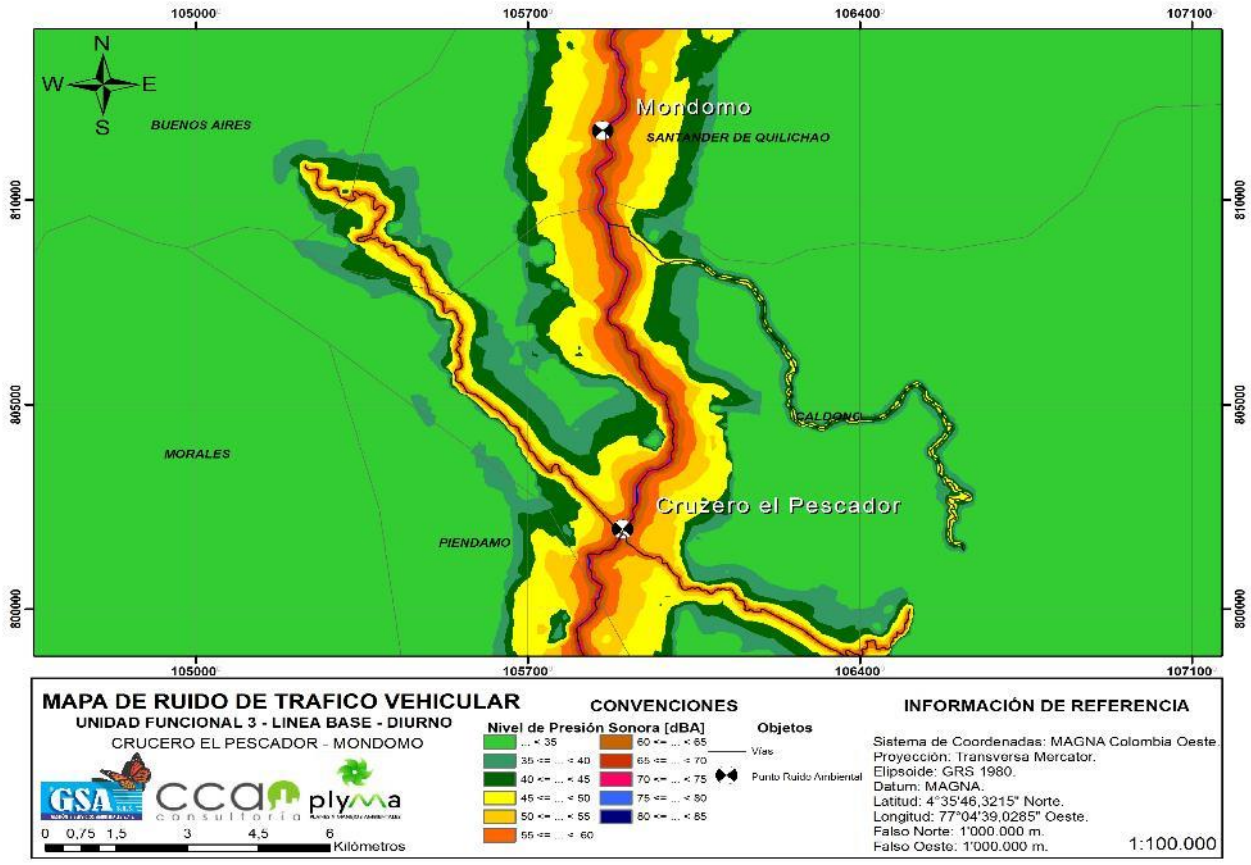


Figura 5.179. Mapa de ruido en representación raster – proyección Doble calzada - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Diurno.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

5.1.10.5.2 Horario Nocturno

A. Línea Base

A continuación, se presentan los mapas de ruido obtenidos para el escenario línea base en la Unidad Funcional 3. En estos se pueden observar los niveles de ruido generados por el flujo vehicular de la vía Panamericana para una sola calzada en horario Nocturno.

- Curvas Isófonas

En la Figura 5.180 se presenta el mapa de ruido en representación de líneas isofónicas para el escenario línea base de la Unidad Funcional 3 en horario Nocturno.

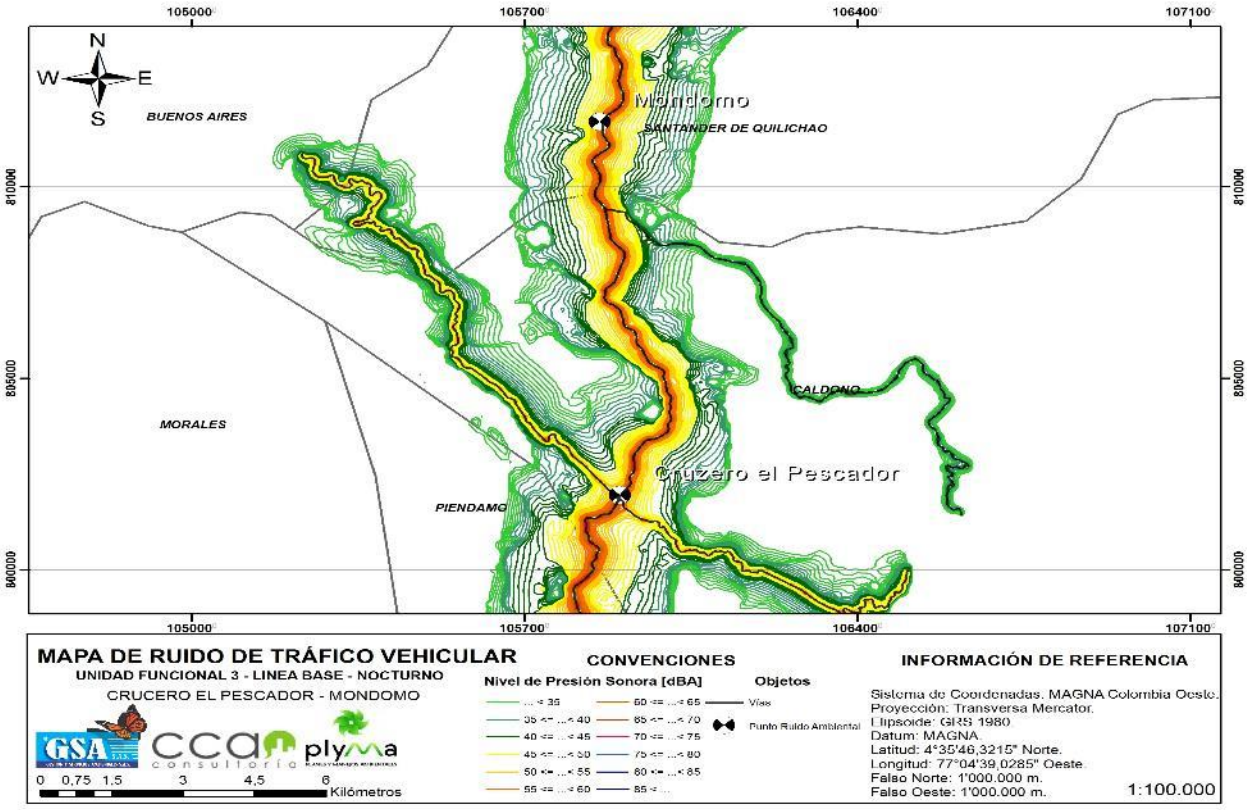


Figura 5.180 Mapa de ruido en representación de curvas isófonas - Línea base - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Nocturno.

Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

- Raster

En la Figura 5.181 se presenta el mapa de ruido en representación raster para el escenario línea base de la Unidad Funcional 3 en horario Nocturno.

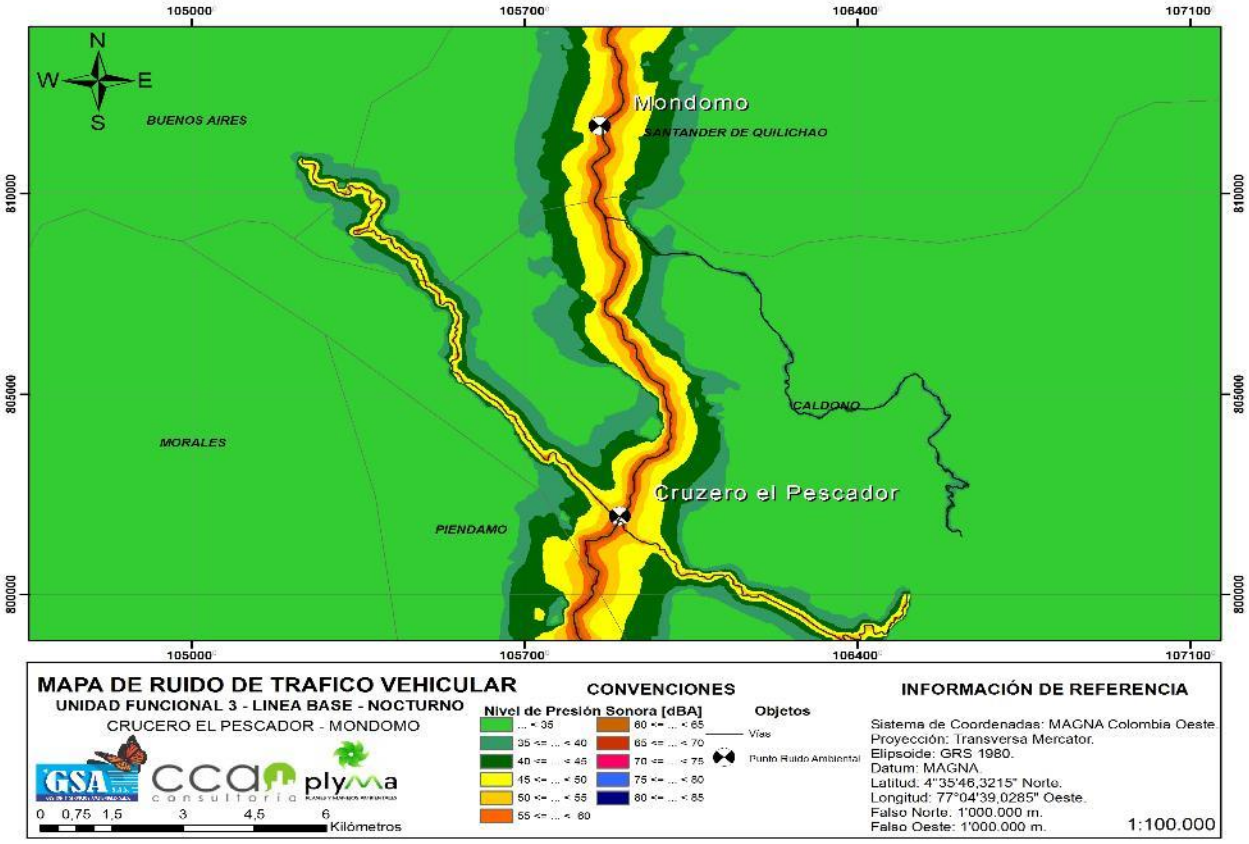


Figura 5.181 Mapa de ruido en representación raster – Línea base - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Nocturno.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

B. Proyección 2020, Doble Calzada

A continuación, se presentan los mapas de ruido obtenidos para el escenario proyectado de la doble calzada de la vía panamericana en la Unidad Funcional 3. En estos se pueden observar los niveles de ruido generados por el flujo vehicular de la vía Panamericana para las dos calzadas en horario Nocturno.

- Curvas Isófonas

En la Figura 5.182 se presenta el mapa de ruido en representación de líneas isofónicas para el escenario proyectado de doble calzada de la Unidad Funcional 3 en horario Nocturno.

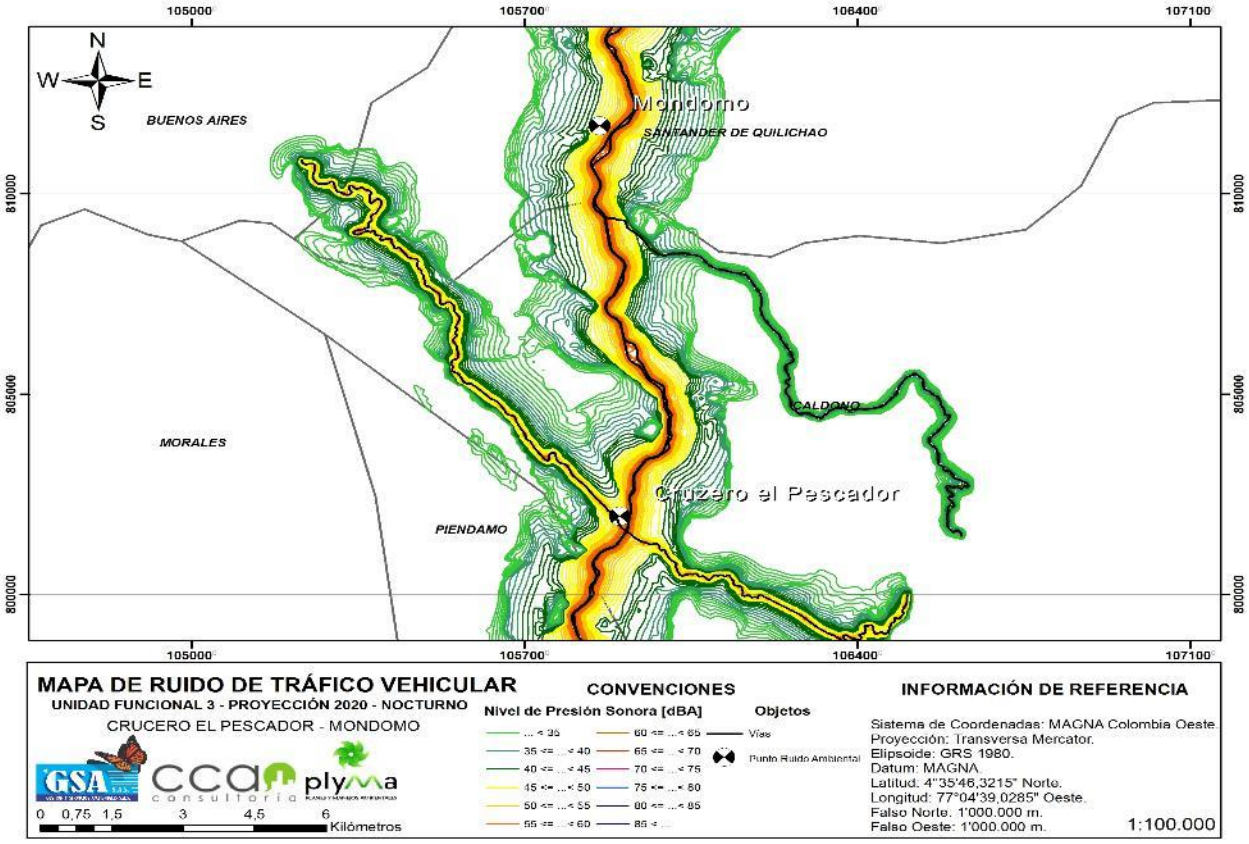


Figura 5.182 Mapa de ruido en representación de curvas isófonas - proyección Doble calzada Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Nocturno.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016

- Raster

En la Figura 5.183 se presenta el mapa de ruido en representación raster para el escenario proyectado de doble calzada de la Unidad Funcional 3 en horario Nocturno.

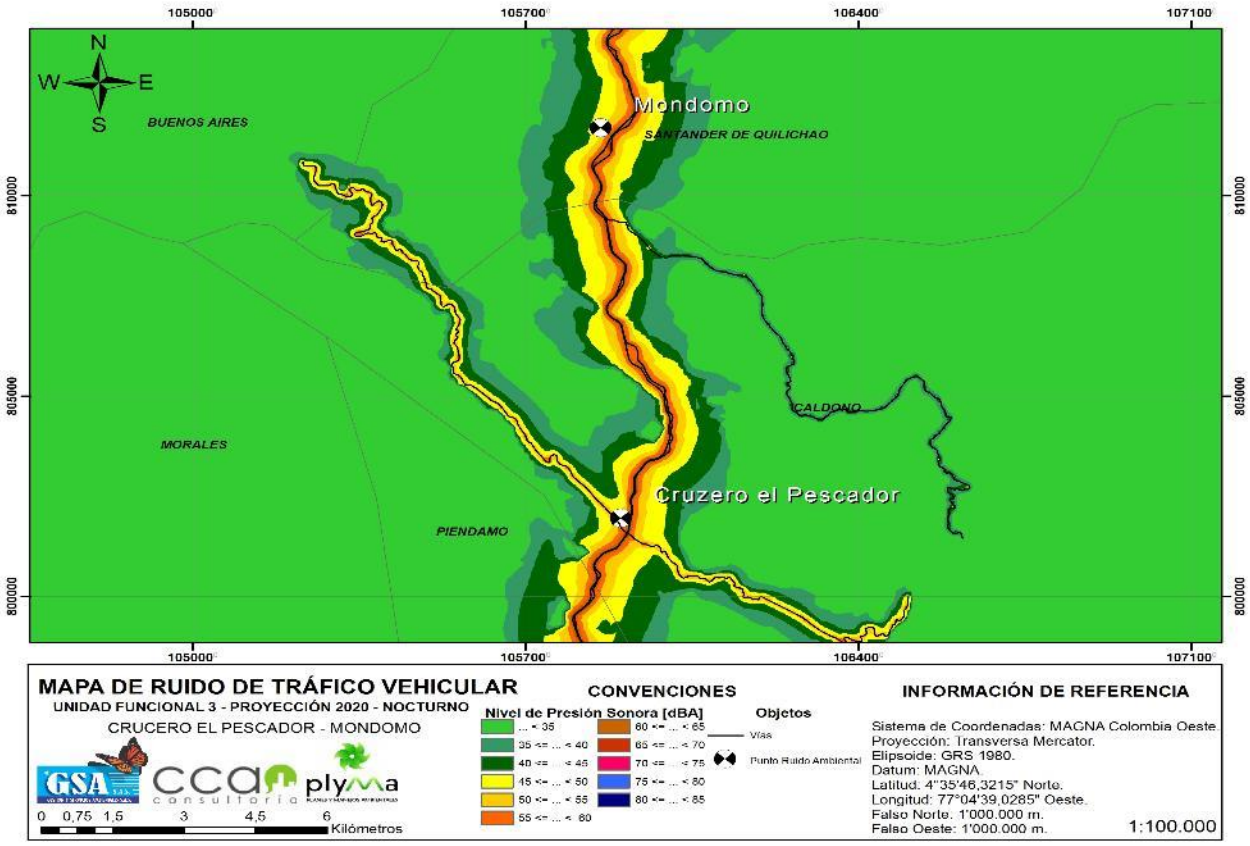


Figura 5.183 Mapa de ruido en representación raster - proyección Doble calzada - Unidad Funcional 3 (Crucero el Pescador - Mondomo) – Horario Nocturno.
Fuente: Consorcio CCA CONSULTORÍA – PLYMA., 2016