|  |
| --- |
| **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE PUERTO BERRÍO EN LOS DEPARTAMENTOS DE ANTIOQUIA Y SANTANDER** |
| **CAPÍTULO 5. caracterización del área de influencia del proyecto** |
| **CONCESIÓN AUTOPISTA RÍO MAGDALENA S.A.S** |
| **Bogotá D.C., marzo de 2016** |

TABLA DE CONTENIDO

[5. CARACTERÍZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA 18](#_Toc445280844)

[5.1. Medio Abiótico 18](#_Toc445280845)

[**5.1.1.** **Geología** 18](#_Toc445280846)

[5.1.1.1 Geología Regional 19](#_Toc445280847)

[5.1.1.2 Geología Local 21](#_Toc445280848)

[**5.1.2.** **Geomorfología** 32](#_Toc445280849)

[5.1.2.1 Geomorfología Regional 32](#_Toc445280850)

[5.1.2.2 Geomorfología Local 34](#_Toc445280851)

[5.1.2.3 Zonas Homogéneas 37](#_Toc445280852)

[5.1.3. Paisaje 42](#_Toc445280853)

[5.1.3.1 Características morfológicas del paisaje 42](#_Toc445280854)

[5.1.3.2 Características ecológicas del paisaje 47](#_Toc445280855)

[5.1.3.3 Percepción de la comunidad sobre el paisaje 49](#_Toc445280856)

[5.1.3.4 Definición cartográfica del paisaje 57](#_Toc445280857)

[**5.1.4.** **Suelos y uso de la tierra** 58](#_Toc445280858)

[5.1.4.1. Descripción de las unidades cartográficas y sus componentes cartográficos 58](#_Toc445280859)

[ Características de los componentes Taxonómicos suelos Typic Eutropepts 67](#_Toc445280860)

[5.1.4.2. Clasificación agrologica de las unidades encontradas en la Variante Puerto Berrío 75](#_Toc445280861)

[5.1.4.3. Clasificación de uso actual 77](#_Toc445280862)

[5.1.4.4. Clasificación de uso potencial 83](#_Toc445280863)

[5.1.4.5. Conflicto de uso 85](#_Toc445280864)

[**5.1.5.** **Hidrología** 91](#_Toc445280865)

[5.1.5.2 Sistemas Loticos. 94](#_Toc445280866)

[5.1.5.3 Sistemas Lénticos 106](#_Toc445280867)

[5.1.5.4 Patrones de drenaje a nivel regional 109](#_Toc445280868)

[5.1.5.5 Identificación y distribución de redes de drenaje 113](#_Toc445280869)

[5.1.5.6 Régimen hidrológico y de caudales característicos de las principales corrientes 116](#_Toc445280870)

[5.1.5.7 Zonas Inundables 136](#_Toc445280871)

[5.1.5.8 Análisis dinámica Fluvial del Río Magdalena 137](#_Toc445280872)

[**5.1.6.** **Calidad del Agua** 194](#_Toc445280873)

[5.1.6.1 Caracterización de la calidad del Río Magdalena en la zona de intervención. 195](#_Toc445280874)

[5.1.6.2 Caracterización de la calidad de las fuentes a captar 225](#_Toc445280875)

[**5.1.7.** **Uso del agua** 250](#_Toc445280876)

[5.1.7.1 Uso Pecuario 254](#_Toc445280877)

[5.1.7.1 Conflictos de uso 255](#_Toc445280878)

[**5.1.8** **Hidrogeología** 255](#_Toc445280879)

[5.1.8.1 Hidrogeología Regional 255](#_Toc445280880)

[5.1.8.2 Hidrogeología Local 273](#_Toc445280881)

[5.1.8.3 Vulnerabilidad interseca de los acuíferos a la contaminación 275](#_Toc445280882)

[5.1.8.4 Modelo Hidrogeológico Conceptual 286](#_Toc445280883)

[5.1.8.5 Modelo hidrogeológico numérico tridimensional del flujo de las aguas subterráneas 289](#_Toc445280884)

[5.1.8.6 Modelo numérico validado 300](#_Toc445280885)

[5.1.8.7 Medidas para la protección de la calidad del acuífero 301](#_Toc445280886)

[5.1.8.8 Diseño e implementación de las redes de monitoreo 302](#_Toc445280887)

[**5.1.9** **Geotecnia** 303](#_Toc445280888)

[5.1.9.1 Resultados 311](#_Toc445280889)

[5.1.9.2 Análisis de Resultados 313](#_Toc445280890)

[**5.1.10** **Atmósfera** 313](#_Toc445280891)

[5.1.10.1 Meteorología 314](#_Toc445280892)

[5.1.10.2 Fuentes de emisiones 337](#_Toc445280893)

[5.1.10.3 Calidad de Aire 341](#_Toc445280894)

[5.1.10.4 Ruido 356](#_Toc445280895)

[BIBLIOGRAFÍA 373](#_Toc445280896)

ÍNDICE DE TABLAS

[Tabla 5‑1 Geomorfología local. 34](#_Toc445281318)

[Tabla 5‑2 Criterios para la valoración de sitios de interés paisajístico 50](#_Toc445281319)

[Tabla 5‑3 Sitios de interés paisajístico y valoración asignada por comunidad del área del área de influencia del proyecto 53](#_Toc445281320)

[Tabla 5‑4 Unidades Cartográficas de Suelos encontradas en el área de influencia abiótica para el recurso suelo 59](#_Toc445281321)

[Tabla 5‑5 Clasificación de uso actual en el área de influencia abiótica para el recurso suelo 78](#_Toc445281322)

[Tabla 5‑6 Usos potenciales en el área de influencia del proyecto 83](#_Toc445281323)

[Tabla 5‑7 Tabla de relación de Usos Por Tipo y sus Conflictos 87](#_Toc445281324)

[Tabla 5‑8 Relación de estaciones hidrométricas 92](#_Toc445281325)

[Tabla 5‑9 Jerarquización de la Red Hidrográfica de las cuencas relacionadas con el AI del proyecto., según Decreto 1640 de 2012 96](#_Toc445281326)

[Tabla 5‑10 Cuencas del Área de influencia puntual o de intervencion 98](#_Toc445281327)

[Tabla 5‑11 Inventario de cuerpos lénticos AI 106](#_Toc445281328)

[Tabla 5.12 Parámetros para la clasificación de cuencas 114](#_Toc445281329)

[Tabla 5‑13 Identificación y distribución espacial de la red de drenaje del Área de influencia del proyecto 115](#_Toc445281330)

[Tabla 5.14 Estimación de caudales máximos del río Magdalena en Puerto Berrío 121](#_Toc445281331)

[Tabla 5.15 Estimación de caudales mínimos del río Magdalena en Puerto Berrío 122](#_Toc445281332)

[Tabla 5.16 Estimación de caudales máximos del río Carare, FNC Barrederos 125](#_Toc445281333)

[Tabla 5.17 Caudal mínimos del río Carare en la estación FNC Barrederos 126](#_Toc445281334)

[Tabla 5.18 Cálculo del balance hídrico climático de la estación Aero Puerto Berrío 133](#_Toc445281335)

[Tabla 5.19 Caudales medios identificados para los drenajes del área de influencia hídrica del proyecto (m3/s) 135](#_Toc445281336)

[Tabla 5‑20 Valores de caudal para diferentes probablidades de excedencia en estaciones del IDEAM 154](#_Toc445281337)

[Tabla 5‑21 Caudales de diseño del puente, estación Puerto Berrío 156](#_Toc445281338)

[Tabla 5‑22 Identificación de las Variables hidráulicas modeladas 165](#_Toc445281339)

[Tabla 5‑23 Características hidráulicas del río Magdalena, – Escenario Sin Puente, sección aguas abajo 166](#_Toc445281340)

[Tabla 5‑24 Características hidráulicas del río Magdalena, – Escenario Sin Puente, sección aguas arriba 166](#_Toc445281341)

[Tabla 5‑25 Características hidráulicas del río Magdalena, – Escenario Con Puente, sección aguas arriba 169](#_Toc445281342)

[Tabla 5‑26 Características hidráulicas del río Magdalena, – Escenario Con Puente, sección aguas abajo 169](#_Toc445281343)

[Tabla 5‑27 Técnicas empleadas en el análisis *in situ* 195](#_Toc445281344)

[Tabla 5‑28 Tipo de recipiente y preservarte utilizado para análisis por parámetro 196](#_Toc445281345)

[Tabla 5‑29. Inventario de puntos de monitoreo 198](#_Toc445281346)

[Tabla 5‑30 Descripción de los puntos de monitoreo sobre el Río Magdalena 200](#_Toc445281347)

[Tabla 5‑31 Resultados in situ monitoreo fisicoquímico 204](#_Toc445281348)

[Tabla 5‑32 Resultados de laboratorio monitoreo fisicoquímico 210](#_Toc445281349)

[Tabla 5‑33 Contaminación del agua según el valor del índice de contaminación 221](#_Toc445281350)

[Tabla 5‑34. Clasificación según el índice de contaminación trófico 223](#_Toc445281351)

[Tabla 5‑35 Índices de contaminación ICO’s 224](#_Toc445281352)

[Tabla 5‑36 Estaciones de muestreo para calidad de agua 226](#_Toc445281353)

[Tabla 5‑37 Técnicas usadas para los parámetros analizados en cada muestra 228](#_Toc445281354)

[Tabla 5‑38 Criterios de calidad para el uso del recurso hídrico según la legislación nacional 231](#_Toc445281355)

[Tabla 5‑39. Mediciones de temperatura en las estaciones del área de influencia del proyecto 235](#_Toc445281356)

[Tabla 5‑40 Mediciones de pH en las estaciones del área de influencia del proyecto 236](#_Toc445281357)

[Tabla 5‑41. Mediciones de pH en 24 estaciones del área de influencia del proyecto 237](#_Toc445281358)

[Tabla 5‑42. Mediciones de conductividad medidas en campo en las estaciones del área de influencia del proyecto 237](#_Toc445281359)

[Tabla 5‑43. Mediciones de DBO5 y DQO para las estaciones del área de influencia del proyecto 238](#_Toc445281360)

[Tabla 5‑44 Mediciones de color verdadero y turbiedad para las estaciones del área de influencia del proyecto 239](#_Toc445281361)

[Tabla 5‑45 Mediciones de Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Sedimentables (SS) para las estaciones del área de influencia del proyecto 240](#_Toc445281362)

[Tabla 5‑46 Mediciones de Acidez, Alcalinidad Total, Dureza Cálcica y Dureza Total, para las estaciones del área de influencia del proyecto 241](#_Toc445281363)

[Tabla 5‑47 Mediciones de nutrientes para las estaciones del área de influencia del proyecto 242](#_Toc445281364)

[Tabla 5‑48 Mediciones de fenoles totales para las estaciones del área de influencia del proyecto 242](#_Toc445281365)

[Tabla 5‑49 Mediciones de grasas y aceites para las estaciones del área de influencia del proyecto 243](#_Toc445281366)

[Tabla 5‑50. Mediciones de 11 metales en las estaciones del área de influencia del proyecto 247](#_Toc445281367)

[Tabla 5‑51 Mediciones de Coliformes Totales (CTT) y *Escherichia coli* para las estaciones del área de influencia del proyecto 248](#_Toc445281368)

[Tabla 5‑52 Listado de Fuentes Hídricas Susceptibles de Intervención. 250](#_Toc445281369)

[6. Tabla 5‑53 Captación de cuerpos superficiales-Uso Doméstico 250](#_Toc445281370)

[Tabla 5‑54 Usos –Usuarios en el Área de Influencia del Proyecto 252](#_Toc445281371)

[Tabla 5‑55 Localización de los SEVs 262](#_Toc445281372)

[Tabla 5‑56 Resultados e Interpretación de los SEVs 266](#_Toc445281373)

[Tabla 5‑57 Parámetros hidrogeológicos obtenidos 269](#_Toc445281374)

[Tabla 5‑58 Tipo de Acuífero 270](#_Toc445281375)

[Tabla 5‑59 Localización de los Puntos de Agua Subterránea identificados 274](#_Toc445281376)

[Tabla 5‑60 Localización de los Puntos de Agua Subterránea identificados 275](#_Toc445281377)

[Tabla 5‑61 Rangos y valores de los parámetros (Modificado de Aller et Al., 1987 en CCE-MOPTMA, 1994) 277](#_Toc445281378)

[Tabla 5‑62 Valores típicos de Conductividad Hidráulica 297](#_Toc445281379)

[Tabla 5‑63 Conductividad Hidráulica asignada a cada formación 297](#_Toc445281380)

[Tabla 5‑64 Parámetros de transporte ingresados en el modelo numérico 298](#_Toc445281381)

[Tabla 5‑65 Niveles Freáticos medidos en campo 300](#_Toc445281382)

[Tabla 5‑66 Features utilizados en la GDB de Variante 303](#_Toc445281383)

[Tabla 5‑67 Clasificación por unidad geológica 304](#_Toc445281384)

[Tabla 5‑68 Características Y Usos De Los Suelos (Sucs, 1952) 304](#_Toc445281385)

[Tabla 5‑69 Clasificación según la erosión del suelo 305](#_Toc445281386)

[Tabla 5‑70 Clasificación por pendiente del suelo 306](#_Toc445281387)

[Tabla 5‑71 Clasificación por geomorfología 307](#_Toc445281388)

[Tabla 5‑72 Clasificación determinada por fallas en el terreno 307](#_Toc445281389)

[Tabla 5‑73 Clasificación determinada por piso térmico 308](#_Toc445281390)

[Tabla 5‑74 Clasificación determinada por amenazas en el área de influencia del proyecto 308](#_Toc445281391)

[Tabla 5‑75 Clasificación según las zonas de inundación 309](#_Toc445281392)

[Tabla 5‑76 Clasificación por susceptibilidad de la estabilidad del terreno en el AI 310](#_Toc445281393)

[Tabla 5‑77 Estructura Lógica de Cualificación de la Aptitud Frente a la Estabilidad del Terreno 311](#_Toc445281394)

[Tabla 5‑78 Resultados generales 311](#_Toc445281395)

[Tabla 5‑79 Valores medios mensuales de temperatura a partir de registros del periodo 1975 – 2014 de la estación Apto. Pto Berrío 314](#_Toc445281396)

[Tabla 5‑80 Valores medios mensuales de presión atmosférica a partir de registros del periodo 1975 – 2014 de la estación Apto. Pto Berrío 317](#_Toc445281397)

[Tabla 5‑81 Valores medios mensuales de precipitación a partir de registros del periodo 1975 – 2014 de la estación Apto. Pto Berrío 318](#_Toc445281398)

[Tabla 5‑82 Valores medios mensuales de humedad relativa a partir de registros del periodo 1975 – 2013 de la estación Apto. Pto Berrío 320](#_Toc445281399)

[Tabla 5‑83 Valores medios mensuales de brillo solar a partir de registros del periodo 1975 – 2013 de la estación Apto. Pto Berrío 321](#_Toc445281400)

[Tabla 5‑84 Valores medios mensuales de nubosidad a partir de registros del periodo 1975 – 2013 de la estación Apto. Pto Berrío 322](#_Toc445281401)

[Tabla 5‑85 Definición de octas para categorizar el estado del tiempo 322](#_Toc445281402)

[Tabla 5‑86 Valores medios mensuales de evaporación a partir de registros del periodo 1975 – 2013 de la estación Apto. Pto Berrío 323](#_Toc445281403)

[Tabla 5‑87 Limites expuestos por Caldas 325](#_Toc445281404)

[Tabla 5‑88 Clasificación según el índice de (P/T) Expuesto por Lang 326](#_Toc445281405)

[Tabla 5‑89 Tipos climáticos modelo Caldas – Lang 326](#_Toc445281406)

[Tabla 5‑90 Clasificación Climática- Modelo de Caldas - Lang – Estaciones meteorológicas del área de estudio. 327](#_Toc445281407)

[Tabla 5‑91 Estaciones utilizadas en el estudio 328](#_Toc445281408)

[Tabla 5‑92 Balance Hídrico Mensual - Puerto Berrio 331](#_Toc445281409)

[Tabla 5‑93 Escala de velocidad del viento - Beaufort 335](#_Toc445281410)

[Tabla 5‑94 Consolidado resultados PM10 en las estaciones evaluadas 341](#_Toc445281411)

[Tabla 5‑95 Consolidado resultados PM10 en las estaciones evaluadas 344](#_Toc445281412)

[Tabla 5‑96 Parámetros estadísticos estaciones de Calidad del Aire evaluadas para PM10 345](#_Toc445281413)

[Tabla 5‑97 Consolidado Resultados de NO2 347](#_Toc445281414)

[Tabla 5‑98 Consolidado Resultados de SO2 349](#_Toc445281415)

[Tabla 5‑99 Convenciones índice de Calidad del Aire 350](#_Toc445281416)

[Tabla 5‑100 Índice de Calidad de Aire 352](#_Toc445281417)

[Tabla 5‑101 Valores índice de calidad de aire 352](#_Toc445281418)

[Tabla 5‑102 Fuentes identificadas en cada punto durante el periodo de medición 357](#_Toc445281419)

[Tabla 5‑103 Fechas de monitoreo de ruido ambiental 358](#_Toc445281420)

[Tabla 5‑104 Consolidado de resultados de medición- Ordinario 360](#_Toc445281421)

[Tabla 5‑105 Consolidado ajustes (KT) – Ordinario 360](#_Toc445281422)

[Tabla 5‑106 Resultados de Ruido ambiental ordinario 361](#_Toc445281423)

[Tabla 5‑107 Consolidado de resultados de medición-Dominical 365](#_Toc445281424)

[Tabla 5‑108 Consolidado ajustes (KT) – Dominical 365](#_Toc445281425)

[Tabla 5‑109 Resultados de Ruido ambiental- Dominical 366](#_Toc445281426)

[Tabla 5‑110 Promedio logarítmico de niveles de presión sonora 370](#_Toc445281427)

ÍNDICE DE FIGURAS

[Figura 5.1 Columna estratigráfica generalizada 20](#_Toc445281007)

[Figura 5.2 Geología Regional Unidad Funcional 4 22](#_Toc445281008)

[Figura 5.3 Mapa Geológico del Área del Proyecto 23](#_Toc445281009)

[Figura 5.4 Geología para el área de estudio. 32](#_Toc445281010)

[Figura 5.5 Unidades Geomorfológicas 1-3 . 36](#_Toc445281011)

[Figura 5.6 Mapa de Unidades Geomorfológicas 2-3. 36](#_Toc445281012)

[Figura 5.7 Mapa de Unidades Geomorfológicas 3-3. 37](#_Toc445281013)

[Figura 5.8 Mapa de paisaje para el área de influencia del proyecto de construcción de la variante Puerto Berrío 58](#_Toc445281014)

[Figura 5.9 Mapa de Uso Actual del Suelo 1-3 en el área de influencia del proyecto 79](#_Toc445281015)

[Figura 5.10 Mapa de Uso Actual del Suelo 2 -3 en el área de influencia del proyecto 79](#_Toc445281016)

[Figura 5.11 Mapa de Uso Actual del Suelo 3-3 en el área de influencia del proyecto 80](#_Toc445281017)

[Figura 5.12 Mapa de Uso Potencial 1-3 del área de influencia del proyecto 84](#_Toc445281018)

[Figura 5.13 Mapa de Uso Potencial 2-3 del área de influencia del proyecto 84](#_Toc445281019)

[Figura 5.14 Mapa de Uso Potencial 3-3 del área de influencia del proyecto 85](#_Toc445281020)

[Figura 5.15 Mapa de Conflictos de uso 1-3 de la tierra en el área de influencia del proyecto 88](#_Toc445281021)

[Figura 5.16 Mapa de Conflictos de uso 2-3 de la tierra en el área de influencia del proyecto 89](#_Toc445281022)

[Figura 5.17 Mapa de Conflictos de uso 3-3 de la tierra en el área de influencia del proyecto 89](#_Toc445281023)

[Figura 5.18 Cuencas identificadas AI del proyecto 94](#_Toc445281024)

[Figura 5.19 Cuencas identificadas AI del proyecto 98](#_Toc445281025)

[Figura 5.20 Perfil de la cuenca del río Magadlena 101](#_Toc445281026)

[Figura 5.21 Sistema hídrico del río Magdalena 102](#_Toc445281027)

[Figura 5.22 Patrón de drenaje dendrítico 112](#_Toc445281028)

[Figura 5.23 Patrones de drenaje identificados para el área de influencia del proyecto 113](#_Toc445281029)

[Figura 5.24 Distribución de caudales medios del río Magdalena en la estación Puerto Berrío. 119](#_Toc445281030)

[Figura 5.25 Curva de Duración de Caudales del río Magdalena, estación Puerto Berrío 121](#_Toc445281031)

[Figura 5.26. Caudales máximos en el río Magdalena, estación Puerto Berrío 122](#_Toc445281032)

[Figura 5.27. Caudales mínimos en el río Magdalena, estación Puerto Berrío 123](#_Toc445281033)

[Figura 5.28 Distribución de Caudales medios mensuales multianuales en el río Carare 124](#_Toc445281034)

[Figura 5.29. Curva de Duración de Caudales del río Carare, estación FN Barrederos 125](#_Toc445281035)

[Figura 5.30. Caudales máximos en el río Carare, estación FNC Barrederos 126](#_Toc445281036)

[Figura 5.31. Caudales mínimos en el río Carare, estación FNC Barrederos 127](#_Toc445281037)

[Figura 5.32 Curva de Duración de Caudales de la quebrada Sandovala 128](#_Toc445281038)

[Figura 5.33 Caudales Mínimos de la quebrada Sandovala 128](#_Toc445281039)

[Figura 5.34. Caudales Mínimos de la quebrada Sandovala 129](#_Toc445281040)

[Figura 5.35 Curva de Duración de Caudales de la quebrada Sandovala 130](#_Toc445281041)

[Figura 5.36 Distribución de Caudales medios y mínimos anuales en la quebrada Malena 130](#_Toc445281042)

[Figura 5.37 Caudales Mínimos de la quebrada Malena 131](#_Toc445281043)

[Figura 5.38. Caudales Máximos de la quebrada Malena 131](#_Toc445281044)

[Figura 5.39 Balance hídrico de la estación Aero Puerto Berrío 133](#_Toc445281045)

[Figura 5.21 . Ubicación del sector evaluado del río Magdalena, comprendido entre el Puente Monumental de Puerto Berrío (ruta nacional 62, en amarillo) y el tramo vial UF4 (en línea punteada roja, de 14.5 km) del proyecto Autopista al Río Magdalena 2. 138](#_Toc445281046)

[Figura 5.22 Mapa tectónico de la parte norte de Suramérica, con flechas indicando su dirección y tasas de movimiento (mm/año). El bloque Andino y los valles intramontanos de Colombia se relacionan a la confluencia de tres placas tectónicas, las cuales originaron además de la orogénesis, la actividad volcánica, el fallamiento (líneas negras) y su importante actividad sísmica, y recursos minero-energéticos. La estrella roja ubica el sector estudiado. 139](#_Toc445281047)

[Figura 5.23 Detalle de la geología del departamento de Antioquia. La estrella verde ubica a Puerto Berrío (sobre rocas de la Formación Mesa, Ngm); y en óvalo anaranjado al sector vial (UF4) estudiado, del proyecto Autopista al Río Magdalena 2, dentro de la unidad Qal. 141](#_Toc445281048)

[Figura 5.24 Fragmento del mapa geológico de santander. Se señala el sector de estudio (estrella roja), sobre rocas de la unidad Qal. 141](#_Toc445281049)

[Figura 5.25 Imagen satelital U.S.G.S. a color del 12-31-1969 del río Magdalena, en inmediaciones de las dos áreas urbanas de influencia. En trazo rojo la vía proyectada y en líneas negras las anchuras de control medidas sobre el cauce. 148](#_Toc445281050)

[Figura 5.26 Imagen DigitalGlobe-U.S.G.S. que muestra la morfología del cauce del río Magdalena observada el 6-12-2011, con la vía proyectada en trazo rojo. Note que las anchuras de control del cauce han disminuido, significando una migración del río hacia la margen derecha. 151](#_Toc445281051)

[Figura 5.27 Caudales medios mensuales multianuales estación Puerto Berrío 153](#_Toc445281052)

[Figura 5.28 Curva de duración de caudales medios diarios estación Puerto Berrío 155](#_Toc445281053)

[Figura 5.29 Análisis de frecuencias de caudales máximos (Estación Puerto Berrío (23097030) 156](#_Toc445281054)

[Figura 5.30 Levantamiento tipográfico de detalle y zonificación de área de igual altura 162](#_Toc445281055)

[Figura 5.31 Generación de un modelo plano de elevaciones a partir de la nube de puntos 162](#_Toc445281056)

[Figura 5.32 Generación del modelo digital de terreno (MDT) final 163](#_Toc445281057)

[Figura 5.33 . Perfil longitudinal del río Magdalena – escenario Actual 167](#_Toc445281058)

[Figura 5.34 Sección hidráulica del río Magdalena – Escenario actual, sitio de cruce 168](#_Toc445281059)

[Figura 5.35 Perfil longitudinal del río Magdalena – escenario Futuro 170](#_Toc445281060)

[Figura 5.36 Sección transversal hidráulica del río Magdalena, sector de Puente proyectado 171](#_Toc445281061)

[Figura 5.37 Perfil hidráulico de la sección del río Magdalena, sector de cruce del puente actual 172](#_Toc445281062)

[Figura 5.38 Vista en perspectiva del modelamiento hidráulico del río Magdalena, sector de Puente proyectado 174](#_Toc445281063)

[Figura 5.39 Mapa de inundación para el caudal medio 175](#_Toc445281064)

[Figura 5.40 Mapa de inundación para creciente de Tr 2,33 años 176](#_Toc445281065)

[Figura 5.41 Mapa de inundación para creciente de Tr 100 años 177](#_Toc445281066)

[Figura 5.42 Mapa de profundidades para el caudal medio 178](#_Toc445281067)

[Figura 5.43 Mapa de profundidades para Tr2,33 años 179](#_Toc445281068)

[Figura 5.44 Mapa de profundidades para Tr100 años 180](#_Toc445281069)

[Figura 5.45 Transporte de sedimentos medios mensuales - estación Puerto Berrío 182](#_Toc445281070)

[Figura 5.46 Transporte de sedimentos medios mensuales para las principales estaciones entre Salgar y Barrancabermeja 183](#_Toc445281071)

[Figura 5.47 Transporte de sedimentos medios mensuales para las principales estaciones entre Salgar y Berrío 183](#_Toc445281072)

[Figura 5.48 Dinámica fluvial sector Puerto Salgar - Puerto Berrío 186](#_Toc445281073)

[Figura 5.49 Dinámica fluvial sector Puerto Berrío – Barrancabermeja 187](#_Toc445281074)

[Figura 5.50 Planta perfil del nuevo puente sobre el río Magdalena 188](#_Toc445281075)

[Figura 5.51 Perfil de socavación general aguas abajo de la estructura Escenario Con Puente 191](#_Toc445281076)

[Figura 5.52 Perfil de socavación general aguas abajo del cruce proyectado, Escenario Sin puente 191](#_Toc445281077)

[Figura 5.53 Perfil de socavación general aguas abajo de la estructura Escenario Con Puente 194](#_Toc445281078)

[Figura 5.54. Localización de puntos de monitoreo 199](#_Toc445281079)

[Figura 5.55. Unidades de Ph 206](#_Toc445281080)

[Figura 5.56 Temperatura 207](#_Toc445281081)

[Figura 5.57 Conductividad 208](#_Toc445281082)

[Figura 5.58 Saturación de oxígeno 209](#_Toc445281083)

[Figura 5.59 Acidez y alcalinidad total 212](#_Toc445281084)

[Figura 5.60 DBO5 y DQO 214](#_Toc445281085)

[Figura 5.61. Sólidos 217](#_Toc445281086)

[Figura 5.62 Coliformes fecales y totales 220](#_Toc445281087)

[Figura 5.63 Localización general de los puntos de muestreo para calidad de agua 227](#_Toc445281088)

[Figura 5.64 Clasificación Unidades Hidrogeológicas – Variante Puerto Berrio 259](#_Toc445281089)

[Figura 5.65 Unidades Hidrogeológicas Identificadas para el proyecto 260](#_Toc445281090)

[Figura 5.66 Zona de estudio. Variante Puerto Berrio 261](#_Toc445281091)

[Figura 5.67 Líneas de flujo – Zonas de estudio Variante Puerto Berrio 262](#_Toc445281092)

[Figura 5.68 Esquema de un Sondeo Eléctrico: a medida que se abre la distancia AB aumenta la profundidad de investigación 264](#_Toc445281093)

[Figura 5.69 Equipo GEOSYSTEM RC7 265](#_Toc445281094)

[Figura 5.70 Puntos inventariados de agua subterránea 274](#_Toc445281095)

[Figura 5.71 Secciones Usadas para evaluar la metodología D.R.A.S.T.I.C, las secciones cubren el dominio hidrogeológico de la vía. 282](#_Toc445281096)

[Figura 5.72 Mapa de vulnerabilidad general del trazado de la vía. 283](#_Toc445281097)

[Figura 5.73 Mapa de vulnerabilidad a pesticidas del trazado de la vía. 284](#_Toc445281098)

[Figura 5.74 Vista en planta de la evolución de tres puntos de contaminantes sobre el proyecto de la construcción de la Variante Puerto Berrio 285](#_Toc445281099)

[Figura 5.75 Evolución o dispersión del soluto para el proyecto Variante Puerto Berrio 286](#_Toc445281100)

[Figura 5.76 Balance hídrico zona de estudio. 287](#_Toc445281101)

[Figura 5.77 Líneas de flujo 288](#_Toc445281102)

[Figura 5.78 Simulación de problemas de transporte de masa (DHI - WASY, 2013) 290](#_Toc445281103)

[Figura 5.79 Delimitación de propiedades de los DEF 291](#_Toc445281104)

[Figura 5.80 Planos de fracturas y zonas de Kars (DHI - WASY, 2013) 292](#_Toc445281105)

[Figura 5.81 Enmallado complejo en Feflow ( (DHI - WASY, 2013) 293](#_Toc445281106)

[Figura 5.82 Supermesh Feflow del dominio del modelo de Puerto Berrio 294](#_Toc445281107)

[Figura 5.83 Enmallado por elementos finitos y comprobación de ángulos internos en Feflow 294](#_Toc445281108)

[Figura 5.84 Condiciones de contorno de tipo Dirichlet para flujo. 295](#_Toc445281109)

[Figura 5.85 Resultados transporte de contaminantes Condiciones de contorno de tipo Dirichlet para transporte de masa y puntos de concentración del soluto sobre la variante 296](#_Toc445281110)

[Figura 5.86 Conductividad hidráulica – Capas modelo numérico 298](#_Toc445281111)

[Figura 5.87 Resultados Flujo estacionario 299](#_Toc445281112)

[Figura 5.88 Resultados Transporte de contaminantes 300](#_Toc445281113)

[Figura 5.89 Validación de la carga hidráulica 301](#_Toc445281114)

[Figura 5.90 Puntos de monitoreo recomendados 302](#_Toc445281115)

[Figura 5.91 Porcentaje de estabilidad geotécnica 312](#_Toc445281116)

[Figura 5.92 Porcentaje de susceptibilidad geotécnica 312](#_Toc445281117)

[Figura 5.93 Gráfica lineal de frecuencia para las temperaturas registradas en la estación Apto. Pto Berrío 315](#_Toc445281118)

[Figura 5.94 Isotermas área de desarrollo del proyecto (Ver Anexos/Información cartográfica/Otros) 316](#_Toc445281119)

[Figura 5.95 Gráfica lineal de frecuencia para los valores de presión atmosférica registrados en la estación Apto. Pto Berrío 317](#_Toc445281120)

[Figura 5.96 Gráfica lineal de frecuencia media e histograma para los valores de precipitación registrados en las estaciones Apto. Pto Berrío y Virginias 318](#_Toc445281121)

[Figura 5.97 Isoyetas área de desarrollo del proyecto (Ver Anexos/Información catográfica/Otros) 319](#_Toc445281122)

[Figura 5.98 Gráfica lineal de frecuencia para los valores de humedad relativa registrados en la estación Apto. Pto Berrío. 320](#_Toc445281123)

[Figura 5.99 Gráfica lineal de frecuencia para los valores de brillo solar registrados en la estación Apto. Pto Berrío. 321](#_Toc445281124)

[Figura 5.100 Gráfica lineal de frecuencia para los valores de nubosidad registrados en la estación Apto. Pto Berrío. 323](#_Toc445281125)

[Figura 5.101 Gráfica lineal de frecuencia para los valores de evaporación registrados en la estación Apto. Pto Berrío. 324](#_Toc445281126)

[Figura 5.102 Series de precipitación mensual multianual y temperatura 329](#_Toc445281127)

[Figura 5.103 Velocidad del viento promedio diaria 332](#_Toc445281128)

[Figura 5.104 Velocidad del viento promedio horaria 333](#_Toc445281129)

[Figura 5.105 Velocidad promedio del viento 334](#_Toc445281130)

[Figura 5.106 Rosa de Vientos- Estación meteorológica la Estela 335](#_Toc445281131)

[Figura 5.107 Distribución de frecuencia por clase de vientos 336](#_Toc445281132)

[Figura 5.108 Fuentes de emisiones identificadas en el AI 337](#_Toc445281133)

[Figura 5.109 Vía terciara presente en el área de influencia del proyecto 339](#_Toc445281134)

[Figura 5.110 Fuentes móviles en la abscisa K 0+000; Punto de conexión de la variante Puerto Berrío con la Ruta Nacional 62 340](#_Toc445281135)

[Figura 5.111 Fuentes móviles y ausencia de receptores en la abscisa K 14+500. Punto de conexión con la Ruta Nacional 62. 340](#_Toc445281136)

[Figura 5.112 Resultados de PM10 vs norma diaria 343](#_Toc445281137)

[Figura 5.113 Concentraciones promedio PM10 vs norma anual 344](#_Toc445281138)

[Figura 5.114 Diagrama de cajas de contaminantes evaluados – PM10 346](#_Toc445281139)

[Figura 5.115 Resultados de NO2 vs norma diaria 348](#_Toc445281140)

[Figura 5.116 Resultados de SO2 vs norma diaria 350](#_Toc445281141)

[Figura 5.117 Índice de calidad del Aire 354](#_Toc445281142)

[Figura 5.118 Ubicación de puntos de medición de ruido ambiental 359](#_Toc445281143)

[Figura 5.119 Resultados de Ruido Ambiental horario diurno – Día Ordinario 363](#_Toc445281144)

[Figura 5.120 Resultados de Ruido Ambiental horario nocturno – Día Ordinario 363](#_Toc445281145)

[Figura 5.121 Curvas Isoruido horario diurno – Día Ordinario 364](#_Toc445281146)

[Figura 5.122 Curvas Isoruido horario diurno – Día Ordinario 364](#_Toc445281147)

[Figura 5.123 Resultados de Ruido Ambiental horario diurno – Día Dominical 367](#_Toc445281148)

[Figura 5.124 Resultados de Ruido Ambiental horario nocturno – Día Dominical 368](#_Toc445281149)

[Figura 5.125 Curvas Isoruido horario diurno – Día Dominical 369](#_Toc445281150)

[Figura 5.126 Curvas Isoruido horario diurno – Día Dominical 369](#_Toc445281151)

[Figura 5.127 Promedio logarítmico de los niveles de presión sonora 370](#_Toc445281152)

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

[Fotografía 5‑1 Contacto entre la formación Mesa y el Grupo Volcanico La Malena 24](#_Toc445281429)

[Fotografía 5‑2 Morfología característica Formación Mesa 25](#_Toc445281430)

[Fotografía 5‑3 Capas de arcillolitas con estratificación plano paralela de la formación mesa 26](#_Toc445281431)

[Fotografía 5‑4 Niveles conglomeráticos (oxidados) entre capas de arcillolítas, Formación Mesa 26](#_Toc445281432)

[Fotografía 5‑5 Niveles de arenita conglomeratica con niveles conglomeraticos. Formación Mesa 27](#_Toc445281433)

[Fotografía 5‑6 Niveles de Conglomerados matriz soportados, Formación Mesa. 28](#_Toc445281434)

[Fotografía 5‑7 Panorámica de afloramiento de la Formación Mesa en la vereda Las Flores, Sector “Montañitas” 28](#_Toc445281435)

[Fotografía 5‑8 Niveles de arenitas intercalados con arenitas conglomeraticas sector “Montañitas” 29](#_Toc445281436)

[Fotografía 5‑9 Niveles de arenitas conglomeraticas. Formación Mesa sector “Montañitas” 29](#_Toc445281437)

[Fotografía 5‑10 Estratificación cruzada Formación Mesa 30](#_Toc445281438)

[Fotografía 5‑11 Cuaternario aluvial, Corregimiento La Floresta 31](#_Toc445281439)

[Fotografía 5‑12 Cuaternario aluvial en la Quebrada Los Monos, Vereda El Ingenio 31](#_Toc445281440)

[Fotografía 5‑13 Panorámica de la geomorfología de la zona: lomas redondeadas y elongadas sin procesos actuales de inestabilidad 39](#_Toc445281441)

[Fotografía 5‑14 Estado actual de las terrazas aluviales. Se observan los nulos procesos de inestabilidad asociado a sus bajas pendientes 40](#_Toc445281442)

[Fotografía 5‑15 Depósitos de llanura aluvial, ubicadas en las abscisas de diseño 5+300 al 6+300 42](#_Toc445281443)

[Fotografía 5‑16 Paisaje Representativo de Lomerío – Municipio de Cimitarra 44](#_Toc445281444)

[Fotografía 5‑17 Paisaje Representativo de Lomerío – Municipio de Puerto Berrío 45](#_Toc445281445)

[Fotografía 5‑18 Paisaje Representativo del valle aluvial del Río Magdalena– Municipio de Puerto Berrío 46](#_Toc445281446)

[Fotografía 5‑19 Paisaje Representativo del valle aluvial del Río Magdalena– Municipio de Puerto Berrío 47](#_Toc445281447)

[Fotografía 5‑20 Vegetación dominada por pasturas en el municipio de Puerto Berrío 48](#_Toc445281448)

[Fotografía 5‑21 Vegetación secundaria alta afectada por incendio forestal en el municipio de Cimitarra 48](#_Toc445281449)

[Fotografía 5‑22 Paisaje asociado al Río Magdalena 49](#_Toc445281450)

[Fotografía 5‑23 Taller de identificación de paisaje: ubicación de sitios de interés paisajístico con la comunidad del corregimiento de Puerto Olaya, municipio de Cimitarra 50](#_Toc445281451)

[Fotografía 5‑24 Taller de identificación de paisaje: valoración de paisaje con comunidad del corregimiento de Puerto Olaya, municipio de Cimitarra. 52](#_Toc445281452)

[Fotografía 5‑25 Taller de identificación de paisaje: valoración de paisaje con comunidad de la vereda El Jardín, municipio de Puerto Berrío 52](#_Toc445281453)

[Fotografía 5‑26 Actividades recreativas en las orillas de la quebrada la Malena, en la vereda El Jardín, municipio de Puerto Berrío 54](#_Toc445281454)

[Fotografía 5‑27 Puerto de la vereda Manjarrez, corregimiento de Puerto Olaya, municipio de Cimitarra 55](#_Toc445281455)

[Fotografía 5‑28 Rivera del Río Magdalena 55](#_Toc445281456)

[Fotografía 5‑29 Caño Sandovala 56](#_Toc445281457)

[Fotografía 5‑30 El Filo de San José en el corregimiento de Puerto Olaya, municipio de Cimitarra 57](#_Toc445281458)

[Fotografía 5‑31 Identificación por barrenada de suelos Aeric Tropic Fluvaquents 62](#_Toc445281459)

[Fotografía 5‑32 Identificación por barrenada de suelos Typic Troporthents 63](#_Toc445281460)

[Fotografía 5‑33 Identificación por barrenada de suelos Oxic Dystropepts 64](#_Toc445281461)

[Fotografía 5‑34 Identificación en perfil de suelos Typic Eutropepts 65](#_Toc445281462)

[Fotografía 5‑35 Identificación en perfil de suelos Oxic Dystrudepts 66](#_Toc445281463)

[Fotografía 5‑36 Identificación componente de suelos Typic Eutropepts 67](#_Toc445281464)

[Fotografía 5‑37 Componente de suelos Typic Dystrudepts 68](#_Toc445281465)

[Fotografía 5‑38 Componente de suelos Fluvaquentic Endoaquetps 70](#_Toc445281466)

[Fotografía 5‑39 Componente de suelos Typic Endoaquepts 71](#_Toc445281467)

[Fotografía 5‑40 Componente de suelos Fluvaquentic Endoaquetps 73](#_Toc445281468)

[Fotografía 5‑41 Componente de suelos Vertic Endoaquepts 74](#_Toc445281469)

[Fotografía 5‑42 Uso actual de ganaderia predominante en para la variante 82](#_Toc445281470)

[Fotografía 5.43 Cauce del río Carare sector del municipio de Puerto Parra 104](#_Toc445281471)

[Fotografía 5.44 Detalle del cauce de la quebrada Malena en Puerto Berrío 105](#_Toc445281472)

[Fotografía 5.45 Detalle de la quebrada Sandovala en la vía existente entre Puerto Berrío y la Ruta del Sol 105](#_Toc445281473)

[Fotografía 5.46 Vista panorámica del río Magdalena en una zona media de la cuenca 118](#_Toc445281474)

[Fotografía 5.47 Área inundable del río Magdalena 137](#_Toc445281475)

[Fotografía 5‑48 Vista desde la margen izquierda del río Magdalena al Puente Monumental, que une a Puerto Berrío (izquierda, sobre rocas de la Formación Mesa) con Puerto Olaya (derecha). 144](#_Toc445281476)

[Fotografía 5‑49 . Depósitos aluviales recientes (Qar): *arriba*, asociados al canal y como barras activas del río Magdalena, mostrando la parte norte del muelle de puerto Berrío; *abajo*, sedimentos finos de la quebrada la Malena, tributaria sobre la margen izquierda. 145](#_Toc445281477)

[Fotografía 5‑50 . Panorámica de la Ciénaga Chiqueros ubicada al noroeste de Puerto Berrío, sobre la margen izquierda del río Magdalena. Tomado de: 146](#_Toc445281478)

[Fotografía 5‑51 Vista inclinada del canal activo del río Magdalena, que discurre hacia el fondo, en inmediaciones del sector evaluado (dentro del óvalo anaranjado). 147](#_Toc445281479)

[Fotografía 5‑52 Detalle de isla central inundable del río Magdalena, vista desde Puerto Berrío, con la fecha de captura. 149](#_Toc445281480)

[Fotografía 5‑53 Búfalos en el Área de Influencia del Proyecto. 254](#_Toc445281481)

# CARACTERÍZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

El capítulo 5 de este estudio corresponde a la caracterización del área de influencia para la construcción de la variante Puerto Berrío, la cual fue descrita en detalle en el capítulo 4 (Área de Influencia) para los medios abiótico, biótico y socioeconómico. En este capítulo se presentan las características cualitativas y cuantitativas de los componentes que conforman el área de influencia del proyecto.

Para el levantamiento de la información contenida en la caracterización de la línea base del proyecto se realizó el levantamiento de información primaria y secundaria, cuyas metodologías se encuentran detalladas en el capítulo 2 (Generalidades) del presente estudio. De igual manera, se incluyen los Anexos Capítulo 5, en los cuales se presenta la información base para el análisis y caracterización del área de influencia del proyecto.

## Medio Abiótico

El área de influencia para el medio abiótico descrita en el Capítulo 2 de este estudio se encuentra determinada por las características de sus componentes, lo cuales se encuentran involucrados en área dónde se desarrollará el proyecto de construcción de la variante Puerto Berrío y que se describen a continuación.

### **Geología**

El área de ejecución del proyecto “Construcción de la Variante Puerto Berrio en los departamentos de Antioquia y Santander” presenta dos componentes morfológicos diferentes, por un lado hacia el Valle Medio del Magdalena, en inmediaciones del Municipio de Puerto Berrio, afloran secuencias Neógenas de conglomerados, arenitas y arcillolitas, que le transmiten a la topografía una morfología dominada por colinas onduladas y sedimentos cuaternarios de origen aluvial correspondientes al río Magdalena que le dan al terreno una morfología plana. Por otro lado, hacia el sector oriental del área de estudio, en las estribaciones de la Cordillera Central, la morfología se hace más escarpada, con relieves suaves pero inclinados, donde afloran rocas pre-Mesozoicas, intruídas por varios plutones mesozoicos y cenozoicos, así como sedimentitas paleozoicas y unidades volcánicas mesozoicas. (INGEOMINAS, 2006)

Geográficamente la zona se localiza en la vertiente oriental de la cordillera Central, en la zona andina del nordeste de Antioquia, al suroeste de la serranía San Lucas; morfológicamente se caracteriza por colinas medias y bajas, llanuras y valles aluviales estrechos con desarrollo de valles juveniles; el tipo de drenaje varia de dendrítico, paralelo a sub-paralelo de densidad media.

#### 5.1.1.1 Geología Regional

El área de estudio se encuentra ubicada en el valle interandino del Magdalena, el cual se desarrolla entre las cordilleras Central y la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos. La Cordillera Central está compuesta por un basamento polimetamorfico pre-Mesozoico que incluye rocas oceánicas y continentales (TABOADA, 2000), intruido por varios plutones mesozoicos y cenozoicos (TABOADA, 2000)El flanco este de la Cordillera Central está compuesto principalmente por rocas ígneas y metamórficas, con edades que van desde el Precámbrico hasta el Jurásico y que se extienden hacia el Valle Medio del Magdalena y son suprayacidas por rocas sedimentarias de edades Jurásicas hasta Terciarias. Por otro lado la Cordillera Oriental está compuesta por un basamento polimetamorfico de edad Precámbrica y Paleozoica, deformada durante varios eventos orogénicos pre-Mesozoicos (TABOADA, 2000)).

El flanco este de la Cordillera Central está compuesto principalmente por rocas ígneas y metamórficas, con edades que van desde el Precámbrico hasta el Jurásico y que se extienden hacia el Valle Medio del Magdalena y son suprayacidas por rocas sedimentarias de edades Jurásicas hasta Terciarias. Por otro lado la Cordillera Oriental está compuesta por un basamento polimetamórfico de edad Precámbrica y Paleozoica, deformada durante varios eventos orogénicos pre-Mesozoicos (TABOADA, 2000).

El Valle Medio del Magdalena es una depresión geomorfológica limitada al norte por la falla de Bucaramanga y al sur por la falla de Cambao, límites cercanos a las poblaciones del Banco (Magdalena) y Jerusalén (Cundinamarca) respectivamente. Cubre un área aproximada de 28300 km², su altitud a nivel del río Magdalena, fluctúa entre 50 y 150 msnm.

En lo referente a la evolución tectónica, el Valle Medio del Magdalena ha sido afectado por eventos tectónicos distensivos y compresivos. Los primeros comprenden un lapso entre el Triásico tardío y el Cretáceo superior, mientras la fase compresiva se inició hacia el Paleógeno y continúa en la actualidad. En la Figura 5.1 se observa una columna estratigráfica generalizada para el Valle Medio del Magdalena.

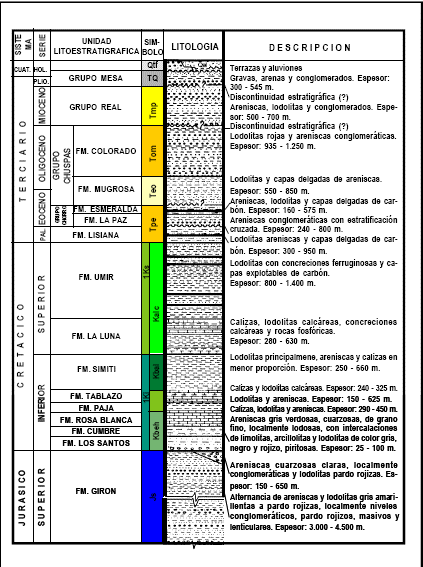


Figura 5.1 Columna estratigráfica generalizada

Fuente INGEOMINAS, 2000

#### 5.1.1.2 Geología Local

El área de estudio se encuentra conformada por rocas sedimentarias principalmente, y en menor proporción por rocas ígneas y metamórficas, además de depósitos aluviales y de ladera recientes.

Las rocas metamórficas presentes en la zona corresponden a Cuarcitas (Pzq), que hacen parte de la unidad litodémica llamada “Complejo Cajamarca” que aflora en la parte occidente de la zona de estudio.

Las rocas ígneas están representadas por el Batolito de Segovia (Jdse) y el Volcánico de La Malena (Jvm). El Batolito está compuesto principalmente por dioritas y cuarzodioritas de edad Jurásico y que afloran en el límite occidental de la zona de estudio, mientras que el Volcánico de La Malena aflora en el sector occidental del área de estudio y está constituido por flujos volcánicos riolíticos a riodacíticos, brechas volcánicas y tobas hacia la parte superior del conjunto, diques basálticos y pórfidos andesíticos.

Las rocas sedimentarias constituyen la mayoría del área de estudio y están representadas principalmente por la Formación Mesa (Ngm) y una pequeña parte por las Sedimentitas del este de Segovia (Ksh).

En la Formación Mesa los estratos yacen horizontales o buzan ligeramente al oeste, aumentando su espesor hacia el Este, donde son disectadas por el Río Magdalena, esta es cubierta por sedimentos recientes, y por ello es probable que áreas cartografiadas como Formación Mesa correspondan en realidad a depósitos de edad más reciente. Está compuesta por sedimentos débilmente cementados, bien estratificados y compuestos por conglomerados, areniscas bien o mal seleccionadas y limolitas.

La composición y geomorfología que presenta lo que se ha llamado Formación Mesa en el área de estudio, es muy diferente a los materiales y geoformas presentes en el área tipo de Honda y descritas anteriormente, ya que es claro en el valle medio del Magdalena en lo que corresponde a la zona de estudio, la ausencia de cantos de rocas efusivas y de la morfología con topes planos en forma de Mesa. En términos generales, la formación Mesa es una unidad compuesta por bancos muy gruesos de arenizcas, con niveles conglomeráticos de guijos y guijarros, localmente cantos e intercalaciones esporádicas de capas muy gruesas de arcillolitas.

Se presentan Depósitos Aluviales (Qal) no consolidados de edad recientes conformados por gravas, arenas y materiales finos de origen aluvial y lacustre que conforman terrazas, llanuras de inundación, bajos y complejos cenagosos. Los aluviones a lo largo del río Magdalena son depósitos de poca elevación compuestos por material meteorizado, poco estratificado y mal seleccionado o con unos pocos horizontes bien seleccionados.

Se presentan Depósitos Aluviales (Qal) no consolidados de edad recientes conformados por gravas, arenas y materiales finos de origen aluvial y lacustre que conforman terrazas, llanuras de inundación, bajos y complejos cenagosos. Los aluviones a lo largo del río Magdalena son depósitos de poca elevación compuestos por material meteorizado, poco estratificado y mal seleccionado o con unos pocos horizontes bien seleccionados.

En la zona de la Variante de puerto Berrio los depósitos aluviales suprayacen de manera discordante a los depósitos de la Formación Mesa, que están asociados de manera directa a la llanura de inundación del Río Magdalena, están compuestos principalmente por conglomerados no consolidados polimícticos (Cherts, rocas ígneas, metamórficas, rocas volcánicas, cuarzo, entre otras), de diversos tamaños, subredondeados a redondeados, arenas de grano medio y limos.

En la Figura 5.3 **y** Figura 5.2 se presenta el mapa de unidades geológicas de la variante Puerto Berrio.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.2 Geología Regional Unidad Funcional 4

Fuente Plancha Geológica 131 Puerto Berrio

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.3 Mapa Geológico del Área del Proyecto

Fuente Eco-Gerencia, 2015

##### Estratigrafía Superficial

###### Formación Mesa (Ngm)

La Formación Mesa es la unidad más extensa de las observadas, se localiza hacia el sector oriental del área, desde la vereda Las Flores, donde se choca discordantemente con el Conjunto Volcánico La Malena (Ver Fotografía 5‑1hasta el municipio de Puerto Berrio, se caracteriza por presentar una morfología suave disectadas de moderada inclinación, de relieve bajo a levemente abrupto (Ver Fotografía 5‑1).

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑1 Contacto entre la formación Mesa y el Grupo Volcanico La Malena

Fuente Eco Gerencia, 2015

Pese a la gran extensión de la Formación Mesa, el número de afloramientos es bastante limitado, pese a ello en el área de interés se logró identificar algunos afloramientos que permiten hacer una buena caracterización de la misma.

Se observa a lo largo de la vía Puerto Berrio-Medellín en tres sectores principalmente, el primero y segundo en inmediaciones de La Vereda El Jardín ver Fotografía 5‑2 en las afueras del municipio de Puerto Berrio y el tercero en la Vereda Las Flores, en un punto conocido como “Montañitas”.

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑2 Morfología característica Formación Mesa

Fuente Eco Gerencia 2015

En el primer sector cerca a la vía, a las afueras del Municipio de Puerto Berrio, más exactamente en la Vereda El Jardín, se observa unas capas muy gruesas de arcillolitas, de estratificación plano paralela (Láminas delgadas), de color gris claro (Fotografía 5‑3), intercalados con capas de conglomerados, matriz soportados, que van desde gránulos hasta guijos medios, de color pardo medio a pardo rojizo, esto como producto de la oxidación (Fotografía 5‑4).

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑3 Capas de arcillolitas con estratificación plano paralela de la formación mesa

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑4 Niveles conglomeráticos (oxidados) entre capas de arcillolítas, Formación Mesa

Fuente Eco Gerencia, 2015

En el segundo sector se aprecia un afloramiento sobre el talud de la vía, a las afueras del Municipio de Puerto Berrio, más exactamente en la Vereda El Jardín, allí se observaron unos 2 metros de intercalaciones de capas medias de una arenita localmente conglomerática de grano medio, de color naranja grisáceo, con estratificación tabular, intercaladas con unas capas delgadas a muy delgadas de niveles de conglomerados polimícticos, matriz soportados, de tamaño variado, que van desde gránulos hasta cantos, subredondeados, de composición variada (Cuarzo, rocas volcánicas, chert, etc) y con cierto grado de imbricación (Ver Fotografía 5‑5 yFotografía 5‑6).

En el tercer sector en un sector de la vereda Las Flores conocido como “Montañitas” (Fotografía 5‑8), se observan varios niveles de arenita, de tamaño de grano medio, de color naranja grisáceo, con estratificación paralela y cruzada, que se intercala con niveles de arenitas conglomeráticas, con tamaños de clastos que varían desde gránulos a guijos (Ver Fotografía 5‑9**,** Fotografía 5‑10 y Fotografía 5‑11).

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑5 Niveles de arenita conglomeratica con niveles conglomeraticos. Formación Mesa

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑6 Niveles de Conglomerados matriz soportados, Formación Mesa.

Fuente Eco Gerencia, 2015

En términos muy generalizados, para el sector de interés la Formación Mesa es una unidad compuesta por bancos muy gruesos de arenitas, con niveles conglomeráticos de guijos y guijarros, localmente cantos, e intercalaciones esporádicas de capas muy gruesas de arcillolitas.

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑7 Panorámica de afloramiento de la Formación Mesa en la vereda Las Flores, Sector “Montañitas”

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑8 Niveles de arenitas intercalados con arenitas conglomeraticas sector “Montañitas”

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑9 Niveles de arenitas conglomeraticas. Formación Mesa sector “Montañitas”

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑10 Estratificación cruzada Formación Mesa

Fuente Eco Gerencia, 2015

###### Cuaternario

Se observaron dos tipos de depósitos cuaternarios distribuidos en porciones muy pequeñas dentro del área de estudio:

El primero de ellos es lo que se conoce como Depósitos aluviales, que suprayacen de manera discordante a los depósitos de la Formación Mesa, que estás asociados de manera directa a la llanura de inundación del Río Magdalena, están compuestos principalmente por conglomerados inconsolidados polimícticos (Cherts, rocas ígneas, metamórficas, rocas volcánicas, cuarzo, etc), de diversos tamaños, subredondeados a redondeados, arenas de grano medio y limos (Ver Fotografía 5‑11 **y** Fotografía 5‑12).

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑11 Cuaternario aluvial, Corregimiento La Floresta

Fuente Eco- Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑12 Cuaternario aluvial en la Quebrada Los Monos, Vereda El Ingenio

Fuente Eco Gerencia, 2015

El otro tipo es el que se conoce como Depósitos de Terraza, que se observan en algunas de las zonas planas, donde se aprecian evidentes cambios de energía dentro del transporte de sedimentos, dando lugar a cambios granulométricos en los materiales depositados horizontalmente.

El informe Geológico e Hidrogeológico se presenta de manera completa en el Anexo Capitulo 5, Numeral 5.1.1 y 5.1.8.

En la Figura 5.4 se muestra la geología descrita para el área de estudio. (Ver Anexos/Información cartográfica/EIACGRPVPB-006)

|  |
| --- |
| 6 |

Figura 5.4 Geología para el área de estudio.

Fuente Géminis Consultores S.A.S, 2015

### **Geomorfología**

#### 5.1.2.1 Geomorfología Regional

Según el Diagnóstico Ambiental de Alternativa de la Variante a Puerto Berrío (ISA, 2012), la geomorfología predominante en la jurisdicción del municipio de Puerto Berrío (Departamento de Antioquia) pertenece al modelamiento fluvio deposicional del río Magdalena con depósitos antiguos y también se encuentran geoformas de origen Estructural Denudativo.

Estas geo-formas presentan las siguientes unidades geomorfológicas:

##### Ambiente Fluvial

Está constituido por geo-formas que se encuentran en las márgenes de los ríos, su dinámica interviene diferencialmente cada tipo de roca. Dentro de las unidades geomorfológicas que hacen parte del ambiente fluvial se encuentran las siguientes:

###### El lecho Mayor del río

Pertenece al río y recibe los volúmenes de crecientes. Su morfodinámica es reflejada en las inundaciones que suben a la planicie aluvial, y muy localmente, por la socavación del lecho. Comprende el lecho actual del río y la unidad aluvial cuaternaria inundable.

###### Planicie Aluvial

Es la unidad geomorfológica que sigue del Lecho Mayor, después de un talud de corta altura. Para el caso las quebradas Malena y Santa Cruz no presentan la unidad Lecho Mayor y su cauce es equivalente a la Planicie Aluvial dada su poca profundidad que facilita la inundación de las zonas aledañas. Comprende la unidad aluvial cuaternaria ubicada entre la zona baja inundable del río Magdalena y las terrazas de esta misma unidad.

###### Terrazas Disectadas

Diferentes niveles de terrazas dentro del valle del río Magdalena, comprendidas por la unidad aluvial cuaternaria y la formación Mesa Terciaria que se presentan disectadas por las microcuencas afluentes del río Magdalena.

###### Depósitos Aluviales

Corresponden a los depósitos aluviales de corrientes que atraviesan áreas intercolinadas.

###### Terrazas Antiguas disectada del río Magdalena

Esta unidad se clasifica aparte por tener características especiales. La disección ha sido fuerte dando origen a una serie de colinas bajas de pendiente alta y corta que afecta a los depósitos terciarios dejados por el mismo río. Se evidencia en los cerros y colinas presentes en el valle del Río Magdalena.

##### Ambiente estructural denudativo

La dinámica de este modelamiento afecta los relieves altos donde la roca ha sido fuertemente alterada, desarrollando una superficie residual con tendencia a procesos de remoción en masa. El resultado es una serie de colinas altas con pendiente fuerte y procesos de solifluxión.

Está conformado por Colinas disectadas Ígneo Metamórficas localizadas hacia el este de la falla de Otú y van hasta el pie de la cordillera Central. En el municipio de Puerto Berrío están comprendidas por rocas ígneas al norte y rocas metamórficas al sur.

#### 5.1.2.2 Geomorfología Local

En la zona de estudio se tienen Sistemas de colinas bajas y redondeadas con valles amplios, corresponde litológicamente a rocas sedimentarias, correlacionables con la Formación Mesa sistemas de colinas alargadas y ramificadas, con tope redondeado, en donde algunas colinas. Presenta drenajes subdendríticos, con valles amplios con forma de U suave o abierta, planos a suavemente ondulados. Las alturas de esta unidad van desde los 115 m.s.n.m. hasta los 125 m.s.n.m. en el área de Puerto Berrío, y se presenta un desarrollo de suelo residual muy superficial ver Tabla 5‑1 donde se presentan los diferentes sistemas que componen la geomorfología local.

Tabla 5‑1 Geomorfología local.

| **PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA** | **PAISAJE** | **RELIEVE** | **AMBIENTE MORFOGÉNETICO** | **NOMENCLATURA** | **Área (ha)** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Valle interandino Magdalena | Lomerío | Colinas | Estructural denudativo | Colinas-Ed | 86,37 |
| Denudacional estructural | Colinas-De | 4,78 |
| Lomas | Estructural denudativo | Lomas | 10,51 |
| Planicie, llanura | Terraza | Fluvial intra-andino | Terraza | 0,54 |
| Terraza Aluvial | 6,91 |
| Vallecito-T | 1,71 |
| Vallecito | Fluvial intra-andino | Llanura Aluvial-P | 12,16 |
| Vallecito-P | 3,49 |
| Valle | Vallecito | Fluvial intra-andino | Llanura Aluvial-V | 11,97 |
| Vallecito-V | 0,40 |

Fuentes: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

También hace parte del área de estudio la planicie aluvial, y que se relaciona con el modelamiento del Río Magdalena, con pendientes planas a ligeramente inclinadas y están constituidas por depósitos antiguos y recientes proveniente de los cauces.

En las siguiente Figura 5.5, Figura 5.6 y Figura 5.7 se muestra la geomorfología del área de estudio descrita anteriormente. (Ver Anexos/Información cartográfica/EIACUGMVPB-009-1,2y3).

|  |
| --- |
| C:\Users\ambiental1\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\9. EIACPMDVPB-009_UNIDADES GEOMORFOLOGICAS_1.png |

Figura 5.5 Unidades Geomorfológicas 1-3 .

Fuente Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

|  |
| --- |
| C:\Users\ambiental1\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\9. EIACPMDVPB-009_UNIDADES GEOMORFOLOGICAS_2.png |

Figura 5.6 Mapa de Unidades Geomorfológicas 2-3.

Fuente utopista Río Magdalena S.A.S, 2016

|  |
| --- |
| C:\Users\ambiental1\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\9. EIACPMDVPB-009_UNIDADES GEOMORFOLOGICAS_3.png |

Figura 5.7 Mapa de Unidades Geomorfológicas 3-3.

Fuente utopista Río Magdalena S.A.S, 2016

#### Zonas Homogéneas

Teniendo en cuenta la cartografía, las características geológicas, morfogenéticas y estructurales del corredor vial, se sectorizó el tramo de estudio en tres unidades homogéneas, haciendo énfasis en las condiciones de estabilidad de las unidades litológicas y la respuesta de éstas ante los procesos de meteorización y erosión.

La Zona 1 comprende desde las abscisas de diseño PR 0+000-PR 5+300 del PR 8+000 –PR 9+500 y PR 11+200-24+630; la Zona 2 entre las abscisas K5+300 – K6+300 y la Zona 3 entre 6+300 al 7+300 y PR 9+500-PR 11+500.

Desde el punto de vista geomorfológico, basados únicamente en la morfogénesis, el origen del relieve existente en la zona del corredor vial perteneciente a la variante Puerto Berrío, está relacionado con los diferentes eventos de depositación de sedimentos en épocas antiguas y recientes de la ladera oriental de la cordillera central y la influencia de la dinámica de la depresión estructural del Valle Medio del Río Magdalena a través del tiempo geológico.

Igualmente, a nivel local la influencia sobre el modelado de las cuenca del río Magdalena, las quebradas y caños del área de influencia del corredor vial actual y el diseñado, dominan los procesos de suministro, los cuales están compuestos por transporte, sedimentación y acumulación de material sobre los de pérdida, donde se tienen en cuenta los procesos estructurales de tipo regional y local y los fenómenos denudativos que involucran la meteorización de las rocas o materiales del suelo.

De acuerdo con lo anterior, las geo-formas presentes en el corredor vial de la variante Puerto Berrío son de origen agradacional - fluvial y estructural - denudativo -denudacional, aun cuando la sedimentación es el factor determinante en el origen de la geo-forma.

##### Zona homogénea 1

Corresponden a las formas originadas mediante procesos de pérdida de material mediante influencia de las estructuras y la tectónica regional, además de procesos denudativos acelerados por estructuras locales presentes en las unidades litológicas. En el área de influencia del corredor vial están representadas por:

###### Colinas:

Esta geoforma tiene pendientes denudacionales de moderadas a bajas y están asociadas a las rocas del Neógeno (Fm Mesa), las cuales poseen un relieve moderadamente ondulado, crestas subredondeadas suavizadas por la erosión superficial.

Las colinas no muestran un lineamiento definido, debido muy seguramente a la denudación de antiguas llanuras aluviales o de serranías con alturas inferiores a 200 m, las geoformas de colinas denudacionales se observan en una gran extensión del área de estudio principalmente en la zona de influencia local (Fotografía 5‑13).

Su origen se da a partir de un ambiente de llanura agradacional, localizada a diferentes alturas y constituidas por capas de buzamientos pequeños y susceptibles a ser afectadas por procesos degradacionales, especialmente por erosión hídrica.

Esta zona se caracteriza por colinas y lomeríos pertenecientes a la Fm Mesa y que actualmente no presentan procesos erosivos ni fenómenos de remoción en masa que llegaren a ofrecer condiciones de inestabilidad al corredor vial actual ni las zonas del trazado de diseño, sin embargo se puede observar en campo y en las ortofotos “oquedades” que son rasgos morfodinámicos e indicios de pequeños movimientos en masa pero ya estabilizados, con pendientes de reposo naturales y cubiertos por vegetación. Grado bajo de inestabilidad.

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑13 Panorámica de la geomorfología de la zona: lomas redondeadas y elongadas sin procesos actuales de inestabilidad

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

Los tipos de relieve que se describen a continuación para las zonas homogéneas 2 y 3 se encuentran relacionados con los depósitos originados por las corrientes actuales. (Por medio de corrientes de escorrentía), dentro del área de influencia directa. Este ambiente de sedimentación involucra diferentes agentes que ocasionan procesos geomorfológicos exógenos constructivos.

###### Zona homogénea 2

Su característica principal está originada por los procesos de erosión y acumulación aluvial dentro de antiguas llanuras de inundación. Incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Corresponde a remanentes anteriores de niveles de sedimentación, en los cuales se ha incisado la corriente como consecuencia de rejuvenecimiento del paisaje. Los niveles más altos corresponden a lo más antiguos, y generalmente los más evolucionados (Terrazas aluviales).

###### Terraza aluvial.

Corresponde a una antigua llanura aluvial, la cual ha sido abandonada por el cauce principal del río Magdalena, debido a los procesos de rejuvenecimiento del paisaje, es entonces un remanente de la sedimentación de la corriente fluvial, en donde los niveles más antiguos son los anteriores niveles de sedimentación, con respecto a los depósitos aluviales actuales (ver Fotografía 5‑14).

Esta zona comprende el tramo vial ubicado entre las abscisas K5+300 – K6+300 (trazado de diseño), presenta pendientes bajas y buena cobertura vegetal protectora. El terreno en esta zona está conformado por depósitos de terrazas aluviales del río Magdalena en su márgen izquierda. Grado bajo de inestabilidad.

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑14 Estado actual de las terrazas aluviales. Se observan los nulos procesos de inestabilidad asociado a sus bajas pendientes

Fuente: Concesión Río Magdalena S.A.S, 2015

##### Zona homogénea 3

Esta zona está caracterizada por presentar formas originadas por procesos de suministro de material aportado por la corriente del río Magdalena. La dinámica de la corriente evidencia cambios de energía del río Magdalena, el cual presenta una amplia llanura de inundación sobre la cual se desborda en épocas de intensas lluvias.

###### Vallecito

Se forman por agradación que comprende un conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados tanto por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles tales como el agua y la escorrentía, las cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie terrestre. En el área de estudio comprende los sectores que presentan un relieve plano a levemente inclinado y generalmente susceptibles a inundaciones, que aportan y reciben continuamente sedimentos provenientes de la depositación dinámica de los principales cuerpos de agua circundantes. La Fotografía 5‑15 muestra un sector de Vallecitos (llanura aluvial) del río Magdalena.

Esta zona comprende el tramo vial ubicado entre las abscisas de diseño 6+300 al 7+300 y PR 9+500-PR 11+500. El terreno en esta zona presenta pendientes suaves a planas y está conformado por depósitos aluviales constituidos por arenas de color gris, pueden presentar procesos de arrastre en época de inundaciones ya que pertenece a la llanura aluvial del Río Magdalena. Grado medio-bajo de inestabilidad.

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑15 Depósitos de llanura aluvial, ubicadas en las abscisas de diseño 5+300 al 6+300

Fuente: Concesión Río Magdalena S.A.S, 2015

### Paisaje

Para determinar el paisaje en el área de influencia del proyecto se tuvieron en cuenta los aspectos gemorfológicos y la percepción de las comunidades sobre su territorio.

Se puede definir de manera general, que el paisaje corresponde a terrenos ondulados de lomerío con algunas zonas de planicie y valle con altos niveles de intervención antropogénica sobre la vegetación nativa, dónde la cuenca y cuerpo de agua del Río Magdalena se representa como el elemento paisajístico de mayor representatividad.

#### Características morfológicas del paisaje

El paisaje predominante en el área de influencia del proyecto de “Construcción de la Variante Puerto Berrío”, pertenece a la cuenca media del Río Magdalena en el que sus diferentes depósitos, antiguos y recientes, hacen parte del paisaje. También se encuentra geoformas de Ambiente Estructural Denudativo y un tercer patrón existente es el de Ambiente de Disección.

Según las observaciones de campo apoyadas por imágenes satelitales, para el area de influencia del proyecto se evidencian tres tipos de geomorfología así:

* Lomerío
* Valle Aluvial del Rio Magdalena
* Planicie Aluvial del Rio Magdalena

##### Lomerío

Este paisaje comprende un amplio sector del área de influencia del proyecto “Construcción de la variante Puerto Berrío”, el relieve es ligeramente ondulado a escarpado con pendientes cortas y convexas, presenta un modelado de disección fuerte con un patrón dendrítico.

El lomerío está afectado por movimientos en masa y erosión hídrica de tipo laminar y de surcos, que puede ir desde grado ligero a severo debido al sobreuso, y la poca cobertura vegetal, en algunos lugares la morfogénesis es mayor que la pedogénesis lo cual ha causado un alto impacto en el paisaje.

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\20150729_105759.jpg |

Fotografía 5‑16 Paisaje Representativo de Lomerío – Municipio de Cimitarra

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\DSC06378.JPG |

Fotografía 5‑17 Paisaje Representativo de Lomerío – Municipio de Puerto Berrío

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

##### Valle Aluvial del Rio Magdalena

En este paisaje, los suelos se sitúan en un plano de inundación activo, correspondiente a vegas e islotes, originado a partir de depósitos superficiales clásticos, drogénicos mixtos aluviales, transportados por el río Magdalena. La topografía es ligeramente plana, con pendientes 1-3%, afectados en algunos sectores por acumulación de arena en superficie.

La vegetación que se encuentra es rastrojo de tipo arbustivo (caña brava, chopo, ceiba, matarratón, yarumo, cortadera, almendro y guásimo).

|  |
| --- |
| C:\2015\OHL\7. REGISTRO FOTOGRÁFICO\Reconocimiento Pto Berrío_UF4\DSCN3192.JPG |

Fotografía 5‑18 Paisaje Representativo del valle aluvial del Río Magdalena– Municipio de Puerto Berrío

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

##### Planicie Aluvial del Rio Magdalena

Este paisaje presenta planicies de inundación y terrazas, ligeramente inclinado a moderadamente inclinado con pendientes del 0 - 12%, con frecuentes inundaciones y encharcamientos en época de invierno ya que son las zonas de recarga hídrica del río Madalena.

Los suelos se han originado por aluviones heterométricos, el origen de ellos está dado por los aportes aluviales del río Magdalena y sus afluentes, los cuales conforman esta geo-forma y se encuentran los siguientes tipos de relieve: planicies de inundación que incluye diques, islas, orillares, como también los diferentes niveles de terrazas presentes en el paisaje aluvial, los materiales que conforman esta unidad, provienen del cuaternario reciente principalmente limo y arcillas.

|  |
| --- |
| C:\2015\OHL\7. REGISTRO FOTOGRÁFICO\Reconocimiento Pto Berrío_UF4\DSCN3509.JPG |

Fotografía 5‑19 Paisaje Representativo del valle aluvial del Río Magdalena– Municipio de Puerto Berrío

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

#### Características ecológicas del paisaje

La vegetación característica de la zona es dominada por zonas de pasturas destinadas a la ganadería bovina, igualmente se presentan algunas áreas de espacios naturales con coberturas naturales como vegetación secundaria alta y baja y bosque ripario o galería, estas últimas se presenta, especialmente en la parte oeste del área de influencia de la variante.

En conclusión, la vegetación predomínate en la región se da por un uso de suelo en ganadería extensiva, debido a esto se identifica la zona por mosaicos de pastos con espacios naturales caracterizados por áreas de bosque agremiado con flora herbácea acompañante. (Ver Fotografía 5‑20 ). En el municipio de Cimitarra, aproximadamente entre las abscisas K9+100 al K9+600 del proyecto, se presentan áreas de vegetación natural que han sido afectadas por incendio forestal, lo cual genera un impacto visual importante en el paisaje del área de influencia del proyecto. (Ver Fotografía 5‑21)

|  |
| --- |
| C:\2015\OHL\7. REGISTRO FOTOGRÁFICO\Reconocimiento Pto Berrío_UF4\DSCN3616.JPG |

Fotografía 5‑20 Vegetación dominada por pasturas en el municipio de Puerto Berrío

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

|  |
| --- |
| C:\2015\OHL\7. REGISTRO FOTOGRÁFICO\Reconocimiento Pto Berrío_UF4\DSCN3234.JPG |

Fotografía 5‑21 Vegetación secundaria alta afectada por incendio forestal en el municipio de Cimitarra

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

Por otra parte, se encuentra el Río Magdalena, el cual representa el afluente de mayor importancia en Colombia y en la región.

Este ecosistema a pesar de presentar condiciones significativas de disturbio, aún conserva algunos elementos de flora y fauna importantes que aportan al valor paisajístico en el área de influencia. (Ver Fotografía 5‑22)

Para la comunidad la percepción del Río Magdalena es de gran importancia, ya que muchas de las actividades realizadas en la región dependen del río, estas actividades están enmarcadas en el ámbito de la pesca y transporte fluvial.

|  |
| --- |
| C:\2015\OHL\7. REGISTRO FOTOGRÁFICO\Reconocimiento Pto Berrío_UF4\DSCN3204.JPG |

Fotografía 5‑22 Paisaje asociado al Río Magdalena

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

#### Percepción de la comunidad sobre el paisaje

##### Taller de identificación de sitios de interés paisajístico

Con el fin de identificar la percepción de la comunidad sobre el paisaje y los sitios de interés paisajísticos más representativos en la zona, se implementó con la comunidad del área de influencia socioeconómica, se implementaron talleres de percepción de paisaje

El taller de paisaje cuya metodología se describe en detalle en el Anexo Capitulo 5, Numeral 5.1.3 – Taller de identificación de paisaje, fue desarrollado con participantes de las comunidades del área de influencia de los municipios de Puerto Berrío y Cimitarra. Parte del procedimiento consistió en el desarrollo de un mapa parlante, sobre el cual la comunidad identificó los sitios de interés paisajístico que consideraron en su territorio.

|  |
| --- |
| Mostrando localización de sitios de interés (2).jpg |

Fotografía 5‑23 Taller de identificación de paisaje: ubicación de sitios de interés paisajístico con la comunidad del corregimiento de Puerto Olaya, municipio de Cimitarra

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

A partir de la identificación de los sitios de interés paisajístico sobre mapa parlante se realizó una valoración de cada sitio con el fin de determinar su representatividad según los criterios definidos en la siguiente tabla ver Tabla 5‑2:

Tabla 5‑2 Criterios para la valoración de sitios de interés paisajístico

| VARIABLE | Valoración | | |
| --- | --- | --- | --- |
| **5 a 4** | **3 a 2** | **1** |
| **Cobertura vegetal** | Gran variedad de tipos de vegetación, con diversas formas y texturas, y alta densidad | Variedad en la vegetación, pero de uno o dos tipos | Baja o ninguna variedad o contraste de vegetación. |
| **Grado de intervención** | Libre de actuaciones estéticamente no deseadas o con modificaciones que inciden favorablemente en la calidad visual | La calidad escénica está afectada por modificaciones poco armoniosas, aunque no en su totalidad , o las actuaciones no añaden calidad visual | Modificaciones intensas y/o extensas que reducen o anulan la calidad escénica |
| **Cuerpos de agua** | Factor dominante en el paisaje, limpia, clara, aguas blancas, rápidos y cascadas, o láminas de agua en reposo, permanentes | Agua en movimiento o reposo pero no dominante en el paisaje, permanentes | Ausente o inapreciable, contaminada, o temporal |
| **Relieve** | Relieve muy montañoso, marcado prominentemente, o bien relieve de gran variedad superficial o muy erosionado o sistemas de dunas o bien presencia de algún rasgo singular o muy dominantes | Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes pero no dominantes o excepcionales | Colinas suaves, fondos de valle planos, pocos o ningún detalle singular |
| **Elementos culturales** | Presencia de elementos culturalmente importantes o sitios de interés paisajístico | Existen elementos culturales o sitios de interés paisajístico pero no son valorados por los visitantes o se encuentran deteriorados | No hay elementos culturales de ningún tipo |
| **Viveza** | Alta variedad de elementos en armonía, con relativo grado de unidad , así como balance y coherencia con el fondo escénico, que evocan sentimientos de curiosidad y bienestar | Variedad de elementos pero se observan intervenciones, fraccionamiento o desorden y un desbalance entre elementos. | Poca o ninguna variedad de elementos, poca unidad o paisajes artificiales |

Fuente: Adaptado de Ecopetrol, 2015

|  |
| --- |
| C:\Users\INSPIRON 1545\Downloads\IMG_4113.JPG |

Fotografía 5‑24 Taller de identificación de paisaje: valoración de paisaje con comunidad del corregimiento de Puerto Olaya, municipio de Cimitarra.

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

|  |
| --- |
| Mostrando IMG_4484.JPG |

Fotografía 5‑25 Taller de identificación de paisaje: valoración de paisaje con comunidad de la vereda El Jardín, municipio de Puerto Berrío

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

##### Resultados: sitios de interés paisajístico identificados

El taller permitió identificar los sitios de interés paisajístico representativos para la comunidad, así como conocer la percepción de la calidad que presentan estos sitios respecto a los criterios que definen el paisaje. En la Tabla 5‑3 se presentan los sitios identificados, así como su valoración.

Tabla 5‑3 Sitios de interés paisajístico y valoración asignada por comunidad del área del área de influencia del proyecto

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Nombre asignado por la comunidad | Distintivo del sitio | Cobertura Vegetal | Grado de Intervención | Cuerpos de Agua | Relieve | Elementos culturales | Viveza | Valoración promedio por sitio |
| 1 | Quebrada la Malena | Bañadero y Pesca | 5 | 4 | 5 | 1.6 | 4.8 | 5 | **4.2** |
| 2 | Puerto de la vereda Manjarrez | Puerto | 4.6 | 2.9 | 5 | 4.8 | 4.9 | 2.8 | **4.2** |
| 3 | Caño San José | Bañadero | 4.6 | 5 | 4.6 | 1.1 | 2.9 | 3 | **3.5** |
|  | Caño La Sandobala | Bañadero | 4.2 | 2.8 | 5 | 1.1 | 1.9 | 2.1 | **2.9** |
| 5 | Río Magdalena | Rivera del Rio magdalena | 3.1 | 3 | 5 | 2 | 5 | 2.8 | **3.5** |
| 6 | Filo San Jose | La loma | 2 | 4.8 | 2.7 | 4.9 | 1.1 | 2.5 | **3.0** |
| **Valoración promedio por criterio** | | | **3.9** | **3.8** | **4.6** | **2.6** | **3.4** | **3.0** |  |

Fuente: Géminis Consultores S.A.S.

En total se identificaron 6 sitios, los cuales se encuentran principalmente asociados a cuerpos de agua, siendo este criterio el de mayor valor asignado por la comunidad con un promedio de calificación de 4.6, seguido a este se presenta el criterio de Cobertura Vegetal el cual presentó un promedio de calificación de 3.9. Los sitios de mayor importancia paisajística para la comunidad son la Quebrada Malena y el Puerto ubicado en la vereda Manjarrez.

La *quebrada Malena* hace parte de la cuenca del mismo nombre y es un afluente representativo del Río Magdalena en el área de influencia del proyecto. Por parte de la comunidad se identifica como un sitio destinado para actividades recreativas, principalmente por actividades de pesca. Los criterios de mayor importancia en este lugar son “Cuerpos de agua”, “Cobertura vegetal” y “Viveza”. (Ver Fotografía 5‑26).

|  |
| --- |
| Mostrando IMG_4496.JPG |

Fotografía 5‑26 Actividades recreativas en las orillas de la quebrada la Malena, en la vereda El Jardín, municipio de Puerto Berrío

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

El sitio identificado como *Puerto de la vereda Manjarrez* se encuentra en el corregimiento de Puerto Olaya en el municipio de Cimitarra. Desde el punto de vista paisajístico este lugar se encuentra asociado a las características del Río Magdalena por lo cual el criterio de mayor calificación corresponde a cuerpos de agua. Asociado a este lugar se presentan procesos culturales importantes por aspectos de trasporte, comunicación y actividades económicas de la vereda, por lo cual el criterio de elementos culturales presentó una valoración de 4,8. (Ver Fotografía 5‑27)

|  |
| --- |
| C:\Users\INSPIRON 1545\Downloads\DSCN0370.JPG |

Fotografía 5‑27 Puerto de la vereda Manjarrez, corregimiento de Puerto Olaya, municipio de Cimitarra

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

También se identificó en los talleres el área denominada Río Magdalena, correspondiente a la Riviera del río de mismo nombre, la cual se encuentra identificada principalmente por su componente hídrico y sus elementos culturales. (Ver Fotografía 5‑28 )

|  |
| --- |
| C:\2015\OHL\7. REGISTRO FOTOGRÁFICO\Reconocimiento Pto Berrío_UF4\DSCN3484.JPG |

Fotografía 5‑28 Rivera del Río Magdalena

Fuente: Géminis Consultores S.A.S.

El sitio identificado como Caño Sandovala se encuentra asociado a la quebrada Sandovala, es identificado como áreas de baño por parte de la comunidad. En estas áreas se reconoce el valor paisajístico por el componente hídrico y por la vegetación asociada al mismo. El sitio identificado conó el Caño San José hace parte de la quebrada San José, la cual se encuentra en el sector de Majarrez del corregimiento de Puerto Olaya, al igual que el caño Sandovala, se encuentra reconocido por el cuerpo de agua asociado y su cobertura vegetal. (Ver Fotografía 5‑29)

|  |
| --- |
| Mostrando DSCN0358.JPG |

Fotografía 5‑29 Caño Sandovala

Fuente: Géminis Consultores S.A:S., 2015

El sitio identificado como el *filo de San José* corresponde a un sitio de interés pasajístico reconocido principalmente por sus condiciones geomorfológicas. El sitio no presenta relación con vegetación de tipo natural ni con cuerpos de agua, en el lugar se presenta una cobertura de pastos con algunos elementos arbóreos aislados. (Ver Fotografía 5‑30)

|  |
| --- |
| Mostrando DSCN0356.JPG |

Fotografía 5‑30 El Filo de San José en el corregimiento de Puerto Olaya, municipio de Cimitarra

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

#### Definición cartográfica del paisaje

Una vez analizados las características morfológicas del paisaje y la percepción de la comunidad sobre el paisaje, se realizó el plano a una escala 1:25.000 para el componente paisaje en el proyecto de construcción de la variante Puerto Berrío. En la Figura 5.8 (Ver Anexos/Información cartográfica/ EIACLUPLVPB-011) se presenta el mapa de paisaje para el área de influencia del proyecto. Los sitios identificados como sitios de interés paisajístico no se encuentran directamente relacionados con las actividades de construcción del proyecto, sin embargo, el plan de manejo ambiental del presente estudio contempla dentro de sus proyectos las medidas necesarias para realizar el manejo paisajístico

|  |
| --- |
| C:\Users\ambiental1\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\PAISAJE.PNG |

Figura 5.8 Mapa de paisaje para el área de influencia del proyecto de construcción de la variante Puerto Berrío

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

### **Suelos y uso de la tierra**

#### Descripción de las unidades cartográficas y sus componentes cartográficos

La descripción de las unidades cartográficas de suelos se presenta según el orden de la leyenda de suelos (**Nomenclatura),** con su área  presentada en la Tabla 5‑4 .

Tabla 5‑4 Unidades Cartográficas de Suelos encontradas en el área de influencia abiótica para el recurso suelo

| **Clima** | **Material parental** | **Unidad cartográfica** | **Unidad taxonómica** | **Clasificación Agrologica** | **Nomenclatura** | **Área (ha)** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|
|
| Cálido Húmedo | Rocas Sedimentarias (arcillolitas, areniscas, conglomerados) y tobas andesíticas | Asociación | Oxic Dystrudepts 50%, | IVes2 | LVCb2 | 24,41 |
| Typic Eutropepts 25%, |
| Typic Dystrudepts 25% |
| Rocas Sedimentarias (arcillolitas, areniscas, conglomerados) y tobas andesíticas | Consociación | Oxic Dystropepts 85%, Typic Eutropepts 15% | IIIs2 | LVEc2p | 3,49 |
| Arcillolitas, Lutitas, Areniscas, Arcillas | Asociación | Oxic Dystropepts 40%, Typic Troporthents 30% | IVes2 | LVBd3 | 38,75 |
| Typic Eutropepts 30% |
| Aluviones mixtos recientes | Complejo | Typic Tropofluvents 50%, Aeric Tropic Fluvaquents 40%, | IVs3 | LVFap | 16,68 |
| Typic Troporthents 10% |
| Aluviones finos y medios | Asociación | Fluvaquentic Endoaquetps 85%, | IVh3 | RVEb | 7,16 |
| Fluventic Eutrudepts 15% |
| Aluviones medios a gruesos | Consociación | Vertic Endoaquepts 85% Fluvaquentic Eutrudepts 15% | IVs3 | RVBb | 29,26 |
| Aluviones medios a gruesos | Asociación | Fluvaquentic Endoaquepts75%, Fluventic Eutrudepts 15% Chromic Endoaquerts 10% | IVhs2 | RVCa | 0,38 |
| Aluviones Mixtos | Complejo | Typic Udipsamments 55% Typic Eutrudepts 45% | Vh3 | VVBb | 18,70 |
| **TOTAL** | | | | | 138,83 |

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

Las descripciones de los perfiles se presentan en el anexo 5.1.4 del presente documento y los mapas de suelos presentes en el área de estudio (Ver Anexos/Información cartográfica/ 12. EIACSCAVPB-012\_SUELOS\_1,2 y 3).

A continuación se hace una descripción para las unidades paisaje más representativo incluyendo información de, clima, Material parental. En las unidades cartográficas se destaca, material geológico, relieve, vegetación, uso actual, y limitantes de uso. Finalmente se comentan las características físicas y químicas.

##### Suelos de paisaje de lomerio en clima cálido húmedo

Este tipo de geoforma comprende relieve de lomas y colinas además de vallecitos, El paisaje de lomerío lo componen una serie de elevaciones del terreno, de similar altura con amplias cimas redondeadas y alargadas, con gradientes entre 7 y 12%, formando ondulaciones convexas y cóncavas, resultante de la disección de antiguas altiplanicies. El material geológico está constituido de una litología sedimentaria de arcillas y arcillolitas, en las cuales los procesos y agentes geomorfológicos han determinado un modelado que corresponde al tipo de relieve de lomerío.

Para el paisaje de lomerío de la variante Puerto Berrío se describieron 4 unidades así:

###### Complejo Typic Tropofluvents - Aeric Tropic Fluvaquents (LVFap)

Esta unidad cartográfica se ubica en el municipio de Cimitarra en el Departamento de Santander, hacia el Corregimiento de Puerto Olaya.

La geoforma corresponde a relieve de vallecitos, su litología es aluvial constituida por cantos heterométricos en matriz gruesa, mezclada con sedimentos finos (arcillas), su topografía es ligeramente plana y ligeramente inclinada, con pendientes de 1 a 3 - 7%, presentando frecuentes fragmentos gruesos de roca en superficie.

La unidad cartográfica está conformada por los suelos Typic Tropofluvents (50%), Aeric Tropic Fluvaquents (40%), e inclusiones de Typic Troporthents(10%).

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Typic Tropofluvents perfil # 1

Estos suelos se ubican en la parte alta del lomerío, se caracterizan por un horizonte A-C donde el perfil superior presenta 20 cm, de coloración marrón amarillento claro que yace sobre secuencia de horizontes C, de color marrón pálido, textura Franco-arenosa, son imperfectamente drenados, moderadamente profundos, Los rangos de pH para este suelo se encuentran entre fuertemente acido a ligeramente acido, se encuentran en topografía ligeramente plana con fragmentos de roca en superficie. Ver Anexo descripción de perfiles, Perfil #1.

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Aeric Tropic Fluvaquents

los suelos de este componente están compuestos por nomenclatura A-C con un horizonrte A delgado de color pardo grisáceo muy oscuro que yace sobre una secuencia de horizontes C gleizados de color pardo fuerte a gris con textura franco arenosa y franco arcillosa son suelos pobremente drenados, superficiales, limitados por nivel freático alto, pH 5.6 moderadamente ácido , fertilidad natural moderada.

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\20150729_103236.jpg |

Fotografía 5‑31 Identificación por barrenada de suelos Aeric Tropic Fluvaquents

Fuente Géminis Consultores S.A.S.

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Typic Troporthents

Este tipo de suelos ocupan la parte alta de la unidad, se caracterizan por tener poco desarrollo genético, un delgado horizonte A, color pardo con textura franco arcillosa, que descansa sobre un horizonte C con color pardo amarillento con textura franco arcillo arenosa, con presencia de gravilla fina, son suelos bien drenados, superficiales, pH 5.3 fuertemente ácidos .

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\20150729_112413.jpg |

Fotografía 5‑32 Identificación por barrenada de suelos Typic Troporthents

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

Este complejo, presenta uso actual en ganadería extensiva, con pastos no manejados, con problemas de drenaje en las partes bajas profundidad efectiva muy superficial, presencia de fragmentos de roca en superficie, por lo tanto su clasificación agrológica es IV y deberían enfocarse al empleo de una cobertura protectora.

###### Asociación Oxic Dystropepts- Typic Troporthents- Typic Eutropepts (LVBd3)

Esta unidad se distribuye en lomas y colinas con litología sedimentaria de arcillas y arcillolitas, 7-12 % en topografía moderadamente inclinada a moderadamente ondulada, y 12-25% fuertemente ondulada a moderadamente quebrada. En esta unidad se pueden encontrar vallecitos, no mapeables, de relieve ligeramente plano, con drenaje pobre y en ocasiones con agua en superficie. Esta unidad está conformada por suelos, Oxic Dystropepts (40 %), Typic Troporthents (30 %), Typic Eutropepts (30 %)

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Oxic Dystropepts

Esta unidad de suelos se distribuye en los sectores medios y altos de la unidad, el perfil de nomenclatura es A-B-C, en donde el horizonte superior es pardo, de textura arcillo arenosa, que descansa sobre una secuencia B-C de colores mezclados rojo y amarillo rojizo, con texturas arcillosas, son bien drenados, moderadamente profundos, con baja fertilidad, pH fuertemente acido.

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\DSC06249.JPG |

Fotografía 5‑33 Identificación por barrenada de suelos Oxic Dystropepts

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Typic Troporthents

Este componente se dirtibuye ne los sertores medios y bajos de la unidad, su perfil es de nomeclatura A-C textura franco arenosa con frecuentes fragmentos de roca, yace sobe horizontes C de color, rojo amarillento, y amarillo rojizo de textura franco arcillosa, y abundante presencia de roca, son bien drenados superficiales limitados por fragmentos de roca, y reacción fuertemente acida, muy baja fertilidad natural. Ver Anexo descripción de perfiles, Perfil #2.

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Typic Eutropepts

Este componente se distribuye en sectores altos de la unidad. Su perfil es de tipo A-B-C-R, en donde el horizonte A, es pardo amarillento de textura franco arenosa y los horizontes B-C, son pardo amarillentos con moteados pardos a y colores mezclados de gris, con textura franco arcillo arenosa, el horizonte R lo constituyen lutitas meteorizadas; son bien drenados moderadamente profundos limitados por contacto paralitico pH moderadamente acido.

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\DSC06220.JPG |

Fotografía 5‑34 Identificación en perfil de suelos Typic Eutropepts

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

El uso actual de esta unidad, es ganadería con pastos no manejados, baja fertilidad, pendientes pronunciadas, alta susceptibilidad a erosión, baja profundidad radicular efectiva, su uso recomendable seria en pastos de corte y tiene vocación forestal en bosque protector y de desarrollo de vegetación nativa.

###### Asociación Oxic Dystropepts- Typic Eutropepts - Typic Dystropepts (LVCb2)

Corresponde geomorfológicamente a lomerío, formado por lomas y colinas con diferente grado de disección, de relieve plano, a ligeramente ondulado a fuertemente quebrado con pendientes cortas.

Los suelos correspondientes se derivan de rocas sedimentarias del terciario, areniscas, shales, arcillas no consolidadas, poco profundos, bien drenados, de texturas medias, moderadamente finas y finas, fuertemente ácidos, fertilidad natural baja a moderada. La mayoría están afectados por erosión hídrica en grado ligero a moderado.

Forman la asociación los suelos Oxic Dystrudepts (50%), Typic Eutropepts (25%), Typic Dystrudepts (25%)

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Oxic Dystropepts

Este componente se distribuye en sectores altos de la unidad, se caracteriza por un horizonte A poco profundo, con textura arenosa franca, que yace sobre una secuencia de B. con coloraciones pardo rojizas y pardo amarillentas, con textura gruesa franco arenosa, con un pH de 5.3 fuertemente acido, bien drenados, profundos.

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\DSC06434.JPG |

Fotografía 5‑35 Identificación en perfil de suelos Oxic Dystrudepts

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

#### Características de los componentes Taxonómicos suelos Typic Eutropepts

Este componente se distribuye en sectores medios de la unidad. Su perfil es de tipo A-B-C-R, en donde el horizonte A, es pardo amarillento de textura franco arenosa y los horizontes B-C, son amarillentos con moteados rojos, con textura franco arcillo arenosa, el horizonte R lo constituyen lutitas meteorizadas; son bien drenados moderadamente profundos limitados por pH 5.4 fuertemente acido.

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\DSC06414.JPG |

Fotografía 5‑36 Identificación componente de suelos Typic Eutropepts

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Typic Dystropepts

Este componente se localiza en sectores medios y bajos de la unidad, se caracteriza por perfil típico A-B-C-R, su horizonte superior es muy delgado, con colores entre pardo, pardo amarillo y rojizo, texturas francas a francoarcillosas, suelos bien drenados limitados con contacto paralitico, y fertilidad natural baja. Ver Anexo descripción de perfiles, Perfil #3.

###### Consociación Oxic Dystropepts - Typic Eutropepts (LVEc2p)

Corresponde geomorfológicamente a lomerío, formado por lomas y colinas con diferente grado de disección, ligeramente ondulado a fuertemente quebrado con pendientes cortas, convexas, menores del 50% y presencia de fragmentos de roca en superficie.

El material parental de origen de los suelos corresponde a aluviones medios y gruesos; los suelos en sectores son superficiales, limitados por un contraste textural abrupto, de texturas medias sobre gruesas; en otros sitios son profundos de texturas moderadamente finas; la saturación de bases es alta, la capacidad de intercambio de cationes media en superficie y baja en los horizontes subsuperficiales, la reacción varía entre fuertemente ácida y moderadamente ácida. La fertilidad natural es moderada.

|  |
| --- |
| **C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\DSC06319.JPG** |

Fotografía 5‑37 Componente de suelos Typic Dystrudepts

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

Los componentes de esta unidad son similares a los descritos en la asociación LVCb2 se diferencian en pendiente y contenido de fragmentos de roca, son bien drenados, moderadamente profundos, limitados en la profundidad radicular por contraste textural abrupto, texturas medias sobre gruesas.

##### Suelos de paisaje de valle en clima cálido húmedo

Los suelos que se encuentran en este paisaje presentan superficies amplias y alargadas, formadas por incisión de corrientes hídricas, se desarrollan en ambiente geológico sedimentarios con litología aluvial en relieves planos a ligeramente inclinados, buena parte de la vegetación ha sido destruida para dar paso a actividad ganadera, es decir uso de pastos con poco o ningún manejo.

Para este paisaje solo se cuenta con una unidad, el Complejo Typic Udipsamments - Typic Eutrudepts (VVBb)

###### Complejo Typic Udipsamments - Typic Eutrudepts (VVBb)

###### Los suelos se han originado de sedimentos aluviales gruesos y medios sobre gruesos es decir aluviones mixtos, son profundos y moderadamente profundos, excesivamente drenados, de texturas gruesas y medias sobre gruesas limitados los segundos en la profundidad radicular por cambio textural abrupto; la fertilidad natural es moderada.

Esta unidad cartográfica está conformada en un 55% por los suelos Typic Udipsamments, familia mezclada y en un 45% de Typic Eutrudepts, familia francosa sobre arenosa.

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Typic Udipsamments

Morfológicamente estos suelos son del tipo A-C. El horizonte A (Ap) tiene un espesor de 23 cm, de color pardo grisáceo oscuro, con moteados pardo amarillento; textura franca; estructura en bloques angulares, finos, moderadamente desarrollados. El horizonte C tiene 95 cm de espesor, conformado por dos subhorizontes Cg1 y Cg2, de colores pardo grisáceo y gris oscuro, con moteados de color pardo oliva y pardo amarillento oscuro; sin estructura (suelto).

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\DSC06277.JPG |

Fotografía 5‑38 Componente de suelos Fluvaquentic Endoaquetps

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Typic Eutrudepts

Morfológicamente estos suelos presentan una secuencia de horizontes A-B-C.El espesor del horizonte A es de 21 cm, de color pardo amarillento oscuro, con moteados de color pardo fuerte; textura franco limosa; estructura en bloques subangulares, finos, medios, moderados. El horizonte B tiene un espesor de 42 cm, subdividido en dos subhorizontes Bw1 y Bw2, de color pardo oscuro ypardo amarillento, con moteados gris oscuro; texturas francas y franco arcillo limosas; estructura en bloques subangulares, medios y gruesos, moderados en el primero y débiles en el segundo. El C tiene un espesor de más de 80 cm; es de color gris; textura arenosa y con gravilla en un 40%, sin estructura (masivo).

|  |
| --- |
| **C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\DSC06275.JPG** |

Fotografía 5‑39 Componente de suelos Typic Endoaquepts

Fuente: Géminis Consultares S.A.S., 2015

##### Suelos de paisaje de planicie en clima cálido húmedo

Este paisaje comprende un tipo de relieve de plano deltaico, caracterizado porque su modelamiento ha sido producto de la corriente de rio, se ha generado a partir de un ambiente sedimentario aluvial, con pendientes moderadas y uso generalmente para ganadería extensiva.

###### Asociación Fluvaquentic Endoaquetps - Fluventic Eutrudepts (RVEb)

Geomorfológicamente, se localiza en los planos de terraza nivel 1, de la planicie aluvial del río Magdalena, en relieve ligeramente plano , La vegetación natural ha sido sustituida para dar paso a la ganadería extensiva en pastos naturales y semiintesiva en pastos introducidos, El material parental corresponde a aluviones medios que han dado origen a suelos superficiales, pobremente drenados, de texturas moderadamente finas, limitados en su profundidad radicular por el nivel freático alto, reacción moderadamente ácida y fertilidad natural alta.

La consociación está conformada en un 85% por los suelos Fluvaquentic Endoaquepts, familia franca fina, mezclada, isohipertérmica y 15 % de La unidad cartográfica de los suelos Fluventic Eutrudepts, familia franca fina, mezclada.

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Fluvaquentic Endoaquetps

Morfológicamente presentan un perfil del tipo A-B-C. El horizonte A tiene un espesor de 22 cm, color pardo grisáceo oscuro, con moteados grises, textura franco arcillosa, estructura en bloques subangulares, finos y medios, moderados. El horizonte B, compuesto por dos subhorizontes Bg1 y Bg2, tienen un espesor de 43 cm, color gris, con moteados pardo amarillentos, textura franca limosa y franca, estructura en bloques angulares, medios, moderados y débiles. El horizonte C, aparece después de los 65 cm es de color gris, con moteados de colores pardos, texturas franco arenosa y franco limosa, sin estructura (suelto).

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑40 Componente de suelos Fluvaquentic Endoaquetps

Fuente: Géminis Consultares S.A.S., 2015

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Fluventic Eutrudepts

Morfológicamente presentan una secuencia de horizontes A-B-C. El espesor del horizonte A (Ap) es de 28 cm; es de color gris oscuro, con moteados rojo débil y pardo grisáceo oscuro; textura franco arcillo limosa; estructura en bloques angulares, medios y gruesos, moderadamente desarrollados. El horizonte B tiene un espesor de 38 cm, color pardo grisáceo oscuro, con moteados pardo amarillento; textura franco arcillo limosa y franco limosa; estructura en bloques subangulares, medios y gruesos, moderados. El horizonte C se subdivide en C1 y C2, de colores pardo grisáceo oscuro, pardo oscuro y pardo oliva, con moteados pardo oscuro y gris oscuro, texturas franco limosa y franca, sin estructura (masivo).

###### Consociación Vertic Endoaquepts - Fluvaquentic Eutrudepts (RVBb)

Geomorfológicamente, esta Asociación corresponde a, cauces abandonados, barras de cauce y meandros abandonados del plano de inundación de los valles formados principalmente por los drenajes naturales afluentes menores del río Magdalena.

El material parental está compuesto por aluviones finos, medios, gruesos y mixtos. Los suelos tienen características variadas que están en función de la forma de terreno al que pertenecen; son superficiales, pobremente drenados, de texturas finas y muy finas; mientras que los suelos presentes en otras geoformas son profundos a moderadamente profundos, moderadamente a bien drenados, de texturas moderadamente finas, medias y gruesas. El pH varía de moderado a ligeramente ácido y la fertilidad de moderada a baja.

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\DSC06336.JPG |

Fotografía 5‑41 Componente de suelos Vertic Endoaquepts

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

Esta consociación está conformada en un 85% por los suelos Vertic Endoaquepts, familia fina, mezclada, isohipertérmica, además de la inclusión de 15% por los suelos Fluvaquentic Eutrudepts, familia franca fina, caolinítica, isohipertérmica.

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Vertic Endoaquepts

Estos suelos, morfológicamente se caracterizan por tener una secuencia de horizontes A-B-Ab. El espesor del horizonte Ap es de 18 cm; de color gris verdoso, con moteados rojo oscuro; textura franco arcillosa; estructura en bloques subangulares, gruesos, moderadamente desarrollados; presenta muchas superficies de deslizamiento. El horizonte B, compuesto por dos subhorizontes, con un espesor de 54 cm; de color gris verdoso y gris verdoso oscuro, con moteados de color rojo sucio y gris muy oscuro; textura arcillosa; estructura prismática, fina y media, moderadamente desarrollada; con muchas superficies de deslizamiento, prominentes. El horizonte Ab tiene 53 cm de espesor; de color gris muy oscuro, con presencia de materiales orgánicos en diferentes grados de descomposición; sin estructura (masivo).

Este tipo de suelos presenta nivel fretico alto, régimen de humedad ácuico y de temperatura isohipertérmico, características redoximórficas, contenidos de arcilla de más del 60% y temperatura media edáfica promedio de 32ºC

* Características de los componentes Taxonómicos suelos Fluvaquentic Eutrudepts

Morfológicamente estos suelos presentan horizontes A-B-C o A-B. El horizonte A tiene 19 a 35 cm de espesor, color pardo grisáceo oscuro y pardo grisáceo con moteados de color pardo rojizo, texturas franca o franco arcillo limosa y estructura en bloques subangulares, finos y medios, débilmente desarrollados. El B está integrado por 2 subhorizontes Bw y Bg, de color pardo grisáceo y gris, textura franco limosa y estructura en bloques subangulares, finos y medios, débilmente desarrollados. El horizonte C aparece después de los 105 cm.

###### Asociación Fluvaquentic Endoaquepts- Fluventic Eutrudepts-Chromic Endoaquerts (RVCa)

#### Clasificación agrologica de las unidades encontradas en la Variante Puerto Berrío

Para la zona de influencia de la variante las unidades de suelos se clasificaron dentro de 3 grandes grupos agrologicos así:

##### Clase III

Suelos ondulados con pendientes entre el 7 y el 12 %. Son apropiados para cultivos trasnsitorios, praderas, plantaciones forestales, ganadería intensiva. Están limitados por una alta susceptibilidad a la erosión, inundaciones frecuentes, baja fertilidad natural, poca profundidad efectiva, baja capacidad de retención de agua, moderada acidez y presencia de roca en superficie.

Es esta clase encontramos a la unidad **LVEc2p** que se clasifica como **IIIs2** por limitaciones de profundidad efectiva ya que es superficial, nivel freático fluctuante, y pH Moderadamente acido.

##### Clase IV

Son suelos que van desde planos a ligeramente ondulados con pendientes inferiores al 12% por lo que los cultivos que pueden desarrollarse allí son muy limitados. Presentan susceptibilidad severa a la erosión y procesos erosivos fuertes como surcos, cárcavas, solifluxión y remociones en masa. Son suelos superficiales con poca profundidad efectiva, baja retención de humedad, muy baja fertilidad natural, drenaje impedido, texturas pesadas  con problemas de sobresaturación aun después del drenaje, salinidad, alcalinidad o acidez severas y moderados efectos adversos de clima.

En esta clase se encuentra la mayoría de unidades así:

**LVFap** es suelo **IVs3** es decir presenta limitaciones por Fragmentos de roca superficial, fertilidad baja. Profundidad efectiva muy superficial.

**LVBd3** es **IVes2** es un suelo son suceptibilidad a erosion**,** fertilidad baja. Profundidad efectiva muy superficial.

**LVCb2** se clasifica como **IVes4** Los suelos de esta subclase tienen susceptibilidad en retención de humedad, compactación y erosión. Los movimientos en masa son ocasionados por el pastoreo del ganado.

**RVEb** por sus características es un suelo clase **IVh3**, ya que presenta limitantes de uso por, inundaciones cortas, nivel freático alto, drenaje deficiente, fuerte acidez y fertilidad baja.

**RVBb** presenta limitaciones que llevan a clasificarla en **IVs3** porque presentan baja fertilidad, debido al bajo pH, drenaje obstaculizado y erosión moderada. En la actualidad estas tierras tienen uso pecuario pastoreo intensivo pero por sus mismas limitantes también presentan rastrojos altos.

##### Clase V

Son suelos que tienen limitaciones diferentes a la pendiente y los procesos erosivos.  Son suelos casi planos cuyas limitantes suelen ser alta pedregocidad o rocosidad, zonas cóncavas inundables, drenaje impedido, severos condicionamientos climáticos. Por lo general se limitan a ser utilizados para pastoreo extensivo.

En esta clase se encuentra la unidad **VVBb** dentro de la subclase **Vh3** estos suelos están asociados a planos de inundación del valle aluvial. Soportan inundaciones frecuentes de mediana a larga duración, por tanto presentan un nivel freático superficial o muy superficial, fertilidad moderada a alta y el drenaje natural deficiente, reacción química moderadamente ácida.

RVCa dentro de la subclase IVhs2

#### Clasificación de uso actual

El estudio del uso actual del suelos conlleva la interacción entre la cobertura vegetal y las diferentes actividades humanas que se realizan sobre este recurso, constituye elementos fundamentales para conocer la situación presente y evaluar, en el tiempo, las transformaciones que se han llevado a cabo y que se seguirán presentando tanto en la vegetación natural como en la cultural, producto de la dinámica de ocupación del territorio, evolución del sistema productivo del país, crecimiento poblacional, políticas y estrategias de desarrollo y cambios naturales globales, entre otros.

La clasificación de uso actual se llevó a cabo mediante la observación de las diferentes coberturas, a lo largo del área influencia determinada como para suelos, se determinó que dicha área comprende la franja definida entre los chaflanes, servidumbres y accesos viales.

A lo largo del trazado de la variante se encuentra un uso domínate en ganadería con énfasis en pastoreo extensivo, de ganado vacuno y búfalos; este tipo de cobertura presenta vegetación natural e introducida compuesta por gramíneas y leguminosas en la que se observa algún tipo de manejo agronómico, especialmente la división de potreros y cercas. Los pastos naturalizados son especies de gramíneas foráneas que se adaptaron plenamente a la región y su comportamiento es parecido al de los pastos naturales.

En algunos parches se pude encontrar una asociación de pastos, rastrojos y relictos de bosque, esta asociación de coberturas presenta la mezcla de vegetación de diferentes tipos biológicos, predominantemente de pastos con relictos de bosque y rastrojos; El bosque presente en esta cobertura se encuentra degradado, debido a la intervención antrópica que ha ocasionado la disminución de la riqueza florística y estructural o bien puede corresponder, en algunas zonas, a sucesiones vegetales antiguas.

##### Uso actual y Actividades asociadas

Teniendo en cuenta la clasificación agrologica de los suelos, y las actividades económicas presentes en el area de influencia del proyecto se identificaron los siguientes usos actuales (Tabla 5‑5)

Tabla 5‑5 Clasificación de uso actual en el área de influencia abiótica para el recurso suelo

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| USO ACTUAL | TIPO USO ACTUAL | NOMENCLAT | ÁREA (ha) | % |
| Agroforestal | Agrosilvopastoril | SAP | 6,0 | 4,3 |
| Ganadera | Pastoreo extensivo | PEX | 84,9 | 61,2 |
| Forestal | Producción-protección | FPP | 2,0 | 1,4 |
| Protección | FFP | 5,9 | 4,2 |
| Conservación | Recursos hídricos | CRH | 4,5 | 3,2 |
| Recuperación | CRE | 3,9 | 2,8 |
| Infraestructura | Vial | VIA | 31,6 | 22,7 |
| Residencial | URB | 0,1 | 0,1 |
| **TOTAL, ÁREA DE INFLUENCIA (GEOSFÉRICA)** | | | **138,8** | **100,00** |

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

Las unidades de uso actual se evidencian en el (Ver Anexos/Información cartográfica/ EIACUASVPB-013\_USO ACTUAL\_1,2 y 3) relativo al uso del suelo.

|  |
| --- |
| C:\Users\ambiental1\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\13. EIACUASVPB-013_USO ACTUAL_1.png |

Figura 5.9 Mapa de Uso Actual del Suelo 1-3 en el área de influencia del proyecto

Fuente Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

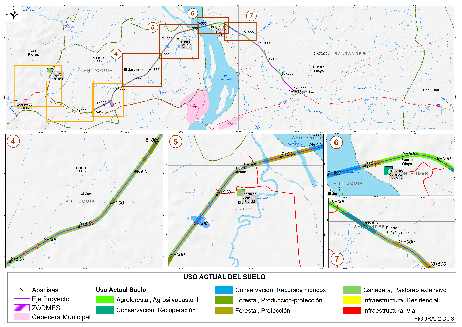


Figura 5.10 Mapa de Uso Actual del Suelo 2 -3 en el área de influencia del proyecto

Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

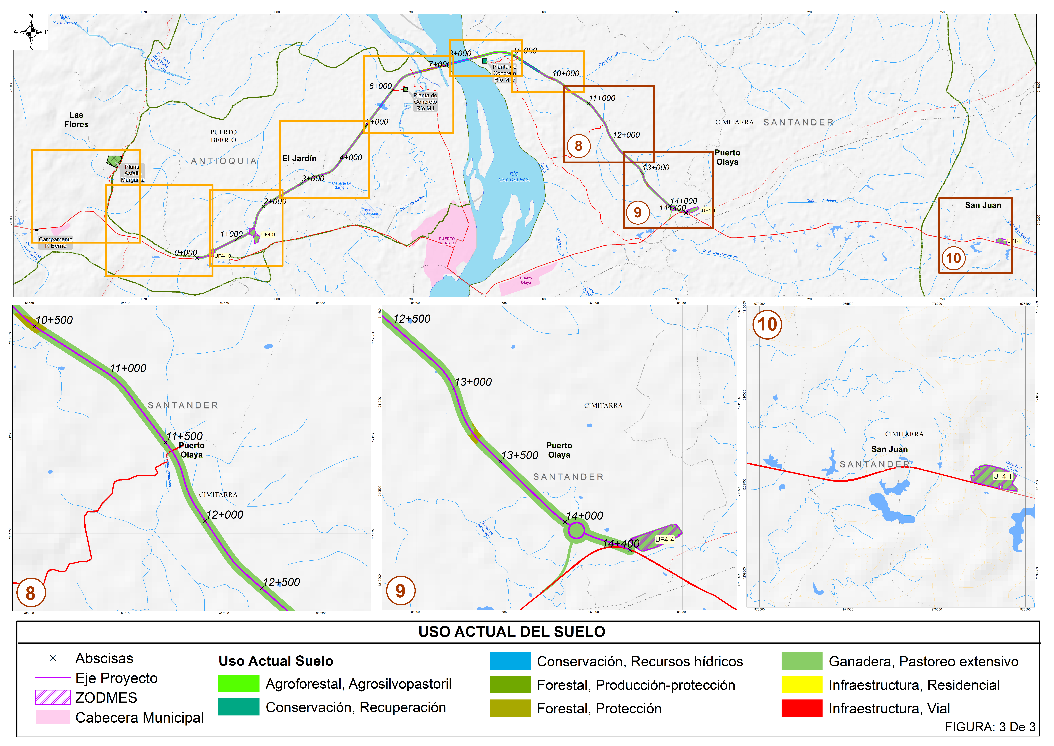


Figura 5.11 Mapa de Uso Actual del Suelo 3-3 en el área de influencia del proyecto

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

En la el área de influencia directa para la variante Puerto Berrío se encuentran básicamente 3 usos con el desarrollo propio de cobertura así:

###### Ganadería

* Uso en ganadería pastoreo extensivo

Es el uso principal y domínate en el área de influencia de la variante es ganadería de tipo extensivo, este tipo de pastoreo se caracteriza porque los animales permanecen durante un período prolongado en el mismo potrero. Este sistema es generalmente utilizado en los pastos naturales en los cuales por su escasa producción y crecimiento no se justifica la subdivisión de potreros. Por regla general, la capacidad de carga de estos sistemas es relativamente bajo, los potreros se subpastorean durante la época de lluvia y se utilizan en exceso durante las épocas secas, con el consiguiente deterioro de la cobertura forrajera. Este sistema favorece la propagación de las malezas, la reinfestación de ecto y endo parásitos de los animales, una inadecuada distribución de las heces y orina en la pastura y especialmente, un deficiente aprovechamiento del forraje. La realización de prácticas de manejo son reducidas a nulas y el pero le intensidad de su uso impide la presencia o el desarrollo de otras coberturas.

* Uso en ganadería pastoreo semi-intensivo

Este es el siguiente uso encontrado es muy similar al anterior los animales permanecen un bastamente tiempo en los potreros, la diferencia radica primordialmente en que los potreros cuentan con árboles y arbustos diseminados en la superficie, la nutrición de los animales es suplementada con complementos minerales, pero el manejo de suelos y praderas es poco tecnificado.

###### Agroforestal

* Sistemas de tipo silvopastoril

Este uso se da en el municipio de Puerto Berrio en las abscisas 4+700 - 5+200; dadas sus características agrologicas, presenta poco manejo agronómico situación que ha permitido la interacción ecológica de especies vegetales leñosas, generando un mosaico de pastos, rastrojos y relictos de bosques, algunos árboles frutales como limón y naranja, presentando espacios naturales que permiten el uso para pastoreo extensivo.

###### Protección

* Forestal para actividad forestal protectora

Este uso se encuentra en el las zonas que presentan relictos de bosque natural, generalmente asociados a cuerpos de agua, como nacimientos o humedales, en estos bosques se ha realizado aprovechamiento selectivo de las especies, y además se han talado para generar actividad ganadera aledaña, Lo cual afecta su cobertura ya que tiende a reducir.

* Transición entre actividad forestal protectora a pastoreo extensivo

Esta transición hace referencia al parche encontrado en el K9 +200 al K9+700 donde se realizó quema de la cobertura vegetal existente de bosque natural fragmentado, para dar paso a uso futuro en ganadería con pastos limpios.

|  |
| --- |
| C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\20150729_114150.jpg  C:\Users\PAOLA\Desktop\FOTOS GEMINIS\DSC06503.JPG |

Fotografía 5‑42 Uso actual de ganaderia predominante en para la variante

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

#### Clasificación de uso potencial

El uso potencial de las tierras se define como el uso más intensivo que puede soportar el suelo, garantizando una producción agropecuaria sostenible, sin deteriorar los recursos naturales.

En la siguiente Tabla 5‑6 se presentan los usos potenciales analizados en el área de influencia del proyecto (Ver Anexos/Información cartográfica/ 14. EIACUPSVPB-014\_USO POTENCIAL\_1,2y3) donde se muestran los mapas de los usos potenciales.

Tabla 5‑6 Usos potenciales en el área de influencia del proyecto

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| USO | TIPO\_USO | NOMBRE | NOMENCLAT | ÁREA (ha) | % |
| Agroforestal | Agrosilvopastoril | Aptitud Agroforestal | SAP | 55,1 | 39,7 |
| Ganadera | Pastoreso intensivo y semi-intensivo | Aptitud Ganadera | PSI | 83,3 | 60,0 |
| Conservación | Recursos hídricos | Cuerpos de agua | CRH | 0,4 | 0,3 |
| **TOTAL ÁREA DE INFLUENCIA (GEOSFÉRICA)** | | | | **138,8** | **100** |

Fuente:Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

En este tema se analizaron los suelos de las unidades de paisajes fisiográficos, la pendiente, la susceptibilidad a la erosión y la flora, de modo que se construyan alternativas a los limitantes y potencialidades de los suelos de la zona de estudio para la variante. En

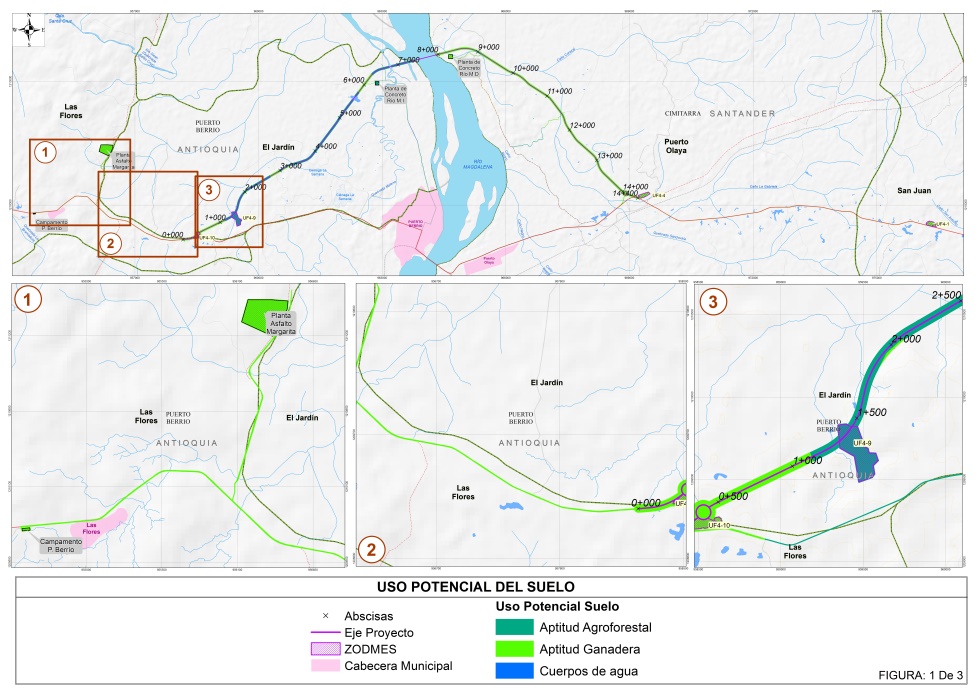


Figura 5.12 Mapa de Uso Potencial 1-3 del área de influencia del proyecto

Fuente Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

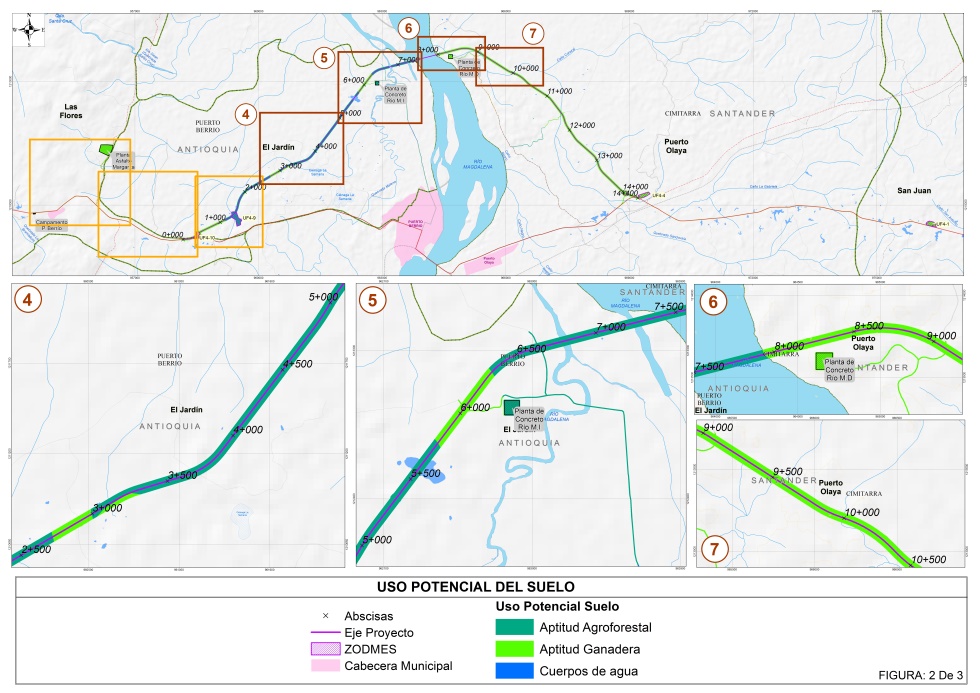


Figura 5.13 Mapa de Uso Potencial 2-3 del área de influencia del proyecto

Fuente Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

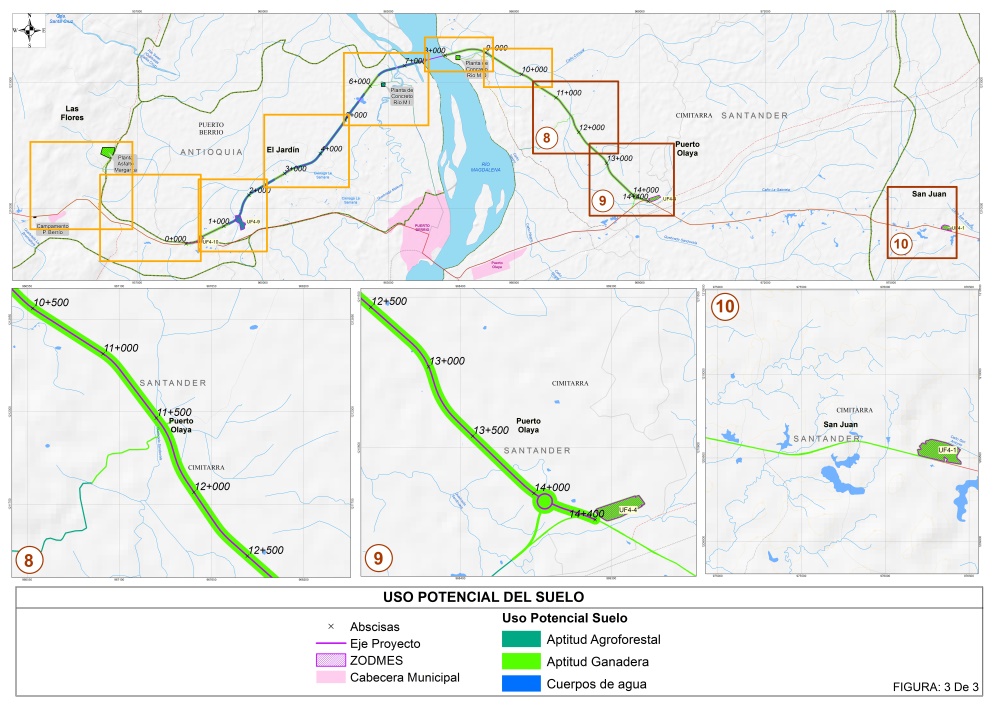


Figura 5.14 Mapa de Uso Potencial 3-3 del área de influencia del proyecto

Fuente Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

La clasificación que se presenta, permitirá alcanzar objetivos de planificación inmediata, con el objeto de explotar adecuadamente los suelos de la zona. La evaluación de las tierras para determinar la aptitud de uso potencial, se realizó teniendo en cuenta las características agrológicas más importantes tales como clima, pendiente, erosión, fertilidad natural, profundidad efectiva radicular, drenaje, posibilidad de mecanización y en especial aquellas unidades de protección.

#### Conflicto de uso

El desequilibrio que existe entre el uso actual, la cobertura de la tierra y la aptitud potencial del suelo causando erosión o degradación de la tierra, es lo que se denomina conflicto de uso.

Cuando hay discrepancias entre los diferentes tipos de utilización de los suelos con las cualidades de la tierra y los recursos bióticos básicos permiten generar un mapa de conflictos.

La jerarquización de los conflictos de uso del suelo, permite identificar prioridades para el ordenamiento territorial y constituye la base para la determinación de los tipos de usos alternativos.

Los parámetros y nomenclatura para determinar las diferentes unidades que especifican los conflictos de uso del suelo, son tomados de la metodología del IGAC 1995, teniendo en cuenta la tendencia, distribución y especialización de las áreas y realizando el análisis correspondiente

Metodológicamente los conflictos de uso se determinan comparando el mapa de uso actual y la cobertura vegetal con el mapa de uso potencial. El resultado permite generar áreas de uso adecuado y conflicto en el uso de la tierra, sujetos a procesos erosivos, a la degradación de los suelos, la perdida de la biodiversidad y calidad del agua, ocupación de las áreas estratégicas y de importancia ambiental como las áreas abastecedoras de los acueductos.

En la siguiente Tabla 5‑7 se muestran los Usos actuales, usos potenciales y los conflictos que se presentan.

Tabla 5‑7 Tabla de relación de Usos Por Tipo y sus Conflictos

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **USO ACTUAL** | **TIPO USO ACTUAL** | **USO POTENCIAL** | **TIPO USO POTENCIAL** | **CONFLICTO** | **NOMBRE** | **NOMENCLAT** | **ÁREA (ha)** | **%** |
| Agroforestal | Agrosilvopastoril | Ganadera | Pastoreso intensivo y semi-intensivo | Conflicto por subutilización ligera | Subutilización ligera | S1 | 6,0 | 4,3 |
| Ganadera | Pastoreo extensivo | Agroforestal | Agrosilvopastoril | Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado | Adecuado | A | 30,5 | 22,0 |
| Ganadera | Pastoreso intensivo y semi-intensivo | Conflicto por subutilización moderada | Subutilización moderada | S2 | 54,4 | 39,2 |
| Forestal | Producción-protección | Agroforestal | Agrosilvopastoril | 2,0 | 1,4 |
| Protección | Agroforestal | Agrosilvopastoril | Conflicto por subutilización severa | Subutilización severa | S3 | 3,0 | 2,1 |
| Ganadera | Pastoreso intensivo y semi-intensivo | 2,9 | 2,1 |
| Conservación | Recursos hídricos | Agroforestal | Agrosilvopastoril | 4,4 | 3,2 |
| Ganadera | Pastoreso intensivo y semi-intensivo | 0,1 | 0,1 |
| Recuperación | Ganadera | Pastoreso intensivo y semi-intensivo | 3,9 | 2,8 |
| Infraestructura | Vial | Agroforestal | Agrosilvopastoril |  | No Aplica | N/A | 15,3 | 11,0 |
| Ganadera | Pastoreso intensivo y semi-intensivo | 15,9 | 11,5 |
| Conservación | Recursos hídricos | 0,4 | 0,3 |
| Infraestructura | Residencial | Ganadera | Pastoreso intensivo y semi-intensivo | 0,1 | 0,1 |
| **TOTAL ÁREA DE INFLUENCIA GEOSFÉRICA** | | | | | | | **138,8** | **100** |

Fuente Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

Los conflictos identificados en el territorio de influencia de la unidad funcional fueron:

• Tierras de uso adecuado

• Tierras de uso inadecuado

• Tierra de Uso Muy Inadecuado

En las siguientes figuras se muestran los mapas de los conflictos identificados en el área de influencia del proyecto. (Ver Anexos/Información cartográfica/ 15. EIACCUSVPB-015\_CONFLICTO DE USO\_1-2y3)

|  |
| --- |
| C:\Users\ambiental1\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\CONFLICTO_1.png |

Figura 5.15 Mapa de Conflictos de uso 1-3 de la tierra en el área de influencia del proyecto

Fuente Autopista Río Magdalena.S.A.S, 2016

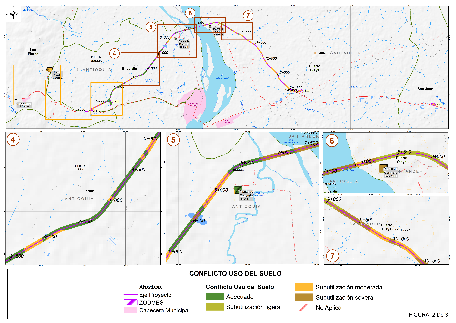


Figura 5.16 Mapa de Conflictos de uso 2-3 de la tierra en el área de influencia del proyecto

Fuente Autopista Río Magdalena .S.A.S, 2016

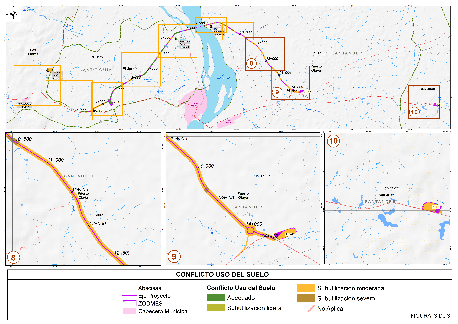


Figura 5.17 Mapa de Conflictos de uso 3-3 de la tierra en el área de influencia del proyecto

Fuente Autopista Río Magdalena .S.A.S, 2016

##### Tierras en Uso Adecuado

Son áreas que están utilizadas en explotaciones acordes con su capacidad de uso, ya que no se sobrepasan las capacidades del suelo y por ende no se está causando impacto negativo. En esta clase tipo de uso se requieren prácticas de manejo que se aseguren una explotación sostenible.

Tabla 5.6 Clasificación de uso Adecuado para Variante Puerto Berrio UF4

|  |  |
| --- | --- |
| Tipo de uso actual | Tipo de uso potencial |
| Residencial | Pastoreo intensivo y semi-intensivo |
| Silvopastoril | Pastoreo intensivo y semi-intensivo |
| Silvopastoril | Agrosilvopastoril |
| Protección | Agrosilvopastoril |
| Protección | Pastoreso intensivo y semi-intensivo |
| Protección | Agrosilvopastoril |

Fuente Géminis Consultores S.A.S.

##### Tierras en Uso Inadecuado

Corresponden a las zonas en las cuales el uso actual o demanda de recursos superan el uso potencial que pueden soportar las tierras, es decir, los suelos están sometidos a actividades intensivas las cuales exceden su capacidad de uso y las prácticas de manejo son inadecuadas que traen como consecuencia procesos erosivos, ocasionando deterioros progresivos en los terrenos, por ejemplo ganaderías en desarrollo extensivo o en terrenos con pendientes fuertes sujetas a procesos erosivos, cuya vocación es primordialmente Agroforestal .

Tabla 5. Clasificación de uso Inadecuado para Variante Puerto Berrio UF4

| Tipo de uso actual | Tipo de uso potencial |
| --- | --- |
| Recuperación | Pastoreso intensivo y semi-intensivo |
| Recursos hídricos | Agrosilvopastoril |
| Vial | Pastoreso intensivo y semi-intensivo |
| Vial | Agrosilvopastoril |
| Vial | Zonas inundables |
| Vial | Pastoreso intensivo y semi-intensivo |
| Pastoreo extensivo | Pastoreso intensivo y semi-intensivo |
| Pastoreo extensivo | Agrosilvopastoril |

Fuente Géminis Consultores S.A.S.

##### Tierras en Uso Muy Inadecuado

Son áreas en las cuales el uso actual está muy por encima de la aptitud potencialque puede soportar el suelo, es decir dichos suelo esta sometido a actividades o usos intensivos, los cuales exceden su capacidad de sostenibilidad. Generalmente los conflictos que se presentan están relacionados con usos agropecuarios en las ares consideras como ecosistemas estratégicos.

Tabla 5.8 Clasificación de uso Muy Inadecuado para Variante Puerto Berrio UF4

|  |  |
| --- | --- |
| Tipo de uso actual | Tipo de uso potencial |
| Vial | Pastoreso intensivo y semi-intensivo |
| Pastoreo extensivo | Pastoreso intensivo y semi-intensivo |
| Pastoreo extensivo | Agrosilvopastoril |

Fuente Géminis Consultores S.A.S.

### **Hidrología**

Éste numeral presenta la descripción hidrológica de la zona de estudio del proyecto “Construcción variante Puerto Berrio, en los departamentos de Antioquia y Santander”, en la cual se incluyó la caracterización hidrológica del Área de Influencia.

La caracterización del Área de Influencia, consideró realizar el análisis de los sistemas lénticos y lóticos, los patrones de drenaje a nivel regional; además del régimen hidrológico y de caudales característicos de las principales corrientes. También contempla el análisis del tipo y distribución de las redes de drenaje, los sistemas lénticos, permanentes e intermitentes, descripción y localización de la red hidrográfica e identificación de la dinámica fluvial; además del régimen hidrológico y de caudales característicos de las corrientes a intervenir.

Dichas caracterizaciones fueron desarrolladas con base en información hidrológica del área, disponible en el IDEAM, cartografía IGAC escalas 1:100.000 y 1:25.000, imagen de Satélite (Tipo RAPIDEYE 2014), además del reconocimiento y trabajo en campo.

El análisis hidrológico se concentra en:

* Identificar y describir la red de drenaje característica de la zona de estudio.
* Establecer aspectos morfológicos y dinámicos de las subcuencas de interés.
* Identificar fuentes de captación y vertimiento para el desarrollo de las actividades del proyecto.

##### Fuentes de información

Como fuente de información se identificaron y consultaron las siguientes entidades:

- Universidad Nacional de Colombia – Instituto de Estudios Ambientales – IDEA

- Ministerio del Transporte – Subdirección de Infraestructura Fluvial

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC – Seccional Bogotá

- Ingeominas Seccional Bogotá

- Corporación Autónoma Regional del Río Nare - Cornare

- Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia - Corantiqouia

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

##### Información hidrológica

Para la descripción hidrológica del área de estudio, se utilizó información hidrométrica actualizada suministrada por el IDEAM, entre los años de 1965 a 2014. Para efecto de realizar los respectivos estudios de regionalización se emplearon los registros de estaciones de corrientes principales en la zona de estudio, las cuales se presentan a continuación en la **Tabla 5‑8**.

Tabla 5‑8 Relación de estaciones hidrométricas

| ESTACIÓN | Municipio | Corriente | Tipo | CODIGO | COORDENADAS | | ALTURA (m.s.n.m.) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **LATITUD** | **LONGITUD** |
| Puerto Berrío | Puerto Berrío | Magdalena | LG | 2309703 | 6º30 | 74º30 | 108 |
| Fca Barrederos | Puerto Parra | Carare | LM | 2312750 | 6º38 | 74º03 | 95 |

Fuente: IDEAM, LG: Limnigráfica. Presente Estudio

5.1.5.1 Área de Influencia (AI)

Para el proyecto “Construcción variante de Puerto Berrio, en los departamentos de Antioquia y Santander”, a nivel regional se encuentra enmarcada dentro de la dinámica fluvial de la cuenca media del río Magdalena; a la altura del municipio de Puerto Berrio en Antioquia y Cimitarra en Santander.

En el AI del proyecto se encuentra como principal corriente el Río Magdalena, que conduce sus aguas en dirección Sur – Norte entre la cordillera Central y Oriental, siendo la principal fuente hídrica del país, descargando sus agua en el Mar Caribe. .

El AI del proyecto se encuentra ubicado en la cuenca media del Río Magdalena, en los, donde recibe los aportes de las cuencas Quebrada Malena, Quebrada Sandoval y otras, las cuales vierten sus aguas directamente al cauce del río. En la Figura 5.19 se presenta el mapa para el componente hidrológico del proyecto.

|  |
| --- |
| E:\Figuras_Variante_V5\16. EIACUGMVPB-016_HIDROLOGÍA.jpg |

Figura 5.18 Cuencas identificadas AI del proyecto

Fuente Géminis Consultores S.A.S, 2015

#### 5.1.5.2 Sistemas Loticos.

Los cuerpos o sistemas loticos son todas aquellas fuentes de agua enmarcadas dentro de los sistemas acuáticos de agua dulce, que tienen movimiento longitudinal dentro de un cauce o lecho y de igual forma una magnitud de dirección o desplazamiento del flujo a lo largo de un cauce (no depósito), con parámetros hidráulicos variables espacialmente, conformando una red de drenaje que confluye finalmente en una fuente similar o de mayor categoría, al mar directamente o un sistema hídrico de carácter lentico. (A. Salazar – Hidrología ambiental).

Siguiendo los lineamientos institucionales, acorde con la zonificación hidrográfica de Colombia realizada por el IDEAM según Decreto 1640 de 2012, el AI del proyecto pertenece al Área Hidrográfica del Magdalena – Cauca identificada con el código 2, el total del área de del proyecto, en la cuenca hidrográfica Magdalena 3.

A nivel regional, en el AI del proyecto se ubican las cuencas de tercer orden, la Quebrada Malena la cual vierten sus aguas a la cuenca media del río Magdalena desde la cordillera central en dirección Oeste- Este desde el departamento de Antioquia al Río Magdalena y la cuenca de la Quebrada Malena, la cual fluye sus agua en dirección Este – Oeste, desde el departamento de Santander, en el Municipio de Cimitarra, siendo afluente directo del río Magdalena. Las áreas de drenaje mencionadas presentan una topografía colinada.

La jerarquización de la red hidrográfica del AI del proyecto “Construcción variante Puerto Berrio, en los departamentos de Antioquia y Santander”, además de la codificación realizada por el IDEAM, según Decreto 1640 de 2012, se describe en Tabla 5‑9 y en la Figura 5.19**.**

En el plano EIACUGMVPB-016 a escala 1:25000 se presenta en detalle la delimitación de cuencas de la zona de estudio.

Tabla 5‑9 Jerarquización de la Red Hidrográfica de las cuencas relacionadas con el AI del proyecto., según Decreto 1640 de 2012

| AH | | SZH | | ZH | | CUENCA ORDEN 3 | CUENCA ORDEN 4 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CODIGO IDEAM/ANLA | AREA HIDROGRAFICA | CODIGO IDEAM/ANLA | SUBZONA HIDROGRAFICA | CODIGO IDEAM/ANLA | ZONA HIDROGRAFICA |
| 2 | MAGDALENA CAUCA | 23 | Medio Magdalena | 2311 | Aluentes Directos al Río Magdalena | Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-8 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-13 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-12 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-11 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-10 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-4 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-6 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-1 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena 2 | ADM2-1 |
| Caño Moravia | CM-5 |
| Caño Negro | CN-1 |
| CN-2 |
| CN-7 |
| CN-6 |
| Caño Río Viejo | Qda. Sandovala |
| Quebrada Malena | QM-1 |
| Quebrada Bramadora |
| QM-5 |
| Quebrada Sandovala | Quebrada Gabriela |
| 2312 | Río Carare (Minero) | Río Carare | Río San Juan-Caño San Antonio |

Fuente Géminis Consultores S.A.S, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.19 Cuencas identificadas AI del proyecto

Fuente Autopista Rìo Magdalena S.A.S, 2016

Dentro del AI del recurso hídrico se presentan 11 cuencas asociadas, de las cuales 8 corresponden a áreas que drenan directamente el río Magdalena, 1 corresponde a la quebrada Caño Viejo y 2 corresponden a la Quebrada Malena. En la siguiente tabla se presentan las cuencas pertenecientes al AI del proyecto de construcción de la variante Puerto Berrío.

Tabla 5‑10 Cuencas del Área de influencia puntual o de intervencion

| Denominación de la cuenca | Código | AREA\_TOT (ha) |
| --- | --- | --- |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-8 | 489,302 |
| Quebrada Malena | QM-1 | 281,800 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-13 | 461,851 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-12 | 167,182 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-11 | 511,534 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-10 | 185,755 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-9 | 54,120 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-4 | 110,351 |
| Áreas que drenan directamente al Río Magdalena | ADM-6 | 79,405 |
| Caño Río Viejo | Qda. Sandovala | 2202,158 |
| Quebrada Malena | QM-5 | 133,205 |

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

##### Descripción y localización de la red hidrográfica

###### Zona Hidrográfica Magdalena-Cauca

La zona hidrográfica Magdalena Cauca, tiene un área total de 271.193 km2, y se localiza en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Guajira, Huila, Magdalena, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca.

Congrega los asentamientos humanos más grandes del país y alberga cerca del 75% de la población nacional, siendo el río Magdalena el principal eje hidrológico. Cerca de 726 municipios, de un poco más del millar del país, pertenecen a esta cuenca.

Los ríos Magdalena y Cauca hacen parte del sistema fluvial de mayor caudal y extensión de la vertiente del Caribe. El río Magdalena es uno de los de mayor extensión, con aproximadamente 1.550 km de longitud, desde su nacimiento a 3.600 msnm sobre la cordillera, hasta su desembocadura en el mar Caribe. El río Cauca, el principal afluente del Magdalena, tiene una extensión aproximada de 1.015 km.

Esta área se encuentra en las subzonas hidrográficas de los ríos Cimitarra, Nare, San Bartolomé, la cuenca alta del río Porce (río Mata), y la cunca del río Carare, representadas por los códigos ZSH 2307, 2308, 2310, 2317 y 2710, de acuerdo al Decreto 1640 del 2012, del MADS y el IDEAM. Estas subzonas se encuentran conformadas por una red de drenajes y afluentes hacia el curso principal de la zona hidrográfica media de río Magdalena (ZH 2300), las cuales, se tuvieron en cuenta con el fin de poder estimar su comportamiento de la oferta hídrica disponible para el área de estudio. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede apreciar a nivel regional la localización hidrográfica del área de estudio.

###### Cuenca Hidrográfica Magdalena (Región Magdalena –Medio)

La cuenca Hidrográfica Magdalena (3) o región del Magdalena Medio, se ubica entre la región del municipio de Honda y la población de El Banco. Sufre inundaciones desde Puerto Wilches. El río se ramifica profusamente formando islas, en muchos casos migratorios y bancos de arena que perjudican la navegación. Así mismo, gran parte es cubierta por las aguas formando ciénagas que drenan en forma lenta y favorecen una regulación natural del caudal. Entre sus afluentes principales están los ríos Carare, Opón, Cimitarra, Sogamoso, Lebrija, La Miel, Guarinó, Cocorná, Gualí, Nare, Regla, Simití y Santos Gutiérrez. En esta parte se encuentran ciudades como Tunja, Bucaramanga, Barranca, Puerto Wilches, Puerto Berrío y Puerto Boyacá.

La cuenca del Magdalena medio, tiene una longitud de 542 km, con una pendiente media de 0.35 m/km, debido a esto conforma un sistema complejo de ciénagas y pantanos que cumplen con un efecto regulador, siendo efluentes y afluentes de acuerdo con los niveles de la corriente, Atlas de la Cuenca del río Magdalena.

En la Figura 5.20 y la Figura 5.21 se presenta un perfil de la cuenca del río Magadlena así como la distribución esquemática del sistema hídricio de la cuenca, en los que se identifica la zona de estudio.

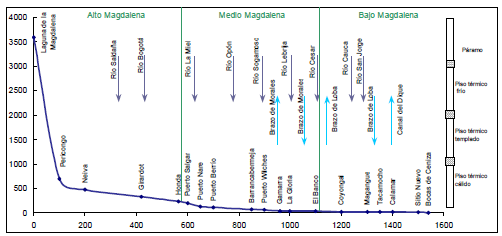


Figura 5.20 Perfil de la cuenca del río Magadlena

Fuente: Cormagdalena – IDEA, 2001

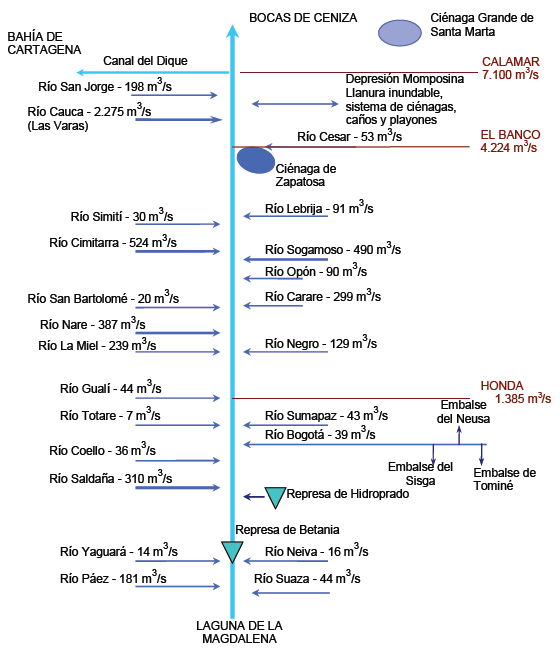


Figura 5.21 Sistema hídrico del río Magdalena

Fuente: Cormagdalena – IDEAM, 2001

A continuación, se describen los principales corrientes de agua presentes en el área de interés:

###### Drenajes directos al al Río Magdalena

Corresponde a una zona que se ha formado en una amplia zona plana, por la cual la corriente madura ha divagado, con pendiente media del 2%, lo que facilita la formación de ciénagas, zonas pantanosas y humedales. PBOT, Puerto Berrío, 2000. En el área de influencia del proyecto, ocupa una extensión de 1.919 has (19,19 km2).

Esta sub-zona hidrográfica cuenta con una extensión aproximada de 2685 km2 ubicándose en el occidente del departamento de Boyacá en el municipio de Puerto Boyacá y suroeste de Santander en jurisdicción de los municipios de Cimitarra y Bolívar. La sub-zona está conformada por las cuencas de corrientes importantes como el río Ermitaño, caño El Baúl y la quebrada Velásquez.

El río Ermitaño como principal corriente, nace en el filo de las Micas Flacas, en la serranía de Las Quinchas y desemboca en el río Magdalena en límites entre Boyacá y Santander, recorriendo una longitud de aproximadamente 79,8 km. En su nacimiento el río toma dirección norte hacia Puerto Pinzón desde donde toma rumbo oeste hacia la vereda Dos quebradas, sitio a partir del cual toma dirección noroeste hasta desembocar en el río Magdalena (Alcaldía de Pto Boyacá; Consultor H&M Ltda, 2002).

###### Cuenca del río Carare

La cuenca de esta corriente se ubica en el suroccidente del departamento de Santander, occidente de Boyacá y noroccidente de Cundinamarca, en el flanco oeste de la cordillera oriental. El río Carare nace con el nombre del río Guaquimay en el páramo El Ratón, en el municipio de Yacopi, Cundinamarca; el río Guaquimay a su paso por el departamento de Boyacá se une con el río Negro para formar el río Minero (CAR, 2009); a su paso por el departamento de Santander el río Minero se une con el río Horta para formar el río Carare, nombre que mantiene hasta su desembocadura en el río Magdalena.

El comportamiento hidrológico y de caudales del río Carare al igual que otras cuencas del Magdalena medio, está determinado tanto temporal como espacialmente por la morfometría, cobertura vegetal y principalmente por la ocurrencia y distribución de la precipitación a lo largo de la cuenca.

La morfología de la sección transversal tomada muestra que la corriente está concentrada hacia la margen derecha, produciendo las zonas más profundas y zonas de depósito, de poca profundidad en la margen izquierda, que en época de verano queda al descubierto como un playón.



Fotografía 5.43 Cauce del río Carare sector del municipio de Puerto Parra

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

###### Quebrada Malena

La microcuenca de la quebrada Malena, forma parte de los afluentes directos al río Magdalena entre el sector del río Nare y el río Carare; está afectado en sus riberas y en cuanto a calidad del agua, debido a que ha sido talada su vegetación protectora y además recibe aguas residuales de fincas, con actividades agrícolas y ganaderas, se observó en la visita de campo, el estancamiento de su cauce debido a la alta carga de sedimentos y basuras. Desemboca en el río Magdalena. El área de la microcuenca en el área de influencia del proyecto es de 39822 has (398,22 km2).



Fotografía 5.44 Detalle del cauce de la quebrada Malena en Puerto Berrío

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

###### Sub-cuenca de la Quebrada Sandovalá

La microcuenca de quebrada Sandovala, en el área de influencia del proyecto, su microcuenca ocupa un área de vegetación secundaria en la vereda San Juan, sus principales tributarios son el Caño Gabriela y el caño Corozal y posteriormente tributa sus aguas al río Magdalena; al igual que todas las corrientes de la zona, recibe contaminantes de vertimientos agropecuarios y de viviendas rurales. La extensión de la microcuenca, en el área de influencia indirecta es de 1.890 has (18,90 km2).



Fotografía 5.45 Detalle de la quebrada Sandovala en la vía existente entre Puerto Berrío y la Ruta del Sol

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

#### 5.1.5.3 Sistemas Lénticos

Los cuerpos de agua de tipo léntico identificados en el área de influencia del proyecto “Construcción variante Puerto Berrio, en los departamentos de Antioquia y Santander” son de tipo antrópico, correspondientes a 72 jagüey asociados a la actividad pecuaria. El área de influencia del recurso hídrico presenta un uso de suelo dominado por actividades ganaderas, por lo cual es frecuente encontrar este tipo de cuerpos de aguas, sin embargo el proyecto solo tendrá intervención sobre dos de los jagüey , correspondientes al jaguüey 11 que se encuentra cercano en la abscisa K1+270 y No. 57 que se intercepta en la abscisa K5+600. Teniedo en cuenta que el Jaguüey 57 se intercepta con el proyecto se realizó la caracterización de los parámetros de calidad de agua del mismo (Ver aparte Calidad de agua, punto de muestreo E23UF4)

La Tabla **5‑11** describe los cuerpos de agua lenticos ubicados en el área de influencia del proyecto. El total de los cuerpos de agua lénticos incluidos dentro del área

Tabla 5‑11 Inventario de cuerpos lénticos AI

| JAGUEY | NOMBRE | ESTE | NORTE |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | Jagüey | 958462,0 | 1208995,1 |
| 2 | Jagüey | 958662,3 | 1209073,0 |
| 3 | Jagüey | 958281,0 | 1209106,7 |
| 4 | Jagüey | 958316,1 | 1209146,5 |
| 5 | Jagüey | 957251,8 | 1209180,4 |
| 6 | Jagüey | 958553,9 | 1209257,2 |
| 7 | Jagüey | 959082,5 | 1209425,4 |
| 8 | Jagüey | 958629,6 | 1209521,5 |
| 9 | Jagüey | 968418,4 | 1209659,0 |
| 10 | Jagüey | 958909,3 | 1209779,0 |
| 11 | Jagüey | 959305,7 | 1209779,3 |
| 12 | Jagüey | 959802,6 | 1209831,1 |
| 13 | Jagüey | 968388,2 | 1209777,7 |
| 14 | Jagüey | 968644,1 | 1209916,9 |
| 15 | Jagüey | 959452,3 | 1209945,9 |
| 16 | Jagüey | 969403,1 | 1210034,2 |
| 17 | Jagüey | 969075,1 | 1210284,7 |
| 18 | Jagüey | 959687,7 | 1210301,7 |
| 19 | Jagüey | 963026,2 | 1210369,8 |
| 20 | Jagüey | 962548,0 | 1210390,7 |
| 21 | Jagüey | 959838,4 | 1210464,7 |
| 22 | Jagüey | 968926,4 | 1210468,1 |
| 23 | Jagüey | 960367,1 | 1210562,5 |
| 24 | Jagüey | 960382,0 | 1210577,8 |
| 25 | Jagüey | 968411,1 | 1210621,8 |
| 26 | Jagüey | 960595,7 | 1210640,1 |
| 27 | Jagüey | 960542,1 | 1210668,5 |
| 28 | Jagüey | 960145,3 | 1210684,6 |
| 29 | Jagüey | 960589,9 | 1210749,0 |
| 30 | Jagüey | 960362,9 | 1210756,2 |
| 31 | Jagüey | 960606,0 | 1210796,4 |
| 32 | Jagüey | 960728,4 | 1210818,1 |
| 33 | Jagüey | 962839,6 | 1210841,6 |
| 34 | Jagüey | 960677,5 | 1210859,0 |
| 35 | Jagüey | 968976,6 | 1210874,3 |
| 36 | Jagüey | 960562,6 | 1210897,1 |
| 37 | Jagüey | 960251,5 | 1210903,1 |
| 38 | Jagüey | 968170,5 | 1210936,9 |
| 39 | Jagüey | 962896,6 | 1211012,9 |
| 40 | Jagüey | 967765,1 | 1211041,5 |
| 41 | Jagüey | 962479,4 | 1211114,2 |
| 42 | Jagüey | 966639,4 | 1211121,8 |
| 43 | Jagüey | 962222,3 | 1211138,7 |
| 44 | Jagüey | 968111,0 | 1211175,3 |
| 45 | Jagüey | 962935,9 | 1211202,2 |
| 46 | Jagüey | 968545,7 | 1211316,8 |
| 47 | Jagüey | 961312,5 | 1211353,8 |
| 48 | Jagüey | 961675,5 | 1211356,0 |
| 49 | Jagüey | 962520,1 | 1211419,5 |
| 50 | Jagüey | 967964,7 | 1211461,3 |
| 51 | Jagüey | 962442,5 | 1211518,7 |
| 52 | Jagüey | 966671,3 | 1212097,7 |
| 53 | Jagüey | 962505,1 | 1212285,1 |
| 54 | Jagüey | 962508,6 | 1212594,8 |
| 55 | Jagüey | 962193,6 | 1212618,7 |
| 56 | Jagüey | 962340,3 | 1212644,8 |
| 57 | Jagüey | 962351,1 | 1212579,2 |
| 58 | Jagüey | 966735,4 | 1212681,1 |
| 59 | Jagüey | 966473,0 | 1212688,5 |
| 60 | Jagüey | 966581,7 | 1212792,3 |
| 61 | Jagüey | 966621,1 | 1212812,7 |
| 62 | Jagüey | 966598,7 | 1212811,8 |
| 63 | Jagüey | 967902,6 | 1212804,6 |
| 64 | Jagüey | 966618,2 | 1212830,1 |
| 65 | Jagüey | 967873,3 | 1213165,2 |
| 66 | Jagüey | 967985,9 | 1213291,9 |
| 67 | Jagüey | 963425,5 | 1213373,0 |
| 68 | Jagüey | 964528,0 | 1214281,6 |
| 69 | Jagüey | 964812,6 | 1214683,6 |
| 70 | Jagüey | 965140,7 | 1214869,7 |
| 71 | Jagüey | 965008,5 | 1214903,1 |
| 72 | Jagüey | 964970,2 | 1214933,1 |

Fuente: Géminis Consultores S.A.S, 2015

Adicionalmente en la región se conforma un sistema importante de ciénagas, de las cuales cabe resaltar las siguientes (CORANTIOQUIA, 2015)

* Municipio de Puerto Berrío: El Chiquero, Caño Trapo, Méjico, Ripley, San Juan de Bedout, La Florida, Los Indios, Morella.

Hacia la margen derecha del río Magdalena, dentro el área de estudio se encuentran los siguientes cuerpos de agua léntico:

* Ciénaga Chiquita 1: Se encuentra asociada con el caño Negro. Área: 12 Ha
* Ciénaga Chiquita 2: Se encuentra en la margen derecha del río Magdalena, en una zona del antiguo cauce del río Magdalena. Área: 29 Ha.
* Pantanos: se identificaron humedales y pantanos, que cubren extensas zonas, pero intervenidos por las actividades agropecuarias. El área que ocupan los pantanos es de 600 Ha.

El sistema Regional para los Humedales del Magdalena Medio, SIREPAHMM, es la entidad que se encarga del estudio de éstos cuerpos de agua, de acuerdo con los estudios elaborados por ellos y por el Sistema de Información de pesca y Acuicultura, han establecido los planes de acción para la recuperación de los humedales.

Cabe resaltar que de las ciénagas mencionadas ninguna es afectada por la ejecución del proyecto.

#### 5.1.5.4 Patrones de drenaje a nivel regional

A continuación se hace una descripción de las características del drenaje a nivel regional, teniendo en cuenta los aspectos fisiográficos y algunas consideraciones de tipo geológico que incluyen la tectónica de la región.

Regionalmente, el proyecto se ubica en la cuenca media del río Magdalena, entre los municipios de Puerto Berrio (Antioquia) y Cimitarra (Santander), regionalmente para el área de influencia directa del proyecto en el departamento de Antioquia, se reconocen algunos drenajes importantes como la sub-cuenca de la Quebrada Santa Cruz, Quebrada la Malena y otros afluentes menores que confluyen directamente al río Magdalena, en el área de influencia del departamento de Santander se pueden identificar las sub-cuencas de la Quebrada Sandoval (Perteneciente a la cuenca del caño río Viejo) y Caño Negro los cuales colectan drenajes menores de otras quebradas o cuerpos de agua y son los principales tributarios al río Magdalena identificados en esta región.

Desde el punto de vista fisiográfico, la zona está conformada por una serie de colinas producto del entallamiento de cauces dentro de unidades de rocas sedimentarias, presentan principalmente una cobertura de pastos, destacando que hacia los cauces y sus márgenes, se han generado bosques primarios.

La dinámica de las corrientes individuales se deriva algunos fenómenos geomorfológicos importantes, en las corrientes principales es necesario hacer un análisis para tratar de determinar aquellos procesos y sus efectos en el área estudiada. De acuerdo a su alineamiento en planta, los cauces naturales pueden clasificarse en: rectos, meándricos y trenzados Para la cuenca media del río Magdalena, el patrón de drenaje identificado para el área de influencia del proyecto es de cauce “Meándrico”, teniendo en cuenta que el río es una corriente individual y la principal cuenca del proyecto.

El patrón de drenaje erosiónales hace referencia a la forma que desarrollan por erosión de la superficie de la tierra y reciben el nombre acorde con su distribución espacial de todos sus afluentes dentro de la cuenca, los patrones de drenaje se pueden clasificar como: patrones de tipo paralelo, subparalelo, dendrítico, subdendrítico, radial, anular, angular entre otros.

Teniendo en cuenta las posibles clasificaciones se puede afirmar que en el área de influencia de desarrollo, la red de drenaje de las sub cuenca presenta un patrón de drenaje predominante de tipo “Dendrítico”, como consecuencia del sistema colinados que existe en el paisaje en la zona. Este patrón está determinado por la geología, las características de cobertura vegetal y el clima regional en tiempos históricos que condicionaron la morfología superficial.

##### Patrón de drenaje Meándrico

Se identificó que para el área del proyecto, el río Magdalena tiene un patrón de drenaje Meándrico, este tipo de cauces es indicativo, según Strahler (1979), señalando que el río en su cuenca medio está en su etapa de madurez, se caracteriza por poseer valles amplios y planos, en los cuales el cauce se desplaza formando lazos u ondulaciones más o menos regulares, que aumentan grandemente su longitud, con respecto a la longitud que presenta el valle.

Según Linsley, R., et al (1977), la longitud media de los canales con meandros, parece ser, aproximadamente, igual a 1,5 veces la longitud del valle, esta medida recibe el nombre de sinuosidad del canal; la longitud de onda de los meandros varía entre 7 y 11 veces el ancho del cauce, y el radio de curvatura de los mismos varía generalmente entre dos y tres veces el ancho del canal; la amplitud de las curvas, o el ancho del cinturón de meandros, varía considerablemente, y parece que está controlada, principalmente, por el material de las bancas del río, generalmente varía entre 10 y 20 veces el ancho del cauce. (HERNANDO LONDOÑO, 2001)

En las llanuras del río se podrán presenta una situación intermedia entre los procesos de erosión lateral en las partes externas de las curvas de los meandros (lado cóncavo), y sedimentación en sus partes internas (lado convexo), en las cuales se forman los complejos de orillares. Los meandros se pueden explicar como una forma de disipar energía.

La cuenca media del Río Magdalena, sufre inundaciones desde Puerto Wilches. El río se ramifica profusamente formando islas, en muchos casos migratorios y bancos de arena que perjudican la navegación. Así mismo, gran parte es cubierta por las aguas formando ciénagas que drenan en forma lenta y favorecen una regulación natural del caudal.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el río Magdalena en el área de influencia del proyecto y los drenajes que le atribuyen, en esta figura se puede observar como el río tiene un patrón de drenaje Meándrico, dejando en las épocas de verano grandes bancos de arena y material sedimentable que en épocas de invierno pueden ser cubiertos nuevamente. También se observa la red de drenajes en el área de influencia.

##### Patrón de drenaje Dentríco

Es el patrón que más frecuentemente se presenta, y se caracteriza por mostrar una ramificación arborescente en la que los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos. Se desarrolla en suelos homogéneos, moderadamente permeables, con pendientes suaves y sin ningún tipo de control. Se presenta, con frecuencia, en zonas de rocas sedimentarias blandas, aluviones finos, tobas volcánicas, depósitos de till glacial (brecha consolidada o roca sedimentaria, cuyos materiales de partida se han formado por fenómenos glaciares), principalmente. Estos drenajes fluyen principalmente a la cuenca media del río Magdalena y sus afluentes directos.

Este tipo de drenaje se forman con la interacción de varios factores, entre los que se encuentran: litología de baja permeabilidad, poca cobertura vegetal, laderas bajas y pendientes moderadas, entre otros. Dicho comportamiento se puede observar en la Figura 5.22.



Figura 5.22 Patrón de drenaje dendrítico

En el área de influencia del proyecto se presenta patrones de drenaje dentrícos debido a que el terrenos tiene condiciones homogénea del área de drenaje; con materiales en el suelo de granulometría fina y homogénea, permeabilidad relativamente baja, y una pendiente no mayor a 5%, donde los drenajes identificados corre en todas las direcciones, alimentando naturalmente el río Magdalena el cual fluye en dirección Sur- Norte.

En laFigura 5.42, se presenta un esquema del patrón de drenaje de tipo dendrítico, del área de influencia del proyecto

|  |
| --- |
| G:\PATRONES DE DRENAJE.jpg |

Figura 5.23 Patrones de drenaje identificados para el área de influencia del proyecto

Fuente Géminis Consultores S.A.S, 2015

#### 5.1.5.5 Identificación y distribución de redes de drenaje

De acuerdo con el comportamiento hidrológico, la hidrogeología regional, el tipo de suelo y la cobertura vegetal, en cada una de las cuencas hidrográficas identificadas para el proyecto, se pueden establecer de antemano que todas las corrientes tienen un régimen hidrológico permanente. Por otra parte es importante conocer la forma como se distribuye espacialmente todas y cada una de las cuencas que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto.

El área del proyecto, esta drenada principalmente por el sistema lótico correspondiente al Río Magdalena (Cuenca Media río Magdalena), fluyendo en sentido S–N; adicionalmente la totalidad del área de influencia es drenada por los sistemas loticos de las sub-cuencas de la Quebrada Melena, Quebrada Santa Cruz, Caño Moravia, y UN Afluente directo desde el departamento de Antioquia, los cuales drenan principalmente en sentido W-E, alimentando de forma directa el río Magdalena en su margen izquierda. En el departamento de Santander el área de influencia es drenada por los sistemas loticos de las sub-cuencas del Caño Negro y la Quebrada Sandoval principalmente, drenando en sentido SE- WN alimentado de igual manera de forma directa el río Magdalena por su margen derecha.

En los primeros apartes de este capítulo de hidrología se estructuró la jerarquización de la red de drenaje regional y local del área de influencia del proyecto, con base en el decreto 1640 de 2012 (por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones para el país), sin embargo la clasificación de una cuenca dado el tamaño que representa dentro de un sistema hidrográfico, no ha sido establecido con claridad por parte de la autoridad ambiental.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se plantea una alternativa que encierra elementos condicionantes como el caudal y el ancho del lecho. En la clasificación propuesta se involucra el área de drenaje, sin embargo, éste componente tiene un análisis o visión diferente en cada modelado o región del país; debido a que existen notables diferencias en la calificación de una cuenca de 50 Km² a una de 100 Km², que se localice en la cordillera o que esté en el llano o a zonas semidesérticas, en la clasificación propuesta, deben ser combinados varios parámetros físicos para definir el tamaño de la cuenca y adicionalmente estar acorde con el cálculo de los caudales característicos

Tabla 5.12 Parámetros para la clasificación de cuencas

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| TIPO DE  CUENCA | ÁREA DE LA CUENCA | ANCHO DE LA SECCIÓN | CAUDAL MEDIO | PROFUNDIDAD DEL AGUA |
| Pequeña | A ≤ 100 Km² | B ≤ 10 m | Q ≤ 1,0 m³/seg | H ≤ 0,50 m |
| Mediana | A:100 a 1000 Km² | B:10 a100 m | Q : 1 a 25 m³/seg | H: 0,50 a 2,0m |
| Grande | A > 1000 Km² | B >100 m | Q >25 m³/seg | H > 2,0m |

Fuente: Hidrología Ambiental – A. Salazar - Bogotá 2008

En la Tabla 5‑13 se presentan las principales características de la red de drenaje presente en el área de influencia del proyecto, en ella se identifican las principales corrientes identificadas en el área.

Tabla 5‑13 Identificación y distribución espacial de la red de drenaje del Área de influencia del proyecto

| ORDEN | CORRIENTE | ÁREA  (Km²) | TAMAÑO | DESEMBOCA |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 3 | ADM-8 | 4,893 | Pequeñas | Áreas que drenan directamente al Río Magdalena |
| 3 | ADM-13 | 4,625 | Pequeñas | Áreas que drenan directamente al Río Magdalena |
| 3 | ADM-12 | 1,672 | Pequeñas | Áreas que drenan directamente al Río Magdalena |
| 3 | ADM-11 | 5,113 | Pequeñas | Áreas que drenan directamente al Río Magdalena |
| 3 | ADM-10 | 1,858 | Pequeñas | Áreas que drenan directamente al Río Magdalena |
| 3 | ADM-4 | 1,104 | Pequeñas | Áreas que drenan directamente al Río Magdalena |
| 3 | ADM-6 | 0,794 | Pequeñas | Áreas que drenan directamente al Río Magdalena |
| 3 | ADM-1 | 1,688 | Pequeñas | Áreas que drenan directamente al Río Magdalena |
| 3 | ADM2-1 | 14,923 | Pequeñas | Áreas que drenan directamente al Río Magdalena 2 |
| 3 | CM-5 | 3,979 | Pequeñas | Caño Moravia |
| 3 | CN-1 | 3,375 | Pequeñas | Caño Negro |
| 3 | CN-2 | 13,537 | Pequeñas | Caño Negro |
| 3 | CN-7 | 1,575 | Pequeñas | Caño Negro |
| 3 | CN-6 | 3,935 | Pequeñas | Caño Negro |
| 3 | Qda. Sandovala | 101,335 | Mediana | Caño Río Viejo |
| 3 | QM-1 | 2,823 | Pequeñas | Quebrada Malena |
| 3 | Quebrada Bramadora | 49,877 | Pequeñas | Quebrada Malena |
| 3 | QM-5 | 5,935 | Pequeñas | Quebrada Malena |
| 3 | Río San Juan-Caño San Antonio | 12,178 | Pequeñas | Río Carare |

Fuente: Géminis Consultores S.A.S, 2015

La anterior descripción no solo se limita a los sistemas que están destinados para captaciones, sino a la red de drenaje de cuencas hasta tercer orden identificado en el área de desarrollo del proyecto. Como característica general, se destaca que la red de drenajes influye directamente sobre la cuenca media del Río Magdalena alimentando a este.

#### 5.1.5.6 Régimen hidrológico y de caudales característicos de las principales corrientes

Las variaciones de caudales o niveles en el tiempo definen el régimen hidrológico de una fuente de agua, presentándose principalmente en función de la temporada de lluvias.

En condiciones normales, la variación espacial del caudal de una fuente se da cuando este aumenta aguas abajo, a medida que se van recogiendo las aguas de los aportes de otras fuentes que se unen a la corriente principal como afluentes. Debido a esto, el caudal de una corriente suele ser más pequeño en la cabecera cerca de su nacimiento, y mucho mayor en las zonas bajas de la cuenca cerca de su desembocadura. Esta condición puede ser alterada por la incidencia del factor antrópico, pues es normal que en algunas fuentes o drenajes se presente una relación espacial inversa por sobre explotación del recurso.

Para este caso en particular, el área de influencia se ubica sobre una zona donde no hay corrientes de agua de gran importancia desde el punto de vista de la oferta, ya que prima la presencia de drenajes intermitentes, consecuencia de los bajos volúmenes de precipitación, una densidad de drenaje pobre y al deterioro de las condiciones ambientales por la remoción de cobertura vegetal. El área en su mayoría es montañosa con moderados accidentes geográficos, donde prima la escorrentía superficial con un drenaje predominante hacia el valle del río Magdalena. A esto se suma, que los bajos volúmenes de precipitación generan un escaso rendimiento del recurso hídrico, ya que la poca agua disponible tiende a suplir el déficit que se presenta, cubriendo las necesidades de la poca cobertura vegetal; y a la par, los procesos de infiltración que demandan los suelos deteriorados consecuencia de los periodos secos que predominan en la zona.

A continuación se realiza la determinación de las características hidrográficas para las cuencas principales y que cuentan con instrumentación dentro del área de estudio.

##### Cuenca del Río Magdalena

El paisaje típico es terreno plano con algunas lomas de poca altura, cuya cobertura general son pastos naturales. El sistema hidrográfico pertenece a la cuenca del río Magdalena y a las subcuencas del río Nare-Nus, Bartolomé, Cimitarra y otras quebradas de menor tamaño que drenan directamente al río Magdalena.

El río Magdalena, el más caudaloso de los ríos del centro del país nace en la Laguna de La Magdalena en la región de los Andes conocida como el Macizo Colombiano en extremo sur-occidental de una pequeña planicie del Páramo de las Papas a 3.685 metros de altura sobre el nivel del mar y vierte sus aguas en el Mar Caribe en el sitio de Bocas de cenizas.

El Valle medio del Magdalena comienza al norte de La Dorada y se extiende hasta el sitio denominado Bodega Central, al sur de Gamarra, con una longitud de 386 kilómetros. La región es húmeda, selvática y con un desarrollo económico creciente. En su recorrido de sur a norte el río baña once departamentos: Huila, Tolima, Cundinamarca, Caldas, Boyacá, Antioquia, Santander, Bolívar, Cesar, Magdalena y Atlántico. Su cuenca hidrográfica, es decir el área cuyas aguas, en una u otra forma llegan hasta esta gran arteria fluvial, tiene una extensión de 25.700.000 hectáreas que corresponden al 22.5% de la superficie total del país; todo ello sin contar los abundantes recursos ictiológicos, florísticos y de fauna terrestre y área hoy amenazados por el continuo proceso de erosión y contaminación.

En este sector, sobre la Cordillera Oriental nacen gran parte de los ríos más importantes que tributan sus aguas del río Magdalena, entre ellos se pueden citar: La Miel, Nus, Samaná, Carare, Opón, Sogamoso, Negro, Ermitaño. Así mismo, en ellas nacen gran cantidad de quebradas, caños y canales que terminan en él. Los principales ríos que cruzan por el territorio de estudio, son el Río La Miel, El río Claro y el Río Nus, así como otras quebradas menores.

###### Patrón de drenaje

El Río Magdalena en este sector es un río semi-meandrico con curvas controladas por afloramiento de roca. La localización de las curvas depende de los controles geológicos. Los sitios de control geológico son puntos estables y en las curvas en que no aflora roca competente son puntos de inestabilidad, pero si se analiza en forma global, el río pasa por varias etapas de formación desde su nacimiento hasta su entrega en el Mar Caribe.

El río Magdalena en su recorrido por toda la orilla toca las geoformas del relieve municipal, como planicies fluviolacustres, orillares, terrazas, valles, colinas, vertientes y coluvios, todos desprotegidos por la actividad antrópica, que terminó con su cobertura vegetal primaria y con el manejo de los suelos, vemos como cada día el río arrastra gran cantidad de material, incluyendo la capa vegetal que se ha perdido en la mayoría de este sector (**Fotografía 5.46**).



Fotografía 5.46 Vista panorámica del río Magdalena en una zona media de la cuenca

Fuente: Gooegle earth, 2016

El Magdalena es un río joven, su cauce no ha sido todavía labrado definitivamente y, al correr de sus aguas por entre los aluviales, estimuladas frecuentemente por intensos inviernos, rompe barreras y se desborda en forma descontrolada anegando campos, erosionando orillas y destruyendo el bosque protector, cuyos árboles, a la deriva, forman bajos ayudados por el gran volumen de material en suspensión, impidiendo u obstaculizando el tráfico de embarcaciones, además de la anegación de plantíos adyacentes. Los veranos no son menos aciagos; La disminución del nivel de agua llega a impedir la navegación; las plantaciones sufren pérdidas inmensas, lo mismo que la ganadería.

###### Régimen hidrológico

Para la zona la única estación con que se cuenta información de registro histórico de caudales en el río Magdalena, corresponde a la estación Puerto Berrío. En la **Figura 5.24** se ilustra el comportamiento de los caudales medios del río en este lugar. El valor medio histórico corresponde a un valor de 2409 m3/s. El comportamiento es bimodal, consecuente con el de la precipitación, es decir, durante el año ocurren dos períodos húmedos, el primero en los meses de abril a junio y el segundo entre los meses de octubre y noviembre, siendo este un poco de mayor intensidad que el del primer semestre.

De diciembre a marzo y de julio a agosto, a tiempo que las crecientes aparecen en abril y mayo y en septiembre y noviembre; adicionalmente cada 25 a 30 años, aparece un ciclo invernal de intensidad muy por encima del normal que inciden en el comportamiento general del río modificando la confrontación de los canales principales del río.

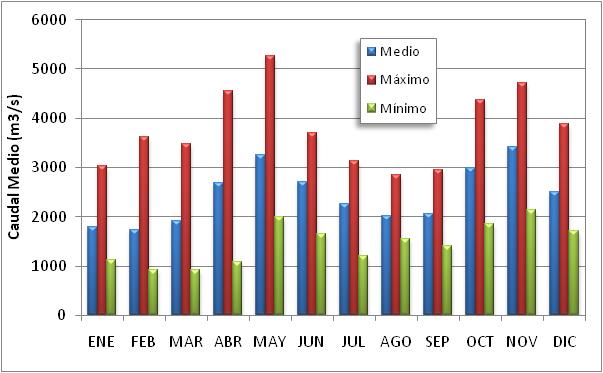


Figura 5.24 Distribución de caudales medios del río Magdalena en la estación Puerto Berrío.

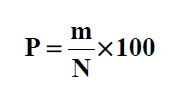
Fuente: IDEAM

Tanto las estaciones del río Magdalena como las de los afluentes intermedios reflejan el régimen bimodal característico de la región central andina.

* Caudales característicos
* Caudales medios

La curva de duración (CDC) es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. Es una gráfica que tiene el caudal, Q, como ordenada y el número de días del año (generalmente expresados en % de tiempo) en que ese caudal, Q, es excedido o igualado, como abscisa. La ordenada Q para cualquier porcentaje de probabilidad, representa la magnitud del flujo en un año promedio, que espera que sea excedido o igualado un porcentaje, P, del tiempo.

Los datos de caudal medio anual, mensual o diario se pueden usar para construir la curva. Los caudales se disponen en orden descendente, usando intervalos de clase si el número de valores es muy grande. Si N es el número de datos, la probabilidad de excedencia, P, de cualquier descarga (o valor de clase), Q, es:



siendo m el número de veces que se presenta en ese tiempo el caudal. Si se dibuja el caudal contra el porcentaje de tiempo en que éste es excedido o igualado se tiene una gráfica como la mostrada en la en la la **Figura 5.25**.

La curva de duración de caudales que representa su persistencia en el tiempo, del río Magdalena en la estación de Puerto Berrío, es como se ilustra en la **Figura 5.25**.

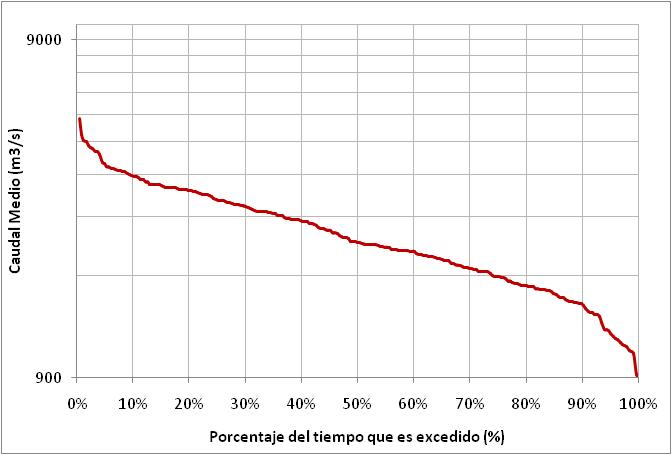


Figura 5.25 Curva de Duración de Caudales del río Magdalena, estación Puerto Berrío

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

* Caudales máximos

A partir de la información histórica de caudales en la estación de Puerto Berrío, se han estimado los caudales máximos, con los resultados que se indican en la **Tabla 5.14** y que de igual manera se representa en la **Figura 5.26**.

Tabla 5.14 Estimación de caudales máximos del río Magdalena en Puerto Berrío

|  |  |
| --- | --- |
| Período de retorno | Caudal (m3/s) |
| 2.33 | 5622 |
| 5 | 6516 |
| 10 | 7245 |
| 20 | 8165 |
| 50 | 8847 |
| 100 | 9525 |

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

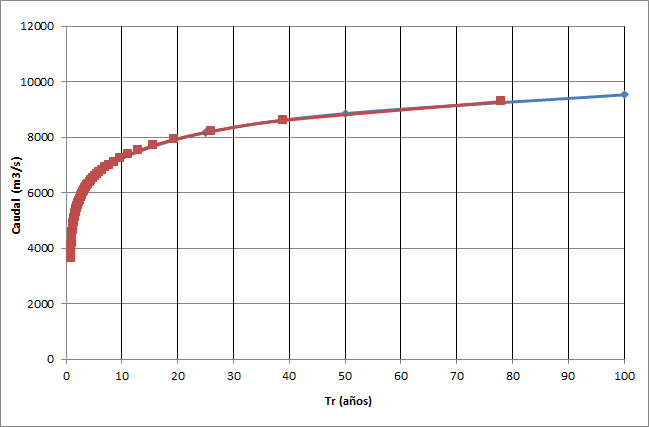


Figura 5.26. Caudales máximos en el río Magdalena, estación Puerto Berrío

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

* Caudales mínimos

A partir de la información histórica de caudales en la estación de Puerto Berrío, se han estimado los caudales mínimos, con los resultados que se indican en la **Tabla 5.14** y que de igual manera se representa en la **Figura 5.27**.

Tabla 5.15 Estimación de caudales mínimos del río Magdalena en Puerto Berrío

|  |  |
| --- | --- |
| Período de retorno | Caudal (m3/s) |
| 2.33 | 763 |
| 5 | 656 |
| 10 | 569 |
| 20 | 459 |
| 50 | 377 |
| 100 | 296 |

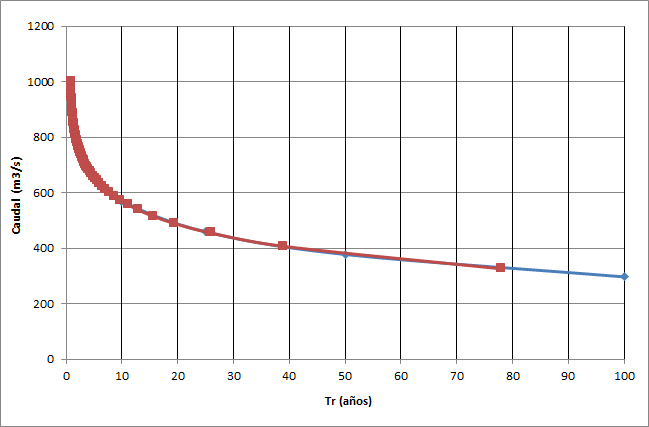


Figura 5.27. Caudales mínimos en el río Magdalena, estación Puerto Berrío

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

##### Cuenca del río Carare

###### Patrón de drenaje

La cuenca presenta una dirección de drenaje predominante en sentido sur-norte con topografías que varían entre los 88 msnm en la desembocadura, y 3600 msnm en su parte alta o cabecera; el cauce principal por su parte, cuenta con una longitud aproximada de 236 km. El río Carare es uno de los afluentes más importantes de la margen derecha del río Magdalena en su porción media, drenando una extensión de 7265 km² de la vertiente occidental de la cordillera oriental (Secretaria de Planeación de Santander - UIS, 2011).

En sus últimos 30 kms, correspondientes al trayecto entre Puerto Parra y su desembocadura, su corriente discurre por un valle aluvial de baja pendiente, presentando una notable sinuosidad y movilidad lateral de su alineamiento, con una dirección predominante sur - norte.

###### Régimen hidrológico

Para la evaluación de caudales medios mensuales el río Carare en el sector de la zona de estudio se contó con la información disponible en las estaciones Finca Barrederos y Puerto Aaraujo, que cuenta con registros desde el año 1975 a 2013, conb algunas interrupciones.

El caudal medio registrado para el río Carare a la altura de la estación de Finca Barreredros registro es de 305,9 m³/s con valores mínimos hasta de 66.8 m³/s en el mes defebrero y caudales máximos hasta de 761.2 m³/s en el mes de mayo. La Figura 5.28 indica el comportamiento anual de los caudales del río Carare.

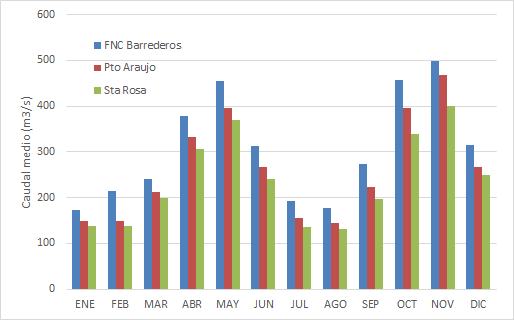


Figura 5.28 Distribución de Caudales medios mensuales multianuales en el río Carare

Fuente: IDEAM, 2015

* Caudales característicos
* Caudal medio

En la definición de los caudales característicos se empleó de igual manera el método de la Curva de Duración de Caudales (CDC) que ilustra la persistencia de cierto caudal a lo largo de un período hidrológico anual, como se ilustra en la Figura 5.29.

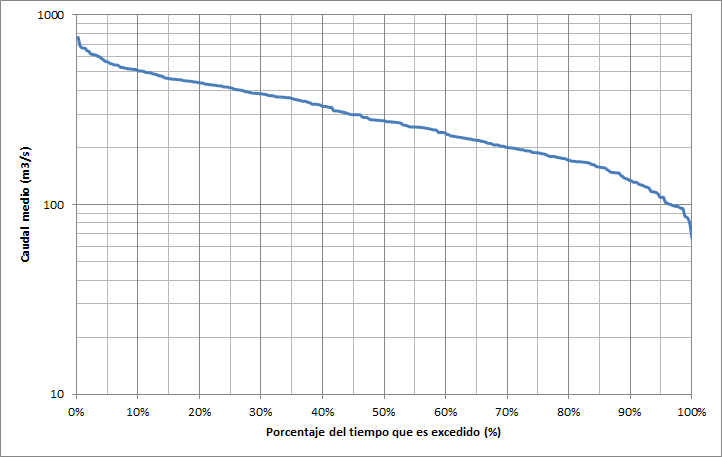


Figura 5.29. Curva de Duración de Caudales del río Carare, estación FN Barrederos

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

El comportamiento anual medio del río Carare indicado en la figura anterior muestra que el caudal medio del 50% del tiempo es de 465.5 m3/s. El caudal del 100% del tiempo es de 66,80 m3/s, mientras que el caudal del 0,5% del tiempo es de 688,2 m3/s.

* Caudal máximo

La estimación de caudales máximos para diversos períodos de retorno se obtuvo a partir de los registros máximos anuales en la estación, con lo cual un análisis de frecuencia obtiene lo que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la Figura 5.30

Tabla 5.16 Estimación de caudales máximos del río Carare, FNC Barrederos

|  |  |
| --- | --- |
| Período de retorno | Caudal (m3/s) |
| 2.33 | 1058 |
| 5 | 1196 |
| 10 | 1309 |
| 20 | 1451 |
| 50 | 1556 |
| 100 | 1661 |

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

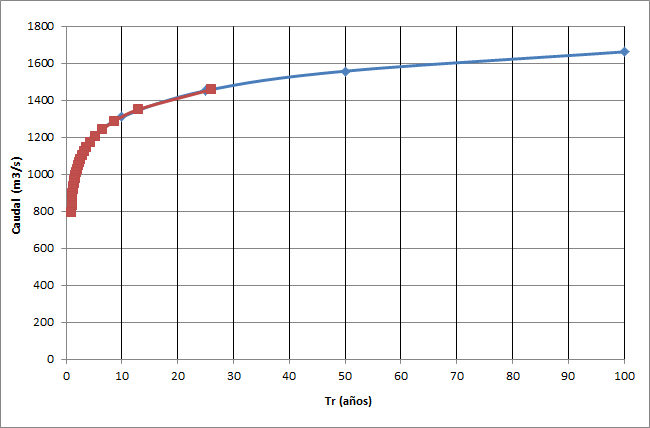


Figura 5.30. Caudales máximos en el río Carare, estación FNC Barrederos

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

* Caudal mínimo

De la misma manera se han obtenido los caudales mínimos del río Carare para la estación FNC Barrederos, como se ilustra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la Figura 5.31.

Tabla 5.17 Caudal mínimos del río Carare en la estación FNC Barrederos

|  |  |
| --- | --- |
| Período de retorno | Caudal (m3/s) |
| 2.33 | 70 |
| 5 | 42 |
| 10 | 20 |
| 20 | 12 |
| 50 | 11 |
| 100 | 10 |

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

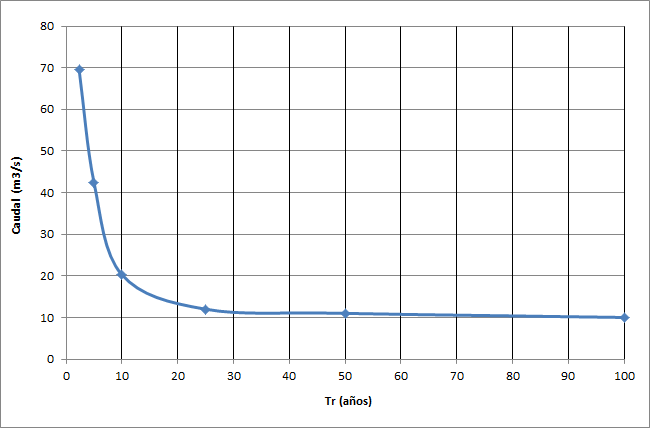


Figura 5.31. Caudales mínimos en el río Carare, estación FNC Barrederos

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

##### Quebrada Sandovala

###### Régimen hidrológico

* Caudales Medios

A partir de los registros de caudales medios diarios en la estación Borbur del Río Minero, se obtiene la Curva de Duración de Caudal extendida para la cuenca de la quebrada Sandovala, de la cual resulta que el valor del caudal medio es de 1.52 m3/s. En la Figura 5.32 se representa la CDC para estas cuencas de la margen derecha del río Magdalena.



Figura 5.32 Curva de Duración de Caudales de la quebrada Sandovala

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

* Caudales Mínimos

Mediante el empleo del Método de Regionalización se estiman los caudales mínimos en la quebrada Sandovala, desde donde se obtienen los resultados que se ilustran en la Figura 5.33.

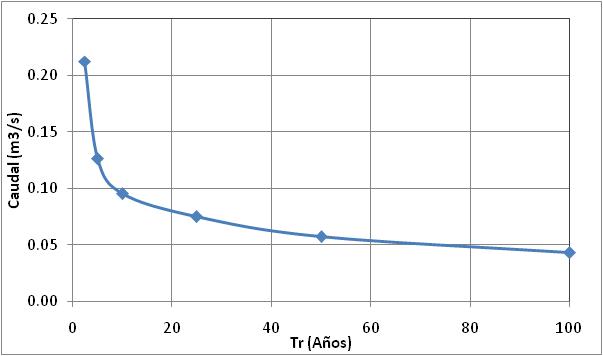


Figura 5.33 Caudales Mínimos de la quebrada Sandovala

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

* Caudales Máximos

Mediante el empleo del Método de Regionalización se estiman los caudales máximos para la quebrada Sandovala en este sector de la zona de estudio en la margen derecha del río Magdalena, la cual se indica en la Figura 5.34.

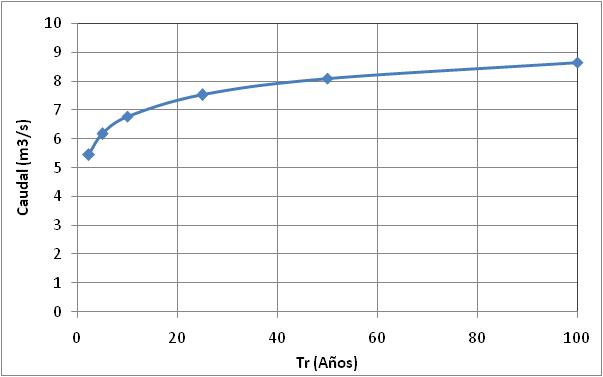


Figura 5.34. Caudales Mínimos de la quebrada Sandovala

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

##### Quebrada Malena

###### Régimen hidrológico

* Caudales Medios

A partir de los registros de caudales medios diarios en la estación La Mascota del Río Bartolomé, localizada en una zona de régimen hidrológico homogéneos y áreas similares, se obtiene la Curva de Duración de Caudal extendida para la cuenca de la quebrada Malena, de la cual resulta que el valor del caudal medio es de 12.42 m3/s. En la Figura 5.35 se representa la CDC para esta cuenca de la margen izquierda del río Magdalena.

De la mima manera en la Figura 5.36 se presenta el comportamiento hidrológico anual medio para la cuenca de la quebrada Malena en el sitio de desembocadura en el río Magdalena.

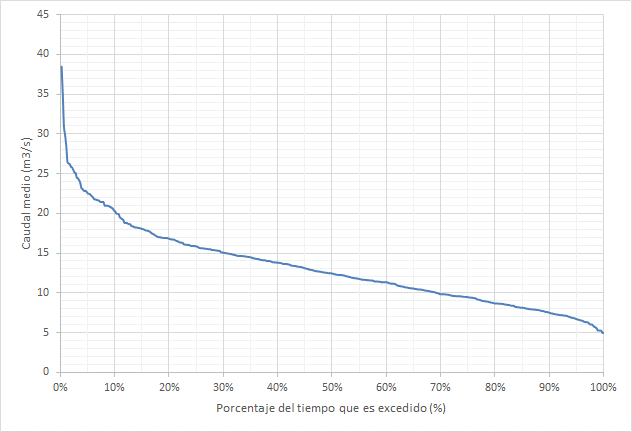


Figura 5.35 Curva de Duración de Caudales de la quebrada Sandovala

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

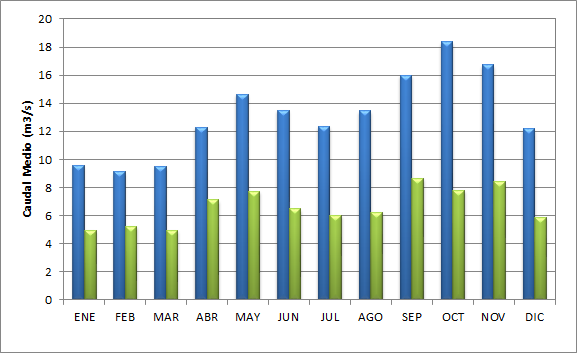


Figura 5.36 Distribución de Caudales medios y mínimos anuales en la quebrada Malena

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

* Caudales Mínimos

Mediante el empleo del Método de Regionalización se estiman los caudales mínimos en la quebrada Malena, a partir de los registros mínimos reportados en la estación La Mascota del río Bartolomé, desde donde se obtienen los resultados que se ilustran en la Figura 5.37.

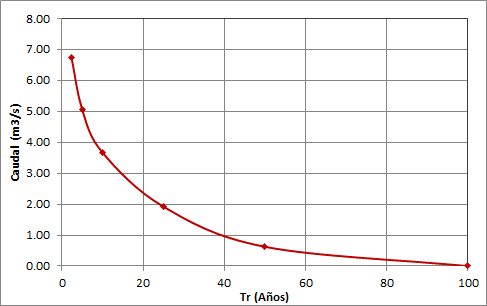


Figura 5.37 Caudales Mínimos de la quebrada Malena

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

* Caudales Máximos

Mediante el empleo del Método de Regionalización se estiman los caudales máximos para la quebrada Malena, estimados a partir de los caudales máximos anuales reportados en la estación La Mascota del río Bartolomé, la cual se indica en la Figura 5.34.

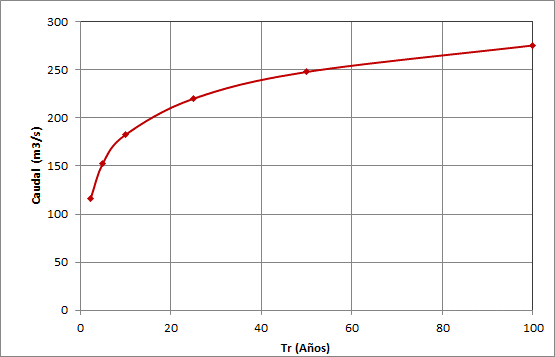


Figura 5.38. Caudales Máximos de la quebrada Malena

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

##### Régimen hidrológico de cuencas no instrumentadas

###### Caudales medios

* Método del Balance Hídrico de Largo Plazo

Como un segundo paso, para estimar el caudal mínimo, medio y máximo a partir de la metodología del balance hídrico, de los registros históricos de precipitación total en el sector del cruce del río Magdalena, que aplica para las cuencas de las dos márgenes del río, se asoció el promedio de caudales de todo un año seco como el caudal mínimo, así como el caudal medio al promedio de los caudales de la temporada seca para un año de precipitación típica o meda.

Siguiendo la metodología del balance hídrico de Thorntwaite, a nivel de discretización mensual (Largo Plazo), y teniendo en cuenta los valores de precipitación y los valores de evapostranspiración potencial, se calculó tanto la reserva de humedad del suelo como el déficit y el excedente de la misma humedad, teniendo en cuenta una capacidad de almacenamiento de humedad del suelo de 100 mm.

Thornthwaite propuso que el 50 % del excedente de agua de un mes específico se escurre hacia los ríos durante el mes de cuestión y el resto se infiltra hacia las capas profunda. De esta manera la escorrentía superficial en (mm) mes a mes se estima a partir de la siguiente expresión:



Donde:

Escorr(i): escorrentía del mes (i), mm

Escorr(-1i): escorrentía del mes (i-1), mm

Exc(i) : Es el agua que excede de la reserva máxima, mm.

A partir de los registros de precipitación y temperatura de la estación Aero Puerto Berrío, sobre la margen izquierda del río Magdalena y siguiendo el mismo procedimientos antes descrito, se calcularon los caudales medios y mínimos para aquellas cuencas que no cuentan con instrumentación. La Figura 5.39 y la Tabla 5.18 indican el resultado de la variación del comportamiento hídrico de la oferta de agua en la zona.

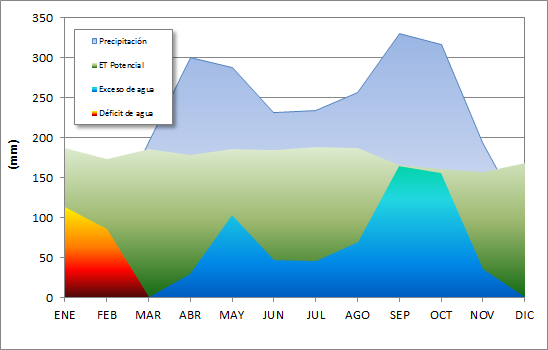


Figura 5.39 Balance hídrico de la estación Aero Puerto Berrío

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

Tabla 5.18 Cálculo del balance hídrico climático de la estación Aero Puerto Berrío

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| PARÁMETRO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| Temperatura (°C) | 28.8 | 28.9 | 28.7 | 28.5 | 28.5 | 28.6 | 28.6 | 28.6 | 28.1 | 27.8 | 27.9 | 28.2 | 28.4 |
| Precipitación (mm) | 45.1 | 87.3 | 193.8 | 300.2 | 288.5 | 231.2 | 234.3 | 256.5 | 330.0 | 317.4 | 193.4 | 97.0 | 2574.7 |
| Evapotranspiración potencial | 187.0 | 173.2 | 186.0 | 178.5 | 185.5 | 184.9 | 188.4 | 186.6 | 165.9 | 161.3 | 157.6 | 168.6 | 2123.5 |
| Almacenaje de agua util | 0.0 | 0.0 | 7.8 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 28 | 0.0 |
| Exceso de agua | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 29.5 | 103.0 | 46.3 | 45.9 | 69.9 | 164.1 | 156.1 | 35.8 | 0.0 | 650.6 |
| Deficit de agua | 113.5 | 85.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 199.4 |
| Evapotranspiración real | 73.5 | 87.3 | 186.0 | 178.5 | 185.5 | 184.9 | 188.4 | 186.6 | 165.9 | 161.3 | 157.6 | 168.6 | 1924.1 |
| Relación de humedad | -0.76 | -0.50 | 0.04 | 0.68 | 0.56 | 0.25 | 0.24 | 0.37 | 1.0 | 0.97 | 0.23 | -0.42 | 0.0 |

Fuente: Autopista Río Magdalena S.A.S, 2016

De acuerdo al análisis del balance armónico entre la estación climatológica del aeropuerto de Puerto Berrío, se puede afirmar que en el periodo de baja precipitación existe un déficit regular de agua (en momentos considerables se utilizaran las reservas de agua del suelo) sin embargo en el periodo de altas precipitaciones (abril a noviembre) existe un aporte potencial a los acuíferos existentes en la zona de influencia directa del proyecto. Por lo anterior, se utiliza este balance para el presente estudio y análisis posteriores. En este punto se presenta una precipitación anual de 2574 mm y una temperatura promedio de 28.4°C.

El análisis de clima para el área de desarrollo del proyecto se desarrolla en el numeral 5.1.10.1 Atmósfera del presente capitulo.

Para los drenajes intervenidos por el proyecto se obtuvo la información de caudales medios para la cuenca a partir del procedimiento descrito, se presenta en la Tabla 5.19

Tabla 5.19 Caudales medios identificados para los drenajes del área de influencia hídrica del proyecto (m3/s)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Corriente | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| ADM-8 | 0.039 | 0.021 | 0.010 | 0.033 | 0.110 | 0.101 | 0.091 | 0.109 | 0.211 | 0.245 | 0.160 | 0.078 | 0.10 |
| ADM-13 | 0.037 | 0.020 | 0.009 | 0.031 | 0.104 | 0.095 | 0.086 | 0.103 | 0.200 | 0.231 | 0.152 | 0.073 | 0.10 |
| ADM-12 | 0.013 | 0.007 | 0.003 | 0.011 | 0.038 | 0.034 | 0.031 | 0.037 | 0.072 | 0.084 | 0.055 | 0.027 | 0.03 |
| ADM-11 | 0.041 | 0.022 | 0.010 | 0.034 | 0.115 | 0.105 | 0.095 | 0.114 | 0.221 | 0.256 | 0.168 | 0.081 | 0.11 |
| ADM-10 | 0.015 | 0.008 | 0.004 | 0.012 | 0.042 | 0.038 | 0.034 | 0.041 | 0.080 | 0.093 | 0.061 | 0.029 | 0.04 |
| ADM-4 | 0.009 | 0.005 | 0.002 | 0.007 | 0.025 | 0.023 | 0.020 | 0.025 | 0.048 | 0.055 | 0.036 | 0.018 | 0.02 |
| ADM-6 | 0.006 | 0.003 | 0.002 | 0.005 | 0.018 | 0.016 | 0.015 | 0.018 | 0.034 | 0.040 | 0.026 | 0.013 | 0.02 |
| ADM-1 | 0.013 | 0.007 | 0.003 | 0.011 | 0.038 | 0.035 | 0.031 | 0.038 | 0.073 | 0.084 | 0.055 | 0.027 | 0.03 |
| ADM2-1 | 0.118 | 0.066 | 0.030 | 0.100 | 0.335 | 0.307 | 0.276 | 0.333 | 0.644 | 0.747 | 0.489 | 0.237 | 0.31 |
| CM-5 | 0.032 | 0.017 | 0.008 | 0.027 | 0.089 | 0.082 | 0.074 | 0.089 | 0.172 | 0.199 | 0.130 | 0.063 | 0.08 |
| CN-1 | 0.027 | 0.015 | 0.007 | 0.023 | 0.076 | 0.069 | 0.062 | 0.075 | 0.146 | 0.169 | 0.111 | 0.054 | 0.07 |
| CN-2 | 0.107 | 0.059 | 0.027 | 0.091 | 0.304 | 0.278 | 0.251 | 0.302 | 0.584 | 0.677 | 0.443 | 0.215 | 0.28 |
| CN-7 | 0.012 | 0.007 | 0.003 | 0.011 | 0.035 | 0.032 | 0.029 | 0.035 | 0.068 | 0.079 | 0.052 | 0.025 | 0.03 |
| CN-6 | 0.031 | 0.017 | 0.008 | 0.026 | 0.088 | 0.081 | 0.073 | 0.088 | 0.170 | 0.197 | 0.129 | 0.062 | 0.08 |
| Qda. Sandovala | 0.804 | 0.445 | 0.201 | 0.681 | 2.278 | 2.083 | 1.876 | 2.259 | 4.374 | 5.069 | 3.320 | 1.606 | 2.08 |
| QM-1 | 0.022 | 0.012 | 0.006 | 0.019 | 0.063 | 0.058 | 0.052 | 0.063 | 0.122 | 0.141 | 0.092 | 0.045 | 0.06 |
| Quebrada Bramadora | 0.396 | 0.219 | 0.099 | 0.335 | 1.121 | 1.025 | 0.923 | 1.112 | 2.153 | 2.495 | 1.634 | 0.791 | 1.03 |
| QM-5 | 0.047 | 0.026 | 0.012 | 0.040 | 0.133 | 0.122 | 0.110 | 0.132 | 0.256 | 0.297 | 0.194 | 0.094 | 0.12 |
| Río San Juan-Caño San Antonio | 0.097 | 0.053 | 0.024 | 0.082 | 0.274 | 0.250 | 0.225 | 0.272 | 0.526 | 0.609 | 0.399 | 0.193 | 0.25 |

Fuente: IDEAM, 2014

#### 5.1.5.7 Zonas Inundables

A nivel regional en el área de influencia del proyecto, es evidente una elevada pluviometría y por lo tanto, la formación de crecientes en los ríos, quebradas y caños que conforman la red de drenajes en el área, sin embargo, éstas generan desbordes localizados a una u otra margen, donde se depositan materiales que pueden ser fácilmente identificados, como arenas finas a gruesas, como también limos que permiten el desarrollo de una cobertura vegetal junto al lecho de las corrientes naturales.

De acuerdo con información de CORMAGDALENA e IDEAM, 2005, el área de Puerto Berrío, presenta una frecuencia alta de inundaciones, lo cual en la revisión en campo y en se pudo identificar que estas zonas se pueden catalogar en zonas de recarga hídrica, ya que dependen de la dinámica natural del río, razón por la cual los cuerpos lenticos que existen en Puerto Berrío y Cimitarra, tienen una importancia predominante, para el control de inundaciones fuera de las áreas de recarga hídricas identificadas.

El río Magdalena presenta en el área de influencia taludes bajos o medio (mayores a 0.50 m) y un lecho no muy amplio, el cual está por lo regular asociada a una humedad permanente y el desarrollo de cobertura vegetal secundaria, que son irrigados cada vez que el río aumenta su caudal, sin embargo, no se puede catalogar como zona de inundación, ya que corresponde a una parte del mismo cauce y no a una zona aledaña que se considere como área inundable. El patrón de drenaje de la red es dendrítico por el sistema de colinas bajas que caracterizan la zona, por lo tanto la mayor parte de los cauces son encajonados con baja probabilidad de desbordamiento, ocupando las zonas inundables naturales del mismo. La Fotografía 5.47 muestra las áreas inundables naturales del río Magdalena en el área de influencia del proyecto

|  |
| --- |
| C:\Users\kate\Downloads\DSCN3445.JPG |

Fotografía 5.47 Área inundable del río Magdalena

Fuente Géminis Consultores, 2015

#### 5.1.5.8 Análisis dinámica Fluvial del Río Magdalena

Para el análisis de la dinámica fluvial del Río Magdalena, se realiza teniendo en cuenta lla geología de la región o area de influencia del proyecto “Construccion de la Variante Puerto Berrio” donde se realiza una evaluación de la geología para ingeniería,

Se describen y analizan aquí las unidades litológicas y la geomorfología fluvial de un tramo del cauce del río Magdalena (Ver Figura 5.40), de aproximadamente 5.5 y 6.8 km medidos sobre sus márgenes izquierda y derecha. Específicamente está comprendido entre el antiguo puente vial y férreo de acceso (llamado Puente Monumental) a Puerto Berrío y el cruce del puente del corredor proyectado, sobre dicha corriente y aguas abajo, perteneciente a la unidad funcional UF4, sector Variante Puerto Berrío (Oeste PK 0+000 a Este PK 14+580).

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.40 . Ubicación del sector evaluado del río Magdalena, comprendido entre el Puente Monumental de Puerto Berrío (ruta nacional 62, en amarillo) y el tramo vial UF4 (en línea punteada roja, de 14.5 km) del proyecto Autopista al Río Magdalena 2.

Modificado de: Google Earth, 2016.

Este estudio se realizó con el objetivo de elaborar un concepto técnico, basado en análisis de información secundaria, geológica y de sensores remotos accequibles, para proponer un modelo morfodinámico local del río Magdalena (en el sector descrito) e inferir los impactos al nuevo puente del proyecto vial antes especificado.

##### Marco Geotectónico

Los municipios de Puerto Berrío y Puerto Olaya se localizan en la parte meridional-sur de la cuenca sedimentaria del Valle Medio del Magdalena (VMM), debido a la convergencia de las placas tectónicas de Nazca, Caribe y Suramericana, que se mueven según la Figura 5.41.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.41 Mapa tectónico de la parte norte de Suramérica, con flechas indicando su dirección y tasas de movimiento (mm/año). El bloque Andino y los valles intramontanos de Colombia se relacionan a la confluencia de tres placas tectónicas, las cuales originaron además de la orogénesis, la actividad volcánica, el fallamiento (líneas negras) y su importante actividad sísmica, y recursos minero-energéticos. La estrella roja ubica el sector estudiado.

Fuente: Adaptado de: Gómez, et al. (2007).

En general, el VMM se caracteriza al oriente por una faja de corrimiento que levanta las rocas más antiguas, con fallas inversas en una tectónica compresiva, y la separa de la Cordillera Oriental, mientras que al occidente hay una serie de fallas normales que definen su límite con la Cordillera Central, en un ambiente tectónico distensivo (adaptado de: Reyes y Ramírez, 1996).

Para Mojica y Franco (1990) el VMM es una cuenca intracordillerana basculada hacia el oriente, con tendencia homoclinal, perturbada por algunos pliegues y fallas, con un espesor promedio de sedimentos de 8.500 m. El borde occidental está instalado en parte sobre la Cordillera Central, caracterizado por un juego de fallas normales poco espaciadas con sus bloques orientales hundidos; estas fallas pueden tener un importante movimiento dextral, como las fallas de Casabe, Cimitarra y Cantagallo, en un ambiente tectónico distensivo que constituye un bloque pasivo, sin fuertes plegamientos de la cobertera. Por otra parte, el borde oriental consta de una serie de pares anticlinal-sinclinal asimétricos y en-echelon, conformando una cadena plegada cabalgante con vergencia al occidente; los sistemas que lo constituyen son las fallas de Bituima, Cambrás y la Salina, que marca el límite occidental del sinclinal de Nuevo Mundo, deformación propia de un complicado margen compresional (adaptado de: Mojica y Franco, 1990).

Estudios más recientes como el de Caballero et al. (2010) indican que el actual Valle Medio del Magdalena se asocia a la formación de los Andes de Colombia, resultado de la fragmentación de una ancestral cuenca de antepaís en la Cordillera Central y luego al levantamiento de la Cordillera Oriental por inversión tectónica.

La cuenca está elongada en dirección de suroccidente a nor-nororiente, ocupando un área de 34.000 km2; sobre ella discurre el río Magdalena hacia el norte, entre 150 y 50 msnm, para luego drenar al mar Caribe.

##### Estratigrafía Subregional

Las unidades litoestratigráficas presentes en el VMM varían en litología, distribución espacial y temporal, desde el Precámbrico y Jura-Triásico, al Cretácico, Paleógeno, Neógeno y el Cuaternario.

Según la cartografía geológica regional y oficial las unidades litológicas locales corresponden a depósitos aluviales, como se observan en las Figura 5.42 y Figura 5.43 (con sus colores y símbolos), lo cual es desactualizado e impreciso. Para el caso del sector de estudio, y a una escala de mayor resolución (subregional a municipal,), se identifican dos formaciones rocosas de finales del Terciario (tiempo geológico ya en desuso y hoy día referido a los periodos Paleógeno y Neógeno), denominadas en armonía a la nomenclatura de las compañías petroleras de la antigua Concesión de Mares, y diversos depósitos sedimentarios del Cuaternario, asociados genéticamente al sistema fluvial del río Magdalena, los cuales se describen sintéticamente a continuación, de más antigua a más reciente.

##### Formación Real

El nombre Real Series (o Formación Real) fue usado por primera vez por O. C. Wheeler (1935; en Hubach, 1957) en un Informe inédito, por los afloramientos que se encuentran en Bandera Real, una estación de triangulación topográfica situada al norte del río Opón, a unos dos kilómetros al occidente de la quebrada Real.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.42 Detalle de la geología del departamento de Antioquia. La estrella verde ubica a Puerto Berrío (sobre rocas de la Formación Mesa, Ngm); y en óvalo anaranjado al sector vial (UF4) estudiado, del proyecto Autopista al Río Magdalena 2, dentro de la unidad Qal.

Adaptado de: INGEOMINAS (1999).

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.43 Fragmento del mapa geológico de santander. Se señala el sector de estudio (estrella roja), sobre rocas de la unidad Qal.

Fuente: Adaptado de: Royero y Vargas (1999)

Wheeler divide el Real Series en cinco formaciones, de base a techo: Lluvia, 30 m de conglomerados y 500 m de areniscas conglomeráticas masivas y cruciestratificadas, con shales grises manchados de rojo y capas delgadas de arenisca gris con ondulitas; Chontorales Shale, 1300 m de shales grises y manchados de rojo, con capas delgadas de arenisca gris con estratificación cruzada y ondulitas; Hiel, 1100 m de arenisca con menor cantidad de fragmentos de carbón que la arenisca inferior, troncos silicificados y carbonizados son comunes; Enrejado Shale, 500 m de shales manchados de colores gris, rojo, púrpura y pardo, en alternancia con areniscas blancas, friables y delgadas; y Bagre, areniscas frecuentemente conglomeráticas de color verde azuloso y azul, con estratificación cruzada, abundante madera carbonizada y hojas, algunas con grandes cantidades de augita y hornblenda.

El Real, en la sección tipo del río Opón, tiene un espesor de 3900 m. Dentro de la antigua Concesión De Mares su espesor varía desde 3900 hasta unos 500 m en el anticlinal de la Cira (Wheeler, 1935; en Hubach, 1957).

En la cartografía de Suescún et al. (1967) tal unidad litoestratigráfica se simbolizó como Tmr y posee 760 m.

La Formación Real pertenece al Mioceno (época cuya edad numérica va de 23.03 a 5.33 millones de años), descansando discordantemente sobre la Formación Colorado.

Esta unidad litológica, al estar integrada por capas de rocas más antiguas y consolidadas (areniscas frecuentemente conglomeráticas, de matriz típica anaranjada), origina cerros y algunas mesetas al occidente del río Magdalena.

##### Formación Mesa

El nombre de Formación Mesa fue usado por primera vez por Weiske (1926) y posteriormente por Butler (1942), para identificar las capas de la parte inferior del grupo en el Valle Superior del Magdalena, que específicamente forman mesas en el área de Honda (cuadrángulo K-9) y como abreviación de la expresión original de Hettner (1892) de “*Vulkanische Tufftafeln von Honda*”, la cual traduce “mesas de tobas volcánicas de Honda”, en referencia a unas capas horizontales ubicadas al occidente de esta población del Tolima (adaptado de: Hubach, 1957.)

Morales (1956) elevan esta unidad a la categoría de grupo y explican que en el Valle Medio del Magdalena todas las capas por encima del Mioceno superior están incluidas en el Grupo Mesa. Conforme la geología del cuadrángulo H-11 (Suescún et al., 1967) la unidad se simboliza como TQpm y posee 300 m de espesor; se incluyen las capas “Capote” y “Magdalena”, formadas por arcillas negras y macizas, areniscas friables, conglomerados y gravas de escasa cementación, que forman las terrazas altas.

Butler (1942) señala como sección tipo la sección localizada al noroeste de Honda, en el punto denominado Alto de Gigante. Para Butler la Formación Mesa es una unidad bien estratificada que consta de abundante material volcánico representado por andesita, dacita, piedra pómez, ceniza volcánica, cuarzo, fillita y rocas metamórficas; la sucesión está formada por areniscas de grano grueso que alternan con aglomerados; también están presentes capas de arcilla, limo y arenas de grano fino; presenta localmente bolsadas de bloques variables en tamaño. De forma general se puede distinguir la Formación Mesa por la presencia en su base de una importante masa de gravas, abundancia de fragmentos volcánicos, presencia en algunos sectores de depósitos lagunares rojizos y bolsadas de bloques (intraclastos).

Por ausencia de fósiles se desconoce la edad precisa pero, dada su posición estratigráfica concordante sobre la Formación Real, es probable que la Formación Mesa se ubique entre las épocas Plioceno y Pleistoceno (adaptado de: Suescún et al., 1967; De Porta, 1974).

Esta es la unidad litológica con mayores patrones de afloramiento, distribuida sobre ambas márgenes del río Magdalena; origina colinas subredondeadas y mesas de poca altura, bastante disectadas, con algunos cerros testigo de hasta 125 msnm. Como se observa en la Figura 5.42y la Fotografía 5‑48, Puerto Berrío se fundó sobre los conglomerados moderadamente consolidados de la Formación Mesa, simbolizada como Ngm (INGEOMINAS, 1999).

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑48 Vista desde la margen izquierda del río Magdalena al Puente Monumental, que une a Puerto Berrío (izquierda, sobre rocas de la Formación Mesa) con Puerto Olaya (derecha).

Fuente: Foto 1. <http://www.panoramio.com/photo/94849165>.

##### Depósitos del Cuaternario

Corresponde a los sedimentos aluviales recientes (Qar) y de terrazas antiguas (Qta), así como los depósitos lacustres (Qla) relacionados al río Magdalena.

Constan, en general los dos primeros constan de sedimentos con tamaños de grano variables, desde gravas finas, arenas hasta lodos, que conforman barras centrales activas y laterales del río Magdalena, llanuras y terrazas aluviales distribuidas en los costados de dicho canal principal, en cotas topográficas más altas (de hasta 4 m), a modo de depósitos “colgados”. Se incluyen también como depósitos aluviales recientes a las delgadas franjas de sedimentos asociadas a los drenajes tributarios de ambas márgenes del río (Ver Fotografía 5‑49).

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑49 . Depósitos aluviales recientes (Qar): *arriba*, asociados al canal y como barras activas del río Magdalena, mostrando la parte norte del muelle de puerto Berrío; *abajo*, sedimentos finos de la quebrada la Malena, tributaria sobre la margen izquierda.

Funte: http://www.panoramio.com/photo/37723954 y http://www.panoramio.com/photo/85038023.

Igualmente, ocurren materiales finos (arenas finas, limos y arcillas) e inconsolidados, asociadas a los sistemas lacustres (ciénagas y lagos, Fotografía 5‑50), que amortiguan crecientes del río Magdalena.

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑50 . Panorámica de la Ciénaga Chiqueros ubicada al noroeste de Puerto Berrío, sobre la margen izquierda del río Magdalena. Tomado de:

Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/108473499>.

##### Geomorfologia local

El río Magdalena a lo largo del valle medio se clasifica según su aspecto geomorfológico como un río sinuoso trenzado desde Honda (Tolima) hasta aguas arriba de Gamarra (Cesar); ya que se presenta en él la formación de barras e islas de tipo longitudinal, transversal y lateral (Fotografía 5‑51). La formación de estas estructuras morfológicas se debe a la gran cantidad de sedimentos que transporta el río producto de la erosión en la cuenca, de los aportes sólidos de los diferentes afluentes y su ciclo hidrológico (Ayala et al., sin fecha).

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑51 Vista inclinada del canal activo del río Magdalena, que discurre hacia el fondo, en inmediaciones del sector evaluado (dentro del óvalo anaranjado).

Fuente: Adaptado de: Google Maps (2016).

A continuación, se efectúa un análisis fotogeomorfológico usando imágenes satelitales de dos épocas distintas, con un intervalo de 45 años adquisición. Se utilizan las denominaciones para geoformas fluviales del IDEAM (2001) y de Gutiérrez (2008).

##### Descripcion multitemporal de la dinamica fluvial

Se utilizaron dos imágenes satelitales distintas: una a color del U.S. Geological Survey tomada el 12-31-1969 (la más antigua consultable); y otra en tonos de grises de DigitalGlobe-U.S.G.S. fechada el 6-12-2011 (la más reciente de dominio público).

A continuación, se describen los principales rasgos geomorfológicos (morfogenéticos, morfológicos y morfométricos), del cauce del río Magdalena en el sector de interés, usando las herramientas de edición de Google Earth y de Google Maps.

###### Imagen del 12-31-1969

Según la Figura 5.44 se observa que la corriente del río Magdalena viene con dirección Noroeste (NW) y cambia drásticamente hacia el Nor-noreste (NNE), unos 7.5 km aguas arriba del Puente Monumental de Puerto Berrío. Bajo el puente, y frente al área urbana, es monocanal recto y con 530 m de ancho; la margen izquierda es rectilínea debido a las obras del puerto fluvial (en la que se asocia una mayor profundidad y calado). Por su parte, el orillal derecho (en Puerto Olaya) es progresivamente sinuoso, con presencia de barras laterales sucesivamente acrecionadas y un brazo principal de crecida, que se abre al oriente con una mayor curvatura. Por lo tanto, a margen izquierda hay socavación y a la derecha sedimentación.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.44 Imagen satelital U.S.G.S. a color del 12-31-1969 del río Magdalena, en inmediaciones de las dos áreas urbanas de influencia. En trazo rojo la vía proyectada y en líneas negras las anchuras de control medidas sobre el cauce.

Fuente: Adaptado de: Google Earth (2016).

Midiendo 1.5 km en dicha imagen sobre la margen izquierda del río, y todavía dentro del área urbana, ésta se hace suavemente curva y gira hacia el Nor-noroeste (NNW); allí comienzan a crearse barras laterales elongadas y un par de islotes centrales, claramente inundables, las cuales hoy día son evidentes (Fotografía 5‑52).

|  |
| --- |
|  |

Fotografía 5‑52 Detalle de isla central inundable del río Magdalena, vista desde Puerto Berrío, con la fecha de captura.

Fuente:http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/94849010.jpg.

Por su parte, la margen derecha el río también toma esta orientación y se forman varias islas laterales, con dimensiones de entre 1.8 y 1.4 km de eje largo. A su vez, en este sector (sección 1, línea negra transversal inferior, de la Figura 7) el cauce del río Magdalena posee un ancho de hasta 1.4 km.

En la sección 2 (línea negra transversal intermedia, de la Figura 5.44) el río Magdalena vuelve a ser monocanal y posee un ancho de 0.9 km.

Inmediatamente aguas abajo, la corriente gira su dirección de flujo hacia el Norte, bifurcándose (en dos brazos con anchura análoga) y generando una gran isla central estable. El cauce del río Magdalena alcanza luego la anchura máxima en todo el sector, midiendo 2.34 km, siendo también mayor la sección de esta isla (véase línea negra transversal superior, en la Figura 5.44). Es decir, en este punto de inflexión el río posee una alta tendencia de sedimentación a margen izquierda, en contraposición a la dinámica de socavación de la margen derecha.

###### Imagen del 6-12-2011

Respecto a la imagen satelital de 1969 (Figura 5.45) se encuentra que, justo antes y debajo del Puente Monumental, sobre la margen derecha del río Magdalena ha ocurrido gran sedimentación y la conformación de una barra lateral, que longitudinalmente tiene 1.1 km. La curvatura del orillal izquierdo (0.5 km aguas arriba del puente), sobre el que choca y cambia fuertemente la corriente de dirección, producen contraflujo, turbulencia y socavación, que bajo el puente recuden la sección hidráulica, socavando en la margen izquierda y colmatando en la derecha, con la geoforma fluvial ya explicada.

El cauce continúa con geometría monocanal, recto y asimétrico (más profundo paralelo al puerto). Pero a 1.33 km, medidos en el eje de la corriente desde el Puente Monumental, se vuelve trenzado, consolidando una isla (dique central, de 0.4 km de ancho, el cual ya estaba insinuado en la imagen de 1969) y bifurcándose en dos brazos principales (MI de 0.49 y MD de 0.42 km de ancho). A su vez, en la margen izquierda continúa presentándose una barra longitudinal lateral, con un delgado cauce antiguo.

Luego en la sección 1 (línea negra inferior, en la Figura 5.45) se nota que el cauce principal aumentó 0,32 km de ancho al oriente (en comparación a la imagen de 1969), lo que significa que el río Magdalena adquirió una clara tendencia de migración de flujo y socavación sobre el orillal de la margen derecha. Por el contrario, sobre la mitad occidental (a margen izquierda) continua la sedimentación y hay consolidación de diques laterales, conformando para el año 2011 un juego de tres barras alargadas (de geometría trapezoidal deformada, sucesivamente más anchas), con varios canales menores trenzados, los cuales se unen y engrosan en la punta norte.

Posteriormente en la sección 2 (línea negra transversal, Figura 5.45), 2.7 km aguas abajo de la sección 1, se aprecia claramente que el cauce activo del río Magdalena de ha reducido exactamente a la mitad (en comparación a la imagen de 1969): solamente es evidente el tránsito de caudales líquidos sobre un canal ubicado exclusivamente a margen derecha, mientras que en la otra mitad (occidental) se han acrecionado barras sucesivas. Es decir, que dichos diques contienen sedimentos aluviales acumulados lateralmente al menos durante los últimos 43 años (del análisis temporal).

Igualmente, sobre la sección 3 el canal fluvial mantiene un comportamiento análogo, pero con mayor amplitud y dinámica: se consolida la acreción sedimentaria del Cuaternario sobre la margen izquierda, con una isla estable y cada vez más extensa, y un brazo de crecida (occidental y antiguo) cada vez más estrecho. Es evidente la consolidación temporal de dicha isla, progresivamente agradada sobre la margen izquierda

.

En contraposición, en el 2011 hay un solo brazo en la margen derecha, recto y ligeramente curvado al oriente, pero mucho más ancho (aumentó 0.52 km) comparado con la imagen de 1969, que origina los procesos de incisión y socavación en este flanco de la corriente.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.45 Imagen DigitalGlobe-U.S.G.S. que muestra la morfología del cauce del río Magdalena observada el 6-12-2011, con la vía proyectada en trazo rojo. Note que las anchuras de control del cauce han disminuido, significando una migración del río hacia la margen derecha.

Fuente: Adaptado de: Google Earth (2016).

Es evidente la consolidación temporal de esta isla, acrecionada progresivamente sobre la margen izquierda.

El presente trabajo puede ser enriquecido mediante la integración de trabajos de topografía local, información de exploraciones geotécnicas y geofísicas, con la posibilidad de adicionar aerofotografías más recientes, o el uso de otras herramientas modernas de geomática (UAV, Lidar, etc.), para la generación de bases cartográficas adecuadas (en lo posible 1:5.000), mapas geológicos, geomorfológicos o la zonificación de amenazas por inundaciones.

##### Análisis de Inundaciones

###### Introducción

Los análisis hidráulicos efectuados para este efecto consistieron en la determinación de la capacidad, nivel y velocidad del flujo en el sitio de cruce. Los eventos hidrológicos para los cuales se verificará el comportamiento de las corrientes tendrán recurrencia entre los 50 y 100 años, teniendo en cuenta el riesgo de ocurrencia de eventos máximos que se espera en la cuenca de drenaje, bajo consideraciones de nivel de agua que permita el adecuado flujo del agua bajo el mismo.

El cálculo de las condiciones hidráulicas del flujo durante el escenario medio y los eventos de avenida máxima, para los períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, se ha verificado teniendo en cuenta la pendiente media del cauce a lo largo de la cuenca. Los resultados apuntan no sólo a entender y representar la dinámica fluvial de la corriente, sino a estimar la amenaza que dichas crecientes representan para las comunidades y la infraestructura aledaña al cauce.

Los análisis de hidráulica comienzan a partir de la determinación de los caudales de crecida en la sección de hidrología. El objetivo final de los estudios es establecer la elevación de la lámina de agua en el cauce y las zonas afectadas, debidas a crecientes de diferentes condiciones de frecuencia.

###### Metodología

* Caudales medios mensuales

La ubicación de diferentes estaciones de medición a lo largo del río Magdalena, con registros históricos, permite realizar un análisis multitemporal y espacial del comportamiento aproximado que presenta el mismo.

En general, en el tramo entre Puerto Salgar y Barrancabermeja el río presenta un régimen de caudales con una tendencia bimodal con dos periodos de altos caudales marzo-julio y octubre-diciembre, así como dos periodos de caudales bajos correspondientes a enero-febrero y agosto-septiembre. De igual forma, se observa el aumento del caudal en el tramo en la dirección hacia aguas abajo, a medida que el río recibe aportes de otras corrientes de agua. En la Figura 5.46 se muestra el comportamiento de los caudales medios mensuales en la estación Puerto Berrío.



Figura 5.46 Caudales medios mensuales multianuales estación Puerto Berrío

Fuente IDEAM

* Curvas de duración de caudales

A partir de registros históricos de caudales medios diarios, mensuales o anuales se puede calcular la curva de duración de caudales, de tal manera que si la serie es suficiente dicha curva se puede considerar representativa del régimen de caudales medios del río Magdalena.

La curva se genera a partir de un análisis de frecuencias de la serie histórica, en la cual se representa en el eje de las ordenadas los valores de caudales medios analizados y en el eje de las abscisas se muestra la probabilidad en el tiempo de que dichos caudales puedan ser igualados o excedidos (Figura 5.47 y Tabla 5‑20).

Tabla 5‑20 Valores de caudal para diferentes probablidades de excedencia en estaciones del IDEAM

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| % De Excedencia | Estación Puerto Salgar | Estación Puerto Berrío | Estación Peñas Blancas |
| 100,0 | 182,0 | 601,8 | 881,2 |
| 99,5 | 403,4 | 816,5 | 1027,6 |
| 99,0 | 442,0 | 891,0 | 1104,9 |
| 98,0 | 493,6 | 980,0 | 1216,0 |
| 95,0 | 589,0 | 1139,0 | 1408,0 |
| 90,0 | 691,0 | 1305,0 | 1618,2 |
| 80,0 | 854,0 | 1560,0 | 1947,4 |
| 70,0 | 996,0 | 1789,7 | 2215,0 |
| 60,0 | 1142,0 | 2002,0 | 2517,0 |
| 50,0 | 1296,0 | 2240,0 | 2817,0 |
| 40,0 | 1462,0 | 2502,0 | 3136,0 |
| 30,0 | 1663,0 | 2790,0 | 3469,4 |
| 25,0 | 1791,0 | 2968,0 | 3662,8 |
| 20,0 | 1952,0 | 3170,0 | 3901,0 |
| 10,0 | 2460,0 | 3740,0 | 4613,0 |
| 5,0 | 2948,0 | 4288,0 | 5106,3 |
| 1,0 | 4026,2 | 5500,0 | 5959,8 |
| 0,5 | 4460,0 | 5896,0 | 6217,0 |
| 0,2 | 5027,7 | 6453,0 | 6405,4 |
| 0,1 | 5333,2 | 6921,0 | 6620,1 |
| 0,08 | 5387,5 | 7001,6 | 6711,9 |
| 0,05 | 5533,6 | 7246,0 | 6788,3 |
| 0,02 | 6151,3 | 7797,4 | 7369,5 |
| 0,01 | 6230,9 | 8091,8 | 8260,6 |

Fuente IDEAM



Figura 5.47 Curva de duración de caudales medios diarios estación Puerto Berrío

Fuente IDEAM

###### Estimación de caudales máximos de crecida

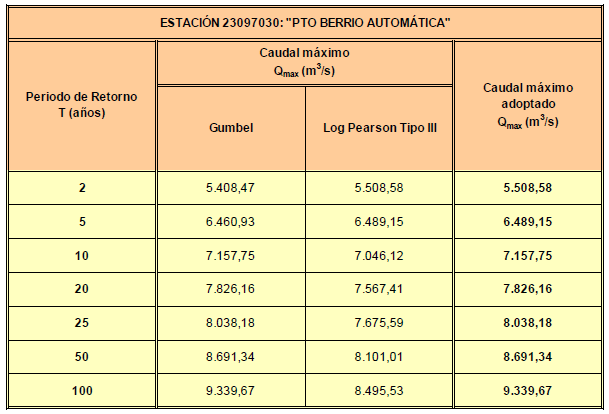
Para efecto de los estudios hidráulicos en el cauce del río Magdalena, se dispone de información relacionada con estaciones limnimétricas en el sitio de cruce del puente actual (Puerto Berrío), a partir de las que se han desarrollado estudios de hidrología, los cuales se aplican en el documento de diseño de Hidrología e Hidráulica del Puente.

En la sección de hidrología se describieron las metodologías empleadas para la obtención de los caudales máximos de crecida en la cuenca del río Magdalena. En la mayoría de los proyectos que requieren evaluar variables hidrológicas no se tiene un buen cubrimiento de la red hidrometereológica, por lo que es necesario recurrir a métodos de proyección o extensión de caudales.

En la Tabla 5‑20 se relacionan algunas probabilidades de excedencia de caudales para las principales estaciones del IDEAM con registros históricos de caudales diarios en el río Magdalena y en la Figura 5.47 se muestran las respectivas curvas de duración de caudales.

En la Tabla 5‑21 se detallan los caudales seleccionados, los sombreados corresponden al método de transposición.

Tabla 5‑21 Caudales de diseño del puente, estación Puerto Berrío



Fuente: Volumen VII: Estudio de hidrología, hidráulica y socavación. Autopista al río Magdalena S.A.S.

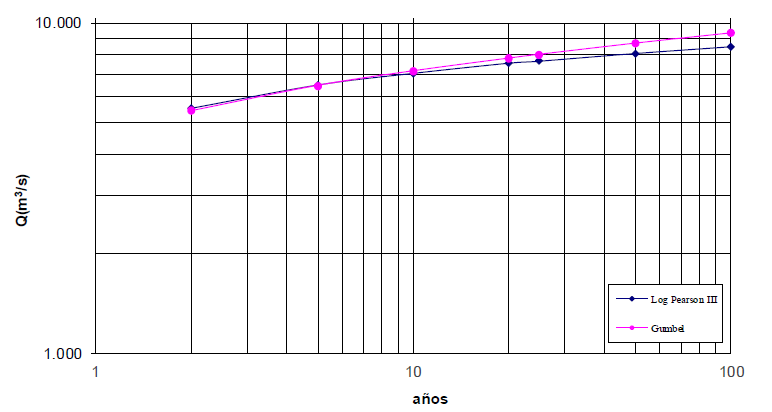


Figura 5.48 Análisis de frecuencias de caudales máximos (Estación Puerto Berrío (23097030)

Fuente: Volumen VII: Estudio de hidrología, hidráulica y socavación. Autopista al río Magdalena S.A.S.

###### Inventario de la situación actual

Esta tarea comprende la recopilación de todos los datos existentes del área de estudio necesarios para la modelación hidráulica: geometría de los cauces y del terreno en las zonas de las planicies de inundación.

Existen distintas maneras de obtener estos datos. Un método usualmente empleado consiste en trabajar con un modelo digital del terreno (MDT) que se puede obtener a partir de fotografías aéreas, batimetrías y topografía convencional de control. En el proyecto de diseño del Puente del río Magdalena se utilizó un MDT basado en fotografías aéreas a escala 1: 5000 se restituyeron fotogramétricamente en escala de 1:1000 con los datos digitales vectoriales de la restitución fotogramétrica, se construye el MDT en formato ARC-GIS.

Otros datos necesarios para la modelación hidráulica son los referentes a niveles de agua y caudales observados durante crecidas anteriores. Esta información es muy importante ya que permitirá ajustar (calibrar) los parámetros del modelo y validar los resultados simulados con el modelo.

Todos los datos obtenidos en la etapa de recopilación deben ser cuidadosamente analizados y procesados de manera adecuada para poder ser incorporados en el modelo matemático. Al finalizar este paso, se deberá decidir si la información existente es suficiente para realizar la modelación hidráulica, o si por lo contrario, deberá ser necesario obtener datos adicionales.

###### Concepción del modelo

El análisis de la información recopilada y procesada en el paso anterior permitirá definir con exactitud el modelo matemático. Un aspecto importante en esta etapa es decidir qué tipo de modelo es el más adecuado para describir la configuración de flujo que se quiere modelar (dimensión del modelo). Por lo general, se trata de utilizar el modelo más simple que permita describir los procesos físicos con la precisión deseada.

De ser necesario, también es posible combinar modelos de distinto tipo y dimensión (modelos unidimensionales y bidimensionales). En el caso del proyecto del río Magdalena, se decidió trabajar con un modelo unidimensional y considerar condiciones de flujo permanente. El modelo utilizado es el HEC-RAS (River Análisis System) desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos de Norteamérica.

En el paso de concepción del modelo se delimita definitivamente el área de estudio y se definen los tramos a considerar. Para el cauce se estudian las condiciones de borde que se van a necesitar para llevar a cabo las simulaciones. En el proceso de concepción del modelo es usual que se hagan abstracciones y simplificaciones para permitir la representación de las condiciones reales en el modelo.

Para el cálculo se consideró que el flujo en el tramo en promedio corresponde a profundidades normales (pendiente de la línea de energía similar a la pendiente media del cauce). Mediante ayuda del programa HEC-RAS e iteraciones se estimó el nivel a lo largo de este tramo ajustado al criterio indicado.

Se debe tener en cuenta que las características de la pendiente del fondo del río en el sector tiende a generar condiciones de flujo subcrítico, en la cual la corriente presenta estabilidad, ocurriendo pequeñas variaciones de energía específica en tramos cortos de la corriente. Para simular este efecto, el programa de computador en mención tiene la capacidad de efectuar simulaciones mixtas entre flujo uniforme subcrítico hasta uniforme supercrítico, bajo ciertos condicionamientos en el ingreso de la información solicitada por él.

Los datos de entrada para el programa son la pendiente del fondo del cauce, las secciones transversales del río en el área en estudio y el coeficiente de rugosidad de las bancas y del lecho.

La información geométrica de las secciones y pendiente se obtuvo a partir de medidas directas tomadas del cauce. Los coeficientes de fricción se estimaron con base en las observaciones de campo en cada uno de los sitios y la experiencia de los Consultores en este tipo de trabajos.

Adoptando estos criterios de calibración se estimaron valores de rugosidad (n) de 0,040 para niveles medios y altos 0,035 para niveles más bajos. Estos valores resultan consistentes con las condiciones de la corriente según valores recomendados.

###### Descripción general del modelo HEC-RAS

En este numeral se describe la principal herramienta utilizada en la estimación de los perfiles de flujo gradualmente variado necesarios para el diseño hidráulico, es decir, el modelo HEC-RAS versión 4.0 de 2008. Este modelo se utiliza con el fin de estimar los perfiles de flujo en un canal natural o artificial. El programa aplica el método estándar por pasos para el cálculo de los cambios en el nivel del agua entre secciones contiguas de los cauces con base en las pérdidas de energía del flujo.

El cálculo comienza en uno de los extremos del canal y procede sección a sección hasta alcanzar el otro extremo. En las secciones determinadas por estructuras hidráulicas, como por ejemplo los puentes, las condiciones hidráulicas son más complejas, y obligan a que los cambios en el perfil se calculen con base en las ecuaciones de momentum, energía o aproximaciones de carácter empírico.

La metodología incorporada en el modelo se basa en varias suposiciones que simplifican un fenómeno complejo, como el que pretende modelar. Los resultados del modelo, si se tiene conciencia de sus limitantes y suposiciones básicas son satisfactorios para fines prácticos. Las suposiciones fundamentales del modelo son:

• Flujo permanente

• Flujo gradualmente variado

• Flujo unidimensional. El programa utiliza el factor de corrección de Coriolis para tener en cuenta la heterogeneidad en la distribución de velocidades.

• Canales de baja pendiente, hasta del 10%.

• Pendiente de la línea de energía constante entre secciones adyacentes.

• Lecho rígido

Las pérdidas de energía ocasionadas por la fricción del agua con el perímetro mojado de la sección, las determina el programa como el producto de la pendiente media de la línea de energía y la longitud ponderada con base en los caudales por las sobrebancas y el canal entre secciones. Las pérdidas locales por contracciones o expansiones, las calcula como un porcentaje del cambio de la cabeza de velocidad entre las secciones.

Las ecuaciones básicas para la determinación de las pérdidas de energía son las siguientes:







Donde:

* *he: Pérdidas en la cabeza de energía*
* *‾Sf: Pendiente de fricción representativa entre secciones contiguas.*
* *C: Coeficiente de expansión o contracción.*
* *L: Distancia ponderada entre secciones.*
* *a1 y a2: Coeficiente de corrección para la velocidad media de flujo.*
* *Llov,Lch y Lrov: Distancias entre las secciones transversales por la banca izquierda, por el canal y por la banca derecha, respectivamente.*
* *‾Qlov,‾Qch y ‾Qrov: Promedio aritmético de los caudales entre secciones entre las secciones transversales por la banca izquierda, por el canal y por la banca derecha.*
* *V1 y V2: Velocidades medias de las secciones contiguas. Estas velocidades se determinan con base en la ecuación de Manning, la cual está dada por la siguiente expresión:*



Donde R es el radio hidráulico, n el coeficiente de rugosidad de Manning y S la pendiente de la línea de energía.

El programa puede ser utilizado con las variables definidas en el sistema inglés o en el sistema internacional. En este caso se trabajó con el sistema internacional.

La información con la cual se alimenta el programa consta de la geometría transversal del río en estudio, dentro de la cual se incluyen las secciones topográficas obtenidas de trabajos directos de topobatimetrías, las distancias entre las secciones por el eje central del canal y las márgenes izquierda y derecha, los coeficientes de rugosidad de Manning (los cuales pueden variar transversalmente en la sección), los coeficientes de pérdidas locales, las obstrucciones al flujo, zonas de flujo inefectivo, las cotas y localización de las coronas de diques y las estructuras especiales, como puentes o coberturas; los caudales para los cuales se desee estimar los perfiles de flujo y las condiciones de frontera, que pueden ser una curva de calibración, niveles conocidos del agua, las pendientes de fondo del canal o la profundidad crítica, en la sección aguas arriba, aguas abajo o ambas, dependiendo si se van a calcular perfiles supercríticos, subcríticos o mixtos respectivamente.

* Coeficientes de rugosidad

Cada una de las corrientes en estudio, en el tramo de interés, mantiene una sección transversal de similares características, en la que se distingue un cauce principal y riberas de inundación. El cauce principal está en general bien conformado, con secciones transversales relativamente regulares, con material de transporte en el lecho de regular tamaño y poca vegetación en su interior. Las riberas de inundación, por su parte, poseen más vegetación tipo matorral y se observan más irregulares.

Conforme a lo anterior, para todas las secciones transversales involucradas en el cálculo hidráulico se utilizarán desfavorablemente los siguientes coeficientes de rugosidad:

• Cauce principal: n = 0,035

• Riberas de inundación: n = 0,040

* Topografía

La topografía disponible para los efectos de este estudio proviene de un levantamiento topográfico especialmente efectuado con motivo de éste y cuyo sistema de referencia en relación con las cotas corresponde al mismo utilizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

El levantamiento consistió en la toma de secciones transversales del cauce de cada río en estudio, distanciadas una longitud según las recomendaciones del Manual de Drenaje de INVIAS. Dentro de los perfiles levantados se incluyen todas las secciones singulares del cauce del río tales como las generadas por el puente actualmente existente. Cada perfil transversal representa adecuadamente a la sección del río en crecida, toda vez que cada uno de ellos cubre tanto al cauce principal como a sus respectivas riberas de inundación.

Para efecto de la generación del modelo digital de terreno MDT, se realizó la complementación de la base cartográfica con ayuda del levantamiento de secciones transversales de topografía cada 50 metros en el último kilómetro del cauce.

El procedimiento de generación del MDT partió de la base cartográfica georeferenciada, generada por el proyecto a partir de fotos aéreas. En seguida se adicionó el levantamiento topográfico de precisión de las secciones transversales del cauce principal (batimetrías) del río Magdalena.

El levantamiento topográfico de precisión y específicamente la red de amarres altiplanimétricos de la ciudad (1:5000 en el cierre, donde se realizaron todos los análisis de tipo hidráulico. Para el propósito de la amenaza y riesgo de inundación, el levantamiento topográfico tuvo como objetivo representar adecuadamente la inundación como factor de amenaza por lo que los levantamientos incluyeron los detalles de viviendas e infraestructura sobre las márgenes del río, entre secciones y en la sección transversal con precisión en distancia y altura, tal que se logre conformar el modelo digital del cauce y las márgenes o llanuras de inundación en los sitios en donde estos tienen relevancia, especialmente por los factores de amenaza a la población.

El procedimiento de conjunción de los dos elementos empleo las herramientas de Autocad Map 2013 y Arc Gis 10.0, mediante procesos que se muestran en la Figura 5.49 a la Figura 5.51

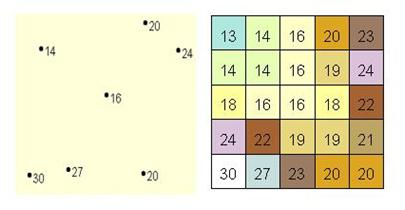


Figura 5.49 Levantamiento tipográfico de detalle y zonificación de área de igual altura

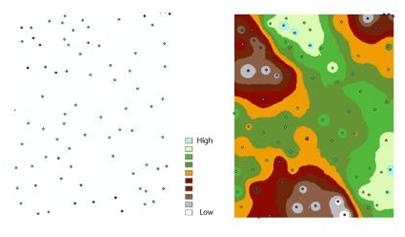


Figura 5.50 Generación de un modelo plano de elevaciones a partir de la nube de puntos

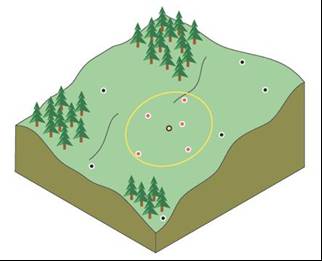


Figura 5.51 Generación del modelo digital de terreno (MDT) final

En este paso se construye el modelo matemático con la ayuda de programas y herramientas de CAD o SIG se comienza por digitalizar en la pantalla la posición y la trayectoria de los cauces utilizando como información de fondo mapas topográficos digitales y las curvas de nivel del MDT. Los tramos de los cauces a considerar se vinculan definiendo la red hidrológica del modelo.

Luego se dibujan líneas perpendiculares a la dirección del flujo indicando la posición de las secciones transversales que se utilizarán para el cálculo hidráulico.

Las alturas del terreno en las secciones transversales se obtienen por intersección de la proyección de las líneas de las secciones con el MDT. Posteriormente se agregan las obras hidráulicas, al modelo y se eligen los parámetros de rugosidad de los cauces y de las planicies de inundación.

Luego de definir la geometría del modelo se introducen los datos de flujo necesarios para ejecutar las corridas con el modelo. Se especifican los caudales para los diferentes tramos y los niveles de agua en los extremos abiertos del modelo (condiciones de borde). Por último, se fijan los parámetros de control y las opciones para las corridas. El armado del modelo es un proceso iterativo que consume tiempo y requiere de gran cuidado.

Las secciones extraídas del MDT fueron corregidas, depuradas y seleccionadas, ya que en algunos casos la selección resultante presenta problemas de definición de la sección o de representatividad de la geometría; por ejemplo en los cauces de las zonas muy planas presentan problemas de definición y en muchos casos, y para la resolución y escala de trabajo utilizada, generan resultados poco confiables. Por esta razón se optó por no emplear el MDT en estas zonas, dada la baja representatividad del resultado y alta incertidumbre de la información. Se debe anotar además que en estas zonas no se realizó topografía de detalle, debido a que se encontraba por fuera de la zona de estudio.

Una vez construido el modelo se procede a fijar y a ajustar los parámetros del mismo. Este proceso se denomina calibración del modelo. Los parámetros de calibración de modelo son los coeficientes de rugosidad de los cauces y de las planicies de inundación. Dependiendo de las características de las planicies de inundación, podrá también ser necesario ajustar el ancho de las áreas de flujo efectivo de dichas secciones.

La calibración de los parámetros del modelo se realizará utilizando información de niveles de agua y caudales observados en crecidas anteriores.

Con el modelo se simulan dichas crecidas y se varían los parámetros de calibración hasta obtener una buena concordancia entre los valores observados y los valores simulados. En caso de no existir datos de crecidas históricas. Los parámetros de calibración se deberán elegir basándose en la propia experiencia o en información obtenida en la literatura.

Con el modelo calibrado es posible simular las condiciones de flujo de situaciones diferentes a las conocidas (por ejemplo para crecidas extraordinarias con períodos de retorno alto).

El modelo permitirá predecir para dichas situaciones los niveles de agua alcanzados las profundidades y velocidades de flujo y los límites de las áreas de inundación.

###### Resultados

A continuación se presentan los resultados de las memorias de cálculo obtenidos a partir del modelo de simulación hidráulica. De la misma manera se presentan resultados gráficos de las secciones transversales y perfiles de flujo hidráulico para las condiciones máximas y medias. Para el objeto del estudio se consideró un fondo fijo, asumiendo condiciones estables.

En el sitio de puente, la corriente presenta morfología unicanal con alto transporte de sedimentos, con presencia de islas formadas por sedimentación.

Los perfiles de flujo esperados en el tramo son de tipo S2, en los cuales las profundidades de flujo están entre las profundidades críticas y normales, con una tendencia asintótica hacia estas últimas. Para el objeto del estudio se consideró un fondo fijo, asumiendo condiciones estables.

La Tabla 5‑22 resumen las variables que explican los resultados de la modelación hidráulica para cada corriente en el sitio donde se localiza el nuevo puente.

Tabla 5‑22 Identificación de las Variables hidráulicas modeladas

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| VARIABLE | DESCRIPCIÓN | UNIDAD |
| Reach | Tramo |  |
| River Sta | Abscisa |  |
| Profile | Escenario |  |
| Q Total | Caudal | (m3/s) |
| Min Ch El | Elevación del fondo del cauce | (m) |
| W.S. Elev | Elevación de la lámina de agua | (m) |
| E.G. Slope | Pendiente hidráulica | (m/m) |
| Vel Chnl | Velocidad | (m/s) |
| Flow Area | Area de flujo | (m2) |
| Top Width | Ancho de flujo | (m) |
| Froude # Chl | Número de Froude |  |

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

* Escenario Actual

Para las condiciones actuales de flujo en el río, el caudal medio genera una lámina de 5.00 m con una elevación de 106.38 msnm y una velocidad media de 1,02 m/s. Para la creciente anual, la lámina de agua alcanzada es de 6,15 m a una elevación de 107,53 msnm y una velocidad media de 1,28 m/s. En el caso de la creciente de 100 años la elevación del nivel del agua alcanza la cota 108,27 msnm, lo que significa una lámina de agua de 6,89 m a una velocidad media de 1,57 m/s. En la Tabla 5‑23 se indica el resumen de los resultados del modelo hidráulico para la sección aguas abajo del sitio de localización del puente.

Tabla 5‑23 Características hidráulicas del río Magdalena, – Escenario Sin Puente, sección aguas abajo

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
| T2 | 5408.47 | 101.38 | 107.53 | 107.6 | 0.000572 | 1.28 | 5020.99 | 2781.72 | 0.25 |
| T5 | 6460.93 | 101.38 | 107.76 | 107.84 | 0.000575 | 1.36 | 5670.1 | 2834.08 | 0.26 |
| T10 | 7157.75 | 101.38 | 107.89 | 107.98 | 0.000587 | 1.41 | 6043.53 | 2864.53 | 0.26 |
| T20 | 7826.16 | 101.38 | 108.02 | 108.11 | 0.000595 | 1.46 | 6393.83 | 2892.8 | 0.27 |
| T25 | 8038.18 | 101.38 | 108.05 | 108.15 | 0.000598 | 1.48 | 6501.05 | 2901.95 | 0.27 |
| T50 | 8691.34 | 101.38 | 108.16 | 108.26 | 0.000607 | 1.53 | 6825.98 | 2949.42 | 0.27 |
| T100 | 9339.67 | 101.38 | 108.27 | 108.38 | 0.000614 | 1.57 | 7147.59 | 2993.55 | 0.28 |
| Qmedio | 2260 | 101.38 | 106.39 | 106.44 | 0.000491 | 1.02 | 2418.2 | 1763.42 | 0.23 |

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

En la sección inmediatamente aguas arriba donde se localizará el puente sobre el río Magdalena muestra que el caudal medio genera una lámina de agua de 106.49 msnm con una lámina de agua máxima de 4,74 m. La creciente de Tr2,33 años causa una lámina de agua de 5.96 m, lo que quiere decir una elevación máxima de 107,71 msnm. Para el caso de Tr100 años la creciente alcanza el nivel de 108,54 msnm, o sea una lámina de agua máxima de 6,79 m. En la Tabla 5‑24 se indica el resumen de los resultados del modelo hidráulico para la sección aguas abajo del sitio de localización del puente.

Tabla 5‑24 Características hidráulicas del río Magdalena, – Escenario Sin Puente, sección aguas arriba

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
| T2 | 5408.469 | 102.5 | 107.66 | 107.75 | 0.000414 | 1.28 | 4527.28 | 1919.6 | 0.23 |
| T5 | 6460.93 | 102.5 | 107.9 | 108 | 0.000459 | 1.41 | 4990.33 | 2001.1 | 0.24 |
| T10 | 7157.751 | 102.5 | 108.04 | 108.14 | 0.00049 | 1.5 | 5262.87 | 2034.56 | 0.25 |
| T20 | 7826.162 | 102.5 | 108.16 | 108.28 | 0.000517 | 1.57 | 5519.09 | 2070.64 | 0.26 |
| T25 | 8038.181 | 102.5 | 108.2 | 108.32 | 0.000525 | 1.59 | 5597.85 | 2079.6 | 0.26 |
| T50 | 8691.341 | 102.5 | 108.31 | 108.44 | 0.000548 | 1.66 | 5836.06 | 2101.54 | 0.27 |
| T100 | 9339.669 | 102.5 | 108.42 | 108.56 | 0.000569 | 1.72 | 6068.55 | 2119.79 | 0.27 |
| Qmedio | 2260 | 102.5 | 106.51 | 106.54 | 0.000287 | 0.85 | 2692.51 | 1290.73 | 0.18 |

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

En la Figura 5.52se presenta el perfil hidráulico del río Magdalena en la zona de cruce, en el tramo comprendido entre el puente existente y 11,5 8 kilómetros hacia aguas abajo.

Así mismo en la Figura 5.53 se presenta la sección hidráulica del río Magdalena, en el sitio de cruce de la estructura de cruce proyectada.



Figura 5.52 . Perfil longitudinal del río Magdalena – escenario Actual

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)



Figura 5.53 Sección hidráulica del río Magdalena – Escenario actual, sitio de cruce

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

* Escenario Futuro

Para la condición futura del río Magdalena se observa, al igual que para la situación actual, que con la creciente anual Tr 2,33 años, inicia el proceso de desborde hacia las planicies de inundación laterales, especialmente hacia la margen izquierda.

Es evidente que la creciente de Tr 2,33 ocupa la capacidad máxima del cauce principal o central del caño, posterior al cual eventos con período de retorno superior, se desbordan sobre la planicie lateral izquierda. A partir de este evento, sobre la planicie del valle de inundación del río, la lámina de agua alcanza una altura de 5.28 m para este período de retorno. y de 6,12 m para un Tr100 años. Las elevaciones de la lámina de agua alcanzan la cota 107,78 msnm y de 108,62 msnm, respectivamente. De manera correspondiente, la velocidad media del flujo es de 1,23 m/s en el primer caso y de 1,62 m/s en el segundo. El caudal medio del río aguas arriba tiene una lámina de 4,08 m y una elevación de 106,58 msnm, la velcodad media para este caso es de 0,83 m/s. En la Tabla 5‑25 se presentan el resumen de los resultados del modelo hidráulico para la sección aguas arriba del puente proyectado.

Tabla 5‑25 Características hidráulicas del río Magdalena, – Escenario Con Puente, sección aguas arriba

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
| T2 | 5408.47 | 102.5 | 107.78 | 107.86 | 0.000364 | 1.23 | 4759.18 | 1965.84 | 0.21 |
| T5 | 6460.93 | 102.5 | 108.04 | 108.13 | 0.000398 | 1.35 | 5269.46 | 2035.88 | 0.23 |
| T10 | 7157.75 | 102.5 | 108.19 | 108.29 | 0.00042 | 1.42 | 5578.55 | 2077.47 | 0.23 |
| T20 | 7826.16 | 102.5 | 108.33 | 108.43 | 0.000438 | 1.49 | 5869.39 | 2104.15 | 0.24 |
| T25 | 8038.18 | 102.5 | 108.37 | 108.48 | 0.000443 | 1.51 | 5958.85 | 2111.13 | 0.24 |
| T50 | 8691.34 | 102.5 | 108.5 | 108.62 | 0.000458 | 1.57 | 6232.57 | 2132.38 | 0.25 |
| T100 | 9339.67 | 102.5 | 108.62 | 108.75 | 0.000472 | 1.62 | 6500.85 | 2152.54 | 0.25 |
| Qmedio | 2260 | 102.5 | 106.58 | 106.61 | 0.000262 | 0.83 | 2785.54 | 1321.39 | 0.17 |

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

Para la sección aguas abajo del sitio del ponteadero la creciente anual (Tr2,33 años) genera una lámina de agua de 107,53 msnm lo que significa una lámina de 6,15 m; la velocidad media es de 1,28 m/s. En la creciente de Tr100 años la profundidad máxima que se alcanza es de 6,89 m, con una elevación de 108,27 msnm y una velocidad media de 1,57 m/s. para el caudal medio la velocidad alcanzada es de 1,02 m/s, con una profundidad de 5,01 m. En la Tabla 5‑26 se presenta el resumen de las condiciones hidráulicas para una sección aguas abajo del nuevo puente proyectado.

Tabla 5‑26 Características hidráulicas del río Magdalena, – Escenario Con Puente, sección aguas abajo

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
| T2 | 5408.47 | 101.38 | 107.53 | 107.6 | 0.000572 | 1.28 | 5020.99 | 2781.72 | 0.25 |
| T5 | 6460.93 | 101.38 | 107.76 | 107.84 | 0.000575 | 1.36 | 5670.13 | 2834.08 | 0.26 |
| T10 | 7157.75 | 101.38 | 107.89 | 107.98 | 0.000587 | 1.41 | 6043.53 | 2864.53 | 0.26 |
| T20 | 7826.16 | 101.38 | 108.02 | 108.11 | 0.000595 | 1.46 | 6393.83 | 2892.8 | 0.27 |
| T25 | 8038.18 | 101.38 | 108.05 | 108.15 | 0.000598 | 1.48 | 6501.05 | 2901.95 | 0.27 |
| T50 | 8691.34 | 101.38 | 108.16 | 108.26 | 0.000607 | 1.53 | 6825.98 | 2949.42 | 0.27 |
| T100 | 9339.67 | 101.38 | 108.27 | 108.38 | 0.000614 | 1.57 | 7147.59 | 2993.55 | 0.28 |
| Qmedio | 2260 | 101.38 | 106.39 | 106.44 | 0.000491 | 1.02 | 2418.2 | 1763.42 | 0.23 |

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

En la Figura 5.56 se presenta el perfil hidráulico del río Magdalena para los eventos de creciente considerados. De dicha figura se observa que la pendiente de flujo corresponde a zona que combina canales únicos, como en el sitio de cruce, así como de multicanales, tales como las zonas aguas arriba y aguas abajo del sitio de cruce del nuevo puente. De la misma manera en la Figura 5.73 y Figura 5.74 se indica el flujo de agua, el sitio de cruce del ponteadero y una sección aguas arriba, localizadas a 7100 m del sitio del puente proyectado (Puente Monumental).



Figura 5.54 Perfil longitudinal del río Magdalena – escenario Futuro

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)



Figura 5.55 Sección transversal hidráulica del río Magdalena, sector de Puente proyectado

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)



Figura 5.56 Perfil hidráulico de la sección del río Magdalena, sector de cruce del puente actual

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

Efectuando la comparación hidráulico del rio en los dos escenarios, se evidencia que el nuevo puente generará un aumento en los niveles del río hacia aguas arriba hasta una lámina de 21 cm para un Tr de 100 años, de 12 cm para la creciente anual (Tr2,33 años) y de solamente 7 cm para el caudal medio. Esta diferencia de nivel disminuye de manera progresiva hacia aguas arriba, hasta llegar a desaparecer a una distancia de 6,6 km del sitio del puente proyectado. Hacia aguas abajo los niveles se mantienen siendo los mismos a los de la condición actual.

Para el efecto se han incluido períodos de retorno de 2,33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Para la estimación del riesgo de socavación, que se analizará más adelante, se ha considerado el evento más crítico que corresponde a un Tr=100 años.

El perfil de flujo del río Magdalena en el recorrido analizado en todos los casos conserva un estado subcrítico y continúa así durante todos los eventos de crecida en el río. Las magnitudes de la velocidad en el río Magdalena, varían entre 1.43 m/s y 1.65 m/s, presentándose en promedio a lo largo del canal magnitudes de velocidad promedio de 1.5 m/s para un periodo de retorno de 100 años.

En la sección inmediatamente aguas arriba donde se localizará el puente sobre el río Magdalena muestra que el caudal medio genera una lámina de agua de 106.49 msnm con una lámina de agua máxima de 4,74 m. La creciente de Tr2,33 años causa una lámina de agua de 5.96 m, lo que quiere decir una elevación máxima de 107,71 msnm. Para el caso de Tr100 años la creciente alcanza el nivel de 108,54 msnm, o sea una lámina de agua máxima de 6,79 m.

##### Definición de áreas de inundación

El resultado esperado del diagnóstico de la variable hidráulica, es la determinación cuantitativa y espacial de la amenaza de inundación por acción de la dinámica hidrológica-hidráulica del cauce y por las intervenciones de tipo estructural sobre el cauce.

El objetivo de la modelación hidráulica es la determinación de los límites de las áreas de inundación. Por lo tanto, la variable a considerar y a variar en las simulaciones será el caudal. Para este tipo de estudios es común considerar caudales correspondientes a crecidas con período de retorno de 2,33 5, 10, 25, 50 y 100 años. En caso de considerar régimen permanente, los caudales utilizados para las simulaciones corresponden al valor pico de la crecida. En el caso de régimen no permanente, se deberá considerar la variación del caudal en función del tiempo representada por el hidrograma de caudales de la crecida. Los resultados de las corridas se visualizan y analizan en la pantalla.

Utilizando herramientas especiales de SIG, es posible calcular las áreas de inundación a partir de los resultados del modelo hidráulico, clasificarlas en función del nivel de amenaza y representar las mismas en un mapa. En el proyecto se utilizaron los programas HEC-GeoRAS y ArcGis 10.0 para realizar esta tarea.

El proceso de elaboración del mapa con los programas HEC-RAS, HEC-GeoRAS y ArcGis comprende varios pasos. El primer paso consiste en exportar en HEC-RAS los datos de geometría y los resultados de las simulaciones. El archivo de exportación de HEC-RAS tiene un formato especial de MG. Este archivo se carga en el programa HEC-GeoRAS y se crea para cada corrida del modelo hidráulico un modelo digital de la superficie de agua en formato ARC/GIS. Los modelos digitales de la superficie de agua y el modelo digital del terreno se convierten de formato TIN a formato GRID (datos de tipo raster). Los GRID de la superficie de agua y del terreno se interceptan obteniendo como resultado los límites de las áreas inundadas y las profundidades de flujo en las zonas inundadas. Mediante operaciones algebraicas entre los diferentes GRID, se calculan finalmente las áreas inundadas clasificadas en función de su nivel de amenaza.

La ilustración gráfica generada por el modelo de simulación hidráulica es el que se indica en la Figura 5.57



Figura 5.57 Vista en perspectiva del modelamiento hidráulico del río Magdalena, sector de Puente proyectado

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

El producto final de esta actividad son los mapas de amenaza por inundación para el escenario medio y los Tr2,33 y Tr100 años, respectivamente. (Figura 5.58 a la Figura 5.60) Así mismo en la Figura 5.61 a la Figura 5.63 representa la variación de las láminas de agua en el río, para los escenario de caudal analizados.

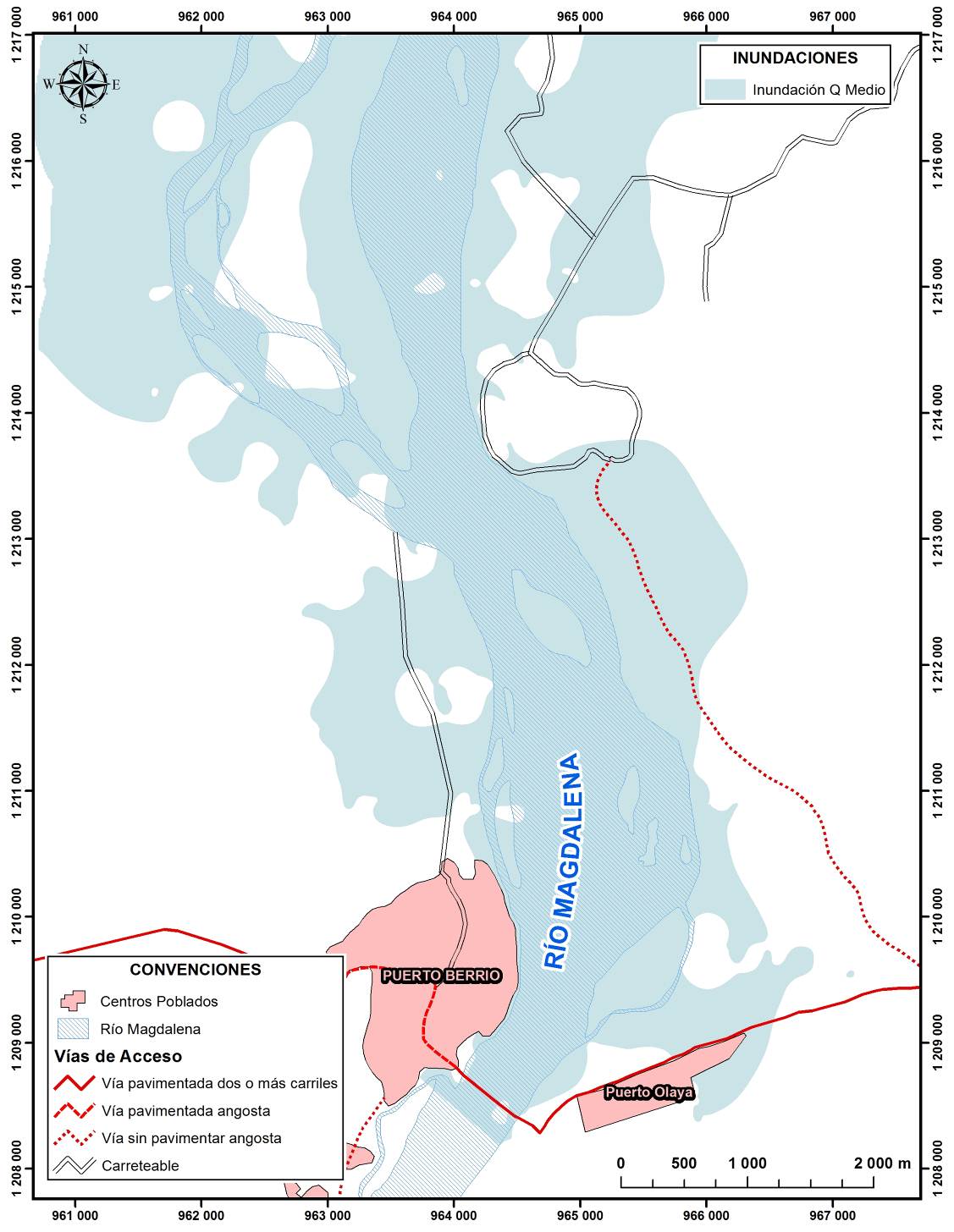
****

Figura 5.58 Mapa de inundación para el caudal medio

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

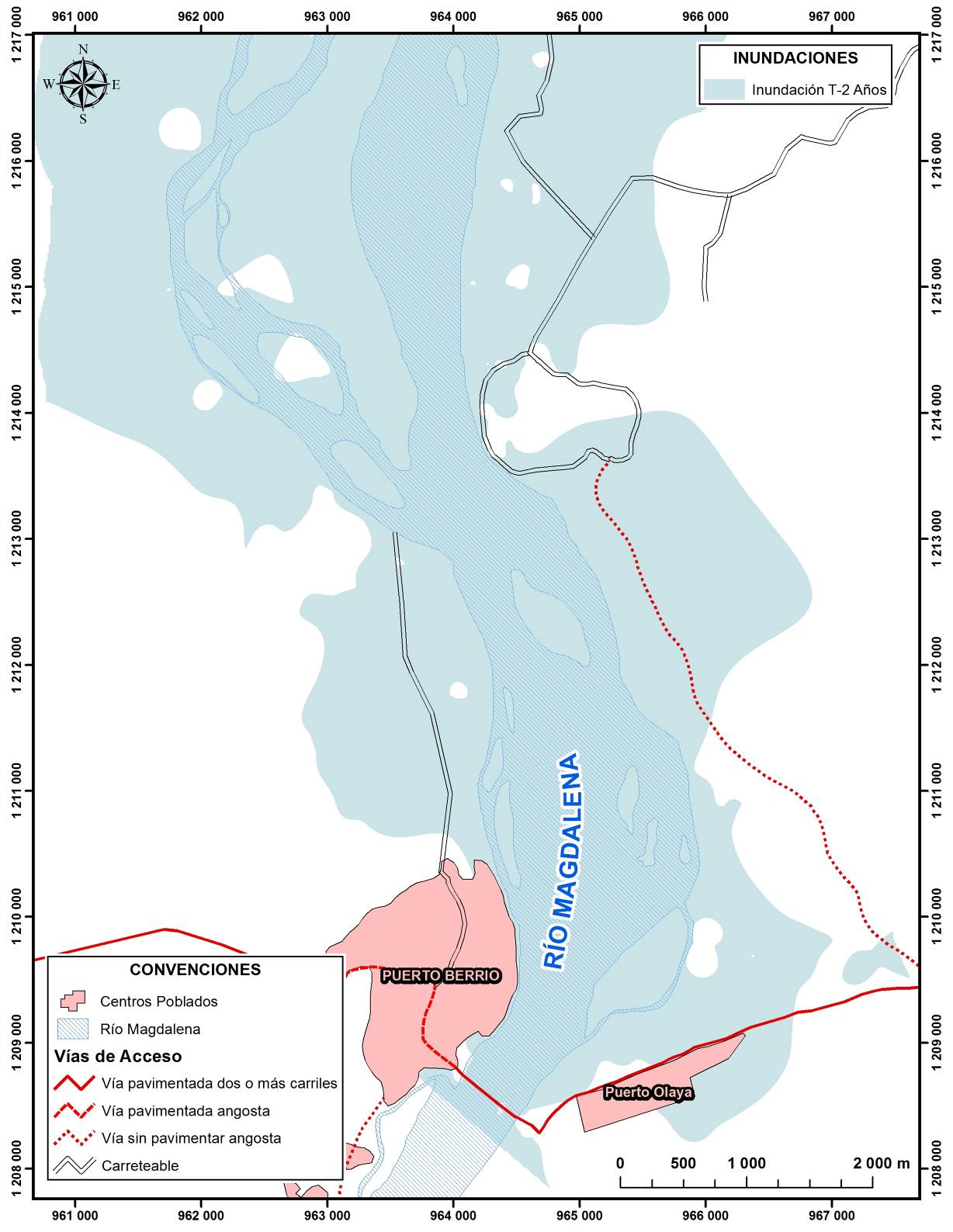


Figura 5.59 Mapa de inundación para creciente de Tr 2,33 años

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

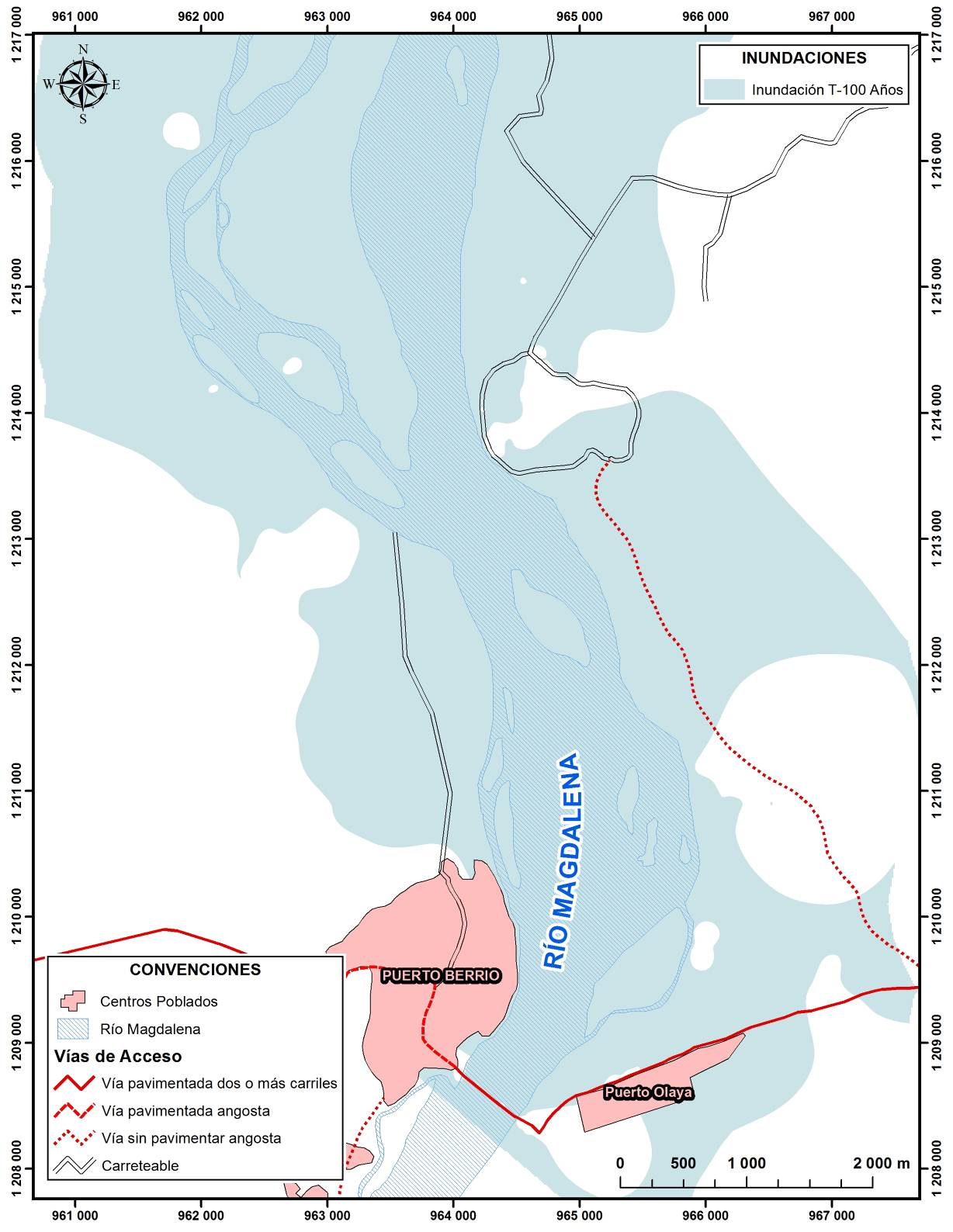


Figura 5.60 Mapa de inundación para creciente de Tr 100 años

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

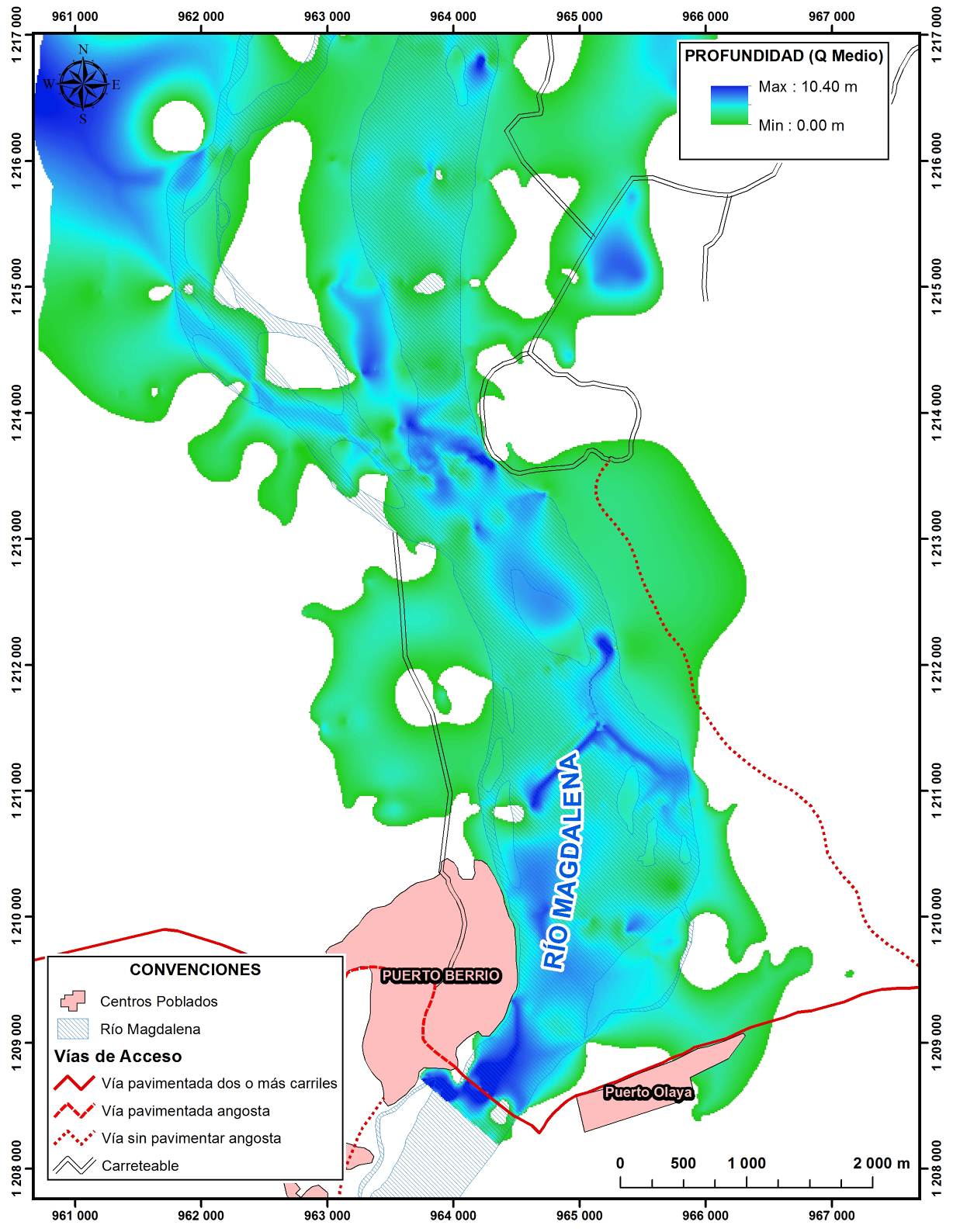


Figura 5.61 Mapa de profundidades para el caudal medio

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

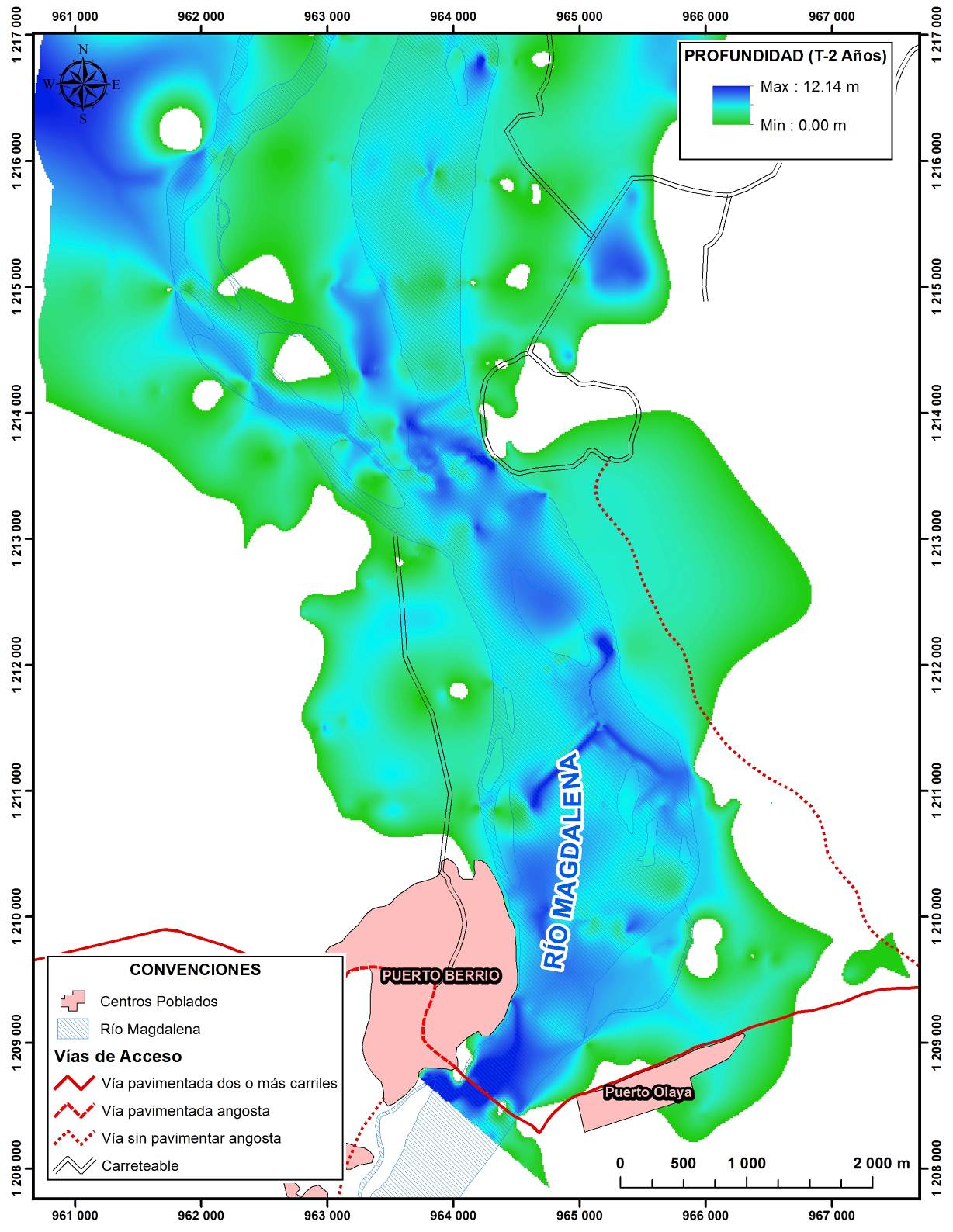


Figura 5.62 Mapa de profundidades para Tr2,33 años

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

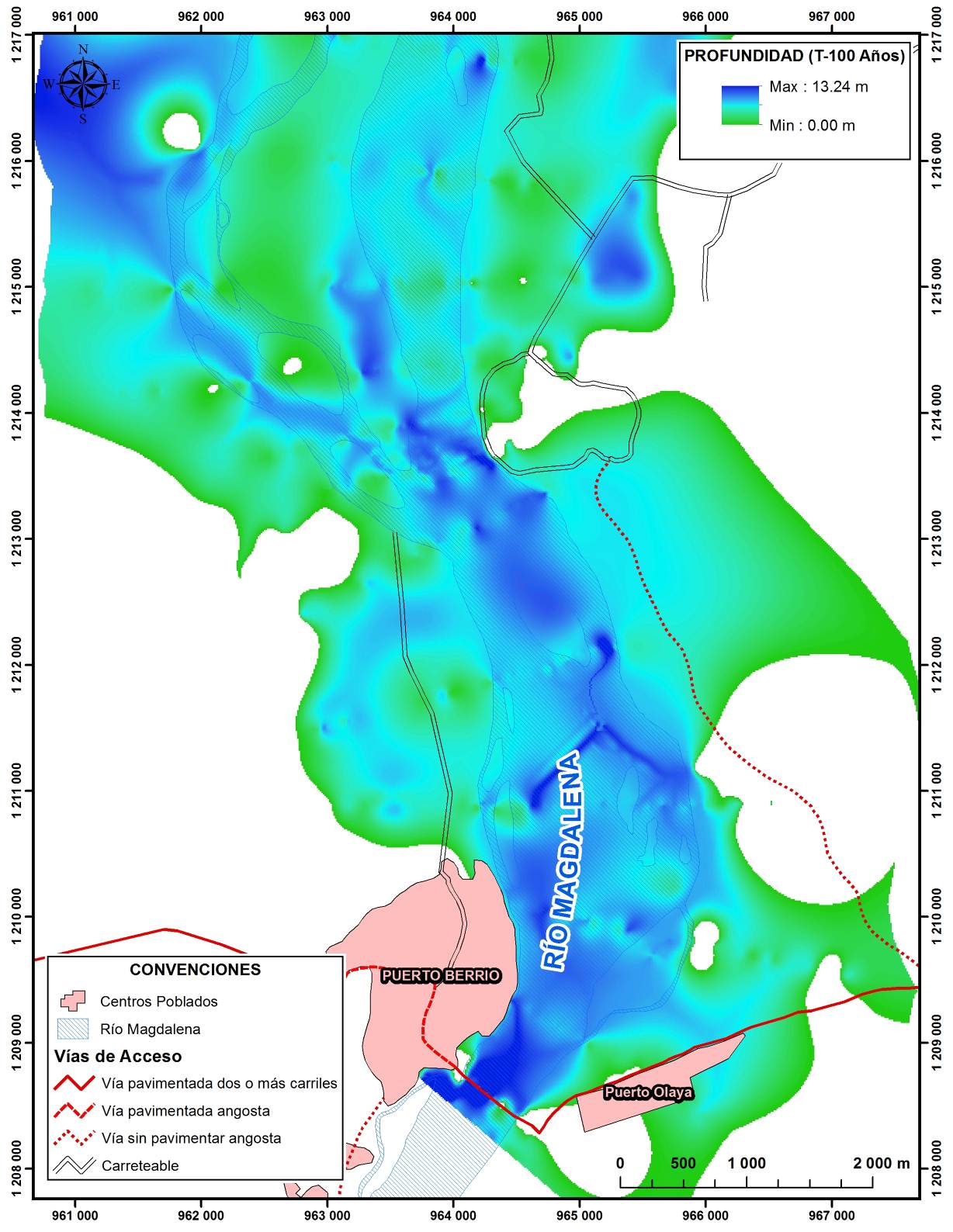


Figura 5.63 Mapa de profundidades para Tr100 años

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

Los resultados de la modelación reflejan las características generales del tramo modelado, es decir mayores profundidades y velocidades en los estrechamientos existentes al inicio del tramo modelado, frente a Puerto Berrío, y frente a la desembocadura de la quebrada Malena.

Los resultados arrojados por el modelo indican que no hay efectos significativos de las obras proyectadas sobre los niveles del río en el tramo analizado. Tampoco se observaron cambios sustanciales en las velocidades en el canal principal, ni para el caudal de 100 años ni para el de 2.33 años de período de recurrencia. Lo anterior se debe a que por tratarse de un canal ancho, el caudal unitario prácticamente es el mismo en las dos condiciones. De esta forma, el efecto de las pilas de apoyo del puente será básicamente fijar la hidrovía evitando su migración especialmente en los sectores más anchos existentes en la mayor parte del tramo analizado.

##### Análisis de sedimentos

El análisis de sedimentos en el río Magdalena se puede efectuar a través de la información histórica de carga de sedimentos registrada en las diferentes estaciones del IDEAM y por medio de los estudios hidrosedimentologicos realizados por la Universidad Nacional.

La carga de sedimentos también conocida como caudal sólido, hace referencia a la cantidad en peso seco de sedimentos que transporta una corriente durante un determinado periodo de tiempo (Cormagdalena; LEH, Universidad Nacional, 2000). De esta manera, la carga media anual y mensual corresponde a la cantidad en peso seco de sedimentos que transporta una corriente en un año y un mes respectivamente.

En el sector Salgar - Barrancabermeja, el transporte de sedimentos en el río presenta una tendencia bimodal, situación normalmente asociada al régimen de caudales ya que el caudal sólido en parte está relacionado o depende directamente del caudal líquido que transporta la corriente. En la Figura 27 se muestra el comportamiento de los caudales sólidos mensuales multianuales registrados en las principales estaciones localizadas sobre el río Magdalena en el sector de estudio.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.64 Transporte de sedimentos medios mensuales - estación Puerto Berrío

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

Los periodos de máximo transporte en las tres estaciones corresponden a marzo-julio y octubre-diciembre, con valores medios anuales de 97 ktn/día, 188 ktn/día y 112 ktn/día para registros de 42 años en Puerto Salgar, 28 años en Puerto Berrío y 6 años en Peñas Blancas, respectivamente.

Para propósitos comparativos en la Figura 5.65 se muestran los valores medios con el periodo de tiempo correspondiente a la estación de menor rango, es decir para la estación de Peñas Blancas y en la Figura 5.66 se presentan los valores medios para las estaciones Salgar y Berrío.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.65 Transporte de sedimentos medios mensuales para las principales estaciones entre Salgar y Barrancabermeja

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.66 Transporte de sedimentos medios mensuales para las principales estaciones entre Salgar y Berrío

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016)

Para los mismos periodos de tiempo se observa un aumento del caudal sólido hacia aguas abajo, es decir de Puerto Salgar a Puerto Berrío y de éste hacia Barrancabermeja. Este aspecto se explica teniendo en cuenta el aporte de sedimentos de afluentes como los ríos Negro, La Miel, Claro y Nare en el primer tramo y de los ríos Carare y San Bartolomé en el segundo tramo.[[1]](#footnote-1)

De igual manera se observa que las mayores diferencias entre cada estación se presentan en los períodos de máximas crecientes cuando el caudal y la velocidad aumentan, aspectos que contribuyen a mejorar la capacidad de transporte del río.

###### Dinámica del río

El análisis de la dinámica fluvial del río Magdalena se realiza a partir de la interpretación que de este mismo tema se ha presentado en trabajos elaborados por la Universidad Nacional, así como los estudios y diseños de las obras de encauzamiento en los sectores Puerto Salgar - Puerto Berrío y Puerto Berrío - Barrancabermeja. En dichos trabajos se llevó a cabo la interpretación de imágenes satelitales de diferentes épocas desde 1981 hasta 2012, y en el presente estudio se complementó la información con una imagen RapidEye tomada en marzo de 2014. El análisis dinámico se integró con información asociada a estudios geomorfológicos, batimétricos, sedimentológicos y de navegación realizados por Cormagdalena.

En general la dinámica del río entre Puerto Salgar y Barrancabermeja está determinada principalmente por factores geomorfológicos asociados al espacio por donde se desplaza el río; hidrológicos, relativos a la cantidad y distribución espacio-temporal del agua y los sedimentos que conforman el flujo; y antrópicos, referentes a la construcción de obras o intervenciones que puedan alterar la hidráulica del río.

Las características de las unidades geomorfológicas que constituyen el cauce, orillas y valle facilitan o controlan la divagación lateral del río. En el sector de estudio afloran unidades como lomas, colinas y terrazas que por su forma y disposición, así como por su susceptibilidad a la erosión relativamente alta a moderada, constituyen sitios de control natural del río donde el cauce es generalmente recto y ha mantenido en los últimos treinta años su ancho y ubicación.

Los principales sitios donde se presenta control natural del río asociado a dichas unidades en el área de estudio son: Puerto Salgar/La Dorada, La Unión, el Puente de Puerto Triunfo, Puerto Perales/Puerto Boyacá, Palagua, Puerto Inmarco/Puerto Serviez (Angostura del Nare), Puerto Alicia, Puerto Bogotá, Puerto Berrío, Vuelta Acuña, Las Vegas, San Luis y Puente Yondó.

A continuación se presenta una descripción de la dinámica del río en los principales tramos que involucran la zona de estudio y se presenta de forma esquemática en la Figura 5.67 y Figura 5.68.

* Sector Puerto Inmarco - Puerto Berrío

En este tramo existen tres sitios intermedios: desembocadura del río Ermitaño, Puerto Alicia y Puerto Bogotá, donde el río presenta un cauce recto, con un sólo canal de flujo y de reducida divagación lateral. Entre estos sitios (principalmente entre Pto. Alicia y Pto. Bogotá), el río mantiene el patrón trenzado con formaciones de sedimentos posiblemente originadas en parte por el aporte del caudal sólido del río Ermitaño y la ampliación del ancho del cauce después de la angostura del Nare, la cual genera reducciones en la velocidad media del flujo (Figura 5.67).

* Sector Puerto Berrío - Vuelta Acuña

El río en este sector sigue marcando una dinámica de movimiento lateral en un valle aluvial con anchos en promedio de 2,0 km donde forma canales, islas y barras de sedimentos, que se convierten en un estrechamiento en el sitio conocido como Vuelta Acuña donde el río presenta un ancho menor a 300 m con un marcado control litológico y geomorfológico asociado a lomas y lomeríos de la formación Mesa Esta dinámica de trenzamiento está relacionada principalmente con el aporte de sedimentos del río San Bartolomé, con la reducción de la pendiente longitudinal que presenta el río Magdalena a medida que avanza hacia aguas abajo, con los procesos erosivos en ambas márgenes y con la presencia del estrechamiento en Vuelta Acuña que genera reducciones de la velocidad hacia aguas arriba (Figura 5.68)

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.67 Dinámica fluvial sector Puerto Salgar - Puerto Berrío

Fuente: CORMAGDALENA. Caracterización área de influencia para las obras de encauzamiento del río Magdalena entre Puerto Salgar-la Dorada y Barrancabermeja

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.68 Dinámica fluvial sector Puerto Berrío – Barrancabermeja

Fuente: CORMAGDALENA. Caracterización área de influencia para las obras de encauzamiento del río Magdalena entre Puerto Salgar-la Dorada y Barrancabermeja

###### Estudios de socavación

Un estudio de socavación para una estructura de esta envergadura, requiere de la implementación de modelos hidráulicos que deben ser calibrados adecuadamente y en algunos casos se requiere la construcción de un modelo físico para evaluar los diferentes aspectos que influyen en la presencia de fenómenos de socavación general y socavación en pilas complejas como sería este caso.

Para establecer la socavación general del cauce se pueden emplear los criterios de Lischtvan – Levediev, tomando en consideración los siguientes puntos.

En la aplicación del método propuesto es necesaria la siguiente información.

- Granulometría estimada del material del lecho

- Caudal máximo para el cual se desea conocer las condiciones de socavación, en este caso como mínimo debe ser para periodo de retorno de 100 años.

- Geometría del puente y sección transversal bajo el puente

- Cortes y perfil geológico en el eje del sitio de cruce (Figura 5.69).

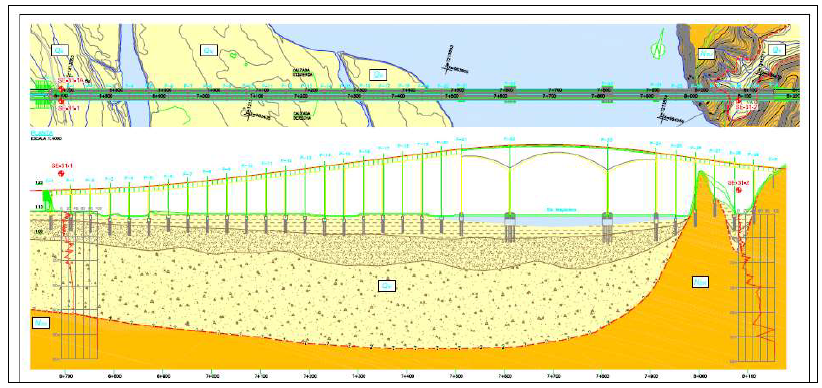


Figura 5.69 Planta perfil del nuevo puente sobre el río Magdalena

Fuente: Volumen VII: Estudio de hidrología, hidráulica y socavación. Autopista al río Magdalena S.A.S.

* Resultados de sondeos en los sitios de cimentación de estructuras de ponteadero

Es necesario establecer la granulometría representativa del material o su peso específico según sea el material granular o cohesivo, para lo cual se deben tomar muestras en el lecho del cauce, las cuales deberán ser enviadas al laboratorio, para determinar los diámetros característicos correspondientes, el peso específico de cada estrato si este es cohesivo, así como las características geomecánicas de los materiales del lecho y hasta donde se pretende llevar la cimentación.

La metodología utilizada para el cálculo de socavación general, corresponde a la propuesta por Maza A.J.A .

En esta metodología el criterio de cálculo fue propuesto por Lischtvan - Lebediev y para su aplicación es necesario hacer distinción en las características de cohesividad y homogeneidad de los suelos presentes en el lecho.

Para el cálculo de la socavación en el sitio del puente, se realiza en primer lugar una estimación de los caudales de diseño, los cuales corresponden a un período de recurrencia de 100 años teniendo en cuenta las exigencias del Manual de Drenaje de INVIAS para un puente de luz mayor a 100 m. Estos caudales se obtienen de la serie histórica de datos de la estación LG – Río Magdalena - Puerto Berrío – Automática – 2309703 que tiene datos desde 1936.

###### Granulometría y análisis de sedimentos

En el estudio de ríos, los sedimentos son aquellas partículas de suelo y roca producto de la erosión de una cuenca y del mismo lecho de los ríos que son continuamente arrastradas, transportas y depositadas por acción del flujo de agua y por la fuerza de la gravedad.

El material proveniente de la cuenca está conformado por partículas muy finas como limos y arcillas que generalmente se conocen como material de lavado o carga de lavado; por su parte el material del lecho o también conocido como material de fondo está constituido además de limos y arcillas, predominantemente por partículas más gruesas como arenas y gravas. El límite entre ambos materiales se establece en el diámetro de 0,062 mm, donde valores menores corresponden a la carga de lavado y mayores hacen parte del material de fondo (Maza Alvarez & García Flores, 1996).

El transporte de los sedimentos se efectúa básicamente por suspensión o arrastre. El material de lavado siempre se transportará en suspensión, mientras que el material de lecho se moverá por el fondo (saltando o arrastrándose) o por suspensión. El modo de transporte del material depende del peso y tamaño de las partículas, y de la intensidad de las fuerzas de sustentación del flujo, las cuales a su vez son dependientes de la turbulencia y velocidad del flujo (Maza Alvarez & García Flores, 1996).

Los sedimentos se mueven en suspensión o arrastre según la fuerza de sustentación del flujo supere amplia y continuamente el peso de los mismos. Las partículas más finas (limos y arcillas) y por tanto las más livianas se mueven predominantemente en suspensión, aunque ocasionalmente pueden depositarse en el fondo del cauce si las condiciones hidráulicas lo permiten; por su parte, los sedimentos más gruesos (arenas, gravas y cantos) se desplazan por arrastre (Cormagdalena; LEH, Universidad Nacional, 2000).

Algunas partículas se pueden transportar por arrastre o suspensión dependiendo de las condiciones locales y temporales del flujo originadas por la turbulencia, situación que genera una condición intermedia entre suspensión y depositación conocida como saltación. Esta condición para efectos prácticos se asocia con la carga de arrastre.

De los sondeos facilitados se ha empleado el SUF-E-20 fue el más apropiado y con el que en la fase de diseño se realizaron los cálculos. Este sondeo se ubica en la zona más baja del lecho y sus granulometrías a diferentes profundidades son muy homogéneas (arenas finas).

Tal y como se puede comprobar, de acuerdo a los resultados obtenidos, el lecho del Río Magdalena en el sector en el que se prevé la construcción del nuevo puente está constituido por arenas limpias con unas características bastante homogéneas en todo el ancho del cauce.

Los perfiles de socavación para la condición Con Puente y Sin Puente son los que se indican en la Figura 5.70 y Figura 5.71.

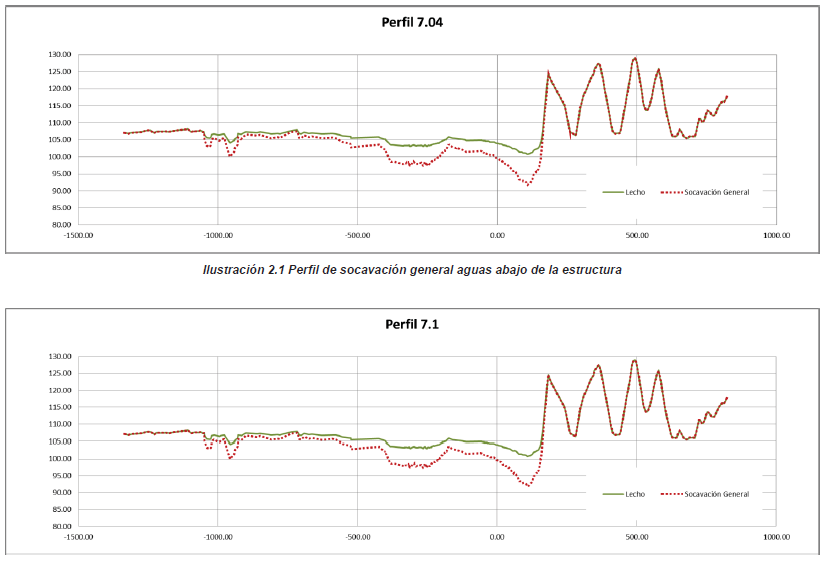


Figura 5.70 Perfil de socavación general aguas abajo de la estructura Escenario Con Puente

Fuente: Volumen VII: Estudio de hidrología, hidráulica y socavación. Autopista al río Magdalena S.A.S.



Figura 5.71 Perfil de socavación general aguas abajo del cruce proyectado, Escenario Sin puente

Fuente: Volumen VII: Estudio de hidrología, hidráulica y socavación. Autopista al río Magdalena S.A.S.

Es evidente que la existencia de un puente hacia el futuro podrá generar un proceso de erosión en el fondo del cauce y especialmente cercano a las pilas que se encuentran en la zona más profunda del cauce actual, comparado con los niveles de erosión general causados en condiciones normales de erosión. Esta diferencia se estima en un valor que alcanza los 6.0 m, pero que sigue siendo localizado hacia el costado derecho del cauce, donde actualmente se localiza el canal navegable.

##### Conclusiones

En el sector estudiado afloran rocas de la Formación Mesa, que constan de conglomerados en matriz arenosa moderadamente consolidada, que originan geoformas sobresalientes dentro del valle aluvial, junto a amplios depósitos del Cuaternario.

Se efectuó una descripción de la morfodinámica del río Magdalena, en un sector de su canal activo comprendido desde aguas abajo del Puente Monumental (de acceso a Puerto Berrío) y hasta el punto de cruce fluvial del tramo vial UF4, del recién iniciado proyecto Autopista al Río Magdalena 2.

El análisis multitemporal, mediante sensores remotos disponibles en Google Earth (entre los años 1969 y 2011), permite inferir que justo antes del puente proyectado hay una marcada inestabilidad hidrogeomorfológica. Ella se manifiesta en la migración del canal hacia la margen derecha y la fuerte acreción sedimentaria sobre la margen izquierda del río Magdalena. La consolidación de la amplia isla lateral existente en el dominio occidental, que en los más de cuarenta años evaluados ha crecido significativamente, ha llevado al abandono de su brazo occidental, a expensas del redireccionamiento de la corriente, aumento del flujo y/o profundización de sus aguas sobre la margen derecha (oriental).

La distribución de profundidades del flujo a lo largo del canal en el tramo d estudio muestran que el canal principal (thalweg) del río se mantiene en las condiciones actuales para los dos escenarios, con y sin proyecto, es decir habrá una tendencia a que este se recargue hacia la margen derecha, con la acreción de la barra central, a pesar de que el canal del costado occidental se mantiene por la influencia del ingreso de la quebrada Malena y otros drenajes menores. Es evidente que hacia aguas abajo, la isla central estará sujeta a procesos de socavación de manera similar a como ocurre en la actualidad, debido a un recostamiento de la zona profunda del cauce hacia esta zona de la isla, pero su proceso de erosión se compensa con la depositación inducida por la quebrada Malena y su canal principal y los posible direccionamientos de material de transporte que se enfila en la parte anterior y posterior de las pilas de la nueva estructura.

Es de esperar que las cimentaciones y pilas del nuevo puente generen interferencia aluvial, que algunos autores denominan *efecto colador*, por lo cual los caudales sólidos acarreados por el río Magdalena tendrán además un comportamiento agradacional retrogresivo, hacia aguas arriba, y que posiblemente llevarán al fortalecimiento de su brazo oriental, generando susceptibilidad alta a la socavación, desborde o inundación en la margen derecha.

Estos procesos deben considerarse para la estimación de las cotas de socavación y el implante de cimentaciones profundas.

##### Recomendaciones

Para evitar el proceso acelerado de la formación de áreas de acreción de sedimentos enfiladas aguas arriba y aguas debajo de las pilas, como producto de su proceso constructivo (penínsulas), se recomienda que estas se eliminen una vez se culmine el proceso de implementación de la infraestructura del puente, incluso durante la misma etapa de construcción de la superestructura. Esta acción debe garantizar el flujo principal del río por el canal de la margen derecha, donde se localiza actualmente el thalweg del río.

Las obras de adecuación del canal navegable del río Magdalena en este sector propuestas por Cormagdalena y el consorcio Navelena, prevén la implementación de una serie de espolones o diques direccionales del río (Enrocados de alineamiento) de tipo sumergidos construidos en material grueso, como se indica en la Figura XX. Estas estructuras se construyen en el fondo del río para rectificar alineamientos, o para dirigir el flujo en cruces y áreas donde la orilla es demasiado baja para permitir la construcción de un revestimiento en trinchera.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.72 Perfil de socavación general aguas abajo de la estructura Escenario Con Puente

Fuente: Cormagdalena, 2012

Estos elementos como están previstos garantizan la formación de un canal navegable que conserva el que se evidencia en la actualidad, pero podría existir interferencias de estas obras una vez se tengan los diseños definitivos de la adecuación del río en la zona. A pesar de esto es evidente que las luces centrales del puente prevén la existencia de un canal navegable recargado hacia la margen derecha del río. Por lo tanto debe promoverse durante la fase de construcción del puente, la debida interacción con el concesionario de la navegación y constructor de las obras de adecuación del río, con el fin de que llevar a cabo las dos infraestructuras sin que se generen interferencias a la navegabilidad, el adecuado apoyo del puente y la estabilidad del río en el sector intervenido.

### **Calidad del Agua**

la caracterización y análisis de calidad de agua se realizó en dos momentos, el primero donde se caracteriza el Río Magdalena y el segundo donde se caracteriza los cuerpos de agua susceptibles de captación y jagüeyes que se puedan ver afectados por el trazado.

A continuación, se describen las caracterizaciones realizadas en los dos momentos anteriormente descritos.

#### 5.1.6.1 Caracterización de la calidad del Río Magdalena en la zona de intervención.

La metodología de recolección y toma de las muestras, registros de campo, cadenas de custodia, análisis *in situ*, preservación, almacenamiento, envío de muestras y demás procedimientos de garantía y control de calidad en el trabajo de campo y análisis de laboratorio, se realizaron de acuerdo con los lineamientos establecidos por la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 y técnicas del *«Standard Methods for examination of water and waste water»*.

##### Fase de campo

###### Monitoreos fisicoquímicos

El monitoreo fisicoquímico se realizó conforme lo estipulado en el procedimiento interno P-05 Procedimiento muestreo de aguas e hidrobiología, estructurado bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 y técnicas del *«Standard Methods for examination of water and waste water»*:

* Mediciones in situ

Los parámetros medidos *in situ* corresponden a pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura, sólidos sedimentables y caudales, las técnicas empleadas así como la descripción de los equipos, y la referencia de los métodos se representan en la Tabla 5‑27.

Tabla 5‑27 Técnicas empleadas en el análisis *in situ*

| PARÁMETRO | TÉCNICA | EQUIPO | MÉTODO |
| --- | --- | --- | --- |
| pH | Potenciométrico | Medidor oakton 11 series | SM 4500B |
| Conductividad | Electrométrica | Conductímetro oakton con 400 | SM 2510D |
| Oxígeno disuelto | Electrodo de membrana | Oxímetro HANNA | SM 4500 0-G |
| Temperatura | Termométrica | Medidor oakton 11 series | SM 2550-B |
| Sólidos sedimentables | Volumétrica | Cono Imhoff | SM 2540 F |
| Caudal | Área Velocidad | Molinete | ----- |

SM: Standard Methods for examination of water and wastewater ED. 22

Fuente (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

* Análisis de laboratorio

A continuación, se relacionan los procedimientos, métodos y referencias para el desarrollo de los análisis en laboratorio, en la determinación de parámetros fisicoquímicos y determinación de comunidades hidrobiológicas.

* Monitoreos fisicoquímicos

Los análisis de laboratorio para la determinación de los parámetros fisicoquímicos fueron desarrollado de acuerdo con lo establecido en la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 y las técnicas definidas en el *«Standard Methods for examination of water and waste water»*, a continuación en la Tabla 5‑28 se especifican los métodos y referencia de cada uno de los parámetros analizados.

Tabla 5‑28 Tipo de recipiente y preservarte utilizado para análisis por parámetro

| ANÁLISIS | MÉTODO | REFERENCIA |
| --- | --- | --- |
| pH | Electrométrico | SM 4500 H+ |
| Conductividad | Conductimétrico | SM 2510 B |
| Oxígeno disuelto | Electrodo de membrana | SM 4500-O G |
| Temperatura muestra | Termométrico | SM 2550 B |
| Temperatura ambiente | Termométrico | ----- |
| Sólidos sedimentables | Volumétrico | SM 2540 F |
| Acidez | Volumétrico | SM 2310 B |
| Alcalinidad total | Volumétrico | SM 2320 B |
| Arsénico | Absorción Atómica | SM 3114 B |
| Bario total | Absorción atómica | SM 3111 D, 3030 E |
| Cadmio total | Absorción Atómica | SM 3030 E, 3111 B |
| Cobre total | Absorción Atómica | SM 3030 E, 3111 B |
| Color | Espectrofotométrico | S.M 2120 C |
| Cromo total | Absorción Atómica | SM 3030 E, 3111 B |
| DBO5 | Incubación 5 días | SM 5210 B; 4500- O G |
| DQO | Reflujo cerrado, titulométrico | SM 5220 C |
| Dureza cálcica | Volumétrico | SM 3500-Ca B |
| Dureza total | volumétrico | S.M 2340 C |
| Fenoles totales | Destilación | SM 5530 B, D |
| Fosforo total | Ácido ascórbico | SM 4500-P B |
| Grasas y aceites | Gravimétrico, partición liquido | SM 5520 B |
| Mercurio | Absorción Atómica | SM 3112 B |
| Plata total | Absorción Atómica | SM 3030E, 3111 B |
| Plomo total | Absorción Atómica | SM 3030E, 3111 B |
| Sólidos disueltos totales | Gravimétrico | SM 2540 C |
| Sólidos suspendidos totales | Gravimétrico | SM 2540 D |
| Turbiedad | Nefelométrico | SM 2130 B |
| Zinc total | Absorción Atómica | SM 3030 E, 3111 B |
| Capacidad buffer (Tampón) | Volumétrico | ----- |
| Índice de langelier | Cálculo | ----- |
| Nitrógeno total | Kjeldahl - Titrimétrico | SM 4500-N C |
| Níquel | Absorción Atómica | SM 3030E, 3111 B |
| Selenio | Absorción Atómica | SM 3114 C |
| Coliformes fecales | Fermentación en tubos múltiples | SM 9221 B,C,E,F |
| Coliformes totales | Fermentación en tubos múltiples | SM 9221 B,C,E,F |

SM: Standard Methods for examination of water and wastewater ED. 22

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

##### Descripción del monitoreo

El análisis de aguas superficiales se llevó a cabo en un total de 3 puntos de monitoreo, donde se realizó la respectiva identificación, georreferenciación y toma de registros fotográficos. Para estas estaciones se llevó a cabo el registro de parámetros *in situ* y toma de muestras fisicoquímicas e hidrobiológicas bajo los lineamientos y metodologías respectivas descritas previamente, para su posterior análisis en laboratorio.

El inventario de los puntos de monitoreo fisicoquímico e hidrobiológico se presenta en la Tabla 5‑29, se especifica el nombre con el cual se identifica cada estación, el municipio donde se encuentran localizados los puntos y sus coordenadas de ubicación.

****Tabla 5‑29. Inventario de puntos de monitoreo****

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| PUNTO | NOMBRE | ANÁLISIS | LOCALIZACIÓN | COORDENADAS | |
| **Este** | **Norte** |
| P\_01 | Río Magdalena aguas arriba | FQ – HB | Puerto Berrio | 964.472 | 1.213.477 |
| P\_02 | Río Magdalena puente | FQ – HB | Puerto Berrio | 964.284 | 1.213.634 |
| P\_03 | Río Magdalena aguas abajo | FQ – HB | Puerto Berrio | 964.073 | 1.213.827 |

FQ : Fisicoquímico HB : Hidrobiológico CA : Aforo de caudal

Fuente: (Eco-gerencia LTDA, 2015 - 2016) (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

La toma de muestras para el análisis fisicoquímico sobre el Río Magdalena se realizó entre los días 12 y 13 de febrero de 2016, a cargo de los profesionales de campo del laboratorio ECOSAM S.A.S., mientras que el muestreo para el análisis de comunidades hidrobiológicas en el Río Magdalena fue desarrollado por los profesionales de campo del laboratorio eQual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S., el día 8 de marzo de 2016.

Finalmente, la localización espacial de las estaciones de monitoreo fisicoquímico e hidrobiológico, y aforos de caudal se puede observar en la **Figura 5.73**, luego se presenta una breve descripción de cada una de estas.

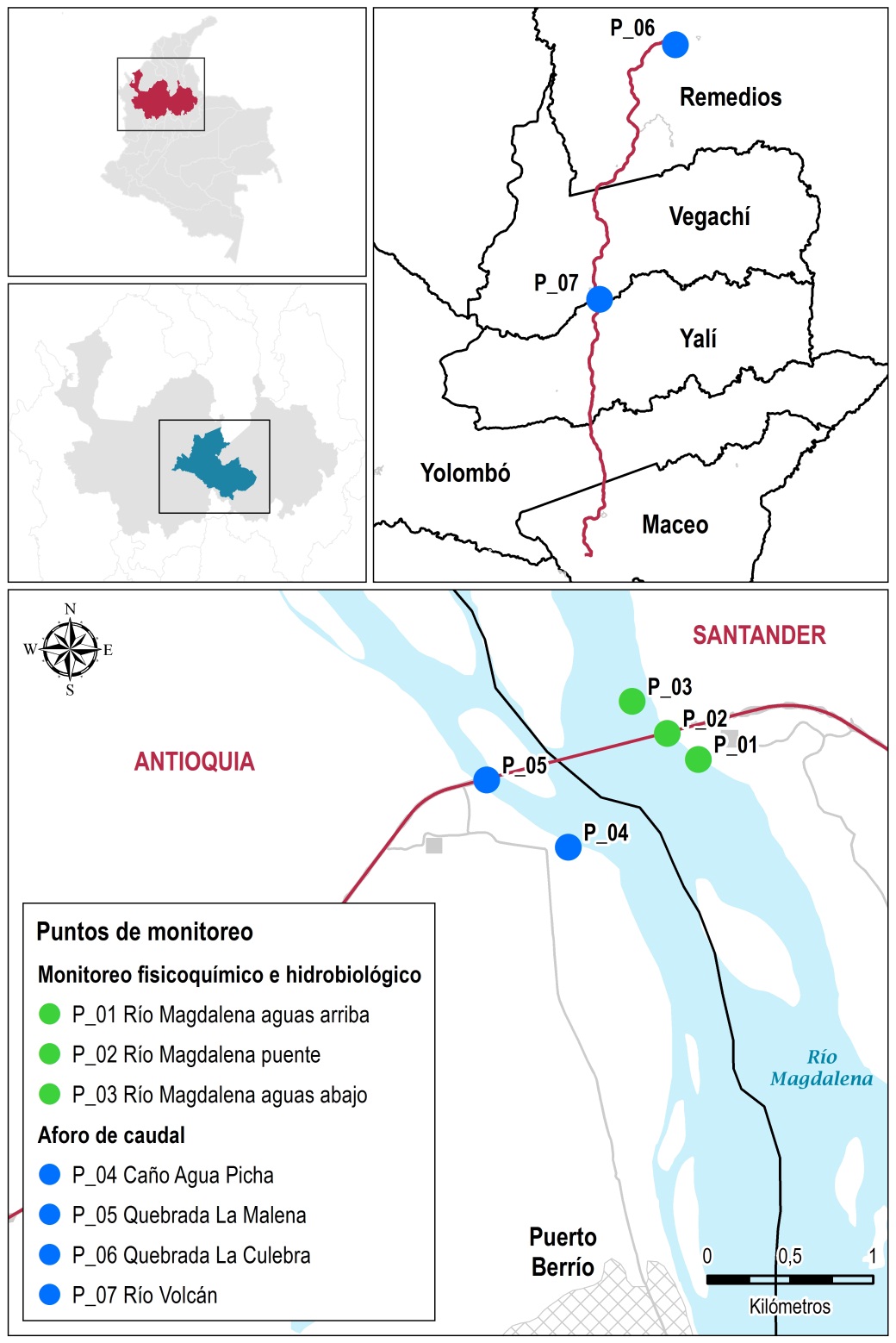


Figura 5.73. Localización de puntos de monitoreo

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

A continuación se presenta una descripción de los puntos monitoreados sobre el Río Magdalena.

Tabla 5‑30 Descripción de los puntos de monitoreo sobre el Río Magdalena

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| P\_01 RÍO MAGDALENA AGUAS ARRIBA | | | | COORDENADAS | | 964472 E | | 1213477 N | |
| Z:\Clientes (Def)\ECOGERENCIA\PEQ 93 - Carretera Magdalena\Salida de campo\Fotografías\PEQ 93 Puerto Berrío\Punto 03 Aguas arriba\DSC01658.JPG | | | | | | | | | |
| **MONITOREO FISICOQUÍMICO** | | | | **MONITOREO HIDROBIOLÓGICO** | | | | | |
|  | | | | Z:\Clientes (Def)\ECOGERENCIA\PEQ 93 - Carretera Magdalena\Salida de campo\Fotografías\PEQ 93 Puerto Berrío\Punto 03 Aguas arriba\DSC01646.JPG | | | | | |
| **FECHA** | 12/02/2016 | **COD\_LAB** | 08–16–01 | **FECHA** | 08/03/2016 | | **COD\_LAB** | | EQ–1683 |
| **OBSERVACIONES** | | | | | | | | | |
| Este punto se localiza sobre la margen derecha del río, se encuentra una amplia zona de playa de aproximadamente 80 m de largo conformada por elementos del sustrato como arcilla, arena, grava y cantos. Sobre la playa se observa material vegetal muerto como hojarasca, palos y troncos, así como residuos sólidos domésticos. Se registra la presencia de macrófitas distribuidas a lo largo de la playa, formando parches y también ejemplares aislados de diferentes morfoespecies.  La vegetación riparia está constituida por gramíneas (pastos) y herbáceas hacia la orilla, además arbustos y árboles de altura mayor de 10 m hacia el interior de la orilla. El agua es de color parduzco, la corriente es moderadamente rápida. Se evidencia el paso de ganado. | | | | | | | | | |
| **P\_02 RÍO MAGDALENA PUENTE** | | | | **COORDENADAS** | | 964284 E | | 1213634 N | |
| Z:\Clientes (Def)\ECOGERENCIA\PEQ 93 - Carretera Magdalena\Salida de campo\Fotografías\PEQ 93 Puerto Berrío\Punto 02 Punto medio\DSC01681.JPG | | | | | | | | | |
| **MONITOREO FISICOQUÍMICO** | | | | **MONITOREO HIDROBIOLÓGICO** | | | | | |
|  | | | | Z:\Clientes (Def)\ECOGERENCIA\PEQ 93 - Carretera Magdalena\Salida de campo\Fotografías\PEQ 93 Puerto Berrío\Punto 02 Punto medio\DSC01705.JPG | | | | | |
| **FECHA** | 12/02/2016 | **COD\_LAB** | 08–16–02 | **FECHA** | 08/03/2016 | | **COD\_LAB** | | EQ–1684 |
| **OBSERVACIONES** | | | | | | | | | |
| Este punto se ubica sobre la margen izquierda del río en la cual se observa que la vegetación de ribera está compuesta por gramíneas, herbáceas, arbustos y árboles como yarumo, pepo, mimbre, gallinero, y guácimo, entre otros. En este punto se evidencia el paso de ganado, también se observan residuos sólidos domésticos a lo largo de la ribera.  El sustrato está conformado principalmente por arcilla y arena. Se observa material vegetal muerto como hojarasca, ramas y troncos sobre la ribera. El agua es de color parduzco, la corriente es moderadamente rápida. A lo largo del tramo de estudio se observa la presencia de diferentes morfoespecies de macrófitas. | | | | | | | | | |
| **P\_03 RÍO MAGDALENA AGUAS ABAJO** | | | | **COORDENADAS** | | 964073 E | | 1213827 N | |
| Z:\Clientes (Def)\ECOGERENCIA\PEQ 93 - Carretera Magdalena\Salida de campo\Fotografías\PEQ 93 Puerto Berrío\Punto 01 Aguas abajo\DSC01776.JPG | | | | | | | | | |
| **MONITOREO FISICOQUÍMICO** | | | | **MONITOREO HIDROBIOLÓGICO** | | | | | |
|  | | | | Z:\Clientes (Def)\ECOGERENCIA\PEQ 93 - Carretera Magdalena\Salida de campo\Fotografías\PEQ 93 Puerto Berrío\Punto 01 Aguas abajo\DSC01760.JPG | | | | | |
| **FECHA** | 12/02/2016 | **COD\_LAB** | 08–16–03 | **FECHA** | 08/03/2016 | | **COD\_LAB** | | EQ–1685 |
| **OBSERVACIONES** | | | | | | | | | |
| Este punto está ubicado sobre la margen derecha del río, el sustrato está compuesto por elementos como arcilla, arena, grava y cantos. También se observa un barranco, desprovisto de vegetación en algunas áreas. No se observan macrófitas, sin embargo, en la superficie del agua se observan algunos ejemplares de buchón flotando aguas abajo.  La vegetación de ribera está constituida por gramíneas, herbáceas, arbustos y árboles de altura mayor a 10 m, sobre la playa se observan ejemplares aislados de gramíneas (pastos). La corriente es moderadamente rápida. El agua presenta un color parduzco, por lo cual no se observa el fondo del cauce. En el sitio de muestreo se registra la presencia de residuos sólidos domésticos. | | | | | | | | | |

###### Resultados

A continuación, se presenta el reporte y análisis de los resultados *in situ* y de laboratorio para los parámetros fisicoquímicos y de comunidades hidrobiológicas en los 3 puntos de monitoreo sobre el Río Magdalena, en el Municipio de Puerto Berrío.

* Monitoreo fisicoquímico

El análisis de calidad fisicoquímica del agua, se realiza con base en lo establecido en el decreto 1594 de 1984, capítulo IV, normatividad ambiental vigente que define los criterios de calidad para la destinación del recurso a los diferentes usos; con el fin de evaluar el nivel de contaminación del agua y así tener una base que permita establecer una posible afectacióntras el desarrollo del proyecto, y definir las medidas de control y seguimiento sobre los cuerpos de agua en las etapas de construcción y operación del proyecto.

Los resultados obtenidos en campo, para los 3 puntos de monitoreo ubicados sobre el Río Magdalena se presentan en la **Tabla 5‑31**.

****Tabla 5‑31 Resultados in situ monitoreo fisicoquímico****

| ANÁLISIS | UNIDAD | P\_01 | P\_02 | P\_03 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| pH | Unidades | 7,73 | 7,77 | 7,7 |
| Conductividad | µs/cm | 489 | 424 | 496 |
| Oxígeno disuelto | mg O2/L | 7 | 6,6 | 6,4 |
| Temperatura muestra | ºC | 29 | 29,1 | 29,5 |
| Temperatura ambiente | ºC | 35,2 | 35,4 | 36,2 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 0,6 | 0,6 | 0,7 |

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

De acuerdo con Roldán Pérez (1992), el potencial de hidrógeno – pH, es una medida de la concentración de hidrogeniones [H+] presentes en los cuerpos de agua que sirve para determinar la acidez o basicidad en los mismos; a menor pH las aguas son más ácidas mientras que a mayor pH las aguas son más básicas.

El pH en aguas naturales varía por aporte de CO2 que forma ácido carbónico, el cual acidifica el agua, por el grado de eutrofización o enriquecimiento masivo de nutrientes inorgánicos en el agua, propiedades del suelo, descomposición de especies vegetales que dan lugar a la formación de ácidos húmicos y otros compuestos, entre otras.

El pH en los 3 puntos de monitoreo se reportó dentro de los rangos definidos por la normatividad para destinar el agua a cualquier uso (4,5 a 9,0 unidades), los valores se registraron muy similares en las 3 estaciones: 7,7 unidades de pH, como se muestra en la Figura 5.74.

Los valores registrados corresponden a un pH neutro, sin embargo, al estar por encima de 7 unidades, se podría inferir una tendencia a la basicidad en este cuerpo de agua, sin mayores preocupaciones dado que esto podría estar asociado al tipo de suelo en la zona que estaría aportando en las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos, lo cual resulta en un incremento en la cantidad de iones hidroxilo en el agua.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.74. Unidades de Ph

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

Los registros de temperatura en los 3 puntos de monitoreo se presentan en la Figura 5.75, para este parámetro se mantuvo un rango entre 25 y 30 °C, estos valores son totalmente consistentes con las condiciones climáticas y la ubicación geográfica de los sitios de monitoreo; los registros de temperatura del agua en todos los casos se encuentran por debajo de la temperatura ambiente.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.75 Temperatura

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

De acuerdo con Roldán Pérez (1992), la conductividad eléctrica presenta una relación directamente proporcional con la temperatura, ya que el flujo de iones en una solución se incrementa con la temperatura; también es afectada por valores bajos de pH, en los cuales el ion hidrógeno H+, es responsable de la conductividad, al igual que a valores altos de pH, el responsable de la conductividad son los iones hidróxido OH- y estos iones pueden restarle importancia a la presencia de otros iones en el agua.

En la Figura 5.76 se presentan los resultados *in situ* de conductividad, para este parámetro se reportaron valores relativamente bajos, entre 400 y 500 µS/cm; el menor registro se presentó en el punto de monitoreo 2, punto medio; con 424 µS/cm; en los puntos 1 y 3 las concentraciones de sales disueltas fueron mayores.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.76 Conductividad

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

La conductividad es un indicador de la cantidad total de iones y se basa en la capacidad que tiene una solución de conducir una corriente eléctrica en función de la concentración de los mismos (UNAL, 2007); el decreto 1594 de 1994, no define valores máximos para este parámetro, sin embargo, a partir de la salinidad asociada con la conductividad es posible clasificar el agua y definir algunas limitantes de uso.

De acuerdo con lo anterior, en los 3 puntos de monitoreo se presentan contenidos medios de sales disueltas en el agua, al estar en un rango entre 250 y 750 µS/cm, en este sentido, estas aguas serían aptas para el riego de cultivos, preferiblemente en épocas de lluvia para evitar un exceso de sales en los suelos; en ningún caso se presentaron concentraciones altas o extremas de sales disueltas, considerando que se trata del Río Magdalena, fácilmente se da una dilución de los contaminantes.

El oxígeno es un gas que se encuentra disuelto en el agua debido a procesos como la difusión con la atmósfera o por fotosíntesis dentro de los cuerpos de agua. La concentración de oxígeno en un cuerpo de agua depende fundamentalmente de los siguientes factores: la presión parcial del gas atmosférico en contacto con el agua, la temperatura y la salinidad (Roldán Pérez, 1992).

Los resultados *in situ* para concentraciones de oxígeno disuelto en el agua se presentan en la Figura 5.77; los registros son relativamente bajos y varían entre 6 y 7 mg/L; lo cual se asocia principalmente a las altas temperaturas propias de la zona, dado que la cantidad de oxígeno en el agua disminuye con el aumento de la temperatura.

Adicionalmente, las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida, mientras que los niveles bajos de oxígeno disuelto podrían estar asociados a contaminación por materia orgánica, ya que los microorganismos requieren de este para degradarla, en este sentido, podría esperarse contaminación por materia orgánica, dada la baja presencia de oxígeno disuelto y considerando todas las descargas que puede recibir el Río Magdalena en su recorrido.

Sin embargo, los resultados de oxígeno disuelto, para ser comparables entre sí, deben ser evaluados como porcentaje de saturación de oxígeno en el agua, ya que valores similares de oxígeno disuelto podrían tener significados distintos respecto a las diferentes temperaturas del agua y a las alturas sobre el nivel del mar a las que se realice la evaluación.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.77 Saturación de oxígeno

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

De acuerdo con Fuentes et al (2002), el valor ideal de saturación de oxígeno en un cuerpo de agua es 100%, y las variaciones en este porcentaje son un indicador de los niveles de contaminación de los cuerpos de agua, a partir de este porcentaje es posible clasificar la calidad de las aguas.

Con base en lo anterior, en ningún caso la clasificación del agua estaría relacionada con altos niveles de contaminación, dado que los porcentajes se encuentran por encima del 75% de saturación de oxígeno, indicador de la buena calidad de las aguas; en lo que respecta a la presencia de oxígeno en las mismas.

Los resultados obtenidos en la fase de laboratorio para los 3 puntos de monitoreo sobre el Río Magdalena se muestran en la **Tabla 5‑32**.

****Tabla 5‑32 Resultados de laboratorio monitoreo fisicoquímico****

| ANÁLISIS | UNIDAD | P\_01 | P\_02 | P\_03 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Acidez | mg CaCO3/L | ˂10 | ˂10 | ˂10 |
| Alcalinidad total | mg CaCO3/L | 43 | 44 | 44,2 |
| Arsénico | µg As/L | ˂5,0 | ˂5,0 | ˂5,0 |
| Bario total | mg Ba/L | ˂0,5 | ˂0,5 | ˂0,5 |
| Cadmio total | mg Cd/L | ˂0,05 | ˂0,05 | ˂0,05 |
| Cobre total | mg Cu/L | ˂0,05 | ˂0,05 | ˂0,05 |
| Color | m-1 | ˂3 | ˂3 | ˂3 |
| Cromo total | mg Cr/L | ˂0,1 | ˂0,1 | ˂0,1 |
| DBO5 | mg O2/L | 10,5 | 6,4 | 6,7 |
| DQO | mg O2/L | ˂25 | ˂25 | ˂25 |
| Dureza cálcica | mg CaCO3/L | 41 | 41 | 42 |
| Dureza total | mg CaCO3/L | 56,1 | 59,1 | 64,1 |
| Fenoles totales | mg/L | ˂0,2 | ˂0,2 | ˂0,2 |
| Fosforo total | mg P/L | 0,196 | 0,188 | 0,22 |
| Grasas y aceites | mg/L | ˂12 | ˂12 | ˂12 |
| Mercurio | µg Hg/L | ˂0,5 | ˂0,5 | ˂0,5 |
| Plata total | mg Ag/L | ˂0,1 | ˂0,1 | ˂0,1 |
| Plomo total | mg Pb/L | ˂0,1 | ˂0,1 | ˂0,1 |
| Sólidos disueltos totales | mg/L | 80 | 82 | 83 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 172 | 191 | 226 |
| Turbiedad | NTU | ˂2 | ˂2 | ˂2 |
| Zinc total | mg Zn/L | 0,061 | 0,088 | 0,065 |
| Capacidad buffer (Tampón) | mg CaCO3/L | 44,3\* | 44,0\* | 44,2\* |
| Índice de langelier | ---- | - 0,86\*\* | - 0,81\*\* | - 0,81\*\* |
| Nitrógeno total | mg N/L | 0,99 | 1,28 | 1,63 |
| Níquel | mg Ni/L | ˂0,3 | ˂0,3 | ˂0,3 |
| Selenio | µg Se/L | ˂0,9 | ˂0,9 | ˂0,9 |
| Coliformes fecales | NMP/100ml | 2200 | 1100 | 1700 |
| Coliformes totales | NMP/100ml | 2700 | 4900 | 7000 |

*\* moderadamente amortiguadora. \*\* corrosivo.*

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

De acuerdo con Roldán Pérez (1992), la turbiedad define el grado de opacidad producido en el agua por la materia orgánica suspendida; los materiales que contribuyen a la turbiedad en el agua son los mismos responsables del color y a la vez, limitan el paso de luz al agua. La turbidez aumenta por la erosión en las orillas, crecimiento excesivo de algas y la actividad de algunos organismos. En cuerpos de agua loticos, la turbiedad aumenta a medida que avanza su curso, debido a las contribuciones de la agricultura y otras operaciones ejecutadas sobre la tierra, gran parte de este material es inorgánico como la arcilla y también contienen una buena cantidad de material orgánico que sirve de alimento para los microorganismos y su crecimiento produce una turbidez adicional.

La turbiedad es un parámetro significativo en la determinación de calidad del agua puesto que la presencia de turbiedad implica que pueden existir materiales contaminantes por lo que se limita su uso; de acuerdo con la Organización Mundial para la Salud – OMS, los resultados del monitoreo son relativamente bajos, en los 3 casos este parámetro se registró por debajo de 2 NTU, de forma generar respecto a la turbiedad del agua no se limitan las diferentes actividades.

En la Figura 5.78 se presentan las concentraciones reportadas para acidez y alcalinidad en los 3 puntos de monitoreo; la acidez está asociada principalmente al contenido de dióxido de carbono – CO2, disociado como ácido carbónico y bicarbonatos en equilibrio; mientras que, de acuerdo con Roldán (1992), la alcalinidad es una medida de la capacidad de reaccionar y neutralizar ácidos y depende de la naturaleza del terreno y de las rocas con las que está en contacto el cuerpo de agua.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.78 Acidez y alcalinidad total

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

Las concentraciones de acidez se reportaron por debajo del límite de detección del laboratorio en los 3 puntos de monitoreo, el cual corresponde a 10 mg/L, la normatividad no define límites máximos para este parámetro, aunque la acidez del agua se relaciona con el pH, generalmente pH por debajo de 6,5 unidades podrían asociarse con contaminación por metales pesados; sin embargo, en todos los casos este se mantuvo sobre 7.

Así mismo, para la alcalinidad, se reportaron valores constantes, entre los 40 y 45 mg/L, el decreto 1594 no define un límite; sin embargo, el valor máximo permisibles para la destinación del agua a consumo humano es de 200 mg/L, de acuerdo con lo establecido en la resolución 2115 de 2007; en tal caso no se presentan limitaciones para la destinación del recurso a las diferentes actividades.

Kevern (1989) define 3 rangos para la clasificación de los niveles de alcalinidad; registros por debajo de 75 mg/L indican niveles de alcalinidad baja, en este rango se ubican los 3 puntos de monitoreo. El mayor registro se presentó en el punto de monitoreo 3, con una concentración de 44,2 mg/L, mismo punto para el cual se registraron los mayores contenidos de sales disueltas en el agua, asociado a las concentraciones de conductividad y posiblemente de sodio; sin embargo, las diferencias con los demás puntos son mínimas.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO5 está definida como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para descomponer la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas. La prueba de DBO, es el mayor criterio usado para el control de la contaminación en el agua por causa de la presencia de materia orgánica; también es usada para determinar la capacidad de purificación de las corrientes y sirve como parámetro de calidad con el fin de proteger los cuerpos de agua naturales que son receptores (Sawyer et al).

De otro lado, la Demanda Química de Oxígeno – DQO, define la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico, en este sentido, la DBO5 mide la descomposición de la materia orgánica por vías biológicas y la DQO la oxidación por medios químicos; ambas variables se utilizan como indicadores importantes al momento de definir la calidad de las aguas.

Los resultados de DBO5 y DQO en los 3 puntos de monitoreo se presentan en la Figura 5.79

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.79 DBO5 y DQO

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

En cuanto a la DBO5, se presentaron valores entre 6 y 11 mg/L de O2, el registro más alto se reportó en el punto de monitoreo 1, aguas arriba, con una concentración de 10,5 mg/L de O2, en el punto 2 y 3 los registros fueron muy similares, 6,4 y 6,7 mg/L de O2 respectivamente.

El decreto 1594 de 1984 no define valores máximos para este parámetro, sin embargo la Comisión Nacional del Agua de México – CONAGUA, cuenta con unos rangos que permiten estimar el nivel de contaminación del agua; con base en lo anterior; en todos los puntos de monitoreo el Río Magdalena podrían clasificarse como un cuerpo de agua de buena calidad, con bajo contenido de materia orgánica biodegradable; nuevamente se aclara que por su caudal y cantidad de afluentes el Río Magdalena cuenta con una capacidad de dilución muy alta, lo cual es favorable al momento de evaluar las concentraciones de diversos contaminantes, sin embargo, se conoce que este cuerpo de agua recibe en su recorrido un gran aporte de contaminación proveniente principalmente de descargas domésticas, lo cual afecta significativamente su calidad.

Respecto a la DQO, el decreto 1594 de 1984 no define valores máximos permisibles para la destinación del recurso a los diferentes usos, por lo que con el objetivo de estimar el nivel de contaminación del agua, se toma como referencia los criterios definidos por el Instituto Catalán de Tecnología; en los 3 puntos de monitoreo este parámetro se reporta por debajo de 25 mg/L de O2; con base en esto, el Río Magdalena, en las estaciones monitoreadas se encuentra en el rango de clasificación aceptable, indicando que estas aguas podrían ser usadas para fines de piscicultura y actividades que requieran contacto primario.

Los sólidos se definen como el material residual luego de la evaporación y secado a 105 °C. A esta temperatura, todos los compuestos que tengan una alta presión de vapor se volatilizan y se pierden, mientras que los sólidos tienen una presión de vapor nula a esa temperatura. Los sólidos son materiales que se encuentran entre compuestos orgánicos e inorgánicos y de esta forma sus características también son variadas. Los sólidos se pueden clasificar como sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y sólidos totales, que es la suma de todos los sólidos (Sawyer *et al*).

De acuerdo con Roldán Pérez (1992), los sólidos que pasan a través de una membrana con poros de 2 micras de diámetro, tales como las sales y los residuos orgánicos, se denominan *sólidos totales disueltos*; mientras que los sólidos retenidos por el filtro se denominan *sólidos suspendidos totales*.

* Los *sólidos sedimentables* están formados por partículas más densas que el agua, pero que se mantienen en suspensión debido a la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de una corriente.
* La presencia de *sólidos disueltos* en aguas naturales se relaciona con el aporte de aguas subterráneas y la productividad del cuerpo de agua. Los sólidos disueltos en el agua se deben a la presencia de sales orgánicas, pequeñas cantidades de materia orgánica, iones hidratados y por lo tanto llevados a moléculas más sencillas, y gases disueltos.

En la Figura 5.80 se presenta el comportamiento y registro de los sólidos suspendidos totales – SST, sólidos sedimentables – SSED y sólidos disueltos totales – SDT, para los 3 puntos de monitoreo; los sólidos sedimentables se reportaron muy bajos; registros de 0,6 y 0,7 mL/L.

En relación con los sólidos suspendidos totales (SST), el valor más bajo se reportó en el punto de monitoreo 1, sobre el Río Magdalena, aguas arriba; mientras que en el punto de monitoreo 3, aguas abajo, se reportó el valor más alto de SST, con un registro de 226 mg/L; el Río Magdalena al ser un cuerpo de agua lotico, la presencia de solidos suspendidos se relaciona con el arrastre de material en el recorrido de las corrientes de agua por lo cual es totalmente normal un incremento en las concentraciones aguas abajo.

Los sólidos disueltos (SDT) son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua y se relacionan directamente con la conductividad, como capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica en función de la concentración de iones presentes; para este parámetro, los valores se reportaron muy similares, 80, 82 y 83 mg/L; como se mencionó anteriormente, los SDT se relacionan con la cantidad de sales disueltas en el agua, asociadas a la conductividad; al igual que para los sólidos disueltos, la conductividad también reportó valores casi constantes en los 3 puntos de monitoreo, en general concentraciones medias de sales disueltas.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.80. Sólidos

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

Para la dureza total, se reportaron valores entre 55 y 65 mg/L, por debajo del máximo exigido por la normatividad para la destinación del recurso a consumo humano, el valor más alto estuvo en el punto de monitoreo 3, aguas abajo, con un registro de 64,4 mg/L. La dureza igualmente se relaciona con el contenido de sales disueltas en el agua, lo cual es consistente con los resultados de conductividad, dado que para este parámetro el punto 3 se registró el valor más alto, aunque la variación con los demás puntos es mínima.

Las grasas y aceites en el agua, tienen dos orígenes, el primero puede ser natural que incluye los lípidos de tejidos vegetales y animales usados para preparar alimentos, generalmente, son residuos producidos por industrias de carnes, especialmente mataderos; el otro origen son los hidrocarburos usados para fines industriales. Las grasas son sólidas, mientras que los aceites son líquidos conformados por triglicéridos (Universidad Don Bosco). En la determinación de la concentración de grasas y aceites en el agua; se encontraron valores por debajo de 12 mg/L, a pesar de la existencia de cargas contaminantes, estos datos tan bajos se relacionan con las capacidades de dilución del Río Magdalena.

De acuerdo con Romero (2000), el fósforo no es un elemento tóxico y es además un nutriente requerido, sin embargo, ciertas concentraciones de este elemento inducen proliferación de algas y otras especies que reducen el oxígeno del agua produciendo eutrofización. El fósforo se encuentra en las rocas principalmente como ortofosfato, la acción de la lluvia disuelve las rocas con ayuda del ácido carbónico y lo transporta a las corrientes de agua; para este parámetro, en los 3 puntos de monitoreo se registraron valores por debajo del máximo aceptable por la resolución 2115 de 2007 para la destinación del recurso a consumo humano, que corresponde a 0,5 mg/L.

Los fenoles, son de naturaleza es ácida, puesto que al hidrolizarse producen una limitada cantidad de iones de hidrógeno y en soluciones concentradas son moderadamente tóxicos para las bacterias (Sawyer *et al*, *op cit.*), en los 3 puntos de monitoreo este parámetro se registró por debajo de 0,2 mg/L, consistente con la tendencia básica reportada con el pH así como los bajos registros de acidez presentados.

De acuerdo con Roldán (1992), Los compuestos nitrogenados son de gran importancia en las fuentes de agua, el nitrógeno se encuentra en moléculas orgánicas que desempeñan funciones vitales para toda célula; este elemento es un constituyente básico de aminoácidos, ácidos nucleicos, azúcares aminadas y los polímeros que estas moléculas forman. La presencia de éstos se debe al ciclo natural del nitrógenos, pero las concentraciones en las aguas superficiales generalmente varían por causas antropogénicas. Las principales fuentes de adición de nitrógeno al agua son el uso de fertilizantes, disposición de excretas y vertimientos orgánicos.

El nitrógeno puede ser encontrado en las aguas superficiales como nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal, para este caso el parámetro analizado fue nitrógeno total, donde se encontraron valores de 0,99, 1,28 y 1,63 mg/L; para la destinación del recurso a uso pecuario, el decreto 1594 de 1984 define como criterio de calidad, que la suma de nitratos y nitritos debe estar por debajo de 100 mg/L; considerando que el nitrógeno total es la suma de este elemento en todas sus formas, en lo relacionado con este parámetro el agua en los 3 puntos de monitoreo no presenta concentraciones que puedan limitar su uso.

De acuerdo con Sawyer, la mayor parte del zinc presente en las aguas residuales no procede de fuentes puntuales, sino que procede principalmente de aguas superficiales ricas en zinc, por lo que al zinc no se le atribuye nivel de clasificación de riesgo para el agua. La resolución 2115 de 2007, establece que el valor máximo permitido para la destinación del recurso a uso humano es de 3 mg/L de zinc, en los 3 puntos de monitoreo se registraron concentraciones muy por debajo: 0,061, 0,088 y 0,065 mg/L.

Para los demás compuestos de interés evaluados, se reportaron valores por debajo de los límites de detección del laboratorio:

|  |  |
| --- | --- |
| * Arsénico: ˂ 5,0 µg As/L * Bario: ˂ 0,5 mg Ba/L * Cadmio: ˂ 0,05 mg Cd/L * Cobre: ˂ 0,05 mg Cu/L * Cromo: ˂ 0,1 mg Cr/L | * Mercurio: ˂ 0,5 µg Hg/L * Plata: ˂ 0,1 mg Ag/L * Plomo: ˂ 0,1 mg Pb/L * Níquel: ˂ 0,3 mg Ni/L * Selenio: < 0,9 µg Se/L |

Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos. Aunque las bacterias coliformes no son patógenas, están asociadas con organismos que sí lo son (Roldán Pérez, *op cit*.). La presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada por material en descomposición. La contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana (Ramos Ortega *et al*, 2008).

Los resultados de coliformes fecales y totales reportados en los 3 puntos de monitoreo se presentan en la Figura 5.81; para coliformes fecales, el registro más bajos se presentó en el punto de monitoreo 2; con un valor de 1.100 NMP/100 mL. Para este parámetro la normatividad no establece un límite para la destinación a uso agrícola o pecuario; sin embargo, se establece un valor máximo de 200 NMP/100 mL para fines recreativos mediante contacto primario, dado que los valores encontrados refieren un grado de contaminación microbiológica, el agua del Río Magdalena no podría ser destinada a tal fin.

Frente a la presencia de coliformes totales en el agua, el valor máximo permisible por la normatividad para destinar el recurso a usos recreativos es de 1.000 NMP/ 100 mL; en ningún caso esta agua podría ser usada en estas actividades; dado que los valores reportados se encuentran entre 2.500 y 7.000 NMP/ 100 mL; además, la figura evidencia un aumento en la presencia de coliformes totales desde el punto 1 (registro más bajo) hasta el punto 3 (registro más alto), esto se asocia principalmente a que el punto 1 se encuentra aguas arriba mientras que el punto 3 esta aguas abajo, en este sentido, es posible que en el recorrido de la corriente, el aporte de carga contaminante sea mayor, cada vez con más vertimientos sobre el río lo cual lleva a que las concentraciones de coliformes se incrementen.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.81 Coliformes fecales y totales

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

* Índices de contaminación de los cuerpos de agua (ICO´s)

Los índices de contaminación ICO’s se han utilizado desde 1997 por Ramírez González para el monitoreo del agua cercana a la industria petrolera ya que han superado las desventajas de los ICA, pues no usan demasiados parámetros para asignar un valor de calidad al agua y otros problemas (Fernández Parada, *op cit.*).

En sentido ecológico, el uso de ambos índices, permite precisar problemas ambientales específicos y con ello profundizar en la ubicación de taxones con potencial indicador (CORTOLIMA, op cit.). El procedimiento para la formulación de los índices descrito por Ramírez, se presenta a continuación:

1. Asignación de valores de contaminación entre cero y uno a la escala de las variables.
2. Selección de la ecuación que permita relacionar el valor de la variable y su incidencia en contaminación.
3. Aplicación del análisis de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados ordinarios a la relación entre índice y parámetro.
4. Ajuste de la ecuación estimada.

La Tabla 5‑33 indica las diferentes categorías de clasificación de las aguas de acuerdo con los valores del índice de contaminación. En su estudio, Ramírez, demostró que tales índices son independientes y complementarios, por tanto, descubren problemas ambientales disímiles, subsanan todos y cada uno de los problemas previamente referidos para los ICA y permiten realizar una rápida interpretación del estado de la calidad del cuerpo de agua evaluado.

Tabla 5‑33 Contaminación del agua según el valor del índice de contaminación

| **VALOR ICO** | **CLASIFICACIÓN**  **CONTAMINACIÓN** | **COLOR** |
| --- | --- | --- |
| 0,8 - 1,0 | Muy alta |  |
| 0,6 - 0,8 | Alta |  |
| 0,4 - 0,6 | Media |  |
| 0,2 - 0,4 | Baja |  |
| 0,0 - 0,2 | Muy baja |  |

Fuente: Ramírez & Viña, 1998

Los índices de contaminación se pueden dividir en cuatro subtipos:

* Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Se expresa en variables que reflejan esta condición, entre las cuales se encuentran la conductividad, como reflejo de los sólidos disueltos de tipo iónico la dureza, por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y la alcalinidad respecto a la presencia de aniones carbonatos y bicarbonatos. El ICOMI se calcula como el promedio entre los subíndices de conductividad, dureza y alcalinidad (Fernández Parada, *op cit.*; Ramírez González *et al*, *op cit.*).

Dónde:

* Conductividades mayores a 270 µs/cm, se les asigna el valor de 1.
* Durezas mayores a 110 mg/L tienen un valor de 1.
* Durezas menores a 30 mg/L tienen un valor de 0.
* Alcalinidades mayores a 250 mg/L tienen un valor de 1.
* Alcalinidades menores a 50 mg/L tienen un valor de 0.
* Índice de Contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Se expresa en variables que incluyen nitrógeno, nitritos, nitratos, fósforo, oxígeno, demanda biológica (DBO) y química de oxígeno (DQO), y coliformes totales y fecales. También existen otras variables cuya medición es menos frecuente como materia orgánica, dióxido de carbono, metano y ácido sulfhídrico. La DBO y coliformes totales, reflejan fuentes diferentes de contaminación por materia orgánica, así como el porcentaje de saturación de oxígeno que indica la respuesta o capacidad ambiental del sistema ante este tipo de polución. El ICOMI se calcula como el promedio entre los subíndices de DBO, coliformes totales y oxígeno disuelto (%) (Fernández Parada, *op cit.*; Ramírez González *et al*, *op cit.*).

Dónde:

* DBO mayores a 30 mg/L tienen un valor de 1.
* DBO menores a 2 mg/L tienen un valor de 0.
* Coliformes totales mayores a 20.000 NMP/100mL tienen un valor de 1.
* Coliformes totales menores a 500 NMP/100mL tienen un valor de 0.
* Porcentajes de saturación de oxígeno mayores a 100 tienen un valor de 0.
* Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS):

Se determina por la concentración de los sólidos suspendidos. Se calcula mediante la siguiente relación (Fernández Parada, op cit.; Ramírez González et al, op cit.):

* Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/L tienen un valor de 1.
* Sólidos suspendidos menores a 10 mg/L tienen un valor de 0.
* Índice de contaminación trófico (ICOTRO):

Se determina por la concentración del fósforo total. A diferencia de los anteriores en los cuales se determina un valor entre cero y uno (0 y 1), la concentración del fósforo otorga una calificación cualitativa como se presenta en la Tabla 5‑34 (Ramírez González *et al*, *op cit.*).

Tabla 5‑34. Clasificación según el índice de contaminación trófico

|  |  |
| --- | --- |
| INTERVALO | CLASIFICACIÓN |
| <0,01 | Oligotrofia |
| 0,01 – 0,02 | Mesotrofia |
| 0,02 – 1,00 | Eutrofia |
| >1,00 | Hipereutrofia |

Fuente: Ramírez Gonzálezet al, op cit.

En conclusión, los índices de contaminación (ICO’s), permiten identificar los niveles de contaminación de un cuerpo de agua, a través de la relación de diferentes parámetros. Los índices de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), materia orgánica (ICOMO) y trófia (ICOTRO), fueron obtenidos de acuerdo con la metodología de Ramirez & Viña (*op cit).*

Con el objetivo de evaluar los niveles de contaminación del Río Magdalena en el sector de Puerto Berrío, de acuerdo con la metodología planteada anteriormente, se realizó la determinación de los índices de contaminación ICO’s en los 3 puntos monitoreados; registrando los valores presentados en la Tabla 5‑35:

Tabla 5‑35 Índices de contaminación ICO’s

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **PUNTO** | **NOMBRE** | **ICOMI** | **ICOMO** | **ICOSUS** | **ICOTRO** |
| P\_01 | Río Magdalena aguas arriba | 0,35 | 0,40 | 0,54 | Eutrófico |
| P\_02 | Río Magdalena puente | 0,35 | 0,42 | 0,59 | Eutrófico |
| P\_03 | Río Magdalena aguas abajo | 0,36 | 0,45 | 0,70 | Eutrófico |

Fuente: (e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S, 2016)

El ICOMI, relaciona los parámetros de conductividad, dureza y alcalinidad del agua; en los 3 puntos de monitoreo se reportaron niveles de contaminación medios, dichos valores son consistentes con las concentraciones de sales disueltas registradas en el Río Magdalena, así como la presencia de calcio y magnesio, representada en la dureza del agua.

La evaluación de la contaminación orgánica del agua se define por el índice ICOMO; relacionando la demanda bioquímica de oxígeno, la presencia de coliformes fecales y el porcentaje de saturación de oxígeno en el agua, para este índice se registraron niveles medios de contaminación; a pesar de que los registros no sean altos, el Río Magdalena presenta niveles de contaminación microbiológica, por lo cual para el uso de estas aguas se debe considerar un tratamiento preliminar; como se mencionó antes, las bajas concentraciones reportadas en el monitoreo se asocian a las capacidades de dilución del río.

El ICOSUS es un indicador de la presencia de solidos suspendidos en el agua; para este índice, se reportaron niveles medio de contaminación en los puntos de monitoreo 1 y 2, aguas arriba y punto medio; mientras que en el punto más debajo de la corriente, el ICO registró un nivel medio de contaminación asociada a la presencia de partículas sólidas en el agua; al ser un cuerpo de agua lotico, la presencia de solidos suspendidos se relaciona con el arrastre de material en el recorrido de la corriente de agua.

Por último, con base en las concentraciones de fosforo total en el agua, el índice de contaminación trófico ICOTRO determina el agua del Río Magdalena como un cuerpo de agua de tipo eutrófico, lo que indica que cuenta con altas concentraciones de nutrientes, un nivel alto de productividad primaria y de biomasa en todos los niveles tróficos, proliferan algas que absorben el oxígeno disuelto en el agua, lo que lleva a un crecimiento intenso de las plantas acuáticas y por ende una disminución en la calidad del agua, situación evidenciada al momento del monitoreo.

En conclusión, una vez evaluados los resultados de los 3 puntos de monitoreo sobre el Río Magdalena, existe un nivel de contaminación del cuerpo de agua, sin embargo, las concentraciones reportadas en el monitoreo son relativamente bajas puesto que a pesar de recibir grandes descargas de aguas residuales en su recorrido el Río Magdalena también recibe varios afluentes con cargas contaminantes menores, que aumentan su caudal y de cierta forma diluyen la contaminación.

En este sentido, es recomendable identificar las posibles fuentes contaminantes que puedan alterar de forma significativa la calidad fisicoquímica del Río Magdalena y de esta forma definir las medidas de manejo, seguimiento y control durante las diferentes etapas del proyecto.

#### 5.1.6.2 Caracterización de la calidad de las fuentes a captar

A continuación se realiza el análisis de calidad de agua para los cuerpos de agua superficial susceptibles a captación y jagüeyes que puedan verse afectados por las actividades propias del proyecto.

##### Fase de campo

Para la caracterización de la calidad de aguas de la zona de incidencia del proyecto vial se muestrearon un total de 24 estaciones (5 correspondientes a Uf4) durante los días 18 al 25 de septiembre de 2015 ( Tabla 5‑36 y Figura 5.82 )

Tabla 5‑36 Estaciones de muestreo para calidad de agua

| Municipio | Punto de muestreo | Coordenadas Magna Sigma Origen Bogota | | Estación | Fecha | Tipo de sistema | Uso agrícola | Uso pecuario | Preservación | Consumo Humano | Recreativo |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Este | Norte |
| Puerto Berrio | Quebrada NN (Acceso a las Margaritas) | 956427 | 1210903 | E20UF4 | 19/09/15 | Lotico | Si | Si | No | No | No |
| Cimitarra | Quebrada la Sandovala | 967314 | 1212167 | E21UF4 | 20/09/15 | Lotico | Si | Si | No | No | No |
| Puerto Berrio | Quebrada La Malena | 963320 | 1212965 | E22UF4 | 18/09/15 | Lotico | No | Si | No | No | No |
| Puerto Berrio | Jaguey finca la Estela | 962394 | 1212602 | E23UF4 | 18/09/15 | Lentico | No | Si | No | No | No |
| Puerto Berrio | Brazo izquierdo río magdalena | 963204 | 1213348 | E24UF4 | 18/09/15 | Lotico | Si | Si | Si | No | No |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S

|  |
| --- |
| 17 |

Figura 5.82 Localización general de los puntos de muestreo para calidad de agua

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

Luego de la toma de muestras, se llevaron a cabo los análisis de laboratorio siguiendo técnicas analíticas realizadas según las metodologías establecidas en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al*., 2012).

En la Tabla 5‑37 se presenta los métodos analíticos utilizados con sus respectivos límites de detección para el análisis de parámetros en cada una de las muestras.

Tabla 5‑37 Técnicas usadas para los parámetros analizados en cada muestra

| PARÁMETRO | TÉCNICA | LÍMITE DE DETECCIÓN |
| --- | --- | --- |
| turbidez | APHA-AWWA-WEF-SM 2130 B: Turbidity - Nephelometric Method. Turbidez 22nd Edition. 2012 | 0,626 |
| Alcalinidad | APHA-AWWA-WEF-SM 2320B: Alkalinity - Titration Method. 22nd Edition. 2012 | 1,2 |
| Acidez | APHA-AWWA-WEF-SM 2310B: Acidity - Titration Method. 22nd Edition. 2012 | 3 |
| color verdadero | APHA-AWWA-WEF-SM 2120 C: Color - Spectrophotometric - Single - Wavelength Method. 22nd Edition. 2012 | 3,8 |
| DBO5 | APHA-AWWA-WEF-SM 5210 B: Biochemichal Oxygen Demand - 5-Day BOD Test. 22nd Edition. 2012- EPA 360.3: Dissolve Oxygen by Membrane Electrode. Official Name: Oxygen, Dissolved (Membrane Electrode). 1971 | 2 |
| DQO | APHA-AWWA-WEF-SM 5220 D: Chemichal Oxygen Demand - Closed Reflux, Colorimetric Method. 22nd Edition. 2012 | 10 |
| Nitrógeno Total | APHA-AWWA-WEF-SM 4500-Norg B / SM 4500-NH3 B, C: Nitrogen (Ammonia) - Preliminary Distillation Step Titrimetric Method. 22nd Edition. 2012 | 5,16 |
| Dureza cálcica | APHA-AWWA-WEF-SM 3500-Ca B: Calcium - EDTA Titrimetric Method. 22nd Edition. 2012 | 2,1 |
| dureza total | APHA-AWWA-WEF-SM 2340 C: Hardness - EDTA Titrimetric Method. 22nd Edition. 2012 | 1,9 |
| Fosforo total | APHA-AWWA-WEF-SM 4500-P B,E: Phosphorus - Sample Preparation - Ascorbic Acid Method. 22nd Edition. 2012 | 0,05 |
| Fenoles totales | APHA-AWWA-WEF-SM 5530 B, C: Phenols - Cleanup Procedure - Fotometrico directo (Modificado). 22nd Edition. 2012 | 0,157 |
| Sólidos Suspendidos Totales | APHA-AWWA-WEF-SM 2540 D: Solids - Total Suspended Solids Dried at 103-105°C. 22nd Edition. 2012 | 2,8 |
| Sólidos Disueltos Totales | APHA-AWWA-WEF-SM 2540 C: Solids - Total Dissolved Solids Dried at 180°C. 22nd Edition. 2012 | 12,5 |
| metales totales por ICP-MS Ba | EPA 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Rev. 5.4. 1994. | 0,09 |
| metales totales por ICP-MS Cd | EPA 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Rev. 5.4. 1994. | 0,002 |
| metales totales por ICP-MS Cu | EPA 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Rev. 5.4. 1994. | 0,01 |
| metales totales por ICP-MS Cr | EPA 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Rev. 5.4. 1994. | 0,0026 |
| metales totales por ICP-MS Hg | EPA 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Rev. 5.4. 1994. | 0,0003 |
| metales totales por ICP-MS Ni | EPA 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Rev. 5.4. 1994. | 0,0022 |
| metales totales por ICP-MS Ag | EPA 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Rev. 5.4. 1994. | 0,0004 |
| metales totales por ICP-MS Pb | EPA 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Rev. 5.4. 1994. | 0,004 |
| metales totales por ICP-MS Se | EPA 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Rev. 5.4. 1994. | 0,003 |
| metales totales por ICP-MS As | EPA 7062, SM 3114 C | 0,01 |
| Coliformes totales | APHA-AWWA-WEF-SM 9223 B: Enzyme Substrate Coliform Test - Enzyme Substrate Test. 22nd Edition. 2012 | 1 |
| *E.coli* | APHA-AWWA-WEF-SM 9223 B: Enzyme Substrate Coliform Test - Enzyme Substrate Test. 22nd Edition. 2012 | 1 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S

Debido al tiempo de realización del presente estudio de impacto ambiental se presenta únicamente el monitoreo correspondiente a la época seca, se contempla realizar un segundo monitoreo (época de lluvias) durante la etapa de ejecución de la obra, sus resultados y análisis se reportarán en el primer ICA.

##### Resultados y discusión

###### Parámetros para la definición de calidad del agua

Si bien los posibles contaminantes del agua son de naturaleza física, química y microbiológica, su presencia se determina a través de parámetros o variables que se pueden clasificar en organolépticas, fisicoquímicas, químicas y microbiológicas. Las variables de calidad de agua corresponden a aquellas características del recurso, que son susceptibles de adoptar diferentes valores, dependiendo del estado del cuerpo de agua evaluado y del punto sobre el cual se toma la muestra. A continuación se hace la descripción de las variables monitoreadas en las estaciones de influencia del proyecto y las cuales fueron comparadas, según lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984) y la resolución 2115 de 2007 (Tabla 5‑38)

Tabla 5‑38 Criterios de calidad para el uso del recurso hídrico según la legislación nacional

| Sustancias y parámetros de referencia | USOS DEL RECURSO HÍDRICO | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Consumo humano y domestico | | | Agrícola, riego y drenaje | Pecuario | Recreativo | | Conservación flora y fauna | |
| Agua potable | Consumo humano y domestico para potabilización con tratamiento convencional. | Consumo humano y domestico para potabilización con desinfección | Agrícola no restringido | Pecuario | Actividad contacto 1rio | Actividad contacto 2rio | Preservación | |
| Res. 2115/07 | 1594/84 | | | | | | 1594/84 (Agua .fría) | 1594/84 (Agua. cálida) |
| **Turbiedad (UNT)** | **2,0** |  | 10,0 |  |  |  |  |  |  |
| **Color Aparente (UPC)** | **15,0** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Color Verdadero (UPC)** |  | 75,0 | 20,0 |  |  |  |  |  |  |
| **p H (UN)** | **6,5 - 9,0** | 5,0 - 9,0 | 6,5-8,5 | 4,5-9,0 |  | 5,0 - 9,0 | 5,0 - 9,0 | 6,5-9,0 | 4,5-9,0 |
| **Saturación Oxígeno (%)** |  |  |  |  |  | 70,0 | 70,0 |  |  |
| **OD (mg/l O2)** |  |  |  |  |  |  |  | 5,0 | 4,0 |
| **Coliformes Totales (NMP)** |  | 20000,0 | 1000,0 | 5000,0 |  | 1000,0 | 5000,0 |  |  |
| **Coliformes Fecales (NMP)** |  | 2000,0 |  | 1000,0 |  | 200,0 |  |  |  |
| **Nitrógeno Amoniacal (mg/l N)** |  | 1,0 | 1,0 |  |  |  |  |  |  |
| **Nitratos (mg/l N)** | **10,0** | 10,0 | 10,0 |  | 90,0 |  |  |  |  |
| **Nitritos (mg/l N)** | **0,1** | 1,0 | 1,0 |  | 10,0 |  |  |  |  |
| **COT (mg/l COT)** | **5,0** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Fosfatos (mg/l PO4)** | **0,5** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Aluminio (mg/l Al3+)** | **0,2** |  |  | 5,0 | 5,0 |  |  |  |  |
| **Cloruros (mg/l Cl - )** | **250,0** | 250,0 | 250,0 |  |  |  |  |  |  |
| **Conductividad (microsiemens/cm)** | **1000,0** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Contenido de sales - peso total** |  |  |  |  | 3000,0 |  |  |  |  |
| **Fluor (mg/l F)** |  |  |  | 1,0 |  |  |  |  |  |
| **Fluoruros (mg/l F-)** | **1,0** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Hierro Total (mg/l Fe)** | **0,3** |  |  | 5,0 |  |  |  |  |  |
| **Litio (mg/l Li)** |  |  |  | 2,5 |  |  |  |  |  |
| **Manganeso (mg/l Mn)** | **0,1** |  |  | 0,2 |  |  |  |  |  |
| **Molibdeno (mg/l Mo)** | **0,07** |  |  | 0,01 |  |  |  |  |  |
| **Sulfatos (mg/l SO4)** | **250,0** | 400,0 | 400,0 |  |  |  |  |  |  |
| **Tensoactivos (mg/l SAAM)** |  | 0,5 | 0,5 |  |  | 0,5 | 0,5 |  |  |
| **Vanadio (mg/l V)** |  |  |  | 0,1 |  |  |  |  |  |
| **Antimonio (mg/l Sb)** | **0,02** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Arsénico (mg/l As)** | **0,01** | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 0,2 |  |  |  |  |
| **Bario (mg/l Ba)** | **0,70** | 1,0 | 1,0 |  |  |  |  |  |  |
| **Berilio (mg/l Be)** |  |  |  | 0,1 |  |  |  |  |  |
| **Boro (mg/l B)** |  |  |  |  | 5,0 |  |  |  |  |
| **Cadmio (mg/l Cd)** | **0,003** | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,05 |  |  |  |  |
| **Cianuro (mg/l CN-)** | **0,05** | 0,2 | 0,2 |  |  |  |  |  |  |
| **Cinc (mg/l Zn)** | **3,0** | 15,0 | 15,0 | 2,0 | 25,0 |  |  |  |  |
| **Cobalto (mg/l Co)** |  |  |  | 0,1 |  |  |  |  |  |
| **Cobre (mg/l Cu)** | **1,0** | 1,0 | 1,0 | 0,05 | 0,5 |  |  |  |  |
| **Compuestos fenólicos (mg/l)** |  | 0,002 | 0,002 |  |  | 0,002 |  |  |  |
| **Cromo hexavalente (mg/l Cr+6)** |  | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 1,0 |  |  |  |  |
| **Cromo Total (mg/l Cr)** | **0,05** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Mercurio (mg/l Hg)** | **0,001** | 0,002 | 0,002 |  | 0,01 |  |  |  |  |
| **Níquel (mg/l Ni)** | **0,020** |  |  | 0,2 |  |  |  |  |  |
| **Plata (mg/l Ag)** |  | 0,05 | 0,05 |  |  |  |  |  |  |
| **Plomo (mg/l Pb)** | **0,01** | 0,05 | 0,05 | 5,0 | 0,1 |  |  |  |  |
| **Selenio (mg/l Se)** | **0,01** | 0,01 | 0,01 | 0,02 |  |  |  |  |  |
| **Trihalometanos Totales (mg/l THMs)** | **0,2** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Clorofenoles (mg/l)** |  |  |  |  |  |  |  | 0,5 | 0,5 |
| **Difenil (mg/l)** |  |  |  |  |  |  |  | 0,0001 | 0,0001 |
| **Sulfuro de hidrógeno ionizado (mg/l H2S)** |  |  |  |  |  |  |  | 0,0002 | 0,0002 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

###### Parámetros Físico-Químicos

* Temperatura

Las variaciones de temperatura en el agua pueden afectar la biota (migración de fauna, tasa de respiración de los organismos, cambios no deseables en la flora acuática) ya que la misma regula la concentración máxima de O2 disuelto, las actividades metabólicas y puede acelerar las reacciones químicas y biológicas. El incremento de la temperatura del agua puede causar efectos en el ecosistema acuático; cuando, por ejemplo, un vertido de alta temperatura cae a la fuente de agua o cuando la vegetación del área es removida.

Tabla 5‑39. Mediciones de temperatura en las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Estación | T ambiente  (°C) | T agua  (°C) |
| E20UF4 | 32,00 | 26,78 |
| E21UF4 | 26,00 | 27,00 |
| E22UF4 | 31,00 | 27,03 |
| E23UF4 | 33,00 | 31,74 |
| E24UF4 | 37,00 | 30,05 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑39 se presentan los valores de temperatura medidos en campo en las estaciones del área de influencia del proyecto, se observa que los rangos de temperatura ambiente se encontraron entre los 26°C y 37°C, respectivamente. Para la temperatura del agua superficial se reportaron valores entre los 26,78°C y 31,74°C. El decreto 1594 de 1984 no presenta un valor límite de temperatura como criterio de calidad para los distintos usos del recurso, sin embargo, se realizan las mediciones como parte de la caracterización del área de estudio.

* pH

Es una medida de la acidez o alcalinidad de una disolución, e indica la concentración de iones hidronio [H3O+] presentes en una sustancia. El pH del agua pura es 7.0, siendo este valor tomado como *neutral*; por encima de este valor se considera alcalina, y por debajo ácida. Los valores de pH en las aguas naturales varían en función del estado trófico del sistema, de la concentración del dióxido de carbono disuelto, de la presencia de iones que determinan la alcalinidad (HCO3-1, SO4-2; PO4-3), la acidez mineral, los factores edáficos, la presencia de ácidos orgánicos (o húmicos) y la profundidad de la columna de agua (Cole, 1988).

Tabla 5‑40 Mediciones de pH en las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |
| --- | --- |
| Estación | pH |
| **E20UF4** | 5,93 |
| **E21UF4** | 6,63 |
| **E22UF4** | 6,36 |
| **E23UF4** | 7,8 |
| **E24UF4** | 6,72 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑40 se presentan los valores de pH para las estaciones muestreadas, el rango que se presentó en las mediciones en campo estuvo entre 5.93 y 7.8 unidades de pH mostrando un comportamiento típico de aguas superficiales, según lo estipulado en el decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 de 2007, los registros de pH se encuentran dentro de los rangos establecidos tanto para uso de consumo humano, como agrícola, pecuario, recreativo y de preservación de flora y fauna. A excepción del punto E20UF4 cuyo valor se encuentra por debajo de las 6 Unidades.

* Oxígeno Disuelto

Es la cantidad de oxigeno libre disponible en el agua. Es uno de los indicadores más empleados en la calidad del agua, su contenido en aguas naturales varia con la temperatura, la salinidad, la turbulencia, la actividad fotosintética de plantas y la presión atmosférica (Roldan, 2008). Según Sierra (2011), el oxígeno disuelto es un indicador de la presencia de vida acuática en el recurso porque es vital para la existencia de la mayoría de los organismos acuáticos, de igual manera es un componente clave en la respiración celular tanto para la vida acuática como para la vida terrestre. En niveles bajos de oxígeno disuelto se presentan problemas de olores, este proviene de la atmosfera y lo agota la descomposición de la materia orgánica. La concentración de oxígeno disuelto (OD) en un ambiente acuático es un indicador importante de la calidad del agua ambiental.

Las fuentes más comunes de oxígeno disuelto son la difusión en la atmosfera, la oxigenación por el movimiento de las aguas sobre las rocas, oxigenación por el viento o las olas y la fotosíntesis de las plantas acuáticas y los factores que afectan niveles de oxígeno disuelto son la temperatura, las poblaciones de plantas acuáticas, el material orgánico en descomposición en el agua, el flujo de corrientes, la presión atmosférica, la altura y la actividad humana.

Tabla 5‑41. Mediciones de pH en 24 estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |
| --- | --- |
| Estación | OD  (mg O2/L) |
| **E20UF4** | 4,28 |
| **E21UF4** | 2,21 |
| **E22UF4** | 2,74 |
| **E23UF4** | 5,16 |
| **E24UF4** | 2,59 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑41 se presentan las mediciones de oxígeno disuelto para las estaciones del área de influencia, los rango detectados en campo estuvieron entre 2,21 mg/L y 5,16 mg/L, el decreto 1594 de 1984 reporta límites permisibles para la preservación de flora y fauna donde señalan que los valores deben ser entre 4 y 5 mg/L según el tipo de agua (fría o cálida, Tabla). Por lo cual de las estaciones estudiadas, sólo la estación E23UF4 cumple con los límites permisibles estipulados por la legislación nacional.

* Conductividad

A través de su medición se puede apreciar la concentración de los iones en la disolución, por lo que altos valores se traducen en una salinidad elevada o en valores anómalos de pH. En las aguas superficiales los iones que son directamente responsables de los valores de conductividad son entre otros calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos (Marín, 2009)

Tabla 5‑42. Mediciones de conductividad medidas en campo en las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |
| --- | --- |
| Estación | Conductividad  (µS/cm) |
| **E20UF4** | 11,7 |
| **E21UF4** | 61,6 |
| **E22UF4** | 50,5 |
| **E23UF4** | 13,6 |
| **E24UF4** | 43,7 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑42 se presentan las mediciones de conductividad que se presentaron en un rango de 11,7 µS/cm y 61,6 µS/cm, en el decreto 1594 de 1984 no se contempla la conductividad como un parámetro de referencia para los diversos usos del recurso hídrico, sin embargo la resolución 2115 de 2017, relacionada con agua potable tiene como valor límite permisible de 1000 µS/cm. En el monitoreo realizado en campo se puede mencionar que las estaciones están por debajo del límite establecido en la resolución en mención.

* DBO5 y DQO

La DBO5 es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas no potables. La determinación de DBO5 además de indicar la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxigeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales. Un valor elevado de DBO5 indica contaminación por materia orgánica, una DBO5 menor a 2 mg/l indica aguas poco contaminadas y una DBO5 mayor a 20 mg/l indica aguas muy impactadas por descargas de aguas residuales (Romero, 2012).

La demanda química de oxígeno, (DQO), del agua puede considerarse como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno es decir la cantidad de oxígeno consumido para la oxidación total de los constituyentes orgánicos a productos inorgánicos. La DQO menor a 20 mg/l indica agua poco contaminada (Romero, 2005).

Tabla 5‑43. Mediciones de DBO5 y DQO para las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Estación | DBO5  (mg O2/L) | DQO  (mg O2/L) |
| **E20UF4** | 4,00 | <10,0 |
| **E21UF4** | 3,75 | 83,26 |
| **E22UF4** | <2,00 | 46,44 |
| **E23UF4** | 2,12 | 47,56 |
| **E24UF4** | 2,6 | 20,15 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑43 se presentan los resultados para DBO5 y DQO, parámetros que son tenidos en cuenta para vertimientos, más no para uso del recurso hídrico. Por lo anterior no son comparables con la legislación nacional, sin embargo, según lo mencionado anteriormente, valores inferiores a 2,00 mg/L indican que hay poco impacto en el sistema por la entrada de materia orgánica. Los valores reportados de DBO5 y DQO para los puntos de monitoreo muestreados indican una baja presencia de materia orgánica que puede estar relacionada con las actividades domésticas, agrícolas y ganaderas que pueden alterar las condiciones naturales de estos cuerpos de agua superficial.

* Color y Turbiedad

El parámetro de color aparente es utilizado para determinar la materia suspendida y a diferencia de la medición de color real, conserva la interferencia de la turbiedad. Este parámetro se considera en la normatividad de agua potable vigente (Resolución 2115 de 2007),

Por otro lado la turbiedad es un parámetro que representa el grado de opacidad que presenta un cuerpo de agua, ocasionada por la presencia de material propio del sistema o por aquellos que por descarga, escorrentía o lixiviación, son aportados (Wetzel, 1981). La turbiedad incide directamente en la capacidad de penetración lumínica en la columna y en la transmisión de la luz, está relacionada con la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST), en función de la cantidad de partículas en suspensión, como arcillas, sedimentos, partículas orgánicas coloidales, material particulado, plancton y otros organismos microscópicos (Reid, 1966; Margalef, 2000).

Tabla 5‑44 Mediciones de color verdadero y turbiedad para las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Estación | Color  (UPC) | Turbiedad  (NTU) |
| **E20UF4** | 105,9 | 67,1 |
| **E21UF4** | 15,9 | 42,4 |
| **E22UF4** | 127,9 | 122 |
| **E23UF4** | 64,9 | 16,5 |
| **E24UF4** | 76 | 108 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑44 se presentan los resultados de Color verdadero y turbiedad para las estaciones en el área de influencia del proyecto, el decreto 1594 de 1984 posee límites de color verdadero (20,0 – 75,0 UPC) y turbiedad (10 NTU), para aguas de consumo humano y doméstico mientras que para los otros usos no hay límites para estos parámetros; al igual que, la resolución 2115 de 2007 que para agua potable tiene valores de referencia para turbiedad de 15 NTU y tienen valor de referencia de color aparente.

Dentro de los resultados encontrados, ninguna estación es utilizada para actividades de consumo humano y doméstico. Por lo cual no poseen límites permisibles de color aparente y turbiedad por lo tanto no pueden ser comparadas con la legislación nacional. Sin embargo, los valores encontrados son indicadores de la presencia de material en suspensión que confiere estas características al agua.

* Sólidos Disueltos totales, Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Sedimentables

El término sólidos se refiere a toda la materia que se encuentra suspendida (sólidos insolubles) o disuelta (sólidos soluble) en un determinado volumen de agua. Por su parte, los sólidos suspendidos totales (SST) incluyen todo el material insoluble como limos, arcillas, óxidos metálicos, sulfuros, algas y algunas bacterias. Los SST contribuyen a la turbidez del agua, lo que limita la penetración de la luz e inhibe las reacciones involucradas en la fotosíntesis (Weiner, 2013).

Tabla 5‑45 Mediciones de Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Sedimentables (SS) para las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Estación | SDT  (mg/L) | SST  (mg/L) | SS  (mg/L) |
| E20UF4 | <12,5 | 2,8 | 0 |
| E21UF4 | 46 | 33 | 0 |
| E22UF4 | 28,4 | 82 | 0,3 |
| E23UF4 | 956 | 16,5 | 0 |
| E24UF4 | 30 | 108 | 0,2 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑45, se presentan los resultados para las estaciones del área de influencia del proyecto, los valores encontrados para SDT estuvieron entre <12,5 mg/L y 956 mg/L; mientras que para SST se encontraron valores entre 2,8 mg/L y 108 mg/L., y para SS entre 0 mg/L y 0,3 mg/L. La legislación nacional no presenta límites permisibles para estos parámetros que puedan ser comparados con las estaciones monitoreadas. Es de resaltar que el cuerpo de agua que presentó el mayor valor de SDT (956 mg/L), corresponde al Jaguey de reubicación de la finca La Estela (un abrevadero para ganado).

* Acidez, Alcalinidad total, Dureza cálcica y Dureza total

La acidez en aguas superficiales se mide como su capacidad de neutralizar las sales presentes, por otro lado la alcalinidad está asociada generalmente, con las formas de Carbono Inorgánico Disuelto presentes en el cuerpo de agua. Otro parámetro es la dureza la cual indica la cantidad de Ca2+ y Mg2+ en los cuerpos de agua, los cuales pueden formar carbonatos e interferir con los procesos biológicos de los ecosistemas acuáticos.

Tabla 5‑46 Mediciones de Acidez, Alcalinidad Total, Dureza Cálcica y Dureza Total, para las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Estación | Acidez  (mg CaCO3/L) | Alcalinidad Total  (mg CaCO3/L) | Dureza Cálcica  (mg CaCO3/L) | Dureza Total  (mg CaCO3/L) |
| E20UF4 | 7,3 | 6,8 | 4,1 | 6,9 |
| E21UF4 | 11,7 | 21 | 14,3 | 57,2 |
| E22UF4 | 5,7 | 13,4 | 8,6 | 21,2 |
| E23UF4 | 6,9 | 6 | <2,1 | 5,1 |
| E24UF4 | 5,5 | 15,4 | 10,2 | 23,1 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑46 se presentan las mediciones de los cuatro parámetros mencionados anteriormente en las estaciones definidas para la UF4, la legislación nacional no posee límites permisibles contra los que puedan ser comparados los valores de Acidez, Alcalinidad y Dureza para el uso de recurso hídrico. Sin embargo, estos valores no generan grandes interferencias en caso de requerirse tratamiento del agua para algún uso en particular y corresponden con concentraciones normales para cuerpos de agua superficial.

* Nutrientes

En cuanto a los procesos biogeoquímicos del fósforo en los ecosistemas acuáticos, este se presenta principalmente en forma de fosfatos; el cual se origina fundamentalmente por la descomposición del fósforo orgánico disuelto, por acción bacteriana y que posteriormente es incorporado por la vegetación acuática (Wetzel, 1981).

El nitrógeno puede estar presente en el agua en las formas nitrato (NO3-), nitrito (NO2-), amoníaco (NH3), amonio (NH4+), óxido nitroso (N3O), nitrógeno molecular (N2), nitrógeno orgánico disuelto, aminoácidos, entre otras.

Las formas importantes para la identificación de calidad del agua en los ecosistemas son el amonio y los nitritos, debido a que son resultado de las fases intermedias del ciclo de degradación de los macronutrientes a base de nitrógeno en un ecosistema acuático, por lo cual son considerados como indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica (Hutchinson, 1975; Boyd, 1990).

Tabla 5‑47 Mediciones de nutrientes para las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Estación | P total  (mgP/L) | N total  (mgN/L) |
| **E20UF4** | 0,473 | <5,16 |
| **E21UF4** | 0,592 | <5,16 |
| **E22UF4** | 0,465 | <5,16 |
| **E23UF4** | 0,354 | <5,16 |
| **E24UF4** | 0,382 | <5,16 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑47 se presentan los resultados para Fosforo total y Nitrógeno total, los valores se encontraron entre 0,354 mg P/L y 0,592 mg P/L. Para nitrógeno los valores reportados están por debajo del límite de detección de la técnica analítica (<5,16 mgN/L). La legislación nacional para el uso del recurso hídrico no posee límites para estos dos parámetros.

###### Parámetros indicadores de contaminación

* Fenoles totales

Desde el punto de vista analítico, el término fenol engloba a este producto y sus homólogos inmediatos superiores, tales como los clorofenoles, fenoles y nitrofenoles. En bajas tasas de degradación de materia orgánica, la concentración de fenoles es mínima y no incide en la estructura y dinámica del ecosistema acuático. Cuando la concentración es alta, debido a que el fenol es más pesado que el agua, este se hunde disolviéndose lentamente y formando soluciones tóxicas (Marín, 2009).

Tabla 5‑48 Mediciones de fenoles totales para las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |
| --- | --- |
| Estación | Fenoles totales  (mg/L) |
| **E20UF4** | <0,157 |
| **E21UF4** | <0,157 |
| **E22UF4** | <0,157 |
| **E23UF4** | <0,157 |
| **E24UF4** | <0,157 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑48 se presentan los valores de fenoles, los cuales fueron iguales al límite de detección de la técnica analítica empleada (<0,157 mg/L), en la legislación nacional se solicita el parámetro como compuestos fenólicos y su límite permisible está regulado para aguas de consumo humano y aguas de uso recreativo de contacto primario (natación, buceo, entre otras) con un valor de referencia de 0,002 mg/L. Por lo anterior ninguna estación en esta unidad funcional debe ser comparada con la legislación nacional ya que no tienen estos tipos de uso; sin embargo, teniendo en cuenta que el límite de detección de la técnica es superior al valor solicitado en el Decreto 1594 de 1984, no se puede inferir la concentración real, y por tanto no es concluyente para establecer si estas estaciones cumplen o no con lo estipulado en la legislación nacional.

* Grasas y Aceites

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos inmiscibles en el agua, constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, y también de origen antropogénico. Mayoritariamente llegan a los cuerpos de agua procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc.), flotan formando películas en la superficie que impiden el paso de luz necesaria para realizar procesos de fotosíntesis y son metabolizados por las bacterias, disminuyendo las cantidades normales de oxigeno (Kirchman, 2000).

En la legislación colombiana no se dispone de un valor permisible de Grasas y Aceites en cuanto a criterios de calidad para el uso de aguas superficiales; sin embargo, de acuerdo al Decreto 1594 de 1984, los cuerpos de agua destinados a preservación de fauna y flora o para recreación, no deben contener grasas y aceites que formen una película visible que interfiera con la actividad fotosintética o la calidad estética del ecosistema.

Tabla 5‑49 Mediciones de grasas y aceites para las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |
| --- | --- |
| Estación | Grasas y Aceites  (mg/L) |
| **E20UF4** | 5 |
| **E21UF4** | 43,63 |
| **E22UF4** | 5,95 |
| **E23UF4** | 7,23 |
| **E24UF4** | 6,07 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑49 se presentan los valores de Aceites y Grasas para las estaciones del área de influencia del proyecto, los valores encontrados se reportan entre los 6,07 mg/L para el caso de la E24UF4 y 43,63 mg/L para la E21UF4. Teniendo en cuenta lo mencionado en el Decreto en cuanto a la ausencia de grasas y aceites en zonas de preservación y de uso recreativo, ningún cuerpo de agua monitoreado se encontró ausente de Grasas y Aceites. Por otra parte, las concentraciones encontradas son concentraciones bajas que pueden estar asociadas a la actividad pecuaria de la zona.

* Metales pesados

Si bien, las cantidades trazas de metales están siempre presentes en las aguas superficiales debido a la meteorización de las rocas y los suelos, el incremento de concentración se considera contaminación y puede provocar serios problemas ecológicos, como resultado de procesos de bioacumulación y de biomagnificación a través de la cadena trófica. En países desarrollados, las descargas industriales y mineras resultan ser las principales fuentes de metales, sin embargo, por deposición aérea también se incorporan metales traza en las aguas superficiales, como sucedía con el plomo. Este elemento era emitido a la atmósfera a partir de los gases de emisión de los automóviles, entraba en el ciclo hidrológico, aumentando su concentración y generando posteriormente graves efectos toxicológicos sobre el hombre y los ecosistemas acuáticos (Ansari *et al.*, 2004).

El Arsénico es un metaloide que puede ser incorporado al agua por procesos naturales, como la deposición atmosférica de materiales emitidos por la actividad volcánica y la meteorización de rocas y suelos. En los ríos, aproximadamente dos tercios del As total están solubilizados y el tercio restante está adsorbido por los sólidos en suspensión. Las formas más comunes en las aguas naturales son las especies inorgánicas pentavalentes (As+5) y trivalentes (As+3), dependiendo de las condiciones de pH y potencial de óxido-reducción del medio. En las condiciones típicas de las aguas superficiales prevalece el As+5, lo que le confiere gran importancia, mientras que, en ambientes moderadamente reductores adquiere prevalencia el As+3 (SRH-A, 2003).

Por otro lado el Bario, se encuentra en la naturaleza en forma de sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. En aguas naturales, rara vez excede de 0.05 mg/L, en general, las concentraciones de Ba encontradas en cantidades que causen efectos nocivos sobre el desarrollo de la biota acuática (GTZ *et al.*, 1996).

El Cadmio es un elemento no esencial que se bioacumula en los tejidos de microorganismos, animales y plantas acuáticas, siendo su forma iónica libre (Cd2+) la que se encuentra más biodisponible. Existe evidencia que indica que en los animales el Cd y el Ca comparten los mecanismos de absorción, ya que sus iones son de tamaño y forma similares; en general, cuanto más calcio en el agua, menor será el efecto tóxico. La capacidad de autodepuración biológica de las aguas superficiales y subterráneas se ve perturbada a partir de una cantidad de 0.1 mg/L de cadmio (DVGW, 1988).

EL Zinc se encuentra en compuestos silíceos de las rocas ígneas como producto de la sustitución parcial del magnesio. La meteorización de dichas rocas constituye uno de los mecanismos de incorporación de zinc al agua superficial (EPA, 1987; citado por SRH-A, 2003). En ambientes hídricos aeróbicos, el Zn se encuentra en estado de oxidación +2, presentándose en formas disuelta y suspendida.

El Cobre se presenta en la naturaleza como metal nativo y en minerales sulfurados como calcopirita (CuFeS2), calcosita (sulfuro natural de cobre: Cu2S) y cuprita u óxido cuproso natural (Cu2O). En las aguas naturales continentales superficiales, se encuentra en concentraciones inferiores a 1,0 mg Cu/l, constituyéndose en un factor limitante para el desarrollo de la fauna bentónica en concentraciones superiores (Hutchinson, 1975; Wetzel, 1981).

El Cromo en los sistemas acuáticos, la toxicidad de los compuestos solubles del Cr varía según la temperatura, pH y dureza del agua. Los compuestos del cromo se disuelven con facilidad, pero en condiciones naturales y en presencia de materia orgánica oxidable, se reducen rápidamente a compuestos más estables y menos hidrosolubles (SRH-A, 2003).

El Mercurio es un metal pesado, cuyos compuestos orgánicos e inorgánicos son una amenaza para el medio ambiente. Entre los factores que pueden incidir sobre la toxicidad del mercurio están el pH, la alcalinidad, la dureza, el oxígeno disuelto, la temperatura, la concentración de cloruros y la presencia de materia orgánica. Experiencias de campo indican que al disminuir el pH, aumenta la incorporación de mercurio en peces e invertebrados, proceso que también es favorecido por la presencia de materia orgánica; en estudios de laboratorio se identificó que la presencia de materia orgánica disuelta reduce la toxicidad del Hg2+ sobre *Daphnia magna* en un 300% (SRH-A, 2003). El mercurio en el agua inhibe la actividad metabólica de los microorganismos y suprime de este modo, la capacidad de autodepuración del agua, incluso en concentraciones bajas (DVGW, 1988).

En los sistemas acuáticos, el Níquel habitualmente se encuentra en su forma Ni+2. La forma en que se encuentra dentro del agua depende, entre otros factores, del pH. Los compuestos de Ni en los cuerpos de agua superficiales o subterráneos se registran por regla general como "níquel total". El Ni es un elemento traza para los organismos, especialmente importante para plantas. Elevados niveles pueden ser tóxicos, y en interacción con otros metales como cobre o cinc, presentan un efecto sinérgico en la toxicidad (GTZ *et al.*, 1996).

Desde el punto de vista ecotoxicológico, existe gran cantidad de información que sugiere que la responsable de la toxicidad de la Plata se debe a su forma iónica monovalente (Ag+). En los peces de agua dulce, la toxicidad de dicha forma iónica parece estar asociada a su unión con sitios específicos en las branquias, causando una pérdida neta de iones del plasma sanguíneo, fallas circulatorias por el colapso de la regulación del volumen de fluido y la muerte del pez (SRH-A, 2003).

Los cuerpos de agua superficiales constituyen trampas de acumulación para los compuestos de Plomo. Los compuestos insolubles se hunden y se adsorben en los sedimentos o se adhieren a partículas en suspensión (especialmente a partículas de arcilla). La oxidación bioquímica de las sustancias orgánicas es inhibida por concentraciones de Pb superiores a 0.1 mg/L (DVGW, 1988).

La toxicidad del Selenio sobre la biota acuática depende tanto de la especiación como de la dinámica del Se en la cadena trófica. El seleniato es menos tóxico que el selenito, que en general, es menos tóxico que formas orgánicas como la selenometionina o la selenocisteina (SRH-A, 2003). Las vías de exposición al Se en el agua dulce pueden ser resultado de la acumulación de este elemento en el sedimento, el movimiento en la red trófica, y la absorción de la dieta resultante.

Tabla 5‑50. Mediciones de 11 metales en las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Estación | As(mg/L) | Ba(mg/L) | Cd(mg/L) | Zn(mg/L) | Cu(mg/L) | Cr(mg/L) | Hg(mg/L) | Ni(mg/L) | Ag(mg/L) | Pb(mg/L) | Se(mg/L) |
| E20UF4 | <0,010 | <0,09 | <0,002 | <0,071 | <0,010 | <0,0026 | <0,0003 | <0,0022 | <0,0004 | <0,004 | <0,003 |
| E21UF4 | <0,010 | <0,09 | <0,002 | <0,071 | <0,010 | <0,0026 | <0,0003 | 0,0022 | <0,0004 | <0,004 | <0,003 |
| E22UF4 | <0.010 | <0,09 | <0,002 | <0,071 | <0,010 | <0,0026 | <0,0003 | 0,0023 | <0,0004 | <0,004 | <0,003 |
| E23UF4 | <0.010 | <0,09 | <0,002 | <0,071 | <0,010 | <0,0026 | <0,0003 | 0,0022 | <0,0004 | <0,004 | <0,003 |
| E24UF4 | <0.010 | <0,09 | <0,002 | <0,071 | <0,010 | <0,0026 | <0,0003 | 0,0027 | <0,0004 | <0,004 | <0,003 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑50 se presenta la medición de 11 metales en las estaciones del área de influencia del proyecto. En general se observa que para todos los metales analizados: Arsénico, Bario, Cadmio, Zinc, Cobre, Cromo Total, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo y Selenio, se registran valores que corresponden con los límites de detección y que por no ser detectados cumplen con lo exigido en la legislación nacional tanto para aguas potables (Resolución 2115 de 2007) como los criterios establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para el uso del recurso en actividades de consumo humano, agrícola y pecuario.

* Coliformes totales y *Escherichia coli*

Los Coliformes totales son las Enterobacteriaceas lactosa-positivas y constituyen un grupo de bacterias que se definen más por las pruebas usadas para su aislamiento que por criterios taxonómicos. Pertenecen a la familia Enterobacteriaceae y se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, más o menos rápidamente, en un periodo de 48 horas y con una temperatura de incubación comprendida entre 30-37ºC, mientras que, los Coliformes fecales la fermentación de lactosa se hace a 44,5°C, dentro de este último grupo la *E.coli* es la bacteria más representativa del grupo.

Tabla 5‑51 Mediciones de Coliformes Totales (CTT) y *Escherichia coli* para las estaciones del área de influencia del proyecto

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Estación | CTT  (NMP/100 ml) | *E.coli*  (NMP/100 ml) |
| **E20UF4** | 12033 | 1160 |
| **E21UF4** | 24196 | 313 |
| **E22UF4** | 54750 | 1970 |
| **E23UF4** | 2359 | 75 |
| **E24UF4** | 32550 | 1190 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

En la Tabla 5‑51 se presentan los registros de CTT y *E.coli* para los puntos muestreados, en la legislación nacional solo se establecen valores de referencia para CTT y Coliformes Fecales en aguas cuyo uso sea recreativo tanto de contacto primario (CTT: 1000 NMP/100ml) como secundario (CTT: 5000 NMP/100ml). Las puntos de monitoreo relacionados no son comparables con los valores de referencia pues no son de uso recreativo. Los valores de *E.coli*, son de referencia para el monitoreo pues la legislación nacional no toma la medición de este microorganismo como indicador de calidad sanitaria de las aguas.

Todos los cuerpos de agua superficial muestreados presentan valores de Coliformes Totales de los cuales hay un porcentaje asociado a las heces fecales. Estos valores pueden estar directamente relacionados con las actividades pecuarias de la zona y la presencia de ganado.

###### Conclusiones

Para la Unidad Funcional 4 se realizó un monitoreo de calidad de aguas superficiales en 5 cuerpos de agua que discurren en el área de influencia del proyecto.

Las características fisicoquímicas y microbiológicas de estos cuerpos de agua no permiten el uso de estas aguas para consumo humano directo o usos recreativos, debido a la presencia de Sólidos Totales, Materia orgánica y Coliformes Totales; los que influye en los valores de Turbiedad y Color encontrados.

De los 11 metales analizados en cada muestra no se presentaron concentraciones detectables, lo que permite inferir que no existe una fuente directa de contaminación industrial aguas arriba de los puntos de muestreo.

Los parámetros medidos insitu son acordes con lo esperado en este tipo de aguas; sin mostrar influencia directa de algún tipo de descarga que pueda alterar la temperatura, el pH o la conductividad. Por su parte el OD, si muestra valores bajos (por debajo de los 3,0 mg/L) que pueden obedecer a las características hidrodinámicas de estos cuerpos de agua y qe no permiten un intercambio constante de oxigeno cera de las zonas de monitoreo.

###### Fuentes Hídricas susceptibles de intervención por el proyecto

En la siguiente se muestran las fuentes Hídricas susceptibles de intervención por el proyecto.

Tabla 5‑52 Listado de Fuentes Hídricas Susceptibles de Intervención.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| CUERPO DE AGUA | TIPO DE INTERVENCIÓN | DESCRIPCIÓN | Coordenadas Magna Sirga Origen Bogota | |
| **Este** | **Norte** |
| Nn | Ocupación de Cauce | Alcantarilla D = 90 | 958501,0 | 1209274,0 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Alcantarilla D = 90 | 958572,9 | 1209337,0 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Box 2X2 | 959314,7 | 1209703,2 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Box 3X3 | 959527,2 | 1210096,5 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Alcantarilla D = 150 | 959973,1 | 1210514,1 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Box 3X2 | 960048,7 | 1210559,2 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Alcantarilla D = 150 | 960625,2 | 1210895,1 |
| Río Magdalena | Ocupación de Cauce | Puente RÍO MAGDALENA | 964048,6 | 1213576,4 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Alcantarilla D = 90 | 965586,5 | 1213555,2 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Box 2X2 | 965781,0 | 1213429,6 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Alcantarilla D = 150 | 966158,2 | 1213211,6 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Alcantarilla D = 120 | 966289,1 | 1213156,8 |
| Quebrada Sandovala | Ocupación de Cauce | Puente Q. Sandovala | 967318,5 | 1212264,8 |
| Captación | Captación por bombeo- Carrotanque | Inicial:967309,8 Final :967319 | Inicial:1212191,45 Final :1212143,3 |
| Nn | Ocupación de Cauce | Alcantarilla D = 150 | 968684,2 | 1210467,1 |
| Quebrada la Malena | Captación | Captación por bombeo- Carrotanque | Inicial:963324,4 Final :963320,2 | Inicial:1212989,6 Final :1212937,6 |
| Vertimiento | Vertimiento Planta Margen Izquierdo | Inicial:963320,6 Final :963318,6 | Inicial:1212975 Final :1212956,6 |

Fuente Géminis Consultores S.A.S, 2015

### **Uso del agua**

Los predios ubicados dentro del AI demandan el recurso hídrico para las actividades de uso doméstico; en general las captaciones dentro del área de influencia se realizan en cuerpos de agua de tipo superficial, sub superficial y subterráneo.

A continuación la Tabla 5‑53 relaciona los permisos de captaciones de agua superficial otorgados por CORANTIOQUIA para Puerto Berrío del área de influencia del proyecto y los cuales se encuentran vigentes

1. Tabla 5‑53 Captación de cuerpos superficiales-Uso Doméstico

| Expediente | Municipio | Coordenadas | | Uso | Caudal por uso (l/s) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Este | Norte |
| I-2839 | Puerto Berrío | 925396 | 1183257 | Doméstico | 200 |
| I-4826 | Puerto Berrío | 968515 | 1238660 | Doméstico | 4 |
| ZF1-2007-16 | Puerto Berrío | 939014 | 1202986 | Doméstico | 0,046296 |
| ZF1-2008-42 | Puerto Berrío | 946298 | 1190580 | Doméstico | 0,011574 |
| ZF1-2008-54 | Puerto Berrío | 957483 | 1215908 | Doméstico | 0,006111 |
| ZF1-2009-22 | Puerto Berrío | 941077 | 1200682 | Doméstico | 0,012222 |
| ZF1-2010-11 | Puerto Berrío | 945673 | 1199663 | Doméstico | 0,02037 |
| ZF1-2010-16 | Puerto Berrío | 945673 | 1199663 | Doméstico | 0,02037 |
| ZF1-2010-48 | Puerto Berrío | 952288 | 1206635 | Doméstico | 0,032407 |
| ZF1-2013-34 | Puerto Berrío |  |  | Doméstico |  |
| ZF1-2014-106 | Puerto Berrío | 931326 | 1207687 | Doméstico | 0,0102 |
| ZF1-2014-160 | Puerto Berrío | 939161 | 1198679 | Doméstico | 0,0028 |
| ZF1-2014-169 | Puerto Berrío | 952329 | 1210122 | Doméstico | 0,0081 |
| ZF1-2014-187 | Puerto Berrío | 945366 | 1216251 | Doméstico | 0,0081 |
| ZF1-2014-190 | Puerto Berrío | 941670 | 1211935 | Doméstico | 0,0093 |
| ZF1-2014-197 | Puerto Berrío | 941412 | 1211896 | Doméstico | 0,0046 |
| ZF1-2014-20 | Puerto Berrío | 956141 | 1209986 | Doméstico | 0,0093 |
| ZF1-2014-200 | Puerto Berrío | 942183 | 1211960 | Doméstico | 0,0122 |
| ZF1-2014-204 | Puerto Berrío | 943719 | 1216714 | Doméstico | 0,0061 |
| ZF1-2014-207 | Puerto Berrío | 939180 | 1198889 | Doméstico | 0,0019 |
| ZF1-2014-219 | Puerto Berrío | 942212 | 1211514 | Doméstico | 0,002 |
| ZF1-2014-224 | Puerto Berrío | 952228 | 1210247 | Doméstico | 0,0556 |
| ZF1-2014-241 | Puerto Berrío | 954361 | 1204093 | Doméstico | 0,0061 |
| ZF1-2014-256 | Puerto Berrío | 945323 | 1216344 | Doméstico | 0,0081 |
| ZF1-2014-259 | Puerto Berrío | 941109 | 1200369 | Doméstico | 0,0081 |
| ZF1-2014-262 | Puerto Berrío | 940478 | 1211595 | Doméstico | 0,002 |
| ZF1-2014-263 | Puerto Berrío | 941487 | 1211726 | Doméstico | 0,0041 |
| ZF1-2014-267 | Puerto Berrío | 939457 | 1218594 | Doméstico | 0,0041 |
| ZF1-2014-268 | Puerto Berrío | 940399 | 1216195 | Doméstico | 0,0056 |
| ZF1-2014-274 | Puerto Berrío | 945039 | 1209425 | Doméstico | 0,0028 |
| ZF1-2014-313 | Puerto Berrío |  |  | Doméstico |  |
| ZF1-2014-330 | Puerto Berrío | 941613 | 1212709 | Doméstico | 0,0019 |
| ZF1-2014-351 | Puerto Berrío | 940681 | 1218400 | Doméstico | 0,002 |
| ZF1-2014-422 | Puerto Berrío | 939962 | 1213383 | Doméstico | 0,0046 |
| ZF1-2014-423 | Puerto Berrío | 940191 | 1217191 | Doméstico | 0,0081 |
| ZF1-2014-426 | Puerto Berrío | 942092 | 1212103 | Doméstico | 0,0019 |
| ZF1-2014-428 | Puerto Berrío | 942193 | 1211585 | Doméstico | 0,0143 |
| ZF1-2014-430 | Puerto Berrío | 945458 | 1216032 | Doméstico | 0,0081 |
| ZF1-2014-438 | Puerto Berrío | 914962 | 1217170 | Doméstico | 0,0056 |
| ZF1-2014-439 | Puerto Berrío | 942116 | 1212068 | Doméstico | 0,0041 |
| ZF1-2014-441 | Puerto Berrío | 945464 | 1216275 | Doméstico | 0,0028 |
| ZF1-2014-442 | Puerto Berrío | 942416 | 1211659 | Doméstico | 0,0009 |
| ZF1-2014-444 | Puerto Berrío | 945432 | 1209671 | Doméstico | 0,0061 |
| ZF1-2014-450 | Puerto Berrío | 939920 | 1215453 | Doméstico | 0,0041 |
| ZF1-2014-455 | Puerto Berrío | 941216 | 1210342 | Doméstico | 0,0041 |
| ZF1-2014-95 | Puerto Berrío | 945131 | 1216763 | Doméstico | 0,0028 |
| ZF1-2015-48 | Puerto Berrío |  |  | Doméstico |  |

Fuente Géminis Consultores S.A.S, 2015

A continuación se presenta la siguiente donde se relaciona el inventario de los usos y los usuarios en el área de influencia del proyecto

Tabla 5‑54 Usos –Usuarios en el Área de Influencia del Proyecto

| ID | PREDIO | | Descripción | Uso | Observaciones |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CC Catastral | PROPIETARIO |
| 1 | "5792001000000300021" | LAVERDE BUITRAGO ARNULFO ANTONIO | Drenaje que conecta con jagüeyes artificiales utilizados como abrevadero | Uso pecuario | Son corrientes intermitentes que en época seca no presentan un flujo continuo |
| 2 | "5792001000000300021" | LAVERDE BUITRAGO ARNULFO ANTONIO | Drenaje que conecta con jagüeyes artificiales utilizados como abrevadero | Uso pecuario | Son corrientes intermitentes que en época seca no presentan un flujo continuo |
| 3 | "5792001000000300021" | LAVERDE BUITRAGO ARNULFO ANTONIO |  |  |  |
| 4 | "5792001000000300021" | LAVERDE BUITRAGO ARNULFO ANTONIO | Drenajes que conectan con jagüeyes artificiales | Uso pecuario | Drenajes con poca dinámica en época seca |
| 5 | "5792001000000300004" | HORACIO DE JESUS MORENO MAYA Y OTROS | Drenaje adecuados para mantener flujo constante | Uso pecuario | Drenajes con poca dinámica en época seca |
| 6 | "5792001000000300004" | HORACIO DE JESUS MORENO MAYA Y OTROS | Drenaje adecuados para mantener flujo constante | Uso pecuario | Drenajes con poca dinámica en época seca |
| 7 | "5792001000000300004" | HORACIO DE JESUS MORENO MAYA Y OTROS | Drenajes adecuados para conectarse con abrevaderos o jagüeyes artificiales | Uso pecuario |  |
| 8 |  | SECUNDINO PATIÑO | Brazo del magdalena | Uso pecuario | El uso se de en época seca por bajos niveles del río magdalena |
| 9 |  |  | MAGDALENA |  |  |
| 10 | "681900002000000110265" | GERMAN SALDARRIAGA MARIN Y OTRO | Zonas con cobertura vegetal asociada a cuerpos de agua conservadas | Sin Uso | Zonas con material vegetal denso |
| 11 | "681900002000000110265" | GERMAN SALDARRIAGA MARIN Y OTRO | Zonas con cobertura vegetal asociada a cuerpos de agua conservadas | Sin Uso | Zonas con material vegetal denso |
| 12 | "681900002000000110063000" | CENIT TRANSPORTE Y LOGISTICA HIDROCARBUROS |  | Sin Uso |  |
| 13 | "681900002000000110063000" | CENIT TRANSPORTE Y LOGISTICA HIDROCARBUROS |  | Sin Uso |  |
| 14 | "681900002000000110063000" | CENIT TRANSPORTE Y LOGISTICA HIDROCARBUROS |  | Sin Uso |  |
| 15 | "681900002000000110021000" | AGRICOLA MAJAGUE S.A. |  | Sin Uso |  |

Fuente Géminis Consultores S.A.S, 2015

#### Uso Pecuario

En la zona de estudio y en general se desarrolla ampliamente la ganadería extensiva ver Fotografía 5‑53, de cría y levante, se utilizan jagüeyes, los cuales almacenan agua de escorrentía o cuerpos superficiales cercanos, estos son realizados por los dueños de cada uno de los predios.



Fotografía 5‑53 Búfalos en el Área de Influencia del Proyecto.

Fuente: Geminis Consultores S.A.S, 2015

Para las franjas de captación solicitadas para el desarrollo de este proyecto no se identificaron usuarios directos sobre los cuerpos de agua 100m aguas arriba y 100m aguas debajo de los extremos de la franja de captación, los cuales puedan aprovechar el recurso de manera directa para uso doméstico o industrial.

#### Conflictos de uso

En la actualidad el área de estudio en su gran mayoría utiliza las fuentes hídricas presentes como conectores, adecuándolos como jagüeyes con el fin de tener el abastecimiento en épocas secas del recurso siendo exclusivamente el uso pecuario.

La oferta hídrica: es principalmente por aguas de escorrentía, la cual abastece los jagüeyes que son la principal fuente de abastecimiento en el área de influencia del proyecto para el uso identificado como Pecuario,

Demanda Hídrica: La siguiente es la descripción de la demanda que se presenta en el área de influencia del proyecto.

Demanda de agua para consumo doméstico; en el área de influencia del proyecto no se presenta demanda directa para consumo doméstico.

Demanda de agua para uso industrial; En el área de influencia del proyecto no se presenta demanda para uso industrial.

Demanda de agua para el sector de servicios; En el área de influencia del proyecto y según con la información de los permisos de captación no hay demanda para este uso.

Demanda de agua para uso agrícola; en el área de influencia del proyecto la demanda para uso agrícola es mínima de las fuentes presentes en el área de influencia del proyecto.

Demanda para uso pecuario: la principal demanda de las fuentes existente en el área de influencia del proyecto es para uso pecuario.

### **Hidrogeología**

#### 5.1.8.1 Hidrogeología Regional

##### Unidades Hidrogeológicas

A partir de las características geológicas, litológicas y estructurales de las unidades que conforman el área de estudio, se generó una clasificación regional dependiendo del potencial hídrico de las formaciones geológicas, condiciones de porosidad, permeabilidad, disposición de las rocas y fracturas o espaciamiento intergranular probable como reservorios de agua subterránea presentes. A continuación se presenta una descripción de cada una de estas unidades identificadas.

###### Acuíferos

En este grupo se clasifican las formaciones que almacenan y permiten el flujo de agua subterránea en cantidades significativas. En el área de estudio se identificaron las siguientes unidades.

**Formación Terraza (Ngm):** la Formación Mesa es una unidad compuesta por bancos muy gruesos de arenizcas, con niveles conglomeráticos de guijos y guijarros, localmente cantos e intercalaciones esporádicas de capas muy gruesas de arcillolitas.

**Depósitos cuaternarios aluviales del Río Magdalena (Qal):** Depósitos aluviales, que suprayacen de manera discordante a los depósitos de la Formación Mesa, que estás asociados de manera directa a la llanura de inundación del Río Magdalena, están compuestos principalmente por conglomerados no consolidados polimícticos (Cherts, rocas ígneas, metamórficas, rocas volcánicas, cuarzo, etc), de diversos tamaños, subredondeados a redondeados, arenas de grano medio y limos.

###### Acuítardo

Aquí se clasifican las formaciones que aunque pueden contener agua se caracterizan por tener una muy baja permeabilidad, de manera que no es posible extraer agua subterránea de manera significativa. En la zona de estudio se identificaron acuitardos.

###### Clasificación hidrogeológica

A continuación se presenta la clasificación de las unidades hidrogeológicas de interés siguiendo la nomenclatura propuesta por el IDEAM (2010) y (SGC, 2000), la cual se basa en la extensión, porosidad de la unidad y características de permeabilidad asociadas de cada tipo de acuífero.

* Tipo I

Corresponde a acuíferos en los cuales la porosidad principal es intergranular (SGC, 2000).

**Unidad I1:** Extensivos y altamente productivos conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial y lacustre que dan lugar a acuíferos libres a semiconfinados. En esta unidad se clasifica la formación Mesa. Se estima una capacidad específica entre 2.0 l/s/m y 1.0 l/s/m (SGC, 2000).

**Unidad I2:** Locales o discontinuos o extensivos pero solamente moderadamente productivos en sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial, lacustre o rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas clásticas a volcanoclásticas que forman acuíferos libres. En esta unidad se clasifica los depósitos cuaternarios aluviales del Río Magdalena. Se estima una capacidad específica entre 0.05 l/s/m y 1.0 l/s/m (SGC, 2000).

**Unidad I3:** Locales o discontinuos con baja productividad en rocas piroclásticas y volcanoclásticas que forman acuíferos libres a semiconfinados. En esta unidad se clasifican los depósitos coluviales y glaciales No se identifica esta unidad en la zona de estudio.

**Unidad I4:** Formaciones donde la porosidad principal es intergranular, caracterizados por bajos espesores, sin interés hidrogeológico. No se identifica esta unidad en la zona de estudio.

* Tipo II

Corresponde a acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisurados con porosidad secundaria o carstificados (SGC, 2000).

**Unidad II1:** Extensivos y altamente productivos en rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas terciarias y cretácicas consolidadas de ambiente transicional a marino que generalmente conforman acuíferos confinados. No se identifica esta unidad en la zona de estudio.

**Unidad II2:** Locales o discontinuos o extensivos pero solamente moderadamente productivos en rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas terciarias a paleozoicas consolidadas, de ambiente continental a marino que forman acuíferos confinados a semiconfinados. No se identifica esta unidad en la zona de estudio.

* Tipo III

Corresponde a rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos (SGC, 2000).

**Unidad III1:** Acuíferos menores con recursos locales y limitados en rocas ígneas a metamórficas terciarias a jurásicas y en depósitos no consolidados de ambiente lacustre, marino y deltaico. No se identifica esta unidad en la zona de estudio.

**Unidad III2:** Complejos ígneo-metamórficos consolidados y fracturados terciarios a precámbricos con baja a ninguna productividad de agua subterránea por Fuentes termales asociadas a la tectónica local. No se identifica esta unidad en la zona de estudio.

En la Figura 5.83 y la Figura 5.84 se resumen las unidades identificadas y se presenta su localización.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.83 Clasificación Unidades Hidrogeológicas – Variante Puerto Berrio

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.84 Unidades Hidrogeológicas Identificadas para el proyecto

Fuente Eco- Gerencia, 2015

##### Acuífero de Carácter

Se concluye que en la zona de estudio, a pesar que existen dos formaciones geológicas hay una sola unidad acuífero, siendo este un acuífero libre. La formación mesa tiene una continuidad en profundidad a lo largo del eje de la variante, mientras que los depósitos aluviales del Río magdalena están localizados y son discontinuos. La unidad acuífero considerada presenta dos zonas de diferentes conductividades.

##### Zonas de recarga y descarga regional

De acuerdo al balance hídrico realizado (en el numeral 5.1.10), en la zona de estudio anualmente precipitan 2625mm de agua y evapotranspiran 1974mm, la recarga de agua subterráneas se estimó en aproximadamente 516mm. La zona de recarga en el área de estudio está principalmente en la zonas montañosas al costado nor-occidental (ver Figura 5.85) y sobre todo el valle aluvial del río magdalena, pues la recarga proviene en su mayoría del agua lluvia. La zona de descarga del acuífero es claramente el río magdalena.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.85 Zona de estudio. Variante Puerto Berrio

Fuente Eco- Gerencia, 2015

La zona de descarga del acuífero es el río Magdalena. Aunque el valor de recarga es alto (Volumen de agua anual) se deduce que el tiempo de tránsito en el acuífero es corto, esto debido a los materiales que componen la formación y a la ubicación de río que atraviesa el acuífero en la zona central de sur a norte. Por otra parte, el valor de la recarga se encuentra dentro del rango estimado por estudios anteriores realizados en la zona (Arismendy et al., 2012) y (CTA, 2012).

##### Dirección de Flujo

En laFigura 5.86presentan las líneas de flujo en el área de estudio, las cuales se obtuvieron a partir de los niveles freáticos medidos *in situ* en los pozos encontrados en la zona. En donde nuevamente se evidencia que la zona de descarga del acuífero libre es el río magdalena, es decir que las líneas de flujo en el acuífero van perpendiculares a la dirección de flujo del río. La zona de recarga son básicamente las partes alta de la zona y todo el valle aluvial del Río Magdalena.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.86 Líneas de flujo – Zonas de estudio Variante Puerto Berrio

Fuente Eco Gerencia, 2015

##### Prospección Geofísica

###### Sondeos Eléctricos verticales (SEV)

La zona estudiada se localiza bajo coordenadas planas con origen central, como se muestra en la Tabla 5‑55:

Tabla 5‑55 Localización de los SEVs

| SEV | Coordenadas Magna Sirga Origen Bogota | |
| --- | --- | --- |
| NORTE (N) | ESTE (W) |
| 1 | 1211234 | 961247 |
| 3 | 1209164 | 958799 |
| 4 | 1209636 | 956649 |
| 7 | 1209839 | 954836 |
| 10 | 1210507 | 951886 |
| 36 | 1212065 | 962026 |
| 37 | 1212832 | 962444 |
| 38 | 1213023 | 966264 |
| 39 | 1212070 | 967566 |
| 40 | 1210726 | 968233 |

Fuente Eco Gerencia, 2015

* Método de trabajo

A continuación se describen los pasos para realizar la prospección geoelectrica:

* Recopilación de la información existente.
* Adquisición de un mapa geológico base.
* Toma de sondeos en campo.
* Interpretación de curvas de campo.
* Análisis hidrogeológico.
* Procesamiento de datos.

###### Prospección Geoeléctrica

El método de prospección geoeléctrico se realizó mediante sondeos eléctrico vertical (SEVs), los cuales consisten en determinar la resistividad del subsuelo a diferentes profundidades, para así establecer la composición litológica del mismo.

Para llevar a cabo esto, se induce corriente eléctrica continua mediante dos electrodos de corriente (A y B), conectados a un amperímetro y se mide la diferencia de potencial mediante otros dos electrodos de potencial (M y N) conectados a un voltímetro. Los electrodos se ubican de acuerdo a un arreglo ya previsto denominado como Dispositivo de Schlumberger. La distancia media entre los electrodos de corriente es proporcional a la profundidad de investigación (al aumentar la distancia entre A y B, es mayor la profundidad de investigación) (verFigura 5.87).

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.87 Esquema de un Sondeo Eléctrico: a medida que se abre la distancia AB aumenta la profundidad de investigación

Fuente Eco Gerencia, 2015

Los valores de intensidad y diferencia de potencial eléctrico medido en el terreno se procesan utilizando la siguiente ecuación:

Resistividad aparente = ΔV/ I \* K

K = Constante definida por la separación entre electrodos.

Los valores de resistividad (ohm.m) obtenidos en el voltímetro son graficados en sistema bilogarítmico, contra la distancia (en metros) entre los electrodos de corriente.

Finalmente estas curvas se interpretan mediante un programa de computador, obteniendo así la resistividad y espesor de las diferentes capas que conforman el subsuelo.

Se utilizó un equipo de lectura digital GEOSYSTEM RC7 (Figura 5.88), operado por un técnico especializado e interpretado por un geólogo con experiencia en este tipo de estudios.

|  |
| --- |
| resisty_012 |

Figura 5.88 Equipo GEOSYSTEM RC7

Fuente Eco Gerencia, 2015

Para la interpretación de las curvas de resistividad aparente obtenidas en campo se utilizó el programa Ipi2win.

###### Leyes que limitan los resultados geoeléctricos

Considerando que este tipo de estudios son predominantemente cualitativos se ven influenciados por una serie de leyes que incidir en los resultados finales del estudio, dentro de estas se puede mencionar.

* Ley de Equivalencia

Capas delgadas o de poco espesor que presentan valores altos de resistividad puede afectarse por una capa de mayor espesor y más bajo valor de resistividad sin embargo este tipo de anomalías puede solucionarse mediante el conocimiento detallado de la estratigrafía de la zona.

* Ley de la Supresion de Capas

En áreas donde se presentan alternancias de capas de gran espesor y valores de resistividad alta pueden “suprimir” capas de poco espesor e interpretarse como una sola capa. Este fenómeno se incrementa a medida que se investiga una mayor profundidad en este caso e s importante consultar registros eléctricos que se hayan tomado en el área de estudio.

* Efectos de la inclinación del Basamento

Se puede presentar en zonas donde capas con altos ángulos de buzamiento se presenta cubiertas por sedimentos sueltos o poco consolidados.

###### Sondeos eléctricos verticales y su interpretación

En el Anexo Capitulo 5 Numeral 5.1.8 se presentan los datos y curvas obtenidas a partir de la información obtenida en los S.E.V. realizados y un registro fotográfico.

En laTabla 5‑56 se presenta una interpretación de cada uno de los Sondeos obteniéndose información del espesor de las capas, la litología y el valor de la resistividad aparente, esta información es básica para realizar la interpretación hidrogeológica.

Tabla 5‑56 Resultados e Interpretación de los SEVs

| NO. SONDEO | PROFUNDIDAD (M) | | LITOLOGÍA | RESISTIVIDAD |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| DE | HASTA | (OHM\*M) |
| SEV1 | 0 | 0.2 | Arenas secas | 2642.3 |
| SEV1 | 0.2 | 12.7 | Limo arenoso | 18.9 |
| SEV1 | 12.7 | 23.3 | Arenas limosas saturadas con agua | 28.9 |
| SEV1 | 23.3 | 34 | Arcillas | 7.5 |
| SEV1 | 34 | 40 | Areniscas saturadas con agua | 49 |
| SEV3 | 0 | 1.5 | Limos arcillosos | 11.8 |
| SEV3 | 1.5 | 8 | Arcillas | 2.3 |
| SEV3 | 8 | 14.4 | Areniscas saturadas con agua | 115.1 |
| SEV3 | 14.4 | 20 | Arcillas | 2.5 |
| SEV4 | 0 | 0.3 | Arenas secas | 102 |
| SEV4 | 0.3 | 1.2 | Arenas húmedas | 75.6 |
| SEV4 | 1.2 | 7.7 | Arcillas | 5.8 |
| SEV4 | 7.7 | 20 | Arenas limosas saturadas con agua | 36.9 |
| SEV7 | 0 | 0.3 | Limos | 65.6 |
| SEV7 | 0.3 | 0.7 | Arenas secas | 1651.7 |
| SEV7 | 0.7 | 38 | Arenas húmedas | 229.9 |
| SEV7 | 38 | 50 | Ígneo? | 950.7 |
| SEV10 | 0 | 0.5 | Arenas secas | 1542.9 |
| SEV10 | 0.5 | 4.4 | Arenas saturadas con agua | 86.8 |
| SEV10 | 4.4 | 8.9 | Limos arcillosos | 21.5 |
| SEV10 | 8.9 | 20 | Areniscas saturadas con agua y/o Ígneo fracturado | 216.5 |
| SEV36 | 0 | 1 | Limos | 23.5 |
| SEV36 | 1 | 1.8 | Arcillas y limos | 40 |
| SEV36 | 1.8 | 13.3 | Arcillas y gravas saturadas con agua | 74 |
| SEV36 | 13.3 | 24.8 | Arenas saturadas con agua | 79.5 |
| SEV36 | 24.8 | 30 | Arcillas | 9 |
| SEV37 | 0 | 1 | Limos | 50 |
| SEV37 | 1 | 1.6 | Arcillas y limos | 23 |
| SEV37 | 1.6 | 2.2 | Arenas secas | 125 |
| SEV37 | 2.2 | 13 | Arenas saturadas con agua | 17.5 |
| SEV37 | 13 | 35 | Arcillas y limos | 11.6 |
| SEV37 | 35 | 50 | Arcillas | 9 |
| SEV38 | 0 | 0.7 | Arcillas | 5.4 |
| SEV38 | 0.7 | 1.9 | Arcillas y arenas | 20 |
| SEV38 | 1.9 | 6.4 | Arcillas y limos | 11 |
| SEV38 | 6.4 | 14 | Arcillas y arenas saturadas con agua | 19 |
| SEV38 | 14 | 22.5 | Arcillas | 6 |
| SEV38 | 22.5 | 38.2 | Gravas y arenas saturadas con agua | 33 |
| SEV38 | 38.2 | 50 | Arcillas y arenas saturadas con agua | 12.3 |
| SEV39 | 0 | 0.8 | Limos | 72 |
| SEV39 | 0.8 | 2.8 | Arcillas y arenas | 110 |
| SEV39 | 2.8 | 3.7 | Arenas con poca agua y arcillas | 83 |
| SEV39 | 3.7 | 7.3 | Arenas saturadas con agua | 33.5 |
| SEV39 | 7.3 | 12 | Guijos, arenas y gravas saturadas | 110 |
| SEV39 | 12 | 35 | Arenas saturadas con agua | 27 |
| SEV39 | 35 | 50 | Gravas y arenas saturadas con agua | 70 |
| SEV40 | 0 | 0.9 | Limos | 50 |
| SEV40 | 0.9 | 1.6 | Arcillas y limos | 10.5 |
| SEV40 | 1.6 | 3.2 | Arenas secas | 44 |
| SEV40 | 3.2 | 14.6 | Arcillas | 7 |
| SEV40 | 14.6 | 43 | Arenas saturadas con agua | 31 |
| SEV40 | 43 | 50 | Arcillas y arenas saturadas con agua | 10.3 |

Fuente Eco Gerencia, 2015

Los suelos de la zona son predominantemente de textura arcillosa y limosa y en algunas zonas (SEV 1) donde el suelo está ausente se puede un nivel muy delgado de arena.

Geológicamente la zona se caracteriza por presentar una alternancia de arcillas con delgadas capas de arenas y gravas. En el Anexo Capitulo 5, Numeral 5.1.8 se presentan los perfiles geoeléctricos correspondientes a cada uno de los SEVs realizados en la zona.

En cuanto a la profundidad del agua subterránea presenta variaciones que fluctúan entre los 3 y 22 metros.

Referente a la calidad del agua subterránea generalmente un estudio de estos puede dar indicación sobre el grado de salinidad que puede tener el agua subterránea en este caso los resultados obtenidos no presentan valores bajos de resistividad que son indicadores de agua salada por lo que únicamente podemos afirmar que el agua subterránea en este sector es dulce.

##### Pruebas de Bombeo e infiltración

###### Prueba de Bombeo

La prueba de bombeo se desarrolló en el pozo localizado batallón de ingenieros No. 14, Calibío, Puerto Berrio, muy próximo al área de influencia directa de la Variante. Con la información compilada se determinaron parámetros hidrogeológico tales como Transmisividad (T), conductividad Hidráulica, Coeficiente de Almacenamiento y Capacidad Específica. Así mismo, se calcularon los radios de influencia determinando así los límites de explotación y oferta en la zona de estudio

La prueba se realizó el día 18 de julio, a “caudal constante” de 2.7 l/s, este caudal se considera como un caudal constante que resulta de promediar las diferentes mediciones realizadas durante el ensayo.

Se midieron los niveles dinámicos por un periodo de 540 minutos y posteriormente se tomaron los niveles de recuperación por un periodo de 50 minutos hasta alcanzar al menos 90% del nivel estático inicial y el abatimiento máximo fue de 0.27 mts

El caudal se controló por el sistema convencional de valdeo y lecturas periódicas del manómetro localizado a la salida del pozo. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

* Transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento del acuífero

Conforme a la metodología implementada, los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 5‑57 y el ajuste gráfico de los datos de campo a curvas y a recta patrón se presentan en el Anexo Capitulo 5, Numeral 5.1.8.

Tabla 5‑57 Parámetros hidrogeológicos obtenidos

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| MÉTODO | T (m2/día) | K (m/día) | S |
| Theis | 218,16 | 6.21 | 5.40\*10-4 |
| Cooper & Jacob | 213,84 | 6.10 | 6.04\*10-4 |
| Theis & Jacob (Recuperación) | 206,82 | 5.88 |  |

Fuente Eco Gerencia, 2015

Respecto a los valores de la Transmisividad (T), Conductividad hidráulica (K) y Coeficiente de Almacenamiento del Acuífero (S) se presenta una variabilidad entre los datos obtenidos a partir del bombeo y los generados a partir de la recuperación del pozo; considerando que durante la recuperación no hay influencia del bombeo, se toman estos valores como los representativos.

Como valores representativos de transmisividad del acuífero (T) en alrededores del pozo el obtenido por el método de Cooper & Jacob es de 206.82m2/día y para la conductividad hidráulica (K) el valor calculado es de 5.88 m/día. Estos valores son en promedio medios a altos.

El coeficiente de almacenamiento (S) es el volumen de agua que el acuífero puede dar o recibir por unidad de área y por unidad de cambio de cabeza, cuando el acuífero es libre el valor es similar a la porosidad eficaz en acuíferos confinados es igual al producto del almacenamiento específico por el espesor del acuífero, el tipo de acuífero depende del grado exponencial del coeficiente, el cual se define en la Tabla 5‑58:

Tabla 5‑58 Tipo de Acuífero

|  |  |
| --- | --- |
| ACUÍFERO | EXPONENCIAL |
| LIBRE | < 10-3 |
| SEMICONFINADO | 10-2 10-3 |
| CONFINADO | <10-4 |

Fuente Eco Gerencia 2015

De acuerdo con el valor obtenido por el método de Theis aplicado al bombeo con caudal constante el cual es 6.04\*10-4 el tipo de acuífero es confinado.

* Capacidad específica del pozo

La capacidad específica (Ce) = Q/s, es útil para aproximar el abatimiento (s) que sufriría el nivel de agua en el pozo a cualquier caudal (Q) de explotación. Sin embargo, la experiencia (basada en principios teóricos y prácticos), permite inferir que la capacidad específica de un pozo decrece con el aumento del caudal de bombeo (y en menor proporción con el tiempo), hasta una magnitud del orden del 20% cada vez que se duplica el caudal de bombeo, entre otros factores debido al incremento de pérdidas por fricción.

Para el cálculo de la capacidad específica del pozo se tomó como caudal 1 l/s. entonces tenemos

Ce = Q/s = 2.70 l/s / 0.27 m

**Ce = 10 l/s/m**

Este es un valor relativamente alto y que está acorde con el comportamiento hidrogeológico del pozo y su productividad.

* Radio de influencia del pozo.

Se entiende por radio de influencia (r0) la distancia radial a partir del centro del pozo de bombeo, para la cual el abatimiento causado por este pozo es cero (descenso de nivel de agua dentro del acuífero).

r0 =1.5 (Tt / S)1/2

Este parámetro solo depende de las características del acuífero y para el caso del pozo analizado es:

280 metros

Esto es válido para una condición de equilibrio esperada a los tiempos de bombeo durante el cual se realizó la prueba.

Como resultados relevantes de la prueba se destacan los siguientes:

- El pozo analizado aprovecha un acuífero confinado.

- El nivel freático se encontró a una profundidad de 15.54 mtrs

- Los valores de transmisividad y conductividad hidráulica obtenidos a partir de la prueba de recuperación se consideran valores medios altos.

- El valor de la capacidad específica, que es un indicador de la productividad de este pozo y de los acuíferos que capta, se considera este valor predominantemente “alto ” y se debe considerar en el momento de analizar la información .

###### Calculo de la infiltración

La velocidad de infiltración es una medida de cuán rápidamente el agua penetra en el suelo. El agua que penetra demasiado lento puede provocar anegamiento en terrenos planos o erosión por escurrimiento en campos en pendiente.

Muchos modelos de infiltración han sido propuestos desde que ha sido estudiado el fenómeno de infiltración de agua en el suelo, en este caso se trabajó con el modelo de infiltración de Kostiakov(1932) el cual es el método de infiltración más empleado en las prácticas de riego a nivel mundial. La Ecuación propuesta por Kostiakov es la siguiente:

En donde,

i= lámina de infiltración acumulada (cm)

t= tiempo (min)

c’ y α= parámetros empíricos adimensionales.

Los parámetros c’ y α recogen el efecto de muchas variables tales como textura, estructura, contenido inicial de humedad, manejo del suelo, presencia de raíces, etc. en una forma conjunta que no explica el efecto de cada una de tales variables y por consiguiente son parámetros empíricos, igualmente, puede observarse que la ecuación de Kostiakov no es dimensionalmente homogénea, se trata entonces de una ecuación empírica.

La velocidad de infiltración del suelo es simplemente la primera derivada de la infiltración acumulada en función del tiempo. En esta forma se puede expresar como:

En donde,

I= Velocidad de infiltración (cm/min)

t= tiempo (min)

c’ y α = como se definieron anteriormente.

Si se define un K=60c’α la velocidad de infiltración se puede expresar en cm/h para el tiempo en minutos; así se tendrá:

La regresión estadística constituye la forma más rápida y precisa de obtener la ecuación de i=f(t). El parámetro más importante al desarrollar un modelo de infiltración es la infiltración básica, se define como aquel valor de la velocidad de infiltración que permanece aproximadamente constante con el tiempo, es decir un valor aproximadamente asintótico.

Se realizaron pruebas de infiltración a lo largo de la vía cuyos resultados se presentan en el Anexo Capitulo 5, Numeral 5.1.8 se relaciona la ubicación y las características de cada punto. Para los datos obtenidos en campo se obtiene la gráfica de infiltración acumulada, a la cual se le aplica una regresión de tipo potencial, encontrándose la ecuación que muestra dentro de cada Figura (Columna **Infiltración Acumulada**). LaFigura de la columna **Capacidad de Infiltración** representa la velocidad de infiltración de cada punto

#### 5.1.8.2 Hidrogeología Local

##### Inventario y caracterización de los puntos de agua subterránea.

El inventario de puntos de agua en el área de influencia directa se realizó utilizando como modelo el Formato Único de Inventario de Aguas subterráneas (FUNIA) elaborado por el IDEAM en el 2009 y que ha sido adoptado por la ANLA como la herramienta de recopilación de información para efectos de análisis hidrogeológicos.

Siguiendo el Instructivo FUNIA, los puntos de agua son caracterizados como pozo, aljibe o manantial teniendo en cuenta la definición establecida en el instructivo diseñado por el IDEAM, así como las características y condiciones del mismo, así como los usos y usuarios del agua.

La identificación de los puntos de agua se basó en información proporcionada por los administradores o propietarios de los predios o en su defecto por el baquiano que acompañaba al equipo técnico del estudio.

En el área de influencia directa de la Variante se identificaron tres (3) puntos de agua que corresponden a pozos de agua subterránea, para los cuales no existe información de diseño. En dos de los pozos la extracción de agua se realiza con bombas sumergibles y en el otro a través de motobomba

A continuación en la Tabla 5‑59 y en la Figura 5.89 se relacionan la localización de los puntos inventariados de agua subterránea, Los Formulario Único Nacional Para Inventario De Puntos De Agua Subterránea correspondientes a dichos puntos se encuentran en el Anexo Capitulo 5 Numeral 5.1.8.

Tabla 5‑59 Localización de los Puntos de Agua Subterránea identificados

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PUNTO No. | Cordenada Magnas Sirgas Origen Bogotá | |
| **NORTE (N)** | **ESTE (W)** |
| 38 | 1212321 | 965994 |
| 39 | 1212979 | 962595 |
| 40 | 1213535 | 962952 |

Fuente Eco- Gerencia, 2015

|  |
| --- |
| 19 |

Figura 5.89 Puntos inventariados de agua subterránea

Fuente Géminis Consultores S.A.S.

##### Usos y Usuario de Agua Subterránea

Conforme al diligenciamiento del FUNIA, a continuación se relacionan los Usos y Usuarios identificados para cada uno de los puntos inventariados de agua subterráne (Ver Tabla 5‑60).

Tabla 5‑60 Localización de los Puntos de Agua Subterránea identificados

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No | Coordenadas | | Cota m.s.n.m | Vereda - Municipio | Predio | Caudal (L/s) | Uso | Usuarios |
| **Norte** | **Este** |
| 38 | 1212321 | 965994 | 149 | Primavera- Pto Olaya. | Hda Torcoroma | 0,68 | Doméstico y Pecuario | 3 personas y 10 bovinos |
| 39 | 1212979 | 962595 | 110 | Santa Cruz- Pto Berrio | La Stella | 1,85 | Doméstico y Pecuario | 15 personas y 6 porcinos |
| 40 | 1213535 | 962952 | 123 | Primavera- Pto Olaya. | El Palmar | 0,37 | Domestico | 5 personas |

Fuente Géminis Consultores S.A.S, 2015

Conforme a la información levantadas sobre inventario de puntos de agua se tiene que los puntos identificados corresponden a pozos cuyo uso es esencialmente doméstico para consumo animal, por lo tanto, el trazado de la variante a Puerto Berrio no afecta puntos de agua constituidos por aljibes o manantiales, concluyendo que el trazado propuesto no presente restricción de carácter legal asociado con la protección de fuentes hídricas.

En caso de que se identifiquen los pozos de uso doméstico o pecuario, el cierre y compensación por la intervención del pozo se realizara desde el programa de gestión predial con el cual cuenta la empresa Concesión Autopista Río Magdalena S.A.S.

#### 5.1.8.3 Vulnerabilidad interseca de los acuíferos a la contaminación

Dentro del concepto de obra lineal, superficial o enterrada, se puede englobar a un conjunto diverso de trazados como son las carreteras, canalizaciones, colectores, gasoductos, oleoductos, salmoductos, trasvases, túneles y vías férreas. Sus dimensiones, además de la propia obra, contemplan otras áreas asociadas, como son áreas de servidumbre, estructuras, movimiento de tierras, plantas de tratamiento o áreas de servicio. El impacto sobre el medio de estas obras se evalúa mediante los estudios de impacto ambiental, sin embargo la afección a las aguas subterráneas se suele tratar someramente.

El impacto a las aguas subterráneas puede ser físico y químico. En el primer caso se pueden producir efectos barrera, impermeabilización de zonas de recarga o modificación de los flujos, para el segundo se producirán cambios en la calidad del agua por la propia obra y por vertidos accidentales de productos potencialmente contaminantes

##### Vulnerabilidad

La vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación es una propiedad intrínseca del medio que determina la sensibilidad a ser afectados negativamente por un contaminante externo (Foster, 1987). Es una propiedad relativa, no medible y adimensional y su evaluación se realiza admitiendo que es un proceso dinámico (cambiante con la actividad realizada) e iterativo (cambiante en función de las medidas protectoras). La vulnerabilidad puede ser intrínseca (condicionada por las características hidrogeológicas del terreno) y específica (cuando se consideran factores externos como la climatología o el propio contaminante).

El grado de vulnerabilidad puede expresarse mediante un índice. Los índices más utilizados son GOD y DRASTIC, que consideran las características físicas propias del marco hidrogeológico que afectan a la potencial contaminación del agua. Si se establece como hipótesis de partida que el riesgo de los acuíferos frente a un determinado contaminante es equivalente a la vulnerabilidad de los mismos, estos índices se podrán utilizar para evaluar el riesgo, en este caso riesgo y vulnerabilidad están estrechamente relacionados.

El método DRASTIC (Aller et al., 1987) clasifica y pondera parámetros intrínsecos, reflejo de las condiciones naturales del medio y es el más difundido para determinar la vulnerabilidad de acuíferos. DRASTIC valora como parámetros: D (profundidad del nivel piezométrico), R (recarga), A (litología del acuífero), S (naturaleza del suelo), T (pendiente del terreno), I (naturaleza de la zona no saturada) y C (permeabilidad). Una limitación de estos métodos es la subjetividad al valorar los parámetros, por ello para minimizar este grado de subjetividad, deben utilizarse criterios homogéneos. En el caso del método DRASTIC la valoración de los parámetros permite acotar los intervalos de vulnerabilidad a la contaminación y delimitar áreas de mayor riesgo frente a un contaminante potencial a lo largo del trazado. El proceso de aplicación de este método a una superficie empieza por la compartimentación de ésta en celdas homogéneas de dimensiones fijadas, distribuidas a ambos lados del trazado, cubriendo una franja que cubre como mínimo el dominio hidrogeológico.

##### Aplicación del Metodo D.R.A.S.T.I.C

Para aplicar este método debe asumirse que el posible contaminante tiene la misma movilidad en el medio que el agua, que se introduce por la superficie del terreno y se incorpora al agua subterránea mediante la recarga (lluvia y/o retorno de riego). A cada uno de los siete parámetros considerados por este método se les asigna un valor en función de los diferentes tipos y rangos definidos en la Tabla 5‑61Además, al valor de cada parámetro se aplica un índice de ponderación entre 1-5 que cuantifica la importancia relativa entre ellos, y que puede modificarse en función del contaminante.

Tabla 5‑61 Rangos y valores de los parámetros (Modificado de Aller et Al., 1987 en CCE-MOPTMA, 1994)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| (D) PROFUNDIDAD DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO | | |
| **RANGO(m)** | **VALOR** | |
| <1,5 | 10 | |
| 1,5-5 | 9 | |
| 5- 10 | 7 | |
| 10- 20 | 5 | |
| 20—30 | 2 | |
| >30 | 1 | |
| **(R) RECARGA NETA** | | |
| **RANGO(mm)** | **VALOR** | |
| 0-50 | 1 | |
| 50-100 | 3 | |
| 100-180 | 6 | |
| 180-255 | 8 | |
| >255 | 9 | |
| **(A) NATURALEZA DEL ACUÍFERO** | | |
| **DESCRIPCIÓN** | **RANGO** | **VALOR** |
| A-Arcillas, margas, limos | 1 -3 | 2 |
| B-Ígneas/metamórficas | 2 -5 | 3 |
| C-Ígneas/metamórficas alteradas | 3 -5 | 4 |
| D-Alternancia de areniscas, arcillas y calizas | 5 9 | 6 |
| E-Areniscas masivas | 4 -9 | 6 |
| F-Calizas masivas | 4 -9 | 6 |
| G-Arenas, gravas y conglomeradas | 4 -9 | 8 |
| H-Volcánicas | 2 -10 | 9 |
| I-Calizas Carstificadas | 9 -10 | 10 |
| **(S) NATURALEZA DEL SUELO** | | |
| **TIPO DE SUELO** | **VALOR** | |
| Arcilla no expansiva ya agregada | 1 | |
| Suelo orgánico | 2 | |
| Marga arcillosa | 3 | |
| Marga limosa | 4 | |
| Marga | 5 | |
| Marga arenosa | 6 | |
| Arcilla expansiva y/o agregada | 7 | |
| Turba | 8 | |
| Arena | 9 | |
| Grava | 10 | |
| Delgado o ausente | 10 | |
| **TOPOGRAFÍA** | | |
| **RANGO (%)** | **VALOR** | |
| 0-2 | 10 | |
| 2-6 | 9 | |
| 6-12 | 5 | |
| 12-18 | 3 | |
| >18 | 1 | |
| **PERMEABILIDAD** | | |
| **RANGO(m/día)** | **VALOR** | |
| <4 | 1 | |
| 4-12 | 2 | |
| 12-28 | 4 | |
| 28- 40 | 6 | |
| 40-80 | 8 | |
| >80 | 10 | |
| **(I) IMPACTO DE LA ZONA NO SATURADA** | | |
| **DESCRIPCIÓN** | **RANGO** | **VALOR** |
| A-Arcillas, margas, limos | 1-2 | 1 |
| B-Esquistos, pizarras | 2 -5 | 3 |
| C-Calizas | 2 -7 | 6 |
| D-Areniscas | 4 -8 | 6 |
| E-Alternancia de areniscas, arcillas y calizas | 4 -8 | 6 |
| F-Arenas y gravas con contenido en arcilla | 4 -8 | 6 |
| G-Metamórficas, ígneas | 2 -8 | 4 |
| H-Arenas y gravas | 6 -9 | 8 |
| I-Volcánicas | 2 -10 | 9 |
| J-Calizas Carstificadas | 8 -10 | 10 |
| **INDICES DE PONDERACIÓN** | | |
| **PARÁMETROS** | **ÍNDICE DE PONDERACIÓN (w)** | |
| D-Profundidad del nivel de agua | 5 | |
| R-Recarga | 4 | |
| A-Naturaleza del acuífero | 3 | |
| S-Tipo de suelo | 2 | |
| T-Topografía | 1 | |
| I-Impacto de la zona no saturada | 5 | |
| C-Permeabilidad | 3 | |

Fuente Eco Gerencia, 2015

El índice de vulnerabilidad obtenido es el resultado de sumar los productos de los diferentes parámetros por su índice de ponderación:

Siendo “” el valor obtenido para cada parámetro y “” el índice de ponderación.

El rango posible de valores del índice DRASTIC está comprendido entre 23-226 siendo más frecuentes valores entre 50-200. Los intervalos de vulnerabilidad o riesgo se definen en función de la aplicación. En el trabajo realizado se han establecido los siguientes grados:

* <100 Vulnerabilidad insignificante
* 101-119 Vulnerabilidad muy baja
* 120-139 Vulnerabilidad baja
* 140-159 Vulnerabilidad moderada
* 160-179 Vulnerabilidad alta
* 180-199 Vulnerabilidad muy alta
* >200 Vulnerabilidad extrema

Este método se aplica sobre los denominados “ambientes hidrogeológicos”, unidades cartografiables con características hidrogeológicas e hidrodinámicas similares.

###### Metodología

En la aplicación de este método a una obra lineal debe realizarse:

- Representación detallada de la obra a la escala apropiada.

- Análisis de la información disponible para caracterizar hidrogeológicamente el medio por el que discurre el trazado y establecer tramos.

- Valoración de los parámetros en gabinete, utilizando información existente, geológica e hidrogeológica, bases de datos, puntos acuíferos.

- Reconocimiento de campo (inventario de puntos de agua, observaciones litológicas).

- Cálculo del índice de vulnerabilidad aplicando los índices de ponderación.

Para la representación de la cartografía de la vulnerabilidad la utilización de un SIG resulta muy conveniente.

##### Valoración de los parámetros en una vía

Esta se lleva a cabo tanto en el entorno regional como en las proximidades de la obra.

###### Parámetro D (profundidad del nivel del agua)

Este parámetro considera la profundidad del nivel piezométrico en el caso de un acuífero libre o del techo del acuífero para uno confinado. La vulnerabilidad disminuye con la profundidad. En su valoración pueden emplearse datos de puntos de agua, estudios hidrogeológicos y medidas de campo. Para una obra lineal se considerarán captaciones situadas dentro de las celdas definidas o las más próximas.

Si se dispone de una serie temporal de evoluciones piezométricas conviene considerar el nivel más alto al ser éste el más desfavorable (para acuíferos libres). En el caso de un acuífero muy explotado que ha cambiado su funcionamiento hidráulico de confinado a libre, será preferible tomar la profundidad del techo del acuífero.

###### Parámetro R (recarga)

Considera la recarga anual, se puede determinar por métodos convencionales de balance y en general se puede emplear la documentación existente cuando las áreas estudiadas afectan a Unidades Hidrogeológicas o acuíferos definidos.

Sin embargo, para tramos sin acuíferos se toma el valor mínimo y para tramos con acuíferos de interés local se valorará en función de su litología.

###### Parámetro A (litología del acuífero)

Valora la litología que constituye el acuífero, considerándose que a mayor granulometría y fracturación, mayor permeabilidad y por tanto un grado de vulnerabilidad más elevado. Cuando existen varios acuíferos superpuestos siempre se valorará el superior.

Para su determinación se emplea la cartografía geológica existente, como paso previo a un reconocimiento de campo de las litologías de los tramos peor definidos.

###### Parámetro S (naturaleza del suelo)

El suelo influye en el desplazamiento vertical del contaminante hacia el acuífero. Para este parámetro se considera la porción alterada del suelo que soporta la actividad biológica.

Este parámetro se valorará de forma distinta si la obra es superficial o enterrada, ya que para el segundo caso, y dependiendo de la profundidad a la que se halle, se debe considerar suelo delgado o ausente, ya que queda excluido todo efecto de atenuación de la vulnerabilidad por parte de éste. La naturaleza del suelo en las obras lineales puede obtenerse de las calicatas realizadas en los levantamientos geotécnicos, de la cartografía geológica o de la bibliografía existente.

###### Parámetro T (topografía, % de pendiente máxima)

En las obras lineales se realizan cartografías de detalle, con el correspondiente levantamiento topográfico, que pueden emplearse para la estimación de las pendientes correspondientes.

###### Parámetro I (zona no saturada)

La zona no saturada influye en los procesos de atenuación en la trayectoria del agua hacia la zona saturada.

Este parámetro contempla la existencia de acuíferos libres, confinados y semiconfinados al valorar el tipo de materiales existentes en la zona no saturada. Si el acuífero es libre corresponde a la propia litología del acuífero y para los otros dos casos corresponde a los materiales suprayacentes confinantes.

###### Parámetro C (permeabilidad)

La valoración de este parámetro es compleja si no se dispone de ensayos de bombeo que hayan determinado parámetros hidráulicos, por ello se pueden emplear los valores teóricos relativos estimados para las diferentes litologías, estableciendo rangos en función de la propia litología, número de captaciones existentes, caudal explotado y otras observaciones realizadas en el campo.

##### Desarrollo de la Metodología

Para la aplicación de la metodología, se generó un polígono que cubría el dominio hidrogeológico de la vía. Este polígono se subdividió en 27 secciones. En cada una de estas secciones se realizará la evaluación del método D.R.A.S.T.I.C. como se muestra en la Figura 5.90

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.90 Secciones Usadas para evaluar la metodología D.R.A.S.T.I.C, las secciones cubren el dominio hidrogeológico de la vía.

Fuente Eco Gerencia, 2015

Luego de evaluar los parámetros para la vía, descritos anteriormente, se obtuvieron los mapas de vulnerabilidad para el trazado de la vía tanto para pesticidas como para vulnerabilidad general. Los resultados con respecto a vulnerabilidad se presentan en la Figura 5.91 y Figura 5.92**.**

En la Figura 5.91se oobserva que cerca del 80% del trazado de la vía tiene una muy alta vulnerabilidad general. Esto está relacionado a la poca pendiente presente en la zona, la cercanía del nivel freático a la superficie y al tipo de geología presente en la zona (depósitos aluviales).

En la Figura 5.92 se presenta la vulnerabilidad del acuífero con respecto a pesticidas. El tramo central de la vía presenta una vulnerabilidad alta mientras que en los extremos se tiene una vulnerabilidad moderada.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.91 Mapa de vulnerabilidad general del trazado de la vía.

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.92 Mapa de vulnerabilidad a pesticidas del trazado de la vía.

Fuente Eco Gerencia, 2015

Aunque la zona entorno a la vía presenta una vulnerabilidad muy alta, es de aclarar que el vertimiento de un contaminante, primero migra a través de la zona no saturada hacia el acuífero. Esta zona no saturada presenta valores bajos de permeabilidad saturada que producen un tránsito lento del soluto en esta zona.

##### Análisis de riesgo de contaminación por la ejecución del proyecto

Para el análisis de riesgo por contaminación por la ejecución del proyecto, cabe destacar que durante la construcción de la variante, la probabilidad de que se dé un vertimiento de concentraciones importantes es poco probable, sin embargo, se simuló el transporte de un contaminante genérico, aplicando una inyección constante en tres puntos diferentes a lo larga del eje de la carretera (10 mg/l).

Se corrió el modelo numérico resolviendo el problema de flujo en estado estacionario y el transporte en estado transitorio, evaluando la migración del contaminante durante 1 año en el acuífero. En la Figura 5.93y Figura 5.94 se presentan los resultados al cabo de un año de simulación. Se puede observar que el contaminante va migrar de acuerdo al flujo local del acuífero, el cual va en dirección al río magdalena desde cualquier costado. Este modelo reafirma que la vulnerabilidad intrínseca del acuífero es muy alta. Pues la pluma contaminante se puede extender más de un kilómetro en el acuífero durante un año, velocidad relativamente alta para la migración de solutos en las aguas subterráneas. De acuerdo a los parámetros definidos para el modelo establecidos en la metodología descrita. Sin embargo, ante la falta de más información y de pruebas hidráulicas en campo, el modelo numérico no puede utilizarse para predecir escenarios o pronósticos en el acuífero

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.93 Vista en planta de la evolución de tres puntos de contaminantes sobre el proyecto de la construcción de la Variante Puerto Berrio

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.94 Evolución o dispersión del soluto para el proyecto Variante Puerto Berrio

Fuente Eco Gerencia, 2015

El análisis de riesgo por contaminación por la ejecución del proyecto, cabe destacar que durante la construcción de la variante, la probabilidad de que se dé un vertimiento de concentraciones importantes es poco probable, sin embargo, se simuló el transporte de un contaminante genérico, aplicando una inyección constante en tres puntos diferentes a lo larga del eje de la carretera (10 mg/l). Este modelo reafirma que la vulnerabilidad intrínseca del acuífero es muy alta. Pues la pluma contaminante se puede extender más de un kilómetro en el acuífero durante un año, velocidad relativamente alta para la migración de solutos en las aguas subterráneas.

#### 5.1.8.4 Modelo Hidrogeológico Conceptual

En la zona de estudio, a pesar que existen dos formaciones geológicas hay una sola unidad acuífero, siendo este un acuífero libre. La formación mesa tiene una continuidad en profundidad a lo largo del eje de la variante, mientras que los depósitos aluviales del Río magdalena están localizados y son discontinuos. La unidad acuífero considerada presenta dos zonas de diferentes conductividades, sin embargo forman parte de un solo acuífero libre.

##### Delimitación de las zonas de recargas, tránsito y descarga

De acuerdo al balance hídrico realizado, en la zona de estudio anualmente precipitan 2625mm de agua y evapotranspiran 1974mm, la recarga de agua subterráneas se estimó en aproximadamente 516mm. La zona de recarga en el área de estudio está principalmente en la zonas montañosas al costado nor-occidental (VerFigura 5.95) y sobre todo el valle aluvial del río magdalena, pues la recarga proviene en su mayoría del agua lluvia. La zona de descarga del acuífero es claramente el río magdalena.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.95 Balance hídrico zona de estudio.

Fuente Eco Gerencia, 2015

##### Dirección del flujo

En laFigura 5.96se presentan las líneas de flujo en el área de estudio, las cuales se obtuvieron a partir de los niveles freáticos medidos *in situ* en los pozos encontrados en la zona. En donde nuevamente se evidencia que la zona de descarga del acuífero libre es el río magdalena, es decir que las líneas de flujo en el acuífero van perpendiculares a la dirección de flujo del río. La zona de recarga son básicamente las partes alta de la zona y todo el valle aluvial del Río Magdalena

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.96 Líneas de flujo

Fuente Eco Gerencia, 2015

##### Conexión hidráulica entre acuíferos y cuerpos de agua superficial

Al revisar el modelo y lo concluido por el mismo se puede afirmar que No existen conexiones hidráulicas entre acuíferos, pues se considera que solo existe una unidad acuífero y es libre. Sin embargo, el acuífero está hidráulicamente conectado con el río magdalena, pues este lo atraviesa de forma perpendicular de sur a norte. El nivel de la lámina de agua del río contrala los niveles freáticos del acuífero, como se puede ver en la Figura 5.96 las líneas de flujo tienen dirección al río, evidenciando la descarga directa del acuífero al río Magdalena.

##### Definición de zonas con potencial de aprovechamiento

El valle de depósitos aluviales del río Magdalena es la zona con mayor potencial de aprovechamiento. En el trabajo realizado en campo se evidenció que existen en la margen derecha del río Magdalena, numerosos Jagüeyes o depresiones de terreno (la mayoría de veces artificiales), en donde debido a que el nivel freático está por encima del fondo del terreno, formando lago pequeño. Los cuales son aprovechados por la población de la zona como fuente de abastecimiento para sus actividades agropecuarias.

#### 5.1.8.5 Modelo hidrogeológico numérico tridimensional del flujo de las aguas subterráneas

Para la construcción del modelo numérico se ha dado una revisión a los avances computacionales en la actualidad, los cuales permiten brindar una caracterización a una zona de estudio con configuración simple o compleja, ya sea por diferencias finitas o los elementos finitos (BEAR & VERRUIJT, 1987), siendo los últimos más representativos, ya que pueden presentar mejores resultados, con un alto grado de confiabilidad respecto a las simplificaciones empleadas en las diferencias finitas, dando así una adecuada definición del contorno asociado con las geometrías complejas producto de las condiciones geológicas. Por otra parte, los elementos finitos, brindan una buena estimación de la distribución espacial del campo de la carga hidráulica, como así mismo de los parámetros hidráulicos, de acuerdo con las condiciones de contorno (Cauchy, Neuman o Dirichlet) establecidas por el modelador para la estimación del flujo y transporte.

Entre estas herramientas computacionales se tiene el software de elementos finitos FEFLOW ® , el cual se ha empleado para simular flujo y transporte en aguas subterráneas y su impacto en el medio ambiente hidrogeológico, ya que por medio de modelos bidimensionales (2D) o tridimensionales (3D), se pueden representar los desafíos de la representación de la geometría de estos modelos, el modelado de zonas no saturadas y la determinación de los parámetros más importantes que influyen en los resultados (GOLDSCHNEIDER & AMANTI, 2009), pero es de vital importancia que la información suministrada en estos modelos, tales como geología, mapeo de puntos de agua, valores de precipitación, evaporación, infiltración y parámetros hidráulicos, claves en las formaciones geológicas, deben ser acordes con la realidad, sino se tendrán estimaciones erróneas o subjetivas y una mala concepción del modelo conceptual de la zona de estudio.

Para esta etapa y a partir del modelo conceptual, acorde con el actual estudio geológico, se definieron zonas homogéneas e isótropas en función del tipo de roca y formación geológica. Seguido a esto, se empleó el software comercial FEFLOW ® V. 6.2 para crear un modelo en 3D, el cual puede representar las condiciones topográficas, las zonas de recarga, descarga y comportamiento del agua subterránea de la zona de estudio. Lo anterior, apoyado con las Condiciones de Borde (Boundary Conditions) establecidas para la situación actual en que se encuentra la zona de influencia a la variante de Puerto Berrio. Cabe resaltar que no se empleó un software que tiene como base el cálculo numérico por diferencias finitas, dadas las limitancias citadas anteriormente, la complejidad numérica que tiene el acople del problema de flujo y transporte en el acuífero libre de la zona de influencia del valle medio del Magdalena. A continuación, se detallan algunas de las bondades de Feflow:

###### Modelación de superficies y transporte de contaminantes

1. Modela flujo a superficie libre y confinada, como así mismo, transporte a través de las unidades hidroestratigráficas variables saturadas y no saturadas.
2. Simula transporte de masa y transporte reactivo a través de dominios del modelo de flujo de aguas subterráneas en 2D y 3D.
3. Simulación de transporte de contaminantes de origen de fuentes puntuales y no puntuales, a través de dominios 2D y 3D, incluyendo el transporte de nitrato a través de los acuíferos kársticos y el transporte a través CVOC extremadamente heterogéneos.
4. Exporta los resultados de transporte de masa por tiempo de paso empleado a través de EarthVision ™ (Ver Figura 5.97) para visualizar el comportamiento de la masa en 3D el transporte de masa en relación con las estructuras subterráneas y estimar que resulta volúmenes de tierra afectadas.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.97 Simulación de problemas de transporte de masa (DHI - WASY, 2013)

Fuente Eco Gerencia, 2015

###### Características de elementos discretos (DEF):

1. Desarrolla modelos de doble permeabilidad utilizando el paquete de elementos discretos para simular un conducto y flujo en una matriz de un acuífero kárstico (Ver Figura 5.98y Figura 5.99)
2. Define conductos kársticos como elementos en dos dimensiones (vertical y horizontal) a través de elementos lineales asignados a lo largo de las extremidades de los elementos de la malla.
3. Los conductos definidos entre swallets conocidos (nodos) de infiltración y manantiales (nodos de descarga) y hasta gradiente de manantiales en la matriz.
4. El flujo a través de conductos definidos utilizando la ecuación de Manning-Strickler.
5. Utiliza una sección de conexión entre nodos de DFN para definir la capacidad de transporte del conducto.
6. Utiliza un factor de rugosidad para controlar la velocidad del flujo de agua (grado en que la característica representa un solo conducto o de la zona de conductos).
7. Define las ubicaciones y dimensiones de los conductos a través de la calibración de los niveles de aguas subterráneas, vertidos y las velocidades de las aguas subterráneas a través de trazadores definidos.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.98 Delimitación de propiedades de los DEF

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.99 Planos de fracturas y zonas de Kars (DHI - WASY, 2013)

Fuente Eco Gerencia, 2015

* Diseño de enmallados complejos

1. Integra la construcción del emallado con ArcGIS para facilitar el diseño de mallas complejas y su refinamiento. (Ver Figura 5.100)
2. Desarrollo de mallas complejas para simular geometrías laterales y verticales de las estructuras naturales y artificiales complejas que flujo del agua subterránea, incluyendo conductos cársticos que convergen a manantiales y ríos.
3. Las características simuladas incluyen: capas o lentes delgados, discontinuos de diferentes propiedades de materiales, grandes bovedas y diques; arroyos, ríos, manantiales, lagos, entre otros.
4. Tiene incluido un plug-in de revisión de los criterios mínimos de ángulo internos de los elementos para promover la convergencia y reducir al mínimo los errores de modelo.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.100 Enmallado complejo en Feflow ( (DHI - WASY, 2013)

Fuente Eco Gerencia, 2015

###### Áreas de interés para modelar

La geometría del acuífero queda definida por la topografía superficial y por la descripción de los perfiles geológicos disponibles para la zona. La topografía superficial se obtuvo a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés) de 30 m. Las alturas en el área de estudio van desde los 220 msnm en las en las parte altas, hasta los 85 msnm en el valle aluvial del río Magdalena. Los perfiles se interpolaron a partir de la plancha geológica 133 puerto Berrio (1:100,000).

A partir de lo anterior, se empleó una supermalla (supermesh) la cual describe la geometría del modelo 3D (Ver Figura 5.101), apoyada con un enmallado automático de elementos finitos (tipo triángulo) para un total de 3833 elementos y 5952 nodos, los cuales son la base de la simulación numérica a emplear.

Cabe resaltar que según la escala a la que se discrimine el enmallado, las propiedades de los materiales (conductividad, porosidad) brindan una mayor confiabilidad en la estimación de las líneas de flujo. Una vez generado el enmallado, se comprueba el criterio de ángulos internos en Feflow y se asignan dos capas (Cuaternario) y Formación Mesa para el modelo tridimensional, de acuerdo a las elevaciones de las formaciones, resultado de la geofísica (Figura 5.102).

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.101 Supermesh Feflow del dominio del modelo de Puerto Berrio

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.102 Enmallado por elementos finitos y comprobación de ángulos internos en Feflow

Fuente Eco Gerencia, 2015

Seguido a esto se configuró el problema de modelación numérica para flujo en estado estacionario como un acuífero inconfinado en el cual dependen, la primera capa del modelo de la superficie freática y la segunda de los cálculos de la primera. Seguido a esto se empleó el solucionario PARDISO - Parallel Direct Solver by O. Schenk and Gartner (symmetric and unsymmetric matrix) para reducir el tiempo de cálculo de forma paralela y los errores de cálculo

###### Fronteras Hidraulicas

Para las fronteras hidráulicas, una vez definido el modelo tridimensional, se emplearon condiciones de frontera (Boundary Conditions) de primer orden de tipo Dirichlet para flujo o carga hidráulica, de 110 m a la izquierda de Puerto Berrio y de 85 m a la derecha del dominio,. Para el río Magdalena, se empleó una carga variable entre los 80 a 79 m en el área de influencia. Ver Figura 5.103**.**

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.103 Condiciones de contorno de tipo Dirichlet para flujo.

Fuente Eco Gerencia, 2015

Para las condiciones de contorno definidas para el modelo de transporte, una vez definido el modelo tridimensional y de flujo, se emplearon condiciones de frontera (Boundary Conditions) de primer orden de tipo Dirichlet para transporte o transporte de masa, de 0 mg/l a la izquierda y derecha de Puerto Berrio, con una restricción del valor de la masa a los costados de 0 g/d. Para denotar el comportamiento del soluto, se decidió imponer tres puntos de concentración de 10 mg/l sobre el costado norte de la variante para ver su comportamiento en el tiempo (transitorio) Ver Figura 5.104**.**

|  |
| --- |
|  |

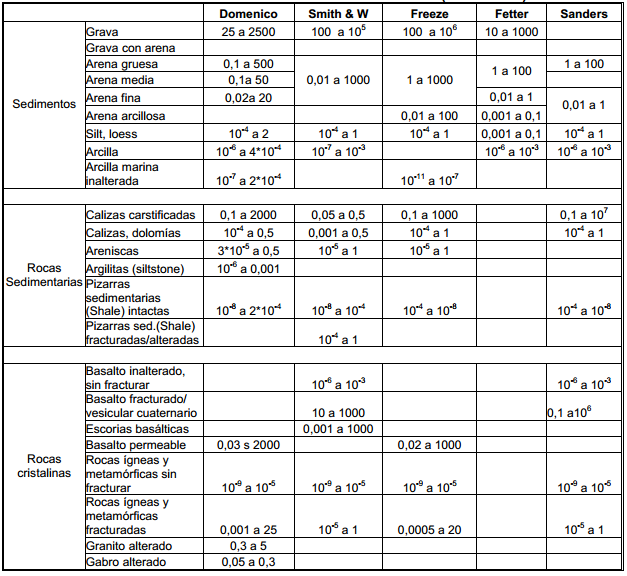
Figura 5.104 Resultados transporte de contaminantes Condiciones de contorno de tipo Dirichlet para transporte de masa y puntos de concentración del soluto sobre la variante

Fuente Eco Gerencia, 2015

###### Datos de entrada del modelo

De acuerdo a la geología de la zona de estudio en la vía, se tienen dos formaciones con interés hidrogeológico, el depósito Aluvial del Río Magdalena y la Formación Mesa. Por lo tanto, el modelo numérico tiene dos capas, para las cuales se ingresaron dos valores de conductividad hidráulica (Figura 5.105). Los valores para cada formación se obtuvieron a partir de una extensa revisión literaria, de acuerdo a los materiales que conforman cada formación (verTabla 5‑62).

Tabla 5‑62 Valores típicos de Conductividad Hidráulica



Fuente: Eco Gerencia, 2015

En la Tabla 5‑63 se presentan los valores asignados para cada formación y en la Figura 5.105se muestra se observan las conductividades para las dos capas del modelo numérico.

Tabla 5‑63 Conductividad Hidráulica asignada a cada formación

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| FORMACIÓN | CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA(M/S) | | |
| **KXX** | **KYY** | **ZXX** |
| Qal: Depósito Aluvial | 120 | 120 | 12 |
| Ngm: Formación Mesa | 90 | 90 | 9 |

Fuente: Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.105 Conductividad hidráulica – Capas modelo numérico

Fuente Eco Gerencia, 2015

Para simular transporte de solutos, se asumió que el medio es homogéneo, debido a las características similares de las formaciones. Los valores de los parámetros de transporte se obtuvieron a partir de la literatura (DOMENICO & SHWARTZ, 1990). En la Tabla 5‑64 se presentan los valores asumidos.

Tabla 5‑64 Parámetros de transporte ingresados en el modelo numérico

|  |  |
| --- | --- |
| PARÁMETRO | VALOR |
| Porosidad | 0.23 |
| Dispersividad Longitudinal (m) | 5 |
| Dispersividad Transversal (m) | 0.5 |
| Difusión Molecular (m2/s) | 1x10-9 |

Fuente : Eco Gerencia, 2015

###### Resultados y análisis del modelo

Se realizó una corrida del modelo, resolviendo el problema de flujo en estado estacionario para el acuífero, con las condiciones de frontera y los parámetros mencionados anteriormente.

En la Figura 5.105, se presentan los resultados obtenidos para el flujo. Se puede observar que el flujo en el acuífero está en dirección al río Magdalena, pues este regula la carga hidráulica del acuífero. Adicionalmente, se evidencia que el nivel freático está entre 10 y 60 metros por debajo del nivel de la carretera en toda la zona de estudio.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.106 Resultados Flujo estacionario

Fuente Eco Gerencia, 2015

Se simuló el transporte de un contaminante genérico, aplicando una inyección constante en tres puntos diferentes a lo larga del eje de la carretera (10 mg/l). Se corrió el modelo numérico resolviendo el problema de flujo en estado estacionario y el transporte en estado transitorio, evaluando la migración del contaminante durante 1 año en el acuífero. En la Figura 5.107 se presentan los resultados al cabo de un año de simulación.

Se puede observar que el contaminante va a migrar de acuerdo al flujo local del acuífero, el cual va en dirección al río magdalena desde cualquier costado. Este modelo reafirma que la vulnerabilidad intrínseca del acuífero es muy alta. Pues la pluma contaminante se puede extender más de un kilómetro en el acuífero durante un año, velocidad relativamente alta para la migración de solutos en las aguas subterráneas.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.107 Resultados Transporte de contaminantes

Fuente Eco Gerencia, 2015

#### Modelo numérico validado

La validación se realizó reproduciendo en el modelo numérico los valores del nivel freático medidos en campo en diferentes puntos. En la Tabla 5‑65 se presentan las coordenadas y el valor del nivel freático en los puntos de observación.

Tabla 5‑65 Niveles Freáticos medidos en campo

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ESTE | NORTE | NIVEL FREÁTICO |
| 961247 | 1211234 | 101.7 |
| 958799 | 1209164 | 97.0 |
| 956649 | 1209636 | 89.3 |
| 954836 | 1209839 | 89.7 |
| 951886 | 1210507 | 89.5 |
| 962026 | 1212065 | 90.8 |
| 962444 | 1212832 | 91.2 |
| 966264 | 1213023 | 95.4 |
| 967566 | 1212070 | 91.8 |
| 968233 | 1210726 | 103.6 |

Fuente : Eco Gerencia, 2015

Sin embargo, ante la falta de más información y de pruebas hidráulicas en campo, el modelo numérico no puede utilizarse para predecir escenarios o pronósticos en el acuífero. La Figura 5.108 muestra la validación de la carga hidraulica del modelo.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.108 Validación de la carga hidráulica

Fuente Eco Gerencia, 2015

#### 5.1.8.7 Medidas para la protección de la calidad del acuífero

La valoración realizada por el método D.R.A.S.T.I.C. concluye que la zona circundante a la vía tiene una alta vulnerabilidad. Por otro lado, el análisis de riesgo de contaminación por la construcción del proyecto arroja que el vertimiento de un contaminante en torno a la carretera tiene una serie de efectos negativos. Debido a las altas velocidades del flujo en el acuífero el contaminante se dispersa en este rápidamente tomando dirección hacia el río dándose acá toda la descarga.

Por estos motivos es de suma relevancia que durante la ejecución de la obra se mantenga un control estricto de todos los posibles elementos que se puedan verter en la obra y que fácilmente pueden producir una contaminación de las aguas subterráneas.

En este caso, la mejor protección a la calidad de las aguas subterráneas es una buena planeación, control y disposición final de los posibles contaminantes a usar en la obra.

El censo de puntos de agua realizado para este proyecto arrojo que entorno a la variante existen tres puntos de agua.

#### Diseño e implementación de las redes de monitoreo

Después de realizar una valoración en función del mapa de vulnerabilidad (mapa que evalúa entre otros, profundidad del nivel piezométrico, pendiente, zona no saturada, litología) y de los 3 puntos de agua censados y que se encuentran cercanos a la variante(Figura 5.109) se recomienda:

* Realizar una línea base en cuanto a calidad del agua en estos tres puntos en donde se medirán los siguientes parámetros: pH, CE, Oxígeno Total, Cl, Na, Mg, HCO3- , Br, Ca, K, SO4 , NO3-, NO2−, NH4+, SiO2.
* Realizar la medida del nivel freático.
* Realizar un monitoreó de calidad de agua en los tres puntos después de la construcción de la vía con el objetivo de comparar, evaluar y dar informe sobre el impacto de la obra sobre estos puntos.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.109 Puntos de monitoreo recomendados

Fuente Eco Gerencia, 2015

|  |
| --- |
|  |

Teniendo en cuenta lo anterior se pude concluir que La zona de descarga del acuífero es el río Magdalena. Aunque el valor de recarga es alto (Volumen de agua anual) se deduce que el tiempo de tránsito en el acuífero es corto, esto debido a los materiales que componen la formación y a la ubicación de río que atraviesa el acuífero en la zona central de sur a norte. Por otra parte, el valor de la recarga se encuentra dentro del rango estimado por estudios anteriores realizados en la zona.

El modelo numérico para flujo fue validado con los niveles medidos en los puntos de agua presentes sobre el eje de la variante. La simulación numérica del flujo para el área de influencia del proyecto Puerto Berrio, se encuentra entre 10 m y 60 m, motivo por el cual la construcción de la variante no afectará los niveles presentes en la zona de influencia.

### **Geotecnia**

La zonificación y cartografía geotécnica se realizó con base en la información geológica, edafológica, geomorfológica, hidrogeológica, hidrológica, meteorológica y de amenaza sísmica.

De acuerdo a la información presente en la GDB del EIA de Variante se utilizaron los siguientes features:

Tabla 5‑66 Features utilizados en la GDB de Variante

|  |  |
| --- | --- |
| Componente | Feature Gdb Variante |
| **Geología** | Unidad Geológica, |
| **Edafología** | Suelo, Pendiente |
| **Geomorfología** | Unidad Geomorfológica, Proceso MorfodinamicoPG |
| **Meteorología** | Zonificación Climática |
| **Amenaza sísmica** | Amenaza |

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

Para el respectivo procedimiento de clasificación se asignaron valores de 1 a 5 en donde 1 es muy buena aptitud y 5 es muy mala aptitud frente a la estabilidad del terreno

**Geología:** Se estableció la estabilidad Geotecnia de la zona mediante la información suministrada por la formación o unidad geológica, de la siguiente manera:

Tabla 5‑67 Clasificación por unidad geológica

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Unidad Geológica* | *Descripción* | *Grado de Estabilidad* | *Aptitud Frente a la Estabilidad* |
| Volcánico de La Malena | Flujos volcánicos riolíticos a riodacíticos, brechas volcánicas y tobas hacia la parte superior del conjunto, diques basálticos y pórfidos andesíticos. | 3,0 | Medio |
| Formación Mesa (Ngm) | Bancos muy gruesos de areniscas, con niveles conglomeráticos de guijos y guijarros, localmente cantos e intercalaciones esporádicas de capas muy gruesas de arcillolitas. | 3,0 | Medio |
| Depósitos Cuaternarios (Qal) | Gravas, arenas y materiales finos de origen aluvial y lacustre que conforman terrazas, llanuras de inundación, bajos y complejos cenagosos. Los aluviones a lo largo del río Magdalena son depósitos de poca elevación compuestos por material meteorizado, poco estratificado y mal seleccionado o con unos pocos horizontes bien seleccionados. | 4,0 | Bajo |

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

**Edafología:** Para el análisis de geotecnia se utilizaron los resultados obtenidos de las diversas actividades de prospección geotécnica, con clasificación de materiales basada en los sistemas USC y AASHTO. El material encontrado en el área de interés se puede clasificar como SM y SC.

Tabla 5‑68 Características Y Usos De Los Suelos (Sucs, 1952)

| *Grupo de Suelos* | *Facilidad de tratamiento en obra* | *Permeabilidad* | *Resistencia al corte* | *Compresibilidad* | *Aptitud según uso* |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| SM(arena limosa) | Moderada | Deficiente | Muy alta | Alta | Cimentación con flujo y  presas homogéneas |
| SC(arena arcillosa) | Muy alta | Baja | Alta | Alta | Revestimiento de canales, capas de pavimento |

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

**Erosión del Suelo:** Se estableció el nivel de erosión del suelo mediante el feature Suelos de la GDB.

Tabla 5‑69 Clasificación según la erosión del suelo

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Erosión del Suelo* | *Descripción* | *Grado de Estabilidad* | *Aptitud Frente a la Estabilidad* |
| Sin erosión | No se identifican procesos erosivos ni de sedimentación. Son zonas estables que presentan una condición aceptable. Por la tendencia regional a la deforestación se recomienda implementar medidas de protección ambiental para aguas y suelos. | 2,0 | Alta |
|
|
| Severa | Ausencia avanzada de cobertura vegetal y deterioro extremo de suelos por erosión natural clima seco y/o actividades antrópicas. Perdida > 75 % del horizonte A. Estas zonas no son aptas para ser intervenidas. Grado de erosión muy alto. | 5,0 | Muy Baja |
|
|
| Sedimentación activa | No hay procesos erosivos Grado de erosión media. | 3,0 | Media |
|
|

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

**Pendiente:** Se estableció el valor de inclinación del terreno mediante un DEM (Modelo digital del terreno) asociado al feature suelos de la GDB.

Tabla 5‑70 Clasificación por pendiente del suelo

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Pendiente del Suelo* | *Descripción* | *Grado Estabilidad* | *Aptitud Frente a la Estabilidad* |
| Pendiente de 0 a 8° | Terreno plano ha ligeramente inclinado, los procesos morfodinámicos son principalmente agradacionales. | 1,0 | Muy Alta |
|
| Pendiente de 8 ° a 15° | Terreno inclinado. | 2,0 | Alta |
| Pendiente de 15° a 25° | Terreno fuertemente inclinado susceptible a fenómenos de remoción en masa. | 3,0 | Media |
| Pendiente de 25 a 45° | Terreno escarpado altamente susceptible a fenómenos de remoción en masa. | 4,0 | Baja |
|
| Pendiente > 45° | Terrenos no aptos para construcción de infraestructura. | 5,0 | Muy Baja |
|

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

**Geomorfología:** Se estableció mediante el relieve de la zona.

Tabla 5‑71 Clasificación por geomorfología

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Relieve* | *Descripción* | *Grado de Estabilidad* | *Aptitud Frente a la Estabilidad* |
| Colinas | Un Cerro o Colina es una eminencia del terreno que, en general, no supera los 100 metros desde la base hasta la cima. | 3,0 | Medio |
| Lomas | Una loma u otero es una elevación del terreno de poca altura, normalmente de forma redondeada, que viene a ser el primer grado después de la llanura. | 3,0 | Medio |
| Terraza | Relleno horizontal situado a lo largo de un valle por encima del curso de agua y q representa el resto de un antiguo curso en el q ha profundizado el curso de agua. | 2,0 | Alta |
| Vallecito | Es una llanura entre montañas o alturas. Se trata de una depresión de la superficie terrestre entre 2 vertientes, con forma inclinada y alargada. | 2,0 | Alta |

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

**Densidad de Fallas:** se estableció mediante los procesos morfodinámicos

Tabla 5‑72 Clasificación determinada por fallas en el terreno

| *Fallas* | *Descripción* | *Grado de estabilidad* | *Aptitud Frente a la Estabilidad* |
| --- | --- | --- | --- |
| Densidad de fallas con Buffer de 500 m | Alta probabilidad de afectación de la vía por movimiento de la falla. Por ende la aptitud de este terreno es mala. | 5,0 | Muy Baja |
| Densidad de fallasen Áreas fuera del buffer | Baja probabilidad de afectación de la vía por movimiento de la falla. Por ende la aptitud de este terreno es buena. | 2,0 | Alta |

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

**Meteorología**: Se estableció mediante el piso altitudinal o térmico de la zona climática.

Tabla 5‑73 Clasificación determinada por piso térmico

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Piso Térmico* | *Descripción* | *Grado de Estabilidad* | *Aptitud Frente a la Estabilidad* |
| Cálido | El clima cálido presenta elevadas temperaturas anuales, sin grandes variaciones estacionales. Predominio de bosques tropicales, selvas y sabanas. Posee una variabilidad en el piso altitudinal de la zona climática entre 60 y 300 msnm. Una temperatura entre los 24 a 30 Grados centígrados, con una precipitación promedio de 2600 mm/año de la zona climática. | 3,0 | Media |

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

**Amenaza sísmica:** Se estableció por medio de Tipo de Amenaza, del feature amenaza de la GDB.

Tabla 5‑74 Clasificación determinada por amenazas en el área de influencia del proyecto

| *Amenaza* | *Descripción* | *Grado de Estabilidad* | *Aptitud Frente a la Estabilidad* |
| --- | --- | --- | --- |
| Amenaza por sismo Media | El área se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia, con aceleraciones de la onda entre 200 y 250. Sin embargo no se reportan eventos telúricos desde 1993. | 3,0 | Media |
| Amenaza por remoción en masa | El área se encuentra en una zona de amenaza baja donde los movimientos de material son de carácter puntual y equivalen a caída de rocas y deslizamientos. | 2,0 | Alta |

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

Hidrología: se estableció mediante el feature class de Amenaza específicamente en el

Campo T\_AMENAZA3

Tabla 5‑75 Clasificación según las zonas de inundación

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Hidrología* | *Descripción* | *Grado de Estabilidad* | *Aptitud Frente a la Estabilidad* |
| Buffer de 500 m | Zonas inundadas durante el periodo invernal 2010 -2011. | 5 | Muy Baja |
| Áreas fuera del buffer | Zonas no inundadas durante el periodo invernal 2010 -2011. | 2 | Alta |

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

**Susceptibilidad**

Tabla 5‑76 Clasificación por susceptibilidad de la estabilidad del terreno en el AI



Fuente Géminis Consultores S.A.S.

#### Resultados

Para la obtención de resultados se cruzó la información cartográfica mediante la siguiente estructura lógica:

Tabla 5‑77 Estructura Lógica de Cualificación de la Aptitud Frente a la Estabilidad del Terreno

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Valor 1* | *Valor 2* | *Valor Final* |
| Alto | Medio | Alto |
| Alto | Bajo | Medio |
| Alto | Muy Bajo | Bajo |
| Medio | Bajo | Medio |
| Medio | Muy Bajo | Bajo |
| Bajo | Muy Bajo | Muy Bajo |
| Muy Alto | Alto | Muy Alto |
| Muy Alto | Medio | Alto |
| Muy Alto | Bajo | Medio |
| Muy Alto | Muy Bajo | Bajo |

Fuente Géminis Consultores 2015

En la siguiente tabla se reflejan los resultados luego de cruzar toda la información cartográfica.

Tabla 5‑78 Resultados generales

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Unidad Geotécnica | Aptitud Frente A La Estabilidad Geotécnica Total | Grado De Estabilidad Geotécnica Total | Aptitud Frente A La Susceptibilidad Total | Grado De Estabilidad Susceptibilidad Total | Tipo De Material | Área Total (Ha) |
| Unidad 1 | Alto | 2,0 | Bajo | 4,0 | Roca | 3168,0 |
| Unidad 2 | Bajo | 4,0 | Alto | 2,0 | Roca | 320,9 |
| Unidad 3 | Medio | 3,0 | Medio | 3,0 | Roca | 2731,3 |

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

***Graficas De Resultados***

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.110 Porcentaje de estabilidad geotécnica

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.111 Porcentaje de susceptibilidad geotécnica

Fuente Géminis Consultores S.A.S., 2015

#### Análisis de Resultados

Luego de verificar los datos obtenidos se puede inferir que la estabilidad geotécnica en su gran porcentaje está definida entre media (44%) y alta (51%), esto explicado en gran parte a que elementos como la amenaza por sismo y remoción en masa de la zona es media y baja, de igual manera los resultados meteorológicos presentan un clima cálido sin grandes variaciones estacionales, predominio de bosques tropicales, selvas y sabanas. Una temperatura entre los 24 a 30 Grados centígrados, con una precipitación promedio de 2600 mm/año de la zona climática, que favorece la estabilidad de la zona. No se identifican procesos erosivos ni de sedimentación. Son zonas estables que presentan una condición aceptable. Su edafología está representada por suelos de arena y limo así como área y arcilla, estos materiales proveen la región de una comprensibilidad alta y a su vez una permeabilidad baja que es determinante en la alteración de la estructura del material, es por ello que la zona de interés acumula gran cantidad de agua, sin embargo, utilizando sistemas adecuados de drenajes y protección de las márgenes de los terraplenes de la vía se puede garantizar su estabilidad.

Las zonas de mayor inestabilidad se ubican a las orillas del río Magdalena ya que presentan procesos de socavación lateral y de reptación, lo que las hace vulnerables a los deslizamientos; en las planicies no se observan zonas de inestabilidad ya que el suelo esta compactado por el pastoreo y en las estribaciones sobre las terrazas se observan procesos de surcos y cárcavas incipientes.

Por lo tanto, las zonas más inestables se encuentran en cercanías a las orillas del río Magdalena y en aquellas zonas de borde de terraza donde se evidencian cambios de pendiente.

### **Atmósfera**

La Atmósfera para el área de influencia del proyecto fue caracterizada a partir de los aspectos meteorológicos, fuentes de emisiones y la calidad de aire y ruido a nivel local. La evaluación de estos componentes permitió identificar que en el área de influencia del proyecto las condiciones atmosféricas son características de clima Cálido húmedo y Cálido semi- Húmedo, con un comportamiento de precipitación bimodal.

A continuación se describen los componentes que fueron caracterizados para definir las condiciones atmosféricas del área de influencia del proyecto.

#### Meteorología

Para identificar las condiciones meteorológicas del área de influencia del proyecto se realizó la identificación de estaciones climatológicas presentes en zonas cercanas al área de influencia del proyecto. Al respecto se identificó para el sector las estaciones denominadas Apto Pto. Berrío y Virginias del IDEAM, sus características y los periodos de tiempo monitoreados se describen en el Capítulo 2 del presente estudio. Las estaciones utilizadas para el análisis meteorológico del área de estudio se encuentran en el Anexo Capitulo 5, Numeral 5.1.10

##### Temperatura

La temperatura media para el proyecto analizada a partir de registros de los últimos 29 años, es de 28,4 °C, con un valor promedio mínimo de 26,2 °C y máximo de 30 °C. (Ver Tabla 5‑79). En la Figura 5.112 se presenta de manera gráfica la distribución de las temperaturas a lo largo del año. Los valores de temperatura más altos se presentan al inicio del año en los meses enero y febrero en los cuales se presentan valores máximos de temperatura entre 30,4 °C y 30,7°C respectivamente. Los meses de octubre y noviembre presentan los valores más bajos de temperatura con medias de 27,8 y 29,9°C respectivamente.

Tabla 5‑79 Valores medios mensuales de temperatura a partir de registros del periodo 1975 – 2014 de la estación Apto. Pto Berrío

| Parámetros de Temperatura | | Meses del año | | | | | | | | | | | | Valor Anual |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ene** | **Feb** | **Mar** | **Abr** | **May** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Sep** | **Oct** | **Nov** | **Dic** |
| Valores Medios Mensuales de Temperatura (°C) | Med. | 28.8 | 28.9 | 28.7 | 28.5 | 28.5 | 28.6 | 28.6 | 28.6 | 28.1 | 27.8 | 27.9 | 28.2 | 28.4 |
| Máx. | 30.4 | 30.7 | 30.3 | 29.6 | 29.4 | 29.4 | 29.8 | 30.3 | 29.2 | 28.9 | 29 | 30.3 | 30.7 |
| Mín. | 27.1 | 26.3 | 27.2 | 27 | 27.3 | 27.7 | 26.6 | 27.1 | 26.4 | 26.3 | 26.5 | 26.2 | 26.2 |

Fuente: IDEAM, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.112 Gráfica lineal de frecuencia para las temperaturas registradas en la estación Apto. Pto Berrío

Fuente: Géminis Consultores S.A.S, 2015

###### Distribución espacial de la temperatura

Con el fin de visualizar el comportamiento espacial de la temperatura y empleando los valores de temperatura obtenidos en las estaciones localizadas del área de estudio, se generaron isotermas como se muestra en la Figura 5.116.

|  |
| --- |
| C:\Users\ambiental1\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\ISOTERMAS.PNG |

Figura 5.113 Isotermas área de desarrollo del proyecto (Ver Anexos/Información cartográfica/Otros)

Fuente Géminis Consultores S.A.S 2015

Como se puede observar en la distribución espacial de la temperatura para el área de estudio, los índices de temperatura presenta un valor medio anual de 28°C por año.

Lo anterior evidencia valores relativamente homogéneos durante el año.

##### Presión atmosférica

La presión atmosférica para el área del proyecto analizada a partir de registros de los últimos 38 años presenta un valor medio anual de 30Mb, con variaciones significativas a lo largo del año (Tabla 5‑80.) En la se presenta de manera gráfica los valores de presión atmosférica media, en la cual se puede observar que el pico más alto se presenta en el mes de Mayo con un valor medio de 30,6 Mb y los valores más bajo se presentan para el mes de enero con un valor medio de 26,6 Las variaciones en la presión atmosférica a lo largo del año reflejan que en el área del proyecto se presentan condiciones meteorológicas cambiantes, sin embargo no presenta un comportamiento asociado a los cambios en temperatura registrados para la zona.

Tabla 5‑80 Valores medios mensuales de presión atmosférica a partir de registros del periodo 1975 – 2014 de la estación Apto. Pto Berrío

| Parámetros de Presión atmosférica (Mb) | | Meses del año | | | | | | | | | | | | Valor Anual | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ene** | **Feb** | **Mar** | **Abr** | **May** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Sep** | **Oct** | **Nov** | **Dic** |  |
| Valores Totales de Presión atmosférica (Mb) | Medio | 29.3 | 29.5 | 29.9 | 30.5 | 30.6 | 30.4 | 30.1 | 30.0 | 29.9 | 29.9 | 30.1 | 29.9 | 30 |
| Máximos | 31.9 | 35.9 | 32.3 | 32.5 | 36.4 | 33.0 | 35.6 | 35.7 | 36.0 | 34.2 | 32.0 | 31.4 | 36.4 |
| Mínimos | 26.6 | 26.4 | 27.9 | 28.8 | 28.8 | 28.9 | 27.6 | 28.3 | 28.5 | 28.4 | 28.9 | 28.2 | 26.4 |

Fuente IDEAM, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.114 Gráfica lineal de frecuencia para los valores de presión atmosférica registrados en la estación Apto. Pto Berrío

Fuente: Géminis Consultores S.A.S, 2015

##### Precipitación

A partir de los registros de precipitación de las estaciones Virginias y Apto. Pto. Berrío de los últimos 38 años se tiene para el área de influencia del proyecto una precipitación media de 2.600,2 mm (Ver Tabla 5‑81). Sin embargo, el comportamiento de los niveles de precipitación es de carácter bimodal a lo largo del año. En la Figura 5.115 se presenta de manera gráfica los valores medios de precipitación, en los cuales se observan dos periodos marcados de lluvias en los meses de abril-mayo y septiembre-octubre. Los periodos más secos se presentan en el mes de enero con valores mínimos de 2mm y máximos de 224mm.

Tabla 5‑81 Valores medios mensuales de precipitación a partir de registros del periodo 1975 – 2014 de la estación Apto. Pto Berrío

| Estación | Tipo de valores | Precipitación para los meses del año (mm) | | | | | | | | | | | | Valor Anual |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ene** | **Feb** | **Mar** | **Abr** | **May** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Sep** | **Oct** | **Nov** | **Dic** |
| **Virginias** | Med. | 64.2 | 115.5 | 179 | 290 | 314.1 | 251.3 | 233.5 | 262.4 | 307.3 | 288 | 209.8 | 110 | 2625.5 |
| Máx. | 290 | 377 | 366 | 452 | 562 | 470 | 460 | 474 | 485 | 550 | 404 | 259 | 562 |
| Mín. | 3 | 0 | 34 | 126 | 159 | 132 | 88 | 27 | 88 | 157 | 71 | 26 | 0 |
| **Pto Berrio APTO** | Med. | 45.1 | 87.3 | 193.8 | 300.2 | 288.5 | 231.2 | 234.3 | 256.5 | 330 | 317.4 | 193.4 | 97 | 2574.8 |
| Máx. | 158.3 | 328.5 | 477.1 | 612.5 | 638.9 | 388.8 | 506 | 561.8 | 610 | 484.3 | 383.1 | 350.4 | 638.9 |
| Mín. | 1.2 | 4 | 62.3 | 160.9 | 77.5 | 116.4 | 32.1 | 76.5 | 106.6 | 116.2 | 39.6 | 12.6 | 1.2 |
| **Precipitación media para el proyecto** | Med. | 54.7 | 101.4 | 186.4 | 295.1 | 301.3 | 241.3 | 233.9 | 259.5 | 318.7 | 302.7 | 201.6 | 103.5 | 2600.2 |
| Máx. | 224.2 | 352.8 | 421.6 | 532.3 | 600.5 | 429.4 | 483.0 | 517.9 | 547.5 | 517.2 | 393.6 | 304.7 | 600.5 |
| Mín. | 2.1 | 2.0 | 48.2 | 143.5 | 118.3 | 124.2 | 60.1 | 51.8 | 97.3 | 136.6 | 55.3 | 19.3 | 0.6 |

Fuente: IDEAM, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.115 Gráfica lineal de frecuencia media e histograma para los valores de precipitación registrados en las estaciones Apto. Pto Berrío y Virginias

Fuente: Géminis Consultores S.A.S, 2015

###### Distribución espacial de la precipitación

Con el fin de visualizar el comportamiento espacial de la precipitación y empleando los valores de lluvia obtenidos en las estaciones localizadas del área de estudio, se generaron isoyetas como se muestra en la Figura 5.116.

|  |
| --- |
| C:\Users\ambiental1\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\ISOYETAS.PNG |

Figura 5.116 Isoyetas área de desarrollo del proyecto (Ver Anexos/Información catográfica/Otros)

Fuente Géminis Consultores S.A.S 2015

Como se puede observar en la distribución espacial de la precipitación para el área de estudio, los índices de pluviosidad van desde los 2.570 mm hasta los 2.530 mm por año. Lo anterior evidencia valores relativamente homogéneos en el régimen de lluvias.

##### Humedad relativa

Para analizar la humedad relativa en el área del proyecto se tuvo en cuenta los registros de los últimos 38 años de la estación Apto. Pto. Berrío. La humedad relativa promedio para el proyecto es del 80%, lo cual es equivalente a una región húmeda. Sin embargo las variables meteorológicas reflejan que en la región las condiciones climáticas son cambiantes a lo largo del año. Para la humedad relativa se presentan los valores más altos en los periodos abril-mayo y octubre- noviembre y los más bajos en el mes de enero, lo cual está ligado al comportamiento de la precipitación previamente descrita.

Tabla 5‑82 Valores medios mensuales de humedad relativa a partir de registros del periodo 1975 – 2013 de la estación Apto. Pto Berrío

| Parámetros de Humedad relativa (%) | | Valores de Humedad Relativa en los meses del año (%) | | | | | | | | | | | | Valor Anual |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ene** | **Feb** | **Mar** | **Abr** | **May** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Sep** | **Oct** | **Nov** | **Dic** |
| Valores Totales humedad relativa (%) | Medio | 77.0 | 76.0 | 79.0 | 81.0 | 81.0 | 80.0 | 80.0 | 79.0 | 81.0 | 82.0 | 82.0 | 81.0 | 80.0 |
| Máximos | 85.0 | 85.0 | 87.0 | 86.0 | 90.0 | 84.0 | 90.0 | 91.0 | 92.0 | 92.0 | 90.0 | 87.0 | 92.0 |
| Mínimos | 68.0 | 66.0 | 73.0 | 77.0 | 76.0 | 74.0 | 70.0 | 71.0 | 74.0 | 78.0 | 78.0 | 76.0 | 66.0 |

Fuente: IDEAM, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.117 Gráfica lineal de frecuencia para los valores de humedad relativa registrados en la estación Apto. Pto Berrío.

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

##### Brillo solar

El brillo solar medio para el área del proyecto es de 186,6 horas/mes, equivalente aproximadamente a 6 horas día, determinado a partir de los registros de los últimos 38 años con la estación Apto. Pto. Berrío. (Ver Tabla 5‑83). En la Figura 5.118 se presenta la gráfica lineal del brillo solar a lo largo del año, en la cual se puede observar variaciones con un periodo de mayor disponibilidad de luz solar en el periodo de enero – Diciembre y en julio. La frecuencia en la cual se presenta el brillo solar en la región se encuentra relacionada con los periodos de precipitación y nubosidad, presentando comportamiento inversamente proporcional debido a la incidencia de la precipitación sobre el paso de los rayos de luz solar. El periodo de menor brillo solar en la zona se presenta para el mes de mayo con un valor medio de 180 horas/mes

Tabla 5‑83 Valores medios mensuales de brillo solar a partir de registros del periodo 1975 – 2013 de la estación Apto. Pto Berrío

| Parámetros de Brillo solar | | Meses del año | | | | | | | | | | | | Valor Anual |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ene** | **Feb** | **Mar** | **Abr** | **May** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Sep** | **Oct** | **Nov** | **Dic** |
| Valores Totales mensuales de brillo solar (horas) | Med. | 213.3 | 173.3 | 141.2 | 154.1 | 180.6 | 197.6 | 223.2 | 220.6 | 184.2 | 175.3 | 177.4 | 197.8 | 186.6 |
| Máx. | 268.4 | 217.3 | 187.5 | 199.8 | 222.7 | 231.4 | 249.1 | 242.6 | 222 | 208.9 | 201.7 | 261.4 | 268.4 |
| Mín. | 139.2 | 110.6 | 68.3 | 96.9 | 156.9 | 140.5 | 186.1 | 166.5 | 116.3 | 129.1 | 122.4 | 140.8 | 68.3 |

Fuente: IDEAM, 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.118 Gráfica lineal de frecuencia para los valores de brillo solar registrados en la estación Apto. Pto Berrío.

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

##### Nubosidad

La nubosidad media para el área de proyecto obtenida a partir de restros de los útimos 38 años es de 6 (Ver Tabla 5‑84). Este valor según la definición de octas descrita en Tabla 5‑85 corresponde a una fracción de 6/8 de cielo cubierto, lo cual clasifica el sector con un cielo nuboso. A lo largo del año el comportamiento de la nubosidad es medianamente variable, presentando cielos despejados principalmente en el mes de diciembre y con mayor presencia de nubes en los meses de abril, marzo, septiembre y noviembre. (Ver Figura 5.119) En la mayor parte del año se presentan registros máximos de 8 correspondiente a cielos completamente cubiertos. Los registros mínimos se presentan para los meses de enero, febrero y diciembre con un valor de 2, correspondiente a una fracción de 2/8 de cielo cubierto.

Tabla 5‑84 Valores medios mensuales de nubosidad a partir de registros del periodo 1975 – 2013 de la estación Apto. Pto Berrío

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetros de Nubosidad | | Meses del año | | | | | | | | | | | | Valor Anual |
| **Ene** | **Feb** | **Mar** | **Abr** | **May** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Sep** | **Oct** | **Nov** | **Dic** |
| Valores medios mensuales de nubosidad (octas) | Med. | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 |
| Máx. | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 8 | 7 | 8 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| Mín. | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 |

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

Tabla 5‑85 Definición de octas para categorizar el estado del tiempo

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| OCTAS | DEFINICIÓN | CATEGORÍA |
| 0 | Despejado | Buen tiempo |
| 1 | 1/8 de cielo cubierto o menos, pero no cero | Buen tiempo |
| 2 | 2/8 de cielo cubierto | Buen tiempo |
| 3 | 3/8 de cielo cubierto | Parcialmente nuboso |
| 4 | 4/8 de cielo cubierto | Parcialmente nuboso |
| 5 | 5/8 de cielo cubierto | Parcialmente nuboso |
| 6 | 6/8 de cielo cubierto | Nuboso |
| 7 | 7/8 de cielo cubierto o más, pero no 8/8 | Nuboso |
| 8 | 8/8 de cielo completamente cubierto, sin claros | Cubierto |

Fuente: (Organización Meteorológica Mundial, 2015)

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.119 Gráfica lineal de frecuencia para los valores de nubosidad registrados en la estación Apto. Pto Berrío.

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

##### Evaporación

A partir de los registros de los últimos 38 años el valor medio de evaporación para el área de proyecto es de 1525 mm, alcanzando valores máximos de 179 mm y valores mínimos de 60mm (Ver Tabla 5‑86). En la Figura 5.120 se puede observar la distribución de los valores a lo largo del año. Aunque las variaciones en el año no son significativas se presenta una tendencia similar algunos de los parámetros meteorológicos antes analizados, con valores superiores de evaporación en los periodos de diciembre - enero y julio – agosto, periodos en los cuales se presentan los registros más altos de Brillo solar y los más bajos de precipitación, humedad relativa y nubosidad.

Tabla 5‑86 Valores medios mensuales de evaporación a partir de registros del periodo 1975 – 2013 de la estación Apto. Pto Berrío

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetros de Evaporación | | Meses del año | | | | | | | | | | | | Valor Anual |
| **Ene** | **Feb** | **Mar** | **Abr** | **May** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Sep** | **Oct** | **Nov** | **Dic** |
| Valores medios mensuales de evaporación (mm) | Med. | 141.8 | 132.9 | 133 | 115.2 | 117.3 | 126.8 | 137.1 | 136.7 | 126.9 | 116 | 113 | 125.4 | 1525 |
| Máx. | 179.6 | 176.8 | 174.7 | 148.6 | 164.4 | 160.6 | 174.6 | 167.4 | 175.1 | 152.6 | 138.3 | 162.6 | 179.6 |
| Mín. | 90.7 | 87.2 | 95.4 | 66.6 | 73 | 80.5 | 85.4 | 93 | 98.1 | 60.6 | 93.4 | 80 | 60.6 |

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.120 Gráfica lineal de frecuencia para los valores de evaporación registrados en la estación Apto. Pto Berrío.

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

* Zonificación Climática

El presente aparte determinar la zonificación climática según el método de Caldas – Lang, la cual proporciona un elemento de apoyo para la interpretación y delimitación de las unidades de paisaje y del régimen hidrológico de las fuentes hídricas especialmente durante la temporada de estiaje o de verano.

* Modelo Climático de Caldas

Francisco José de Caldas establece los cambios de clima en la región andina los cuales dependen de las alturas sobre el nivel del mar y su influencia en la variación de las temperaturas, determinando así los pisos térmicos para la región Andina Tropical.

Caldas estableció una relación empírica que muestra que a una altitud de:

* 1000 m corresponde a una temperatura media de 23.8°C
* 2000 m corresponde a una temperatura media de 18.0°C
* 3000 m corresponde a una temperatura media de 12.7°C
* 4000 m corresponde a una temperatura media de 7.0°C

La Tabla 5‑87 muestra los limites expuestos por caldas para su metodología

Tabla 5‑87 Limites expuestos por Caldas

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Piso térmico | Altura (msnm) | Temperatura | Variación de altitud por condiciones locales |
| Cálido | 1. 1000 | Mayor a 24 | Límite superior ± 400 |
| Templado | 1001 - 2000 | 17,5 a 24 | Límite superior ± 500 |
| Límite inferior ± 500 |
| Frio | 2001 - 3000 | 12,0 a 17,5 | Límite superior ± 400 |
| Límite inferior ± 400 |
| Paramo Bajo | 3001 - 3700 | 7,0 a 12,0 |  |
| Paramo Alto | 3701 - 4200 | Menor a 7,0 |  |

Fuente Calificación Climática IDEAM 2015

* **Piso Térmico Cálido:** localizado entre 0 y 1.000 m, con valores superiores a 24°C y un margen de altitud en el límite superior hasta 400 m, según sea las características locales.
* **Piso Térmico Templado:** Comprende altitudes situadas entre 1.000 y 2.000 m, con temperaturas mayores o iguales a 17,5°C y con un margen de amplitud en sus límites superiores e inferior de 500 m.
* **Piso Térmico Frio:** se localiza entre 2.000 y 3.000 m de altitud, con temperaturas no inferiores a 12°C y un margen en sus límites altitudinales superior e inferior de 400 m.
* **Piso Térmico Paramuno:** corresponde a las áreas situadas sobre los 3.000 m de altitud y bajo el límite de las nieves perpetuas. Con el propósito de detallar más las condiciones climáticas se subdivide en dos zonas de paramo: **Paramo Bajo**, de mayor temperatura, con altitud que oscila entre 3.200 y 3.700 m y que se caracteriza por estar en el intervalo de los 7 a los 12°C. **Paramo Alto**, de los 3.700 m a los 4.200, aproximadamente. (Instituto Colombiano de Hidrologia, 1991)
* Modelo Climático de Lang

Richard Lang estableció una clasificación climática basada en la relación obtenida al dividir la precipitación anual (P, en mm) por la temperatura media anual (T, en °C). Este cociente se llama también Índice de efectividad de la precipitación o factor de lluvia de Lang, el cual se describe en la Tabla 5‑88. (Castañeda Triana, 2011)

Tabla 5‑88 Clasificación según el índice de (P/T) Expuesto por Lang

|  |  |
| --- | --- |
| Coeficiente P/T | Clase de clima |
| 0 – 20,0 | Desértico |
| 20,1 – 40,0 | Árido |
| 40,1 – 60,0 | Semiárido |
| 60,1 – 100.0 | Semihúmedo |
| 100.1 – 160.0 | Húmedo |
| Mayor a 160,0 | Súper húmedo |

Fuente Clasificación Climática metodología Lang

* Modelo Climático Caldas - Lang

Con el fin de relacionar las dos metodologías expuestas anteriormente, Schaufelberger

(1962) propuso su unificación e implemento el sistema de clasificación CALDAS-LANG que por lo mismo, utiliza la variación altitudinal de la temperatura, que indica los pisos térmicos y la efectividad de la precipitación que muestra la humedad, estableciendo la siguiente clasificación: (Ministerio de Ambiente, 2013)

Tabla 5‑89 Tipos climáticos modelo Caldas – Lang

| No | Tipo Dinámico | Símbolo |
| --- | --- | --- |
| 1 | Cálido súper húmedo | CSH |
| 2 | Cálido húmedo | CH |
| 3 | Cálido semi húmedo | Csh |
| 4 | Cálido semiárido | Csa |
| 5 | Cálido árido | CA |
| 6 | Cálido desértico | CD |
| 7 | Templado súper húmedo | TSH |
| 8 | Templado húmedo | TH |
| 9 | Templado semihumedo | Tsh |
| 10 | Templado semiárido | Tsa |
| 11 | Templado árido | TA |
| 12 | Templado desértico | TD |
| 13 | Frio súper húmedo | FSH |
| 14 | Frio húmedo | FH |
| 15 | Frio semihumedo | Fsh |
| 16 | Frio semiárido | Fsa |
| 17 | Frio Árido | FA |
| 18 | Frio Desértico | FD |
| 19 | Paramo Bajo súper húmedo | PBSH |
| 20 | Paramo bajo húmedo | PBH |
| 21 | Páramo bajo semihúmedo | PBsh |
| 22 | Paramo Bajo Semiarido | Pbsa |
| 23 | Paramo alto súper húmedo | PASH |
| 24 | Paramo alto húmedo | PBH |
| 25 | Nieves perpetuas | NP |

Fuente Metodología de Zonificación Ambiental de Cuencas Hidrográficas

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Teniendo en cuenta la anterior metodología, se realiza la clasificación climática según la metodología Caldas Lang para el área de estudio como se muestra en la Tabla 5‑90.

Tabla 5‑90 Clasificación Climática- Modelo de Caldas - Lang – Estaciones meteorológicas del área de estudio.

| Estación | Altura (msnm) | Clasificación Caldas | Temperatura (°C) | Precipitación (mm) | Relación P/T | Clasificación Lang | Clasificación Caldas Lang | Símbolo |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Apto Otú** | 718 | Cálido | 24,9 | 2731,4 | 109,69 | Húmedo | Cálido Húmedo | CH |
| **Apto Pto Berrio** | 150 | Cálido | 28,4 | 2574,8 | 90,66 | Semi-húmedo | Cálido semi-húmedo | Csh |

Fuente Géminis Consultores S.A.S, 2015

Teniendo en cuenta los resultados obtenido en la Tabla 5‑90 se puede afirmar que para el área de desarrollo del proyecto “Construcción de la Variante Puerto Berrio en los departamentos de Antioquia- Cimitarra” se cuenta con climas Cálidos semi-humedos (Csh) y Cálidos húmedos (CH), presentaran mayor presencia de precipitación durante el desarrollo del proyecto, teniendo una temporada de lluvias desde el mes de marzo al mes de noviembre y mayor temperatura al encontrarse a alturas menores de 800 m.s.n.m

* Balance hídrico, recarga

El estudio hidrológico comprende principalmente un balance hídrico, el cual se realizó para estimar la recarga de agua subterránea en la zona de estudio. Para esto se utilizaron los datos de estaciones más cercanas a la zona que se presentan en la Tabla 5‑91:

Tabla 5‑91 Estaciones utilizadas en el estudio

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Código | Estación | Tipo de Estación | Depto. | Elevación (msnm) | Variables analizadas | Periodo Registro |
|
| 230970 | Puerto Berrio | Linmigráfica | Antioquia | 111 | Niveles y Caudales medios, máximos y mínimos mensuales | 1972 - 2014 |
| 230950 | Apto. Puerto Berrio | Climatológica | Antioquia | 150 | Temperatura | 1975 - 2013 |
| 230900 | Virginias | Pluviométrica | Antioquia | 639 | Precipitación | 1976 - 2014 |

Fuente Eco Gerencia, 2015

La zona de estudio como se ha mencionado antes, pertenece a la cuenca del valle medio del Magdalena, con una altura media de 111msnm, una temperatura promedio de 28oC y una precipitación media anual de 2625 mm/año. (Ver Figura 5.121)

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.121 Series de precipitación mensual multianual y temperatura

Fuente Eco Gerencia, 2015

De acuerdo a las series estudiadas (ver Figura 5.121), el régimen hidrológico de la zona de estudio presenta un comportamiento unimodal, aunque tiene dos picos de precipitación al año (meses de abril-mayo y septiembre-octubre), podría decirse que tiene un solo periodo lluvioso extendido en los meses de abril a octubre y dos periodos secos, siendo el primero los meses de enero y febrero y el segundo el mes de diciembre. La precipitación máxima puede llegar a ser de 3330 mm/año y el valor mínimo en un año niño puede ser de 1700mm/año.

Se realizó el balance hídrico mensual con el método de Thorntwaite, el cual calcula la evapotranspiración potencial y deduce la escorrentía total, de donde se estima el valor de recarga anual en la zona de estudio. La ecuación para calcular la evapotranspiración potencial ETP es la siguiente:

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial (mm)

T: Temperatura media (oC)

I: Índice Calórico dado por la ecuación

a: exponente dado en función de I, dado por la ecuación:

Tabla 5‑92 Balance Hídrico Mensual - Puerto Berrio

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| VARIABLE | Año promedio - Puerto Berrio | | | | | | | | | | | |
| **ENERO** | **FEBRERO** | **MARZO** | **ABRIL** | **MAYO** | **JUNIO** | **JULIO** | **AGOSTO** | **SEPTIEMBRE** | **OCTUBRE** | **NOVIEMBRE** | **DICIEMBRE** |
| **T (Temperatura)** | 28.8 | 28.9 | 28.7 | 28.5 | 28.5 | 28.6 | 28.6 | 28.6 | 28.1 | 27.8 | 27.9 | 28.2 |
| i índice de calor mensual | 14.17 | 14.24 | 14.09 | 13.94 | 13.94 | 14.02 | 14.02 | 14.02 | 13.65 | 13.43 | 13.50 | 13.72 |
| ET Evapotranspiración Potencial (mm) | 183.71 | 186.57 | 180.87 | 175.31 | 175.31 | 178.08 | 178.08 | 178.08 | 164.59 | 156.88 | 159.42 | 167.22 |
| f obtenido de interpolación de tablas | 1.028 | 0.934 | 1.034 | 1.016 | 1.052 | 1.022 | 1.052 | 1.046 | 1.01 | 1.034 | 0.998 | 1.028 |
| ETP=ET\*f (ET Corregido mm) | 188.85 | 174.26 | 187.02 | 178.12 | 184.43 | 181.99 | 187.34 | 186.27 | 166.23 | 162.22 | 159.10 | 171.90 |
| **P Precipitación (mm)** | **64.2** | **115.5** | **179** | **290** | **314.1** | **251.3** | **233.5** | **262.4** | **307.3** | **288.3** | **209.8** | **110.1** |
| P-ETP (mm) | -124.65 | -58.76 | -8.02 | 111.88 | 129.67 | 69.31 | 46.16 | 76.13 | 141.07 | 126.08 | 50.70 | -61.80 |
| R Reserva del suelo (mm) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 38.20 |
| VR (Ri-RI-1) Variación de la reserva (mm) | -38.20 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -61.80 |
| **ETR Evapotranspiración Real (mm)** | **102.40** | **115.50** | **179.00** | **178.12** | **184.43** | **181.99** | **187.34** | **186.27** | **166.23** | **162.22** | **159.10** | **171.90** |
| Fi=ETPi-ETRi Falta de agua | 86.45 | 58.76 | 8.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| EX Exceso de Agua | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.88 | 129.67 | 69.31 | 46.16 | 76.13 | 141.07 | 126.08 | 50.70 | 0.00 |
| **Escorrentía Total (mm)** | **20.71** | **10.36** | **5.18** | **5.94** | **67.81** | **68.56** | **57.36** | **66.75** | **103.91** | **114.99** | **82.85** | **41.42** |
| **Escorrentía Subsuperficial (mm)** | **16.57** | **8.28** | **4.14** | **4.75** | **54.25** | **54.84** | **45.89** | **53.40** | **83.13** | **92.00** | **66.28** | **33.14** |

Fuente Eco Gerencia

|  |
| --- |
| **PERIODO SECO** |
| **PERIODO HUMEDO** |

En la Figura 5.109se presenta el balance hídrico mensual, realizado por el método de Thornwaite. Una vez realizado el balance a nivel mensual se totalizo el año promedio para obtener el balance hídrico anual de la zona de estudio. Esto debido a que el modelo hidrogeológico se correrá solo en estacionario.

Teniendo en cuenta que la cobertura de suelo en la zona de estudio son pastos y a la poca pendiente del terreno, se asumió que un 80% de la escorrentía total se infiltra en el acuífero. Por lo tanto, la recarga anual para la zona de estudio es de 516mm. Esto quiere decir que aproximadamente un 20% de la precipitación se infiltra, dato que es coherente con estudios anteriores realizado en la zona (UNAL, 2012).

##### Vientos

###### Dirección y Velocidad del Viento

En la Figura 5.122 se puede observar la velocidad promedio del viento diaria en la estación instalada durante el periodo de monitoreo.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.122 Velocidad del viento promedio diaria

Fuente Datos estación meteorológica Finca La Estela. K2 Ingeniería S.A.S 5 – 23 de septiembre de 2015.

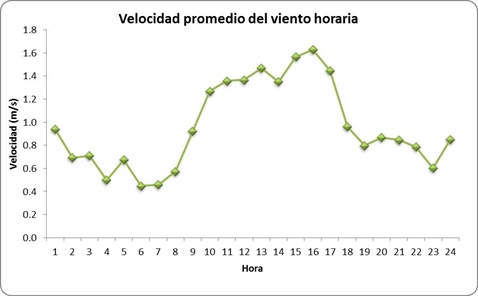


Figura 5.123 Velocidad del viento promedio horaria

Fuente Autor, Datos estación meteorológica Finca La Estela. K2 Ingeniería S.A.S 5 – 23 de septiembre de 2015.

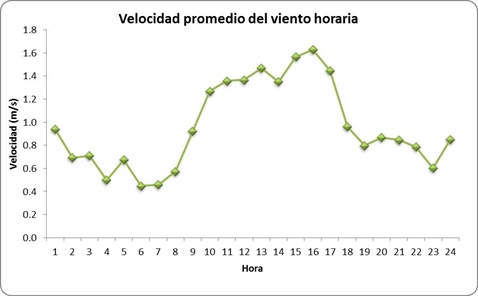
En la 

Figura 5.123 se puede observar el comportamiento de la velocidad promedio del viento para las diferentes horas del día. Se observa que las mayores velocidades se presentan en las horas de la tarde entres las 16 p.m. y 18 p.m.

|  |
| --- |
| C:\Users\INSPIRON 1545\Desktop\Sin título.jpg |

Figura 5.124 Velocidad promedio del viento

Fuente Autor, Datos estación meteorológica Finca La Estela. K2 Ingeniería S.A.S 5 – 23 de septiembre de 2015.

###### Rosa de Vientos

De acuerdo a la información presentada por la rosa de vientos en la Figura 5.125 de la zona evaluada, se deduce lo siguiente: Durante el monitoreo el 99% de los datos promedio presentaron magnitudes de la velocidad del viento inferiores a 3.4 m/s y el 1% restante corresponde a velocidades entre 3.4 y 5.5 m/s. Para la estación meteorológica ubicada en finca La Estela se evidencia que durante el monitoreo existe una predominancia de los vientos provenientes de la dirección Este Noreste (ENE) en un 18% y en segunda instancia en las direcciones Noreste (NE) en un 16% cada una y Norte Noreste (NNE) en un 14% de los datos.

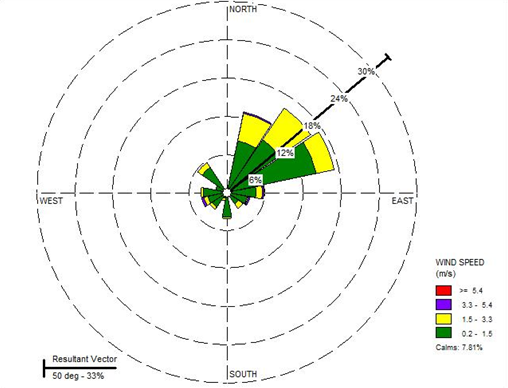


Figura 5.125 Rosa de Vientos- Estación meteorológica la Estela

Fuente Autor, datos meteorológicos procesados en software WRPLOT View – Freeware V:6.7.165 – Lakes Environmental

###### Frecuencia

Teniendo en cuenta la clasificación según la escala de Beaufort presentada en la Tabla 5‑93y la Figura 5.126 obtenida durante el periodo de monitoreo, el 15.6% de los vientos corresponden a vientos calmas, el 65% de los vientos son de tipo ventolina, el 18.3% corresponden a brisas suaves y el 1% restante corresponde a brisas leves (Figura 5.126).

Tabla 5‑93 Escala de velocidad del viento - Beaufort

| Denominación | Velocidad del viento (m/s) | |
| --- | --- | --- |
|
|  |
| Calma | 0.0 | – 0.2 |
| Ventolina | 0.3 | – 1.5 |
| Brisa suave | 1.6 | – 3.3 |
| Brisa leve | 3.4 | – 5.4 |
| Brisa moderada | 5.5 | – 7.9 |
| Brisa fresca | 8.0 – 10.8 | |
| Brisa fuerte | 10.9 | – 13.8 |
| Viento fuerte | 13.9 | – 16.9 |
| Viento duro | 17.0 | – 20.5 |
| Muy duro | 20.6 | – 24.1 |
| Temporal | 24.2 | – 28.3 |
| Borrasca | 28.4 | – 32.6 |
| Huracán | 32.7 | |

Fuente: Universidad de Buenos Aires, Departamento de Geografía. La observación meteorológica

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.126 Distribución de frecuencia por clase de vientos

Fuente datos meteorológicos procesados en software WRPLOT View – Freeware V:6.7.165 – Lakes Environmental – 5 al 9 de septiembre de 2015

#### Fuentes de emisiones

Conforme a los términos de referencia M-M-INA-02 del MAVDS a continuación se identifican y describen las fuentes de emisiones atmosféricas existentes en la zona: fijas, móviles y de área en el área de influencia del proyecto (Ver Figura 5.127).

|  |
| --- |
| FUENTES DE EMISIONES |

Figura 5.127 Fuentes de emisiones identificadas en el AI

Fuente Géminis Consultores S.A.S.

##### Fuentes fijas

A partir de recorrido de campo sobre el eje en el cual se construirá la Variante Puerto Berrio se pudo identificar que el área se caracteriza por su baja densidad poblacional y tenencia de la tierra de tipo latifundio, donde los residentes de los predios realizan ciertas actividades que son fuentes de emisión de gases y/o material particulado. Prácticas como la incineración artesanal de los residuos sólidos, equipos de bombeo de agua (sistemas de captación), sistemas sépticos para el tratamiento de las ARD, quemas para renovación de pastos y/o propiamente la ganadería.

A continuación, se describen las fuentes fijas encontradas en el área de influencia del proyecto.

* Manejo de residuos solidos

El servicio de recolección de residuos por la empresa de aseo beneficia el 100% de la población del casco urbano de puerto Berrio y cimitarra. Debido a que en el área de influencia del proyecto se encuentra en zona rural y los municipios de Cimitarra y Puerto Berrio no cuentan con cobertura total en las zonas rurales, el manejo de residuos sólidos se realiza mediante acopio temporal al aire libre, en algunos casos al llegar a un volumen considerable se queman o se entierran.

Los residuos orgánicos en algunos casos llegan a ser utilizados como abono en las fincas para los cultivos de pan coger.

* Equipos de bombeo

Considerando que en la mayoría de los predios no cuentan con sistema de acueducto se abastecen del recurso hídrico de la zona mediante captaciones en cuerpos loticos cercanos a las viviendas, pozos y flujos de agua sub superficial, por medio del uso de equipos de bombeo para la extracción y conducción de éste recurso, hasta los sistemas de almacenamiento o tanques de distribución a las distintas instalaciones del predio, para su posterior aprovechamiento; se identifican estos sistemas de uso común en los predios, en el que su mayoría operan por combustión interna, siendo este foco de emisión de gases y material particulado a la atmosfera, aunque no genera un impacto significativo debido a la baja demografía del área y su frecuencia de uso, ya que no supera 2 horas/dia.

* Sistemas sépticos

En relación con las fuentes contaminantes de cuerpos de agua, el empleo de pozo séptico como sistema de tratamiento es de frecuente uso por parte de la población que se encuentra en el área de influencia del proyecto-. Estos pozos se convierten en un foco de contaminación atmosférica, generando gases como H2S, CH4, CO2, N2, H2, producto de la degradación de la materia orgánica . De igual forma, se pueden encontrar predion en el área rural de cada municipio los cuales realizan vertimiento a campo abierto no solo generando una contaminación al aire por la generación de gases, sino también al suelo.

##### Fuentes de Área

* Actividad Pecuaria

El área de influencia del proyecto se caracterizada por el uso de los terrenos para actividades ganaderas como principal actividad económica a gran escala. La actividad ganadera en la zona se centra en cría y levante de doble propósito

La actividad pecuaria aporta de gases de efecto de invernadero, siendo responsable del 65% del NOx (296 veces mayor potencial de Calentamiento Global que el CO2) antropogénico, el cual se produce en su mayoría del estiércol, y también es el responsable del 37% de todo el CH4 (23 veces más perjudicial que el CO2) antropogénico, que se origina en su mayor parte en el sistema digestivo de los rumiantes.

En el área de influencia del proyecto, la ganadería es de tipo extensivo tradicional, debido a que los predios del área son de grandes extensiones y en algunos predios se aplican tecnologías en la explotación ganadera.

##### Fuentes Móviles

Respecto a las fuentes de emisión móviles a lo largo del trazado del proyecto no interviene vías primarias secundarias en las cuales se presenten emisiones por vehículos pesados. En el área de influencia se presentan vías de carácter terciario en las que el flujo vehicular es limitado, adicionalmente, sobre el Río magdalena se realizan actividades de transporte fluvial con lanchas de motor. (Ver Figura 5.128)

|  |
| --- |
| C:\2015\OHL\7. REGISTRO FOTOGRÁFICO\Reconocimiento Pto Berrío\DSCN3214.JPG |

Figura 5.128 Vía terciara presente en el área de influencia del proyecto

Fuente: Géminis Consultores S.A.S.

En su punto inicial y final el trazado se conecta con la Ruta Nacional 62, en la cual se presenta una significativa afluencia de vehículos pesados que representan la única fuente de emisiones móviles del proyecto. (Ver Figura 5.129)

|  |
| --- |
| C:\2015\OHL\7. REGISTRO FOTOGRÁFICO\Reconocimiento Pto Berrío\DSCN3573.JPG |

Figura 5.129 Fuentes móviles en la abscisa K 0+000; Punto de conexión de la variante Puerto Berrío con la Ruta Nacional 62

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

En el sector en el cual se presentan las emisiones móviles del proyecto no existen áreas de tejido urbano o viviendas aisladas, por lo cual se considera que no existen receptores directos de estas emisiones. (Ver Figura 5.130)

|  |
| --- |
| C:\2015\OHL\7. REGISTRO FOTOGRÁFICO\Reconocimiento Pto Berrío\DSCN3365.JPG |

Figura 5.130 Fuentes móviles y ausencia de receptores en la abscisa K 14+500. Punto de conexión con la Ruta Nacional 62.

Fuente: Géminis Consultores S.A.S., 2015

Debido a la intensidad de las actividades que representan las emisiones móviles (baja) y a las condiciones atmosféricas que facilitan la dispersión de las mismas, se considera que en el área de influencia del proyecto no se presentan fuentes de emisiones representativas.

#### Calidad de Aire

Una vez tomadas las muestras de campo, analizadas en el laboratorio y posteriormente aprobadas por el Supervisor de Calidad, se determina si las muestras cumplen con todos los requerimientos para ser validadas y tenidas en cuenta en el tratamiento estadístico. Los resultados de PM10 fueron obtenidos a partir de equipos de alto volumen para Material Particulado (Hi-Vol) y los resultados de NO2 y SO2 fueron obtenidos a partir de equipos RAC tres gases. El estudio se realizó entre el 5 y 23 de septiembre de 2015. Todos los resultados de concentración presentados se encuentran a Condiciones de Referencia de 25°C y 760 mmHg.

En el Anexo 1 del numeral 5.10 del presente capitulo se pueden observar todas las variables obtenidas en el monitoreo para las estaciones y por medio de las cuales se calculan las concentraciones presentadas de los contaminantes monitoreados. La descripción de los contaminantes monitoreados se detalla en la Sección 6.1 del presente informe.

Los monitoreos de calidad del aire se realizaron mediante la ubicación de cuatro estaciones en la zona de influencia del proyecto por un periodo de 18 días continuos. A continuación se presenta un resumen de las concentraciones obtenidas para cada uno de los contaminantes evaluados.

##### Resultados

###### Material Particulado PM10

En la Tabla 5‑94 se presenta el consolidado de los resultados para PM10 obtenidos en cada una de las estaciones durante el periodo de monitoreo:

Tabla 5‑94 Consolidado resultados PM10 en las estaciones evaluadas

| Fecha | Estación 8 Babilonia (µg/m3) | Estación 9 La Estela (µg/m3) | Estación 10 Torcoroma (µg/m3) | Estación 11 El Delirio (µg/m3) | Norma diaria (µg/m ) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 5/09/2015 | 8.9 | 8.5 | 13.9 | 20.8 | 100 |
| 6/09/2015 | 18.6 | 16.8 | 17.0 | 13.0 | 100 |
| 7/09/2015 | 8.7 | 11.8 | 15.9 | 11.8 | 100 |
| 8/09/2015 | 11.3 | 7.4 | 8.4 | 10.0 | 100 |
| 9/09/2015 | 7.8 | 8.3 | 10.6 | 8.0 | 100 |
| 10/09/2015 | 6.1 | 6.9 | 16.4 | 7.3 | 100 |
| 11/09/2015 | 8.1 | 9.2 | 10.0 | 6.0 | 100 |
| 12/09/2015 | 13.0 | 14.7 | 10.4 | 13.9 | 100 |
| 13/09/2015 | 14.6 | 13.4 | 10.5 | 15.2 | 100 |
| 14/09/2015 | 10.0 | 10.5 | 8.3 | 10.5 | 100 |
| 15/09/2015 | 6.8 | 19.0 | 3.9 | 8.5 | 100 |
| 16/09/2015 | 6.8 | 10.8 | 6.0 | 9.3 | 100 |
| 17/09/2015 | 8.3 | 9.6 | 5.6 | 7.0 | 100 |
| 18/09/2015 | 11.2 | 10.3 | 7.6 | 5.4 | 100 |
| 19/09/2015 | 10.4 | 13.5 | 15.0 | 9.6 | 100 |
| 20/09/2015 | 12.1 | 13.5 | 11.6 | 8.8 | 100 |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S., 2015

| Fecha | Estación 8 Babilonia (µg/m3) | Estación 9 La Estela (µg/m3) | Estación 10 Torcoroma (µg/m3) | Estación 11 El Delirio (µg/m3) | Norma diaria (µg/m ) 3 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 21/09/2015 | 15.7 | 16.1 | 11.8 | 14.9 | 100 |
| 22/09/2015 | 13.0 | 13.3 | 17.9 | 15.1 | 100 |
| **Promedio\*** | 10.6 | 11.9 | 11.2 | 10.8 | **-** |

\*Promedio Aritmetico

Fuente: Autor, Resultados de PM10 monitoreo de calidad del aire. K2 Ingeniería S.A.S. 5 al 23 de septiembre de 2015

En la Figura 5.131 se grafican los resultados diarios de las mediciones de PM10 obtenidos en los días de medición para las estaciones evaluadas. La mayor concentración para la estación 8 Babilonia se presentó en el día 6 de septiembre de 2015 con un valor de 18.6 μg/m3; para la estación 9 La Estela se presentó el día 15 de septiembre de 2015 reportando un valor de 19.0 μg/m3; Para la estación 10 Torcoroma, la mayor concentración se obtuvo el día 22 de septiembre de 2015 con un valor de 17.9 μg/m3; y por último, para la estación 11 El Delirio, la máxima concentración se obtuvo en el día 5 de septiembre de 2015 con un valor de 20.8 μg/m3. Ninguno de estos valores supera la norma diaria para PM10 de 100 μg/m3 dado por la Resolución 610 de 2010 del antiguo MAVDT.

Los tiempos de medición para PM10, en las muestras válidas de las estaciones de calidad del aire oscilaron de 23 a 24 horas respectivamente, cumpliendo con el tiempo mínimo requerido para las mediciones.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.131 Resultados de PM10 vs norma diaria

Fuente K2 Ingeniería S.A.S. 5 al 23 de septiembre de 2015

* Comparación Indicativa con la Norma Anual de PM10

Con base a los lineamientos establecidos por la Resolución 610/2010, el cual establece un nivel máximo permisible de exposición anual para PM10 de 50 µg/m³; las concentraciones promedio obtenidas por las estaciones de monitoreo durante la campaña, se comparan solo de forma indicativa, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo de un año indicando el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma. Lo anterior, se presenta en la

Tabla 5‑95 Consolidado resultados PM10 en las estaciones evaluadas

| Estación | Promedio PM10 (μg/m3) | Norma anual (μg/m3) | Porcentaje de Aumento/Reducción |
| --- | --- | --- | --- |
| Estación 8 Babilonia | 10.6 | 50 | 21% |
| Estación 9 La Estela | 11.9 | 50 | 24% |
| Estación 10 Torcoroma | 11.2 | 50 | 22% |
| Estación 11 El Delirio | 10.8 | 50 | 22% |

Fuente: Autor, Resultados promedios de PM10 monitoreo de calidad del aire. K2 Ingeniería S.A.S. 5 al 23 de septiembre de 2015

Así mismo la Figura 5.132 presenta los valores promedios del consolidado de datos obtenidos y al comparar con la norma anual de 50 g/m3 se presentan valores bajos, lo que indica que en estas estaciones es altamente probable encontrar concentraciones anuales que cumplan con la normatividad anual.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.132 Concentraciones promedio PM10 vs norma anual

Fuente K2 Ingeniería S.A.S. 5 al 23 de septiembre de 2015

* Consistencia de los datos PM10

A continuación se describe de forma gráfica y numérica, la distribución estadística de los niveles de inmisión de PM10 reportados por las estaciones de calidad del aire teniendo en cuenta lo recomendado en el manual de operación del protocolo de calidad de aire capítulo 7, pág. 112, referente a elaborar diagramas de caja por contaminante para evaluar la consistencia de los datos, el cual permite obtener una visión global de la variabilidad de la información registrada, dicha variabilidad puede ser atribuida no solo a la naturaleza de las fuentes, sino también a los cambios que a diario se producen en las condiciones meteorológicas como en las actividades propias de la zona y operación de zonas industriales.

Tabla 5‑96 Parámetros estadísticos estaciones de Calidad del Aire evaluadas para PM10

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Parámetro | Estación 8 Babilonia | Estación 9 La Estela | Estación 10 Torcoroma | Estación 11 El Delirio |
| Numero de datos (n) | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Promedio aritmético (X) | 10.6 | 11.9 | 11.2 | 10.8 |
| Valor más alto registrado (µg/m3) | 18.6 | 19.0 | 17.9 | 20.8 |
| Valor más bajo registrado (µg/m3) | 6.1 | 6.9 | 3.9 | 5.4 |
| Desviación estándar (S) | 3.4 | 3.4 | 4.2 | 4.0 |
| Parámetro de Distribución T | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 2.1 |
| Intervalo de confianza media (95%) μ1 | 8.9 | 10.2 | 9.1 | 8.9 |
| Intervalo de confianza media (95%) μ2 | 12.3 | 13.6 | 13.2 | 12.8 |
| Mediana | 10.2 | 11.3 | 10.6 | 9.8 |
| Percentil 25 | 8.2 | 9.3 | 8.3 | 8.1 |
| Percentil 75 | 12.8 | 13.5 | 14.7 | 13.7 |
| # muestras > Norma anual | 0 | 0 | 0 | 0 |
| % muestras > Norma anual | 0% | 0% | 0% | 0% |
| # muestras > Norma diaria | 0 | 0 | 0 | 0 |
| % muestras > Norma diaria | 0% | 0% | 0% | 0% |

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S. 5 al 23 de septiembre de 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.133 Diagrama de cajas de contaminantes evaluados – PM10

Fuente K2 Ingeniería S.A.S procesados en software grapher 12

Durante el estudio, teniendo en cuenta la información presentada en la Tabla 5‑96 y Figura 5.133, en general, las estaciones de mayor dispersión en su orden son Torcoroma, El Delirio, Babilonia y La Estela. No se presentaron valores atípicos ni valores por encima de los estándares máximos permisibles para PM10.

###### Resultado Dióxido de Nitrógeno (NO2)

Las muestras de NO2 para cada una de las estaciones fueron recolectadas mediante equipos Rac 3 gases y cuentan con los criterios de aceptación de calidad establecidos por el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire desarrollado por el MADS, el cual establece un tiempo 23 horas mínimas de monitoreo.

En la tabla siguiente se presentan los resultados de NO2 obtenidos en cada estación durante el periodo de monitoreo. El 100% de los datos los valores de concentración reportados en las diferentes estaciones no superan el límite máximo detectable del método de análisis empleado en el laboratorio (LDM NO2 = 0.03 µg/10 ml de Solución). Para efectos de cálculo y estimar una concentración máxima aproximada, se tomó el valor del límite de detección del método para todos los datos reportados por el laboratorio como <LDM para determinar la concentración máxima que se podría presentar (ver Anexo 5/Numeral 5.10).

Tabla 5‑97 Consolidado Resultados de NO2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Fecha | Estación 8 Babilonia (µg/m3) | Estación 9 La Estela (µg/m3) | Estación 10 Torcoroma (µg/m3) | Estación 11 El Delirio (µg/m3) | Norma diaria (µg/m3) |
| 5/09/2015 | <6.6\* | <6.6\* | <6.2\* | <6.7\* | 150 |
| 6/09/2015 | <6.7\* | <6.6\* | <6.4\* | <6.7\* | 150 |
| 7/09/2015 | <6.3\* | <6.6\* | <6.4\* | <6.4\* | 150 |
| 8/09/2015 | <6.3\* | <6.2\* | <6.3\* | <6.5\* | 150 |
| 9/09/2015 | <6.6\* | <6.5\* | <5.9\* | <6.4\* | 150 |
| 10/09/2015 | <6.6\* | <6.5\* | <6.3\* | <6.5\* | 150 |
| 11/09/2015 | <6.2\* | <6.2\* | <6.3\* | <6.6\* | 150 |
| 12/09/2015 | <6.5\* | <6.4\* | <6.3\* | <6.4\* | 150 |
| 13/09/2015 | <6.3\* | <6.4\* | <6.4\* | <6.4\* | 150 |
| 14/09/2015 | <6\* | <6.4\* | <6.5\* | <6.4\* | 150 |
| 15/09/2015 | <6.4\* | <6.5\* | <6.2\* | <6.3\* | 150 |
| 16/09/2015 | <6.4\* | <6.4\* | <6.6\* | <6.6\* | 150 |
| 17/09/2015 | <6.6\* | <6.4\* | <6.5\* | <6.8\* | 150 |
| 18/09/2015 | <6.5\* | <6.4\* | <6.6\* | <6.4\* | 150 |
| 19/09/2015 | <6.5\* | <6.6\* | <6.3\* | <6.2\* | 150 |
| 20/09/2015 | <6.3\* | <6.3\* | <6.5\* | <6.3\* | 150 |
| 21/09/2015 | <6.5\* | <6.6\* | <6.4\* | <6.7\* | 150 |
| 22/09/2015 | <6.4\* | <6.1\* | <6.4\* | <6.3\* | 150 |
| **Promedio** | <6.4\* | <6.4\* | <6.4\* | <6.5\* | **-** |

Fuente K2 Ingeniería S.A.S. 5 al 23 de septiembre de 2015.

\*Concentración estimada: Valores calculados con el LDM, concentración menor al límite de detección del método. LDM NO2 = 0.030 µg/ml de Solución.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.134 Resultados de NO2 vs norma diaria

Fuente Autor, Concentración estimada: Valores calculados con el LDM, concentración menor al límite de detección del método. LDM NO2 = 0.030 µg/ml de Solución

La figura anterior muestra las concentraciones diarias de NO2 para las estaciones evaluadas, en ella se compara las concentraciones con la norma diaria respectiva. Ninguno de estos valores supera la norma diaria para NO2 de 150 μg/m3 dado por la Resolución 610 de 2010 del antiguo MAVDT.

###### Resultados Dióxido de Azufre (SO2)

Al igual que para NO2, l muestras para cada una de las estaciones fueron recolectadas mediante equipos Rac 3 gases y cuentan con los criterios de aceptación de calidad establecidos por el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire desarrollado por el MADS, el cual establece un tiempo 23 horas mínima de monitoreo.

En la tabla siguiente se presentan los resultados de SO2 obtenidos en cada estación durante el periodo de monitoreo. El 100% de los datos los valores de concentración reportados en las diferentes estaciones no superan el límite máximo detectable del método de análisis empleado en el laboratorio (LDM SO2 = 0.77 µg/10 ml de Solución). Para efectos de cálculo y estimar una concentración máxima aproximada, se tomó el valor del límite de detección del método para todos los datos reportados por el laboratorio como <LDM para determinar la concentración máxima que se podría presentar (ver Anexo 5/numeral 5.10).

Tabla 5‑98 Consolidado Resultados de SO2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Fecha | Estación 8 Babilonia (µg/m3) | Estación 9 La Estela (µg/m3) | Estación 10 Torcoroma (µg/m3) | Estación 11 El Delirio (µg/m3) | Norma diaria (µg/m3) |
| 5/09/2015 | <14.2\* | <14.1\* | <13.4\* | <13.7\* | 250 |
| 6/09/2015 | <14.1\* | <13.9\* | <13.6\* | <14.2\* | 250 |
|  |
| 7/09/2015 | <13.6\* | <13.8\* | <13.6\* | <13.3\* | 250 |
| 8/09/2015 | <13\* | <13.2\* | <13.4\* | <13.7\* | 250 |
| 9/09/2015 | <14.1\* | <13.7\* | <13.3\* | <13.8\* | 250 |
| 10/09/2015 | <13.5\* | <13.7\* | <13.2\* | <13.6\* | 250 |
| 11/09/2015 | <12.2\* | <12.7\* | <13.2\* | <13.7\* | 250 |
| 12/09/2015 | <13.1\* | <13.5\* | <13.4\* | <13.5\* | 250 |
| 13/09/2015 | <11.8\* | <13.5\* | <13.5\* | <13.6\* | 250 |
| 14/09/2015 | <12.7\* | <13.4\* | <13.5\* | <13\* | 250 |
| 15/09/2015 | <12.9\* | <13.6\* | <13.3\* | <13.2\* | 250 |
| 16/09/2015 | <13.8\* | <13.5\* | <13.9\* | <14.2\* | 250 |
| 17/09/2015 | <14\* | <13.5\* | <13.5\* | <13.9\* | 250 |
| 18/09/2015 | <13.8\* | <13.5\* | <13.9\* | <13.1\* | 250 |
| 19/09/2015 | <13.1\* | <13.8\* | <13\* | <13.2\* | 250 |
| 20/09/2015 | <13.6\* | <13\* | <13.7\* | <13.5\* | 250 |
| 21/09/2015 | <14.2\* | <13.9\* | <13.5\* | <13.7\* | 250 |
| 22/09/2015 | <13.6\* | <12.5\* | <13\* | <13.4\* | 250 |
| **Promedio** | <13.4\* | <13.5\* | <13.4\* | <13.6\* | **-** |

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S. 5 al 23 de septiembre de 2015. \*Concentración estimada: Valores calculados con el LDM, concentración menor al límite de detección del método. LDM SO2 = 0.77 µg/10ml de Solución

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.135 Resultados de SO2 vs norma diaria

Fuente Autor, Concentración estimada: Valores calculados con el LDM, concentración menor al límite de detección del método. LDM SO2 = 0.77 µg/10ml de Solución

###### Índice de calidad del Aire (ICA)

Para cada una de las estaciones en las que se realizaron las mediciones de PM10 se evaluó el indicador índice de calidad del aire durante los periodos de monitoreo según el Numeral 7.6.7. del Protocolo de Calidad del Aire (Manual de Operación) de la Resolución 2154 de 2010, donde se referencia la determinación del Índice de Calidad del Aire (ICA), el cual permite comparar los niveles de contaminación de calidad del aire, de las estaciones que pertenecen a un SVCA. Es un indicador de la calidad del aire diaria. El ICA corresponde a una escala numérica a la cual se le asigna un color, el cual a su vez tiene una relación con los efectos a la salud como se aprecia la Tabla 5‑99.

Tabla 5‑99 Convenciones índice de Calidad del Aire

| ICA | CLASIFICACIÓN | Efectos a la salud de acuerdo con el rango del ICA |
| --- | --- | --- |
| 0-50 | Buena | Ninguno |
| 51-100 | Moderada | Posibles síntomas respiratorios en individuos sensibles. Posible agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos juniores |
| 101-150 | Dañina a la salud para grupos sensibles | Aumento de riesgo de síntomas respiratorios en individuos sensibles, agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón y mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos juniores |
| 151-200 | Dañina a la salud | Incremento de los síntomas respiratorios y recrudecimiento de las enfermedades pulmonares tales como asma; posibles efectos respiratorios en la población en general. |
| 201-300 | Muy dañina a la salud | Aumento significativo en síntomas respiratorios y aumento de la gravedad de enfermedades pulmonares como asma; incremento de la probabilidad de ocurrencia de efectos respiratorios para la población en general. |
| 301-500 | Peligrosa | Riesgo serio de síntomas respiratorios y recrudecimiento de enfermedades pulmonares como asma; probables efectos respiratorios en la población en general. |

Fuente: Tabla 34 Efectos a la salud de acuerdo con el rango y valor del Índice de Calidad del Aire. Protocolo de monitoreo y control de la calidad del aire. Manual de operación, pág. 136. Modificada por el autor

En la Tabla 5‑100, se muestran los rangos de concentraciones a partir de los cuales se determina el Índice de Calidad del Aire (ICA) en las estaciones.

Tabla 5‑100 Índice de Calidad de Aire

|  |
| --- |
|  |

Fuente: Tabla 33 Puntos de corte del ICA. Protocolo de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Pág. 134

1. Para O3 se calculara el índice usando promedios de 8 horas y de una hora.
2. Para NO2 se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomado de valores y parámetros EPA.
3. Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (>- 301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora de ozono.
4. Los números entre paréntesis se asocian valores de 1 hora que se utilizaran en esta categoría solo si se superponen.

En todas las estaciones de calidad del aire se realizaron mediciones de PM10, SO2 y NO2. En la Tabla 5‑101 se muestran el total de Índices de Calidad del Aire calculados para el periodo de monitoreo de calidad del aire.

El ICA para NO2 no fue calculado debido a que el tiempo de monitoreo empleado para la determinación de éstos contaminantes durante el estudio es diferente a la resolución temporal establecida para los cálculos indicados por el protocolo de monitoreo de calidad como se muestra en la Tabla 5‑100 Los puntos que se muestran en la gráfica corresponden al ICA calculado con las concentraciones obtenidas de Material Particulado PM10.

Tabla 5‑101 Valores índice de calidad de aire

| Fecha | Estación 8 Babilonia (µg/m3) | Estación 9 La Estela (µg/m3) | Estación 10 Torcoroma (µg/m3) | Estación 11 El Delirio (µg/m3) | Norma diaria (µg/m3) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 5/09/2015 | <6.6\* | <6.6\* | <6.2\* | <6.7\* | 150 |
| 6/09/2015 | <6.7\* | <6.6\* | <6.4\* | <6.7\* | 150 |
| 7/09/2015 | <6.3\* | <6.6\* | <6.4\* | <6.4\* | 150 |
| 8/09/2015 | <6.3\* | <6.2\* | <6.3\* | <6.5\* | 150 |
| 9/09/2015 | <6.6\* | <6.5\* | <5.9\* | <6.4\* | 150 |
| 10/09/2015 | <6.6\* | <6.5\* | <6.3\* | <6.5\* | 150 |
| 11/09/2015 | <6.2\* | <6.2\* | <6.3\* | <6.6\* | 150 |
| 12/09/2015 | <6.5\* | <6.4\* | <6.3\* | <6.4\* | 150 |
| 13/09/2015 | <6.3\* | <6.4\* | <6.4\* | <6.4\* | 150 |
| 14/09/2015 | <6\* | <6.4\* | <6.5\* | <6.4\* | 150 |
| 15/09/2015 | <6.4\* | <6.5\* | <6.2\* | <6.3\* | 150 |
| 16/09/2015 | <6.4\* | <6.4\* | <6.6\* | <6.6\* | 150 |
| 17/09/2015 | <6.6\* | <6.4\* | <6.5\* | <6.8\* | 150 |
| 18/09/2015 | <6.5\* | <6.4\* | <6.6\* | <6.4\* | 150 |
| 19/09/2015 | <6.5\* | <6.6\* | <6.3\* | <6.2\* | 150 |
| 20/09/2015 | <6.3\* | <6.3\* | <6.5\* | <6.3\* | 150 |
| 21/09/2015 | <6.5\* | <6.6\* | <6.4\* | <6.7\* | 150 |
| 22/09/2015 | <6.4\* | <6.1\* | <6.4\* | <6.3\* | 150 |
| **Promedio** | <6.4\* | <6.4\* | <6.4\* | <6.5\* | **-** |

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S. 5 al 23 de septiembre de 2015

De acuerdo a las condiciones de calidad del aire de la zona durante el periodo de muestreo condiciones de calidad de aire buena que corresponde a la banda del color verde que significa “Calidad del Aire Buena”, lo que indica que no existe algún efecto actual a la salud sobre las poblaciones de la zona de estudio.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.136 Índice de calidad del Aire

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S. 5 al 23 de septiembre de 2015

##### Observaciones y conclusiones

###### Generalidades

Los valores de las condiciones meteorológicas y calidad del aire de la zona se pueden considerar representativos de la zona aunque el periodo de monitoreo fue de 18 días.

El estudio fue realizado para determinar los niveles de inmisión actuales de los contaminantes para el plan de adaptación de la guía ambiental del proyecto vial autopista al río magdalena 2 en el área de influencia de la unidad funcional 4 entre los municipios de Puerto Berrio y Cimitarra para la empresa Géminis Consultores S.A.S, departamento de Antioquia y de acuerdo a la síntesis de los resultados presentados en la Sección 9 donde se exponen las concentraciones obtenidas y el cumplimiento respecto a la normatividad pertinente, se observa que con base a las concentraciones determinadas para los contaminantes regulados por la legislación vigente, se puede concluir que en el área de influencia de la unidad funcional 4 (UF4) se presentan niveles de Material Particulado (PM10), Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno no representan ningún problema para la salud de las personas, encontrándose las concentraciones obtenidas por debajo de los límites permisibles exigidos Por lo anterior, los puntos evaluados cumplen con los límites permisibles según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 del MAVDT.

Las comparaciones realizadas con las normas anuales o periodos de tiempo diferentes al tiempo de monitoreo, se hacen sólo de modo indicativo, de manera que, su importancia radica en dar un estimativo sobre el cumplimiento que puede tener cada zona evaluada del proyecto en un año completo de monitoreo.

###### Material particulado PM10

Para las cuatro estaciones durante el periodo de muestreo no se registraron valores de concentración de PM10 superiores al límite máximo de 100 µg/m3 para 24 horas dado por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT.

El valor más alto de PM10 encontrado en el estudio fue de 20.8 µg/m3 y corresponde a la estación 11 El Delirio; dichos valores representa un 20.8% del valor de la norma diaria establecida para este contaminante.

Al comparar indicativamente los valores promedio de concentración de PM10 para el periodo de monitoreo con la norma anual de 50 g/m3, se presentan valores bajos, lo que indica que en estas estaciones es altamente probable encontrar concentraciones anuales que cumplan con la normatividad anual.

Las fuentes más influyentes en las concentraciones de MP encontradas en la zona evaluada en el periodo de monitoreo fueron: actividades agrícolas y ganaderas de los predios, los centros poblados circundantes, el tráfico vehicular tanto de las vías destapadas que dan acceso a los predios como las vías pavimentadas que se encuentran en la zona de influencia de cada estación. No existen fuentes de emisión puntuales o de área propias del proyecto en la zona de influencia de la medición.

###### Dióxido de Azufre (SO2)

Durante los días de monitoreo no se registraron valores de concentración de dióxido de azufre (SO2) superiores al límite máximo de 250 µg/m3 para 24 horas establecido por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT. El 100% de los datos presentaron registros inferiores al límite de detección de la técnica de muestreo. Para efectos de cálculo, se tuvo en cuenta el valor límite de detección para estimar la concentración promedio de la zona, y se obtuvo una concentración promedio de 16 µg/m3 y representa un 6.4%, encontrándose por debajo de la norma. En conclusión, se puede decir, que en la zona evaluada y sus alrededores no se presentan fuentes generadoras de dicho contaminante.

###### Dióxido de Nitrógeno (NO2)

Durante los días de monitoreo no se registraron valores de concentración de dióxido de nitrógeno (NO2) superiores al límite máximo de 150 µg/m3 para 24 horas establecido por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT. El 100% de los datos presentaron registros inferiores al límite de detección de la técnica de muestreo. Para efectos de cálculo, los valores reportados como <LDM, se tomó el valor del límite de detección del método (LDM NO2 = 0.030 µg/ml de Solución) para estimar una concentración máxima aproximada. Ningún reporte en el estudio supera el valor diario permisible por la norma.

Al tomar los promedio de la concentración de NO2 y compararlos indicativamente con la norma anual de 100 µg/m3, se observa que en ninguna de las estaciones evaluadas supera la normatividad, dichos promedios presentan un valor que no supera el 6% del valor de la norma anual para NO2.

###### Índice de calidad de Aire

Con base en los resultados del cálculo del “Índice de Calidad del Aire” durante el periodo de monitoreo, como se observa en la Figura 9.6 para todas la estaciones se presentó unas condiciones de calidad de aire buena que corresponde a la banda del color verde que significa “Calidad del Aire Buena”, lo que indica que no existe algún efecto actual a la salud sobre las poblaciones de la zona de estudio.

#### Ruido

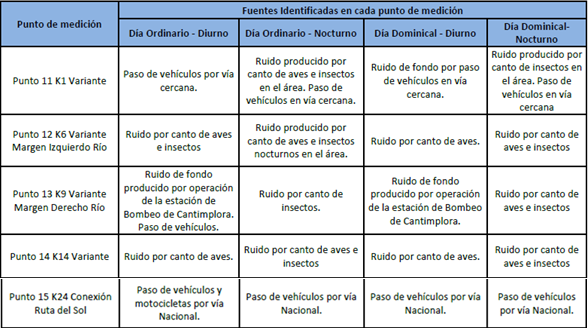
A continuación es presentada la ubicación y las condiciones bajo las cuales se tomaron las mediciones de ruido ambiental en el área de influencia de la unidad funcional 4 del proyecto vial Autopista al río Magdalena II.

La medición en cada punto evaluado se realizó durante quince (15) minutos distribuidos en una hora, según se estipula en el Artículo 5 de la resolución 627 de 2006, y consistió en (5) mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales, cada una de las cuales correspondía a una posición orientada del micrófono, así: Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hacia arriba. El resultado de la medición total se obtiene del promedio logarítmico de las mediciones parciales y se aplica los ajustes correspondientes como se indica en la sección 3.2, Los niveles corregidos de presión sonora continuo equivalente ponderados A, -LRAeq,T -, son los que se comparan con los estándares máximos permisibles de ruido ambiental.

Para los puntos de medición en la zona de influencia del proyecto, se consideró para los puntos ubicados de acuerdo a la información suministrada por el cliente, como el sector representativo del suelo: Sector C. Ruido intermedio restringido, específicamente del subsector **Zonas con otros usos relacionados,** **como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales** y el Sector D. Zona suburbana o rural detranquilidad y ruido moderado específicamente del subsector **Rural habitada destinada a explotación** **agropecuaria**.

Con el fin de interpretar adecuadamente los resultados obtenidos presentados en esta sección, en la tabla siguiente son generalizados las fuentes predominantes de ruido en cada punto que se encontraron durante el periodo de medición:

Tabla 5‑102 Fuentes identificadas en cada punto durante el periodo de medición



Fuente: Autor, Registros de campo monitoreo de ruido ambiental K2 Ingeniería S.A.S

En los formatos de campo anexos al presente informe, se especifican con mayor detalle las fuentes que influyeron o fueron predominantes en cada una de las mediciones realizadas teniendo en cuenta la orientación del micrófono en dirección Norte, Sur, Este, Oeste y posición Vertical.

###### Ubicación geográfica

La zona evaluada se encuentra en el área de influencia del proyecto Autopista al río Magdalena 2 en la unidad funcional 4 ubicado entre los municipios de Puerto Berrio y Cimitarra, departamento de Antioquia.

Se desarrollaron mediciones de ruido ambiental en la zona identificada como área de influencia del proyecto mediante la ubicación de cinco (5) puntos de tal manera que se midiera las condiciones actuales de la zona donde se adelanta el estudio de impacto ambiental por la empresa Géminis Consultores S.A.S. En el Anexo 4 del numeral 5.1.6 se presenta un registro fotográfico de los puntos en donde se realizaron los monitoreos de ruido ambiental.

Las mediciones en cada uno de los puntos mencionados, se realizaron en jornada ordinaria-dominical y horario diurno-nocturno. Las mediciones para el día ordinario se realizaron en los días 12, 14 y 26 de septiembre de 2015 y para el día dominical el 13 y 14 de septiembre de 2015.

Tabla 5‑103 Fechas de monitoreo de ruido ambiental

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Día | Medición | Diurno | Horario de medicion | Nocturno | Horario de medicion |
| **Ordinario** | Punto 11 | 12/09/2015 | 3:48 p. m. | 26/09/2015 | 10:18 p. m. |
| Punto 12 | 12/09/2015 | 2:07 p. m. | 26/09/2015 | 9:05 p. m. |
| Punto 13 | 12/09/2015 | 12:18 p. m. | 13/09/2015 | 12:16 a. m. |
| Punto 14 | 12/09/2015 | 10:45 a. m. | 12/09/2015 | 10:37 p. m. |
| Punto 15 | 12/09/2015 | 9:25 a. m. | 12/09/2015 | 9:10 p. m. |
| **Dominical** | Punto 11 | 13/09/2015 | 2:45 p. m. | 13/09/2015 | 9:08 p. m. |
| Punto 12 | 13/09/2015 | 1:16 p. m. | 13/09/2015 | 10:35 p. m. |
| Punto 13 | 13/09/2015 | 11:30 a. m. | 14/09/2015 | 12:08 a. m. |
| Punto 14 | 13/09/2015 | 10:18 a. m. | 14/09/2015 | 1:36 a. m. |
| Punto 15 | 13/09/2015 | 8:50 a. m. | 14/09/2015 | 2:45 a. m. |

Fuente: Autor, Registros de campo monitoreo de ruido ambiental K2 Ingeniería S.A.

La Figura 6.1 se puede apreciar la ubicación geo-referenciada y la descripción de la ubicación de los 5 puntos establecidos para las mediciones de ruido ambiental. Las coordenadas de los puntos fueron obtenidas con GPS Garmin Etrex 10 en el sistema WGS84, por lo que se presentan la latitud y longitud en grados (°), minutos (') y segundos (") y las coordenadas planas en el sistema Magna Sirgas origen Bogotá. Los puntos evaluados fueron nombrados de la siguiente manera:

La siguiente figura muestra la ubicación de cada uno de los puntos de medición en el área de influencia directa del proyecto en estudio entre los municipios de Cimitarra y Puerto Berrio, departamento de Antioquia. (La ubicación de los puntos con coordenadas geográficas y sus respectivas fotografías se encuentran en la Tabla 6.3 del documento de informe de resultados de ruido en el Anexo 5.1.6 del presente capítulo).

|  |
| --- |
|  |

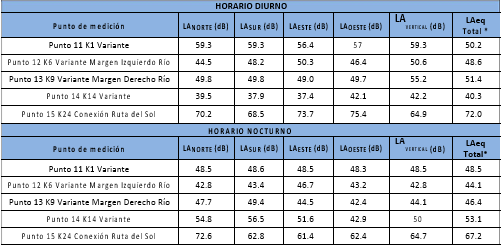
Figura 5.137 Ubicación de puntos de medición de ruido ambiental

Fuente Google Earth

###### Medición día ordinario

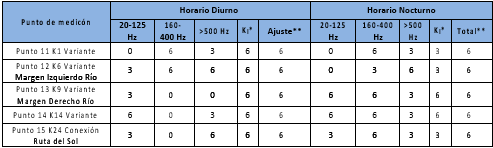
En las siguientes tablas (5.35 y 5.36) se presenta un consolidado de las mediciones y ajustes obtenidos para el día ordinario en cada uno de los puntos en las respectivas direcciones. Los ajustes se determinaron de acuerdo con el procedimiento estipulado en el Anexo 2, de la Resolución 627 de 2006:

Tabla 5‑104 Consolidado de resultados de medición- Ordinario



|  |  |
| --- | --- |
| Fuente: Autor, Resultados monitoreo de ruido ambiental K2 Ingeniería S.A.S – Día ordinario | |
| \*Promedio Logarítmico |

Tabla 5‑105 Consolidado ajustes (KT) – Ordinario



Fuente: Autor, Resultados monitoreo de ruido ambiental K2 Ingeniería S.A.S - Día ordinario \*Valor ajuste por impulso. \*\*Valor mayor de ajuste.

En la

Tabla 5‑106 se presentan los resultados corregidos del nivel de presión sonora continúo equivalente ponderado A (LAEQ) total obtenidos en el día ordinario en horario diurno y nocturno y se compara con los valores máximos establecidos en la Resolución 627 de 2006 para el uso del suelo clasificado. Seguido se encuentra las gráficas correspondientes y las curvas isoruido resultantes de las mediciones para el día ordinario

Tabla 5‑106 Resultados de Ruido ambiental ordinario

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **MEDICIONES DE RUIDO AMBIENTAL EN HORARIO DIURNO** | | | | |
| **Punto de medición** | **LAEQ Ruido Ambiental corregido (dBA)** | **Límites permisibles Resolución 627-2006 LAEQ día uso de suelo para autopistas y vías principales y uso rural (dBA)** | **Porcentaje respecto a límitepermisible** | **Cumplimiento** |
| Punto 11 K1 Variante | 56.2 | 55 | 102% | No Cumple |
| Punto 12 K6 Variante Margen Izquierdo Río | 54.6 | 55 | 99% | Cumple |
| Punto 13 K9 Variante Margen Derecho Río | 57.4 | 80 | 72% | Cumple |
| Punto 14 K14 Variante | 46.3 | 80 | 58% | Cumple |
| Punto 15 K24 Conexión Ruta del sol | 78.0 | 80 | 97% | Cumple |
| **MEDICIONES DE RUIDO AMBIENTAL EN HORARIO NOCTURNO** | | | | |
| **Punto de medición** | **LAEQ Ruido Ambiental corregido (dBA)** | **Límites permisibles Resolución 627-2006 LAEQ día uso de suelo para autopistas y vías principales y uso rural (dBA)** | **Porcentaje respecto a límitepermisible** | **Cumplimiento** |
| Punto 11 K1 Variante | 54.5 | 45 | 121% | No Cumple |
| Punto 12 K6 Variante Margen Izquierdo Río | 50.1 | 45 | 111% | No Cumple |
| Punto 13 K9 Variante Margen Derecho Río | 52.4 | 70 | 75% | Cumple |
| Punto 14 K14 Variante | 59.1 | 70 | 84% | Cumple |
| Punto 15 K24 Conexión Ruta del sol | 73.2 | 70 | 105% | No Cumple |

Fuente: K2 Ingenieria

Las siguientes figuras muestran los resultados anteriores de manera gráfica comparando con la normatividad para el caso del uso del suelo de autopistas y vías principales predominante de la zona, seguida de las curvas de ruido, respectivamente. Como se evidencia en los las curvas de ruido presentadas en la Figura 6.4 y Figura 6.5, en el horario diurno se presentan promedios entre los 55 dB y 80 dB, alcanzando los valores máximos en el punto 15 denominado K24 Conexión ruta del sol donde la mayor influencia se debe al alto flujo vehicular por la vía, mientras que los valores más bajos se presentan en el punto 14 K14 Variante. En el horario nocturno se evidencia una reducción en los niveles respecto al horario diurno ubicándose en valores entre los 50 dB y 70 dB, manteniéndose los valores más altos en el punto 15, además se presenta un aumento en los niveles en el punto 14 denominado K14 Variante.

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.138 Resultados de Ruido Ambiental horario diurno – Día Ordinario

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S – Día ordinario

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.139 Resultados de Ruido Ambiental horario nocturno – Día Ordinario

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S – Día ordinario

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.140 Curvas Isoruido horario diurno – Día Ordinario

Fuente: K2 Ingenierial

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.141 Curvas Isoruido horario diurno – Día Ordinario

Fuente K2 Ingenieria 2015

###### Mediciones día dominical

En la Tabla 5‑107 y la Tabla 5‑108 se presenta un consolidado de las mediciones y ajustes6 obtenidos para el día dominical en cada uno delos puntos en las respectivas direcciones:

Tabla 5‑107 Consolidado de resultados de medición-Dominical

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **HORARIO DIURNO** | | | | | | |
| **Punto de medición** | **LANORTE (dB)** | **LASUR (dB)** | **LAESTE (dB)** | **LAOESTE (dB)** | **LAVERTICAL (dB)** | **Laeq Total\*** |
| Punto 11 K1 Variante | 45.9 | 46.6 | 47 | 43.6 | 44.9 | 45.8 |
| Punto 12 K6 Variante Margen Izquierdo Río | 48.2 | 46.3 | 44.5 | 45.5 | 47.1 | 46.5 |
| Punto 13 K9 Variante Margen Derecho Río | 49.6 | 49 | 47.4 | 47.5 | 47.4 | 48.3 |
| Punto 14 K14 Variante | 44.7 | 51.8 | 43.5 | 49.6 | 42.6 | 48.0 |
| Punto 15 K24 Conexión Ruta del sol | 55.5 | 61.7 | 58.9 | 62.3 | 61.2 | 60.5 |
| **HORARIO NOCTURNO** | | | | | | |
| **Punto de medición** | **LANORTE (dB)** | **LASUR (dB)** | **LAESTE (dB)** | **LAOESTE (dB)** | **LAVERTICAL (dB)** | **Laeq Total\*** |
| Punto 11 K1 Variante | 44.8 | 47.5 | 45.0 | 44.3 | 44.5 | 45.4 |
| Punto 12 K6 Variante Margen Izquierdo Río | 43.7 | 44.8 | 44.8 | 45.9 | 42.8 | 44.5 |
| Punto 13 K9 Variante Margen Derecho Río | 45.6 | 45.7 | 49.4 | 50.5 | 48.6 | 48.6 |
| Punto 14 K14 Variante | 44.6 | 43.3 | 49.8 | 43.9 | 44.2 | 45.9 |
| Punto 15 K24 Conexión Ruta del sol | 63.4 | 69.8 | 67.0 | 61.4 | 58.1 | 65.7 |

Fuente: K2 Ingenieria

Tabla 5‑108 Consolidado ajustes (KT) – Dominical

| **Horario Diurno** | | | | | | **Horario Nocturno** | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Punto de Medicion** | **20-125 Hz** | **160-400 Hz** | **>500 Hz** | **KI\*** | **Ajuste\*\*** | **20-125 Hz** | **160-400 Hz** | **>500 Hz** | **KI\*** | **Total\*\*** |
| Punto 11 K1 Variante | 0 | 6 | 6 | 6 | 6 | 0 | 3 | 6 | 3 | 6 |
| Punto 12 K6 Variante | 0 | 0 | 3 | 6 | 6 | 0 | 3 | 6 | 6 | 6 |
| Punto 13 K9 Variante | 0 | 0 | 6 | 3 | 6 | 3 | 0 | 6 | 6 | 6 |
| Punto 14 K14 Variante | 6 | 6 | 3 | 6 | 6 | 6 | 0 | 6 | 6 | 6 |
| Punto 15 K24 Conexión | 0 | 6 | 6 | 3 | 6 | 0 | 0 | 6 | 3 | 6 |

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S – Día Dominical \*Valor ajuste por impulso. \*\*Valor mayor de ajuste.

En a Tabla 5‑109 se presentan los resultados corregidos del nivel de presión sonora continúo equivalente ponderado A (LAEQ) total obtenidos en el día dominical en horario diurno y nocturno y se compara con los valores máximos establecidos en la Resolución 627 de 2006 para el uso del suelo clasificado:

Tabla 5‑109 Resultados de Ruido ambiental- Dominical

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **MEDICIONES DE RUIDO AMBIENTAL - DOMINICAL EN HORARIO DIURNO** | | | | |
| **Punto de medición** | **LAEQ Ruido Ambiental corregido (dBA)** | **Límites permisibles Resolución 627-2006 LAEQ día uso de suelo para autopistas y vías principales y uso rural (dBA)** | **Porcentaje respecto a límitepermisible** | **Cumplimiento** |
| Punto 11 K1 Variante | 51.8 | 55 | 94% | Cumple |
| Punto 12 K6 Variante Margen Izquierdo Río | 52.5 | 55 | 95% | Cumple |
| Punto 13 K9 Variante Margen Derecho Río | 54.3 | 80 | 68% | Cumple |
| Punto 14 K14 Variante | 54.0 | 80 | 67% | Cumple |
| Punto 15 K24 Conexión Ruta del sol | 66.5 | 80 | 83% | Cumple |
| **MEDICIONES DE RUIDO AMBIENTAL - DOMINICAL EN HORARIO NOCTURNO** | | | | |
| **Punto de medición** | **LAEQ Ruido Ambiental corregido (dBA)** | **Límites permisibles Resolución 627-2006 LAEQ día uso de suelo para autopistas y vías principales y uso rural (dBA)** | **Porcentaje respecto a límitepermisible** | **Cumplimiento** |
| Punto 11 K1 Variante | 51.4 | 45 | 114% | No Cumple |
| Punto 12 K6 Variante | 50.5 | 45 | 112% | No Cumple |
| Punto 13 K9 Variante | 54.4 | 70 | 78% | Cumple |
| Punto 14 K14 Variante | 51.9 | 70 | 74% | Cumple |
| Punto 15 K24 Conexión | 71.7 | 70 | 102% | No Cumple |

Funte: K2 Ingenieria

Las siguientes figuras muestran los resultados anteriores de manera gráfica comparando con la normatividad aplicada. Seguido se encuentra los graficas correspondientes y las curvas isoruido resultantes de las mediciones para el día dominical:

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.142 Resultados de Ruido Ambiental horario diurno – Día Dominical

Fuente Géminis Consultores S.A.S. 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.143 Resultados de Ruido Ambiental horario nocturno – Día Dominical

Fuente Géminis Consultores S.A.S. 2015

En la se presentan las curvas isoruido y se evidencia una reducción en los niveles de presión sonora con respecto a los promedios obtenidos en el día ordinario: para el horario diurno, se evidencia una reducción en el punto 6 alcanzando niveles entre los 55 dB y 70 dB. En el horario nocturno, se aumentan los niveles en el punto 15 con respecto a los obtenidos en el horario diurno, mientras que los demás puntos se presenta un comportamiento similar en los niveles de presión sonora por debajo de los 55 dB

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.144 Curvas Isoruido horario diurno – Día Dominical

Fuente Géminis Consultores S.A.S. 2015

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.145 Curvas Isoruido horario diurno – Día Dominical

Fuente Géminis Consultores S.A.S. 2015

Mediante el presente numeral se consolidan los registros tomados tanto en los días ordinarios y dominicales durante horario diurno y nocturno. Para ello mediante la Tabla siguiente se presenta el promedio logarítmico en la zona evaluada, en cada horario de medición y en la Figura 5.146 se presentan gráficamente los promedios totales de la zona obtenidos durante el periodo de medición:

Tabla 5‑110 Promedio logarítmico de niveles de presión sonora

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Jornada | Promedio logarítmico Horario Diurno | |
| **Horario diurno** | **Horario nocturno** |
| **Ordinario** | 71.1 | 66.5 |
| **Dominical** | 60.3 | 65.0 |

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

|  |
| --- |
|  |

Figura 5.146 Promedio logarítmico de los niveles de presión sonora

Fuente K2 Ingeniería S.A.S.

En la Figura anterior se observa que en las mediciones realizadas en la zona de influencia de la Unidad Funcional 4 para el proyecto vial Autopista al río Magdalena 2 entre los departamentos de Antioquia y Santander, el promedio logarítmico más alto se presenta para el día ordinario. Además también se evidencia que existe una tendencia similar en los niveles de presión sonora en la zona para el horario nocturno tanto para el día ordinario como para el día dominical.

###### Observaciones y conclusiones

Mediante el análisis de los resultados se determinó el estado de los niveles de presión sonora respecto a los límites permisibles según la Resolución 627 de 2006. Las mediciones de ruido se realizaron en el mes de septiembre de 2015. Para comparar los resultados obtenidos con la norma de la Resolución 627 de 37 2006 del MAVDT, se consideró para los puntos ubicados como sectores representativos del suelo: Sector C. Ruido intermedio restringido, específicamente del subsector Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales y el Sector D. Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado específicamente del subsector Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.

Los valores máximos de nivel de presión sonora LAeq reportados se presentan tanto para el día ordinario como para el día dominical, se encuentran por debajo del límite máximo permisible para para zonas con usos permitidos para autopistas y vías principales, a excepción del punto 15 ubicado en K24 Conexión ruta del sol, donde se presenta valores por encima del valor límite permisible para horario nocturno. Los puntos se encuentran altamente influenciados por el paso contante de vehículos y animales in situ propios de la zona. Para los puntos ubicados en suelo clasificado como rural, todos los valores se encuentran por debajo del límite permisible para este tipo de suelo establecido para horario diurno (55 dB), a excepción del punto 11 K1 Variante, que presenta un valor con un 102% por encima del límite máximo permisible, para día ordinario. Mientras que para el horario nocturno, todos los puntos se encuentran por encima del valor límite permisible establecido para horario nocturno (45 dB). Se debe considerar que los valores límites permisibles establecidos en la Resolución 627 de 2006 expedida por el MADS, son más restrictivos para uso del suelo rural que el uso para vías principales y autopistas, considerando que para todos los puntos influyen las mismas fuentes tales como actividades agrícolas y ganaderas de los predios, los centros poblados circundantes, el tráfico vehicular tanto de las vías destapadas que dan acceso a los predios como las vías pavimentadas que se encuentran en la zona de influencia de cada estación, se presenta mayor incumplimiento en los puntos ubicados en zonas clasificadas como uso de suelo rural.

De acuerdo a la síntesis de los resultados presentados donde se consolida los niveles de presión sonora medidos tanto para el día ordinario como el día dominical, se observa que para el uso del suelo con usos permitidos para autopistas y vías principales todos los reportes se encuentran por debajo de la norma de 75 para horario diurno y 70 dB para horario nocturno.

Todas las mediciones se tomaron en tercios de octavas durante 15 minutos cada una, con ponderaciones frecuenciales A y ponderaciones temporales S (Slow). En lo que respecta a los ajustes, se aplicaron teniendo en cuenta lo estipulado en el artículo 6 de la Resolución 627 del 7 de abril de 2006 y se determinaron de acuerdo con el procedimiento estipulado en el Anexo 2 de la misma resolución. Las mediciones se corrigieron por tono (KT) y por impulso (KI) por lo que se realizaron ajustes de 3 a 6 dB en las diferentes mediciones como se observa en la Tabla 5‑105 Consolidado ajustes (KT) – Ordinario y Tabla 5‑108 Consolidado ajustes (KT) – Dominical. Los valores aumentan en su mayoría la presencia de fuentes que generan tonos a altas frecuencias e impulsos aumentando el LAeq final en 6 dB. Los resultados no se corrigieron por bajas frecuencias (instalaciones de ventilación y climatización) por la naturaleza de las fuentes identificadas y no se corrigieron por horario ya que el valor calculado del LAEQ se realizó tanto para horario diurno como nocturno, y no como un sólo valor de LAEQ para el día y la noche.

Con los resultados obtenidos en las mediciones se procedió a elaborar los mapas de ruido que se muestran en el Anexo 7. La altura del sonómetro utilizada fue de 4 m sobre el nivel del suelo para ruido ambiental. La base de los cálculos en los planos, corresponde a una simple atenuación geométrica (pérdidas de la emisión sonora por distanciamiento entre la fuente y el receptor del sonido para fuentes puntuales). No se consideran las atenuaciones aportadas por el aire.

En el Anexo 2, Numeral 5.1.6 del presente capítulo se consolida las memorias de cálculo en los cuales está diligenciada la información detallada de las mediciones con base a lo establecido en el Artículo 21, Capítulo IV de la Resolución 627 de 2006.

# BIBLIOGRAFÍA

BEAR, J., & VERRUIJT, A. (1987). *Modeling Groundwater Flow and Pollution.* Dodrecht: D. Reidel Publ. Co.

Castañeda Triana, P. M. (2011). *Zonificacion climatológica según el modelo Caldas- Lang de la cuenca río Negro mediante el uso del sistema de informacion geográfica SIG*. Recuperado el 15 de 07 de 2015, de http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11701/1/ARTICULO%20ZONIFICACION%20CLIMATOLOGICA%20SEGUN%20MODELO%20CALDAS%20-%20LANG%20CUENCA%20DE%20RIO%20NEGRO.pdf

CORANTIOQUIA. ( 2015).

DHI - WASY. (2013). *FEFLOW 6.2 Manual de Capacitación Modelación de Agua Subterránea con FEFLOW 6.2.* DHI WASY.

DOMENICO, P., & SHWARTZ, F. (1990). *Physical and chemical hydrogeology.* Singapore: John Wiley & Sons, Inc.

Eco-gerencia LTDA. (2015 - 2016).

e-Qual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S. (2016).

Géminis Consultores S.A.S. (s.f.).

GOLDSCHNEIDER, A., & AMANTI, E. (2009). *Challenges for 3D Hydrogeological Modelling of an LNG .* Undergroup Storage .

GONZALES G, A. J., & Ing. Cilvil U.N , M. (1999). X Jornada Geotecnicas de la Ingenieria Colombiana. SCI-SCG.

HERNANDO LONDOÑO, C. H. (2001). Cuencas Hidrograficas: Base Conceptuales - Caracterización- Planificación - Adminstración. Ibague, Tolima, Colombia.

IDEAM. (2014). *Estudio Nacional de Aguas para Colombia.* Bogotá, D.C.

IDEAM. (2015). *Sistema de Información Ambiental .* Bogotá D. C. : Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales.

IDEAM, CORMAGDALENA, IGAC, FFEM. (2008). *Mapa de Coberturas de la Tierra - Cuenca Magdalena- Cauca. Metodo CORINE LAND COVER, Adaptado para Colombia.* Bogota.

INGEOMINAS. (2006). *Atlas del agua subterranea, Version 2.0. SERVICIOS GEOLOGICO COLOMBIANO - Mapa Geologico de Colombia (Escala 1.2´000.000).* Bogota: INGEOMINAS.

Instituto Colombiano de Hidrologia, M. y.-H. (1991). *Clasificaciones Climaticas*. Recuperado el 15 de 07 de 2015, de http://www.documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/016592/clasificacionclima.pdf

INVIAS. (s.f.). *Manual de Drenajes para Carreteras .* Bogota: INVIAS.

Ministerio de Ambiente, V. y. (2013). *Metodologia de la Zonificacion de Cuencas Hidrograficas (Propuesta)*. Recuperado el 14 de 07 de 2015, de http://www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosBiodiversidad/recurso\_hidrico

Organización Meteorológica Mundial. (2015). *World Meteorological Organization*. Obtenido de http://www.wmo.int/pages/index\_en.html

Snyder. (s.f.). *Método del Hidrograma Unitario Sintético.*

TABOADA, A. (2000). *Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intercontinental deformation (Colombia). Tectonics* (Vol. 19).

US Army: Coprs of Engineers. (2009). *Hydrologic Modeling SystemHEC -HMS Quick Start Guide: Version 3.4.* Estados Unidos: US Army.

1. Fuente: Cormagdalena - LEH UN, 2003. Caracterización hidrosedimentológica del río Magdalena. Sector Puerto Salgar - La Gloria. [↑](#footnote-ref-1)