

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA  
SEGUNDA CALZADA ENTRE EL TÚNEL DE OCCIDENTE - SAN JERONIMO  
UNIDAD FUNCIONAL 3 Y 1 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1**



**Elaborado para:**



**Elaborado por:**



Consultoría Colombiana S.A.

**Bogotá D.C.  
Febrero de 2017**

 <b>ANI</b> Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 <b>Devimar</b> SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN          JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

## ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice de Revisión	Sección Modificada	Fecha Modificación	Observaciones

## REGISTRO DE RESPONSABLES

Número de Revisión		
Responsable por Elaboración	Nombre	
	Firma	
Responsable por Elaboración	Nombre	
	Firma	
Responsable por Revisión Coordinador Ambiental	Nombre	
	Firma	
Responsable por Aprobación Gerente del Proyecto	Nombre	
	Firma	
Fecha		

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>  <b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	
---	--	---

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA ENTRE EL TÚNEL DE OCCIDENTE - SAN JERONIMO UNIDAD FUNCIONAL 3 Y 1 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1**

**TABLA DE CONTENIDO**

	<b>PÁG.</b>
7 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES .....	1
7.1 AGUAS SUPERFICIALES .....	1
7.1.1 Demanda de agua a utilizar .....	1
7.1.2 Identificación de las fuentes de captación y caudal a solicitar .....	3
7.1.3 Diseño tipo de la infraestructura y sistema de captación, derivación, conducción, restitución de sobrantes y distribución .....	7
7.1.4 Análisis de Conflictos Actuales o Potenciales sobre la Disponibilidad y Usos .....	9
7.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	25
7.2.1 CAUDAL ESTIMADO .....	25
7.2.2 VOLUMEN REQUERIDO .....	26
7.2.3 INFRAESTRUCTURA DE CAPTACIÓN, CONDUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO .....	27
7.3 VERTIMIENTOS .....	28
7.3.1 Vertimiento en cuerpo de agua .....	28
7.3.2 Vertimiento en suelo .....	88
7.4 OCUPACIONES DE CAUCE .....	88
7.4.1 Cruces con la vía a construir .....	88
7.4.2 Métodos constructivos .....	2
7.5 APROVECHAMIENTO FORESTAL .....	4
7.5.1 Muestreo y Censo Forestal .....	4
7.6 EMISIONES ATMOSFÉRICAS .....	27
7.6.1 Identificación de las Fuentes de emisión en el Área .....	28
7.6.2 Identificación de fuentes de emisión atmosférica proyectadas .....	33
7.6.3 Modelo de dispersión .....	37
7.7 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN .....	55

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

## ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA ENTRE EL TÚNEL DE OCCIDENTE - SAN JERONIMO UNIDAD FUNCIONAL 3 Y 1 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1

### ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
Tabla 7-1 Volumen de agua requerido para uso industrial.....	2
Tabla 7-2 Demanda de agua total en el proyecto .....	2
Tabla 7-3 Identificación de fuentes .....	3
Tabla 7-4. Caudal disponible corrientes consideradas para captación .....	4
Tabla 7-5. Caudal de agua de infiltración a usar en la etapa constructiva en cada portal .....	4
Tabla 7-6. Caudal a captar en cada corriente.....	4
Tabla 7-7 Vías de acceso a las captaciones .....	6
Tabla 7-8. Frecuencia de caudales máximos estación Peñalta .....	11
Tabla 7-9 Estimación de caudales de cuencas por método de transposición .....	12
Tabla 7-10 Caudales Máximos captaciones Portal Medellín, 7 y 8 – Método SCS.....	17
Tabla 7-11 Frecuencia de caudales mínimos Estación Peñalta .....	18
Tabla 7-12 Estimación de caudales de cuencas por método de transposición .....	20
Tabla 7-13 Caudales mínimos estimados en cuencas de sitio de captación (m <sup>3</sup> /s) .....	20
Tabla 7-14 Caudales característicos (m <sup>3</sup> /s) en la cuenca del río Aurrá– Estación Peñalta ..	23
Tabla 7-15 Caudales medios estimados en cuencas de sitio de captación (m <sup>3</sup> /s).....	23
Tabla 7-16 Usuarios registrados por CORANTIOQUIA .....	24
Tabla 7-17. Caudal de agua de infiltración estimado en cada portal.....	25
Tabla 7-18. Demanda de agua por frente de trabajo en el túnel.....	26
Tabla 7-19. Volumen total de agua de infiltración del túnel a usar en el proceso constructivo (5 años) .....	26
Tabla 7-20 Sitios Propuestos para Vertimiento – Quebrada La Frisola.....	29
Tabla 7-21 Caudales de vertimiento esperados .....	36
Tabla 7-22 Balance de masas para Quebrada La Frisola –Planta 1.....	45
Tabla 7-23 Factor de dilución en la quebrada La Frisola –Planta 1 .....	46
Tabla 7-24 Ecuaciones de longitud de zona de mezcla teórica .....	47
Tabla 7-25 Longitud de zona de mezcla teórica para la quebrada La Frisola –Planta 1 comparada con la del análisis de trazadores.....	47
Tabla 7-26 Longitud de zona de mezcla teórica para la quebrada La Frisola –Planta 1 en los escenarios de caudal mínimo y máximo.....	47
Tabla 7-27 Constante de reaireación para para la quebrada La Frisola-Planta 1 en los escenarios de caudal medido, mínimo y máximo.....	48
Tabla 7-28 Constante de desoxigenación para la quebrada La Frisola-Planta 1 en los escenarios de caudal medido, mínimo y máximo.....	48

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>  <b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN          JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	 SOMOS TU VÍA
---	---	---

Tabla 7-29 Variables a introducir en el modelo de calidad sobre la quebrada La Frisola- Planta 1 .....	50
Tabla 7-30. Localización del vertimiento previsto para la quebrada La Culebra.....	58
Tabla 7-31 Caudales estimados quebrada La Culebra .....	59
Tabla 7-32 Caracterización fisicoquímica y bacteriológica quebrada La Culebra .....	59
Tabla 7-33 Caracterización fisicoquímica de las aguas a verter (tratadas y no tratadas) .	60
Tabla 7-34 Balance de masas quebrada La Culebra .....	61
Tabla 7-35 Factor de dilución en la quebrada La Culebra .....	62
Tabla 7-36 Ecuaciones de longitud de zona de mezcla teórica .....	62
Tabla 7-37 Longitud de zona de mezcla teórica para la quebrada La Culebra comparada con la del análisis de trazadores .....	63
Tabla 7-38 Constante de reaireación para para la quebrada La Culebra en los escenarios de caudal medido y máximo.....	63
Tabla 7-39 Constante de desoxigenación para la quebrada La Culebra en los escenarios de caudal medido y máximo.....	63
Tabla 7-40 Variables a introducir en el modelo de calidad sobre la quebrada La Culebra..	64
Tabla 7-41 Localización del vertimiento previsto para la quebrada La Frisola-Portal Santa Fe74	
Tabla 7-42 Caudales estimados quebrada La Frisola-Portal Santa Fe.....	74
Tabla 7-43 Caracterización fisicoquímica y bacteriológica quebrada La Frisola-Portal Santa Fe75	
Tabla 7-44 Caracterización fisicoquímica de las aguas a verter (tratadas y no tratadas) .	75
Tabla 7-45 Balance de masas quebrada La Frisola- Portal Santa Fe .....	77
Tabla 7-46 Factor de dilución en la quebrada La Frisola –Portal Santa Fe .....	77
Tabla 7-47 Ecuaciones de longitud de zona de mezcla teórica .....	78
Tabla 7-48 Longitud de zona de mezcla teórica para la quebrada La Frisola-Portal Santa Fe comparada con la del análisis de trazadores.....	78
Tabla 7-49 Constante de reaireación para para la quebrada La Frisola – Portal Santa Fe en los escenarios de caudal medido, mínimo y máximo .....	79
Tabla 7-50 Constante de desoxigenación para la quebrada La Frisola – Portal Santa Fe en los escenarios de caudal medido, mínimo y máximo .....	79
Tabla 7-51 Variables a introducir en el modelo de calidad sobre la quebrada La Culebra..	80
Tabla 7-52. Ubicación de puentes que implican ocupación de cauce -Unidad Funcional 3 y 1 .....	1
Tabla 7-53 Ubicación obras de drenajes menores Unidad Funcional 3 y 1 .....	1
Tabla 7-54 Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial .....	3
Tabla 7-55 Ecosistemas terrestres intervenidos por el proyecto .....	4
Tabla 7-56. Área de intervención por ecosistema transformado y natural.....	5
Tabla 7-57 Áreas de las actividades constructivas del proyecto susceptibles de aprovechamiento forestal.....	5
Tabla 7-58 Ecosistemas naturales presentes en el área de influencia.....	8
Tabla 7-59 Parámetros estadísticos .....	8
Tabla 7-60 Unidades de parcelas de muestreo .....	10

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>  <b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	
---	--	---

Tabla 7-61 Volumen por parcela para el Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes .....	11
Tabla 7-62 Estadígrafos para el Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes.....	12
Tabla 7-63 Volumen por parcela para la Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes .....	12
Tabla 7-64 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para la Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes.....	13
Tabla 7-65 Volumen por parcela para el Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes .....	13
Tabla 7-66 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes .....	14
Tabla 7-67 Volumen por parcela para la Vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los Andes .....	14
Tabla 7-68 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los andes.....	15
Tabla 7-69 Volumen por parcela para la Vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes .....	15
Tabla 7-70 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes.....	16
Tabla 7-71 Resultados del censo forestal en chaflanes .....	17
Tabla 7-72 Identificación de sitios ZODMES.....	17
Tabla 7-73 Resultados del censo forestal para ZODMES.....	18
Tabla 7-74 Identificación del sitio para la planta N° 1 .....	19
Tabla 7-75 Resultados del censo forestal para la planta N° 1 .....	19
Tabla 7-76 Volúmenes totales por muestreo en ecosistema natural.....	19
Tabla 7-77 Censo forestal en ecosistemas naturales presentes en los tipos de actividad.....	20
Tabla 7-78 Volúmenes totales por ecosistema natural (censo y muestreo).....	20
Tabla 7-79 Censo forestal en ecosistemas transformados presentes en los tipos de actividad .....	21
Tabla 7-80 Resultados del censo forestal (Ecosistemas transformados, ZODMES, Planta y chaflanes).....	22
Tabla 7-81 Especies en amenaza, en peligro y/o vulnerables dentro registradas en el censo forestal para el área de intervención del proyecto .....	23
Tabla 7-82 Potenciales fuentes de contaminación atmosférica asociadas al proyecto.....	33
Tabla 7-83 Actividades objeto de permisos de emisiones de acuerdo a la legislación colombiana .....	34
Tabla 7-84. Especificaciones técnicas de las fuentes de emisión para requerimiento de permisos de emisiones.....	35
Tabla 7-85 Concentraciones máximas reportadas de PST en el modelamiento para cada escenario y su comparación con la Resolución 610 de 2010 .....	40
Tabla 7-86. Comparación de la concentración máxima reportada de PST con los niveles de prevención, alerta y emergencia .....	40
Tabla 7-87. Concentraciones máximas reportadas de PM10 en el modelamiento para cada	

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>  <b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN          JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	 <b>Devimar</b> SOMOS TU VÍA
---	---	---

escenario y su comparación con la Resolución 610 de 2010 .....	43
Tabla 7-88. Comparación de la concentración máxima reportada de PM10 con los niveles de prevención, alerta y emergencia .....	43
Tabla 7-89. Concentraciones máximas reportadas en el modelamiento de NO <sub>2</sub> para cada escenario y su comparación con la Resolución 610 de 2010 .....	46
Tabla 7-90. Concentraciones máximas reportadas en el modelamiento de SO <sub>2</sub> para cada escenario y su comparación con la Resolución 610 de 2010 .....	49
Tabla 7-91. Comparación de la concentración máxima reportada de SO <sub>2</sub> con los niveles de prevención, alerta y emergencia .....	49
Tabla 7-92. Concentraciones máximas reportadas de CO en el modelamiento para cada escenario y su comparación con la Resolución 610 de 2010 .....	52
Tabla 7-93. Comparación de la concentración máxima reportada de CO con los niveles de prevención, alerta y emergencia .....	52
Tabla 7-94. Aporte de las concentraciones estimadas a las concentraciones de fondo del área de estudio (escenario monitoreo) .....	53
Tabla 7-95 Fuentes de materiales licenciadas a utilizar .....	56

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA ENTRE EL TÚNEL DE OCCIDENTE - SAN JERONIMO UNIDAD FUNCIONAL 3 Y 1 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	<b>PÁG.</b>
Figura 7-1 Localización de puntos de captación de agua.....	5
Figura 7-2 Esquema tipo de captación de agua con carro tanque .....	8
Figura 7-3. Sistema portátil de floculación .....	9
Figura 7-4. Caudales máximos mensuales multianuales - Estación Peñalta (Río Aurrá) ....	10
Figura 7-5. Análisis Caudales Máximos Estación Peñalta.....	11
Figura 7-6. Hidrograma unitario adimensional del U.S.S.C.S. ....	16
Figura 7-7 Caudales medios mensuales - Estación Peñalta (Río Aurrá).....	18
Figura 7-8 Análisis caudales mínimos Estación Peñalta .....	19
Figura 7-9 Curva de duración de caudales de corrientes.....	21
Figura 7-10 Caudales medios mensuales - Estación Peñalta (Río Aurrá).....	22
Figura 7-11 Curva de duración de caudales (CDC) del Río Aurrá – Estación Peñalta.....	22
Figura 7-12. Esquema de manejo de las aguas de infiltración del túnel .....	28
Figura 7-13 Localización sitios de vertimiento .....	30
Figura 7-14 Planta - Desarenador para tratamiento primario .....	32
Figura 7-15 Perfil - Desarenador para tratamiento primario .....	32
Figura 7-16 Unidades Sanitarias Portátiles .....	33
Figura 7-17 Esquema básico de un tanque séptico.....	34
Figura 7-18 Esquema red de agua y desagüe .....	35
Figura 7-19. Superficie de la quebrada La Frisola-Planta 1 en el programa HEC-RAS.....	41
Figura 7-20 Diagrama esquemático del proceso de calibración del modelo QUAL2KW ...	49
Figura 7-21 Caudal (m <sup>3</sup> /s) .....	51
Figura 7-22 Velocidad (m/s) .....	52
Figura 7-23 Profundidad (m).....	52
Figura 7-24 Temperatura (°C) .....	53
Figura 7-25 DQO (mg/l).....	54
Figura 7-26 DBO5 (mg/l).....	54
Figura 7-27 pH (Unidades).....	55
Figura 7-28 Solidos Suspendedos Totales (mg/l) .....	56
Figura 7-29 Coliformes Totales (NMP/100 ml) .....	56
Figura 7-30 Coliformes Fecales (NMP/100 ml).....	57
Figura 7-31 Caudal (m <sup>3</sup> /s) .....	65
Figura 7-32 Velocidad (m/s) .....	65
Figura 7-33 Profundidad (m).....	66
Figura 7-34 Temperatura (°C) .....	66
Figura 7-35 DQO (mg/l).....	67

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>  <b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	 SOMOS TU VÍA
---	--	---

Figura 7-36 DBO5 (mg/l).....	68
Figura 7-37 pH (Unidades).....	68
Figura 7-38 Solidos Suspendidos Totales (mg/l) .....	69
Figura 7-39 Coliformes Totales (NMP/100 ml).....	70
Figura 7-40 Coliformes Fecales (NMP/100 ml).....	70
Figura 7-41 Caudal (m <sup>3</sup> /s) .....	81
Figura 7-42 Velocidad (m/s) .....	81
Figura 7-43 Profundidad (m).....	82
Figura 7-44 Temperatura (°C) .....	82
Figura 7-45 DQO (mg/l).....	83
Figura 7-46 DBO5 (mg/l).....	83
Figura 7-47 pH (Unidades).....	84
Figura 7-48 Solidos Suspendidos Totales (mg/l) .....	84
Figura 7-49 Coliformes Totales (NMP/100 ml).....	85
Figura 7-50 Coliformes Fecales (NMP/100 ml).....	85
Figura 7-51 Localización de puentes que implican ocupación de cauce.....	1
Figura 7-52 Localización de obras de drenaje menor que implican ocupación de cauce .....	1
Figura 7-53 Diseño tipo de alcantarillas.....	2
Figura 7-54 Diseño tipo Box Couvert .....	2
Figura 7-55 Diseño tipo de cunetas triangular .....	3
Figura 7-56 Área de intervención del proyecto UF 1 y 3.....	7
Figura 7-57 Forma y tamaño de las parcelas de muestreo .....	9
Figura 7-58 Localización General de las Instalaciones.....	36
Figura 7-59. Isopletras partículas suspendidas totales PST para un tiempo de ponderación de 24 horas .....	38
Figura 7-60. Isopletras partículas suspendidas totales -PST para un tiempo de ponderación Promedio anual.....	39
Figura 7-61. Isopletras material particulado respirable PM10 para un tiempo de ponderación de 24 horas.....	41
Figura 7-62. Isopletras material particulado respirable PM10 para un tiempo de ponderación Promedio anual.....	42
Figura 7-63. Isopletras dióxido de nitrógeno NO <sub>2</sub> ponderación 24 horas .....	44
Figura 7-64. Isopletras dióxido de nitrógeno NO <sub>2</sub> promedio anual.....	45
Figura 7-65. Isopletras para dióxido de azufre SO <sub>2</sub> para un tiempo de ponderación de 24 horas .....	47
Figura 7-66. Isopletras dióxido de azufre SO <sub>2</sub> para un tiempo de ponderación Promedio anual .....	48
Figura 7-67. Isopletras monóxido de carbono CO para un tiempo de ponderación 8 horas..	50
Figura 7-68. Isopletras monóxido de carbono CO para un tiempo de ponderación 1 hora ...	51

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA ENTRE EL TÚNEL DE OCCIDENTE - SAN JERONIMO UNIDAD FUNCIONAL 3 Y 1 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1**

**ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

	PÁG.
Fotografía 7-1. Tanque de almacenamiento a instalar.....	27
Fotografía 7-2 Avance de las plumas de trazador en la Quebrada La Frisola-Planta 1 .....	39
Fotografía 7-3. Levantamiento topobatimétrico en la Quebrada La Frisola-Planta 1 .....	40
Fotografía 7-4. Zonas de restaurantes y parqueaderos .....	28
Fotografía 7-5. Viviendas en remodelación – viviendas a la altura cercana de la vía.....	29
Fotografía 7-6 Actividad Ganadera- Piedra Negra – San Jerónimo (X:1150722,98; Y:1.198.368,23).....	30
Fotografía 7-7. Vereda El Naranjal – Medellín. Cultivos .....	30
Fotografía 7-8. Fuentes Móviles (Vía Túnel de Occidente – San Jerónimo).....	31
Fotografía 7-9. Fuentes Lineales – Vías secundarias .....	32
Fotografía 7-10. Extracción de material en la quebrada La Frisola, vereda La Volcana-Guayabal del municipio de Medellín .....	33

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

## **7 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES**

El presente documento hace parte del Estudio de Impacto Ambiental para la construcción de la segunda calzada entre el túnel de Occidente y San Jerónimo; unidades funcionales 3 y 1 del Proyecto Autopista al Mar 1 y contiene la caracterización detallada de los recursos naturales que demandara el proyecto durante su etapa constructiva, de tal forma que sirva de soporte a la autoridad ambiental para el otorgamiento de los permisos requeridos.

Dichos permisos corresponderán a concesiones de agua para uso industrial, ocupaciones de cauce en sitios donde se requiere construir obras de drenaje, viaductos o puentes, vertimientos industriales y domésticos, emisiones atmosféricas y aprovechamiento forestal.

Por otro lado, para atender lo establecido en la Ley 373 de 1997, “Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico”, en el numeral 11.2 OTROS PLANES Y PROGRAMAS del presente estudio, se presenta el programa de uso eficiente y ahorro del agua que se implementará durante el desarrollo de las actividades constructivas.

En cuanto a los FUN -Formulario Único Nacional de Permiso-, en el Anexo O. Demanda, se presentan la totalidad de formularios requeridos para la solicitud de los permisos que se describen a continuación.

### **7.1 AGUAS SUPERFICIALES**

Durante la etapa de construcción del tramo correspondiente a las Unidades Funcionales 3 y 1 del proyecto Autopista al Mar I, se requerirá aguas para diferentes usos, de tal forma se prevé la captación de agua para suplir las necesidades de instalaciones de infraestructura temporal como lo es la planta de concreto, asfalto y trituración e igualmente para el desarrollo de actividades como humectación y compactación en los diferentes frentes de obra, hormigones, curado de compactación de terraplenes, limpieza e higiene.

#### **7.1.1 Demanda de agua a utilizar**

A continuación se presentan los volúmenes requeridos para consumo industrial y doméstico durante las actividades constructivas del proyecto.

##### **7.1.1.1 Consumo Industrial**

Con base en la información relacionada en del *Capítulo 3. Descripción del Proyecto* del presente estudio, se requerirá los volúmenes establecidos en la Tabla 7-1.

**Tabla 7-1 Volumen de agua requerido para uso industrial**

UNIDAD FUNCIONAL	CAUDAL REQUERIDO (l/s)	USO		
		Hormigones (m <sup>3</sup> )	Compactación terraplenes y capas granulares (m <sup>3</sup> )	Otras tareas de limpieza e higiene (m <sup>3</sup> )
UF1	9,540	38.051	285.385	47.564
UF3	9,292	Para las actividades de construcción del túnel se prevé el uso de 334,5 m <sup>3</sup> /día que suplirán todas las actividades previstas.		
<b>DEMANDA TOTAL</b>	<b>18,832</b>			

Fuente: Informe Técnico DEVIMAR. 2016.

La duración de las actividades constructivas se ha estimado en 5 años, durante los cuales se ha estimado un tiempo de captación de 10 horas/ día, correspondientes a la jornada laboral.

Es necesario tener en cuenta que durante las actividades de perforación del túnel se presentara infiltración de aguas, las cuales, podrán ser manejadas incorporándolas en la preparación de los concretos requeridos por el proyecto.

#### 7.1.1.2 Consumo doméstico

Los requerimientos de agua para uso doméstico se asocia con la operación de la planta de concreto, por lo tanto, teniendo en cuenta una población estimada de 15 personas y considerando los módulos de consumo determinados por el RAS (2000) para una población con un nivel de complejidad medio -*Dotación Neta Máxima* es de 175 l/hab/d- se considera un consumo de 2.625 l/d, equivalentes a **0,03038 l/s**.

#### 7.1.1.3 Demanda de Agua Total

Acorde con lo indicado anteriormente, la demanda total de agua para las actividades de construcción se presentan en la Tabla 7-2.

**Tabla 7-2 Demanda de agua total en el proyecto**

Uso Requerido	Caudal Estimado (l/s)
Doméstico	0.030
Industrial	18,832
Factor de seguridad (10 %)	1,886
<b>Demanda Total</b>	<b>20,75 ≈ 21</b>

Fuente: Consultoría Colombiana 2.016

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

### 7.1.2 Identificación de las fuentes de captación y caudal a solicitar

Para la identificación de las fuentes objeto de captación, se tuvo en cuenta la información recopilada durante el trabajo de campo y la información de hidrología de la zona, de tal forma se plantea la captación de las corrientes que se presentan en la Tabla 7-3. La coordenada indicada corresponde a un punto de referencia.

**Tabla 7-3 Identificación de fuentes**

ID	Corriente	Vereda Municipio	Coordenadas Magna Sirgas origen Oeste*		Uso	
			Norte	Este	I	D
CAP 4	Río Aurrá	El Rincón / San Jerónimo	1204843,4	1148972,6	X	
CAP 7	Quebrada la Volcana	Corregimiento Las Palmitas / Medellín	1192776,6	1153642,3	X	X
CAP 8	Quebrada la Frisola	La Volcana - Guayabal / Medellín	1191373,3	1153746,6	X	
CAPTACIÓN PORTAL MEDELLÍN	Quebrada La Culebra	Naranjal /Medellín	1188356,0	1157426,0	X	

I: Industrial D: Domestico

*Coordenadas de referencia desde las cuales se definirá el punto definitivo de captación en una franja de 50 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo, de acuerdo a las condiciones de la zona al momento de la construcción.*

Fuente: (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

Para determinar el caudal de agua a solicitar en cada punto de captación, se partió del caudal medio mensual multianual más bajo registrado en la estación Peñalta para el caso del Río Aurrá (Cuenca instrumentada) y el caudal medio mensual estimado más bajo, para las cuencas no instrumentadas -el soporte de estas estimaciones se puede observar más adelante en el análisis de caudales-. Al caudal medio mensual más bajo, se descontó el caudal ambiental, el cual fue calculado según la metodología sugerida por el IDEAM (MAVDT, 2004), equivalente a un porcentaje de descuento de 25% sobre el caudal medio mensual más bajo de la corriente, con lo cual se tienen los caudales que se presentan en la Tabla 7-4.

**Tabla 7-4. Caudal disponible corrientes consideradas para captación**

Corriente prevista para captación	Mínimo caudal medio mensual (m <sup>3</sup> /s)	Caudal ambiental (m <sup>3</sup> /s)	Caudal disponible	
			m <sup>3</sup> /s	l/s
Río Aurrá	3,590	0,8975	2,6925	<b>2692,5</b>
Quebrada La Frisola	0.138	0,0345	0,1035	<b>103,5</b>
Quebrada La Volcana	0.147	0,0368	0,1103	<b>110,3</b>
Quebrada La Culebra	0,024	0,0060	0,0180	<b>18,0</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Además del caudal disponible en cada corriente, para la determinación del caudal de captación, se consideró el agua de infiltración que se obtendrá como resultado inherente de la perforación del túnel y que puede ser incorporada a los procesos constructivos del proyecto. El detalle de la determinación de los caudales de infiltración se presenta en el numeral 7.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS; a manera informativa a continuación se indican los caudales de infiltración del túnel considerados para la determinación de la demanda de agua superficial del proyecto.

**Tabla 7-5. Caudal de agua de infiltración a usar en la etapa constructiva en cada portal**

Portal	Agua de infiltración del túnel disponible para uso en el proyecto (L/s)
Santa Fe	<b>2,56</b>
Medellín	<b>4,67</b>
<b>TOTAL</b>	<b>7,23</b>

Finalmente, se consideran los siguientes caudales de captación para las corrientes de agua superficial indicadas. (Tabla 7-6).

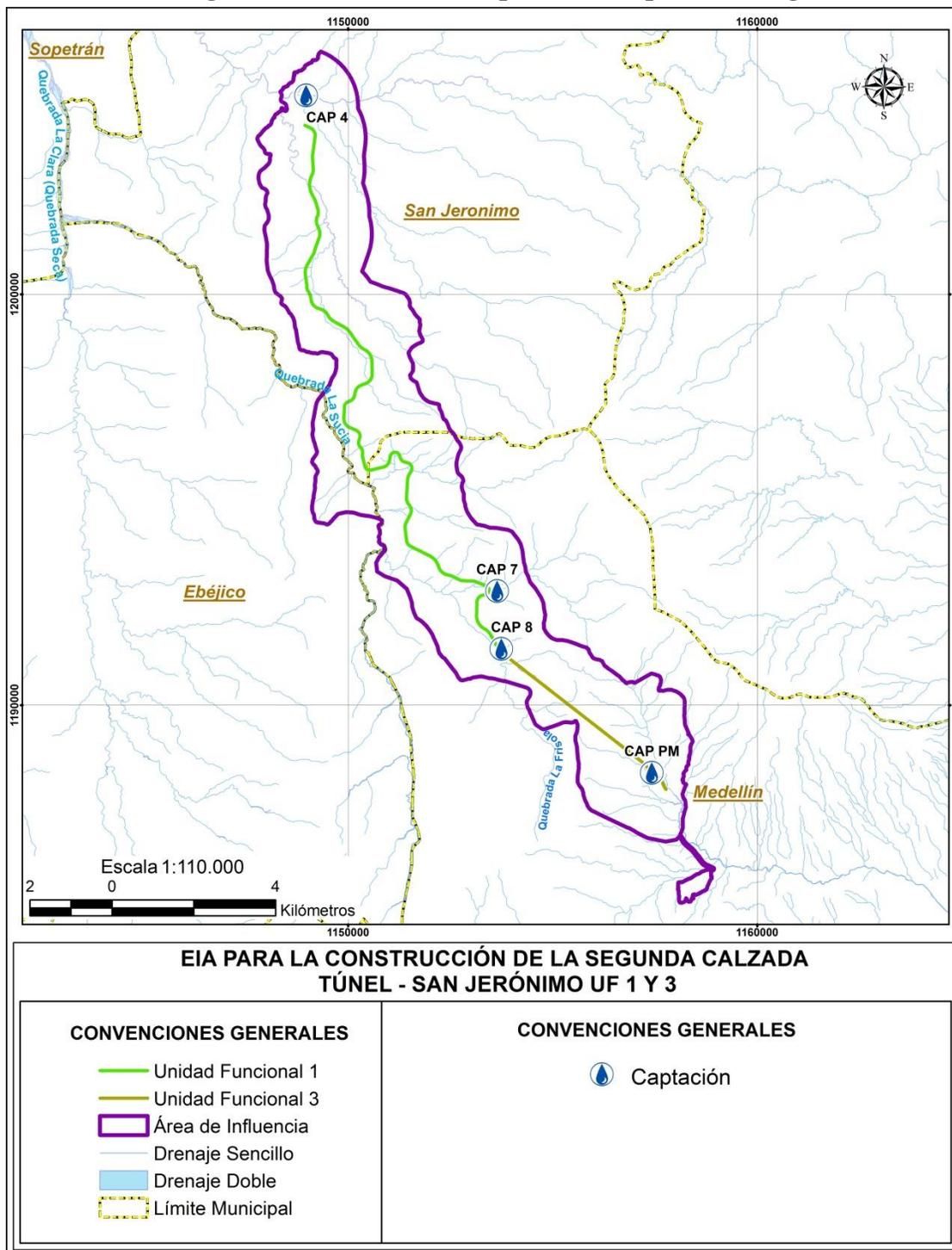
**Tabla 7-6. Caudal a captar en cada corriente**

Corriente prevista para captación	Caudal disponible (l/s)	Caudal a captar (l/s)		Uso	
		Industria	Doméstico	Domestico	Industrial
Río Aurrá	2692,5	4,5			X
Quebrada La Frisola	103,5	4		X	X
Quebrada La Volcana	110,3	2,47	0,03		X
Quebrada La Culebra	18,0	2,8			X
<b>TOTAL CAUDAL A CAPTAR</b>		<b>13,77</b>	<b>0,03</b>		

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

A continuación en la Figura 7-1 se muestra la localización geográfica de cada uno de los puntos de captación para la construcción de la segunda calzada entre el Túnel de Occidente y San Jerónimo (UF 3 y 1).

**Figura 7-1 Localización de puntos de captación de agua**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

### 7.1.2.1 Accesos a Captaciones

Para llegar a los puntos de captación indicados anteriormente, se requiere el uso de vías existentes, las cuales se describen brevemente a continuación, teniendo en cuenta que se presentaron a detalle en el capítulo 3 del numeral 3.2.1.3 del presente estudio.

- Acceso a captación 4- Río Aurrá: Este acceso se hace por la vereda El Rincón, muy cerca al casco urbano de San Jerónimo, se requiere el desplazamiento desde la vía principal hasta un parador, posteriormente se toma la vía que conduce hasta el punto de captación, actualmente este acceso se encuentra con material en recebo, cuenta con cunetas en tierra y tal como lo muestra la Tabla 7-7 además está relacionada al tránsito liviano.
- Acceso a captación 7- Quebrada La Volcana: Para llegar a este punto se desvía de la carretera nacional rumbo al corregimiento Las Palmitas. Esta vía cuenta con capa de pavimento flexible con cunetas en concreto y su uso está relacionado con el tránsito liviano principalmente.
- Acceso a captación 8 - Quebrada La Frisola: Vía terciaria que conduce a la vereda La Volcana que cuenta con pavimento flexible, con cunetas en concreto y su uso está relacionado con tránsito liviano y el paso de algunos camiones.
- Acceso a captación Portal Medellín – Quebrada La Culebra: Para acceder al punto, se prevé el uso de las áreas de construcción del proyecto teniendo en cuenta que el punto de captación previsto se localiza en esta área.

**Tabla 7-7 Vías de acceso a las captaciones**

No.	Vía de Acceso	Captación
Captación No. 4 – Río Aurrá		

No.	Vía de Acceso	Captación
Captación No. 7 – Quebrada La Volcana		
Captación No. 8 – Quebrada La Frisola		

Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

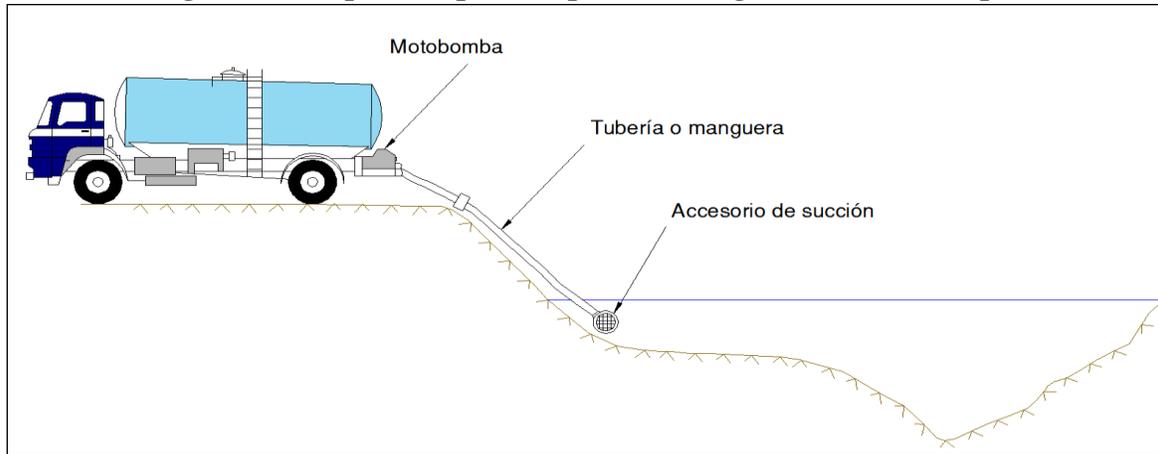
### 7.1.3 Diseño tipo de la infraestructura y sistema de captación, derivación, conducción, restitución de sobrantes y distribución

Esta información va ligada con la logística, distancias y necesidades en la etapa de construcción del proyecto, de tal forma que se propone el siguiente manejo para la captación del recurso.

#### 7.1.3.1 Sistema de captación

La captación de aguas se propone realizarla mediante motobomba acoplada a carro tanque, la cual se unirá a una manguera de agua o tubería proveniente de la corriente de agua; esta alternativa, evita la intervención de la corriente con la construcción de infraestructura o con el ingreso de los vehículos en las corrientes superficiales en las cuales se solicita concesión. En el caso de requerirse la captación del recurso a través de una alternativa diferente a la señalada, se asegurará el cumplimiento de las obligaciones que sean establecidas por la autoridad al momento de otorgar la autorización (Ver Figura 7-2).

**Figura 7-2 Esquema tipo de captación de agua con carro tanque**



Fuente: (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

### 7.1.3.2 Conducción

El transporte podrá realizarse a través de carro tanques o líneas de conducción, siempre considerando la medición del caudal captado mediante el uso de medidores de flujo o flujómetros, de tal forma que no se sobrepasen los caudales aprobados en cada corriente. Para la instalación de las líneas de conducción, se considerará su localización a un costado de las vías existentes, de tal forma que no se requiera la intervención de áreas.

### 7.1.3.3 Tratamiento

Los sistemas de conducción o transporte llevarán los caudales captados a una unidad de tratamiento de aguas según sea la necesidad (doméstica o industrial); en las cuales se asegurarán las condiciones requeridas para su uso. De modo preliminar, no se considera el tratamiento de agua para uso industrial, sin embargo, en el caso de ser necesario se utilizarán floculadores portátiles o equipos similares, que entreguen el agua con bajos contenidos de sólidos; estos equipos se localizaran de acuerdo a la actividad que demande el recurso (Figura 7-3).

**Figura 7-3. Sistema portátil de floculación**



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

Para el caso del agua destinada al uso doméstico se prevé el uso de una planta de tratamiento compacta convencional, que cuente con unidades independientes de filtración y clarificación, de fácil operación y mantenimiento, la cual se ubicará en el área denominada planta en la que se incluye la de asfalto, concreto y triturado.

El sistema de captación–conducción–almacenamiento–tratamiento y distribución del agua contará con el adecuado mantenimiento para garantizar el suministro permanente del recurso a las zonas industriales, y demás instalaciones que lo requieran, en la cantidad y calidad requerida para las actividades industriales y domésticas (sanitarios).

#### **7.1.4 Análisis de Conflictos Actuales o Potenciales sobre la Disponibilidad y Usos**

En el área de estudio se localizarán cuatro captaciones, a saber, Captación 8 – Quebrada La Frisola, Captación 7 – Quebrada La Volcana, Captación 4 – Río Aurrá y Captación Portal Medellín-Quebrada La Culebra. De las corrientes mencionadas, sólo está instrumentada la cuenca del río Aurrá; por lo cual, para estimar los caudales medios, máximos y mínimos en los sitios de captación de cuencas sin medición, se recurre a métodos indirectos de lluvia escorrentía.

Además, a fin de analizar los conflictos actuales o potenciales sobre la disponibilidad y usos, se identifican los usos y usuarios aguas abajo de las captaciones proyectadas.

##### **7.1.4.1 Caudales Máximos**

Los caudales de un río son completamente aleatorios, dependen de ciertos factores tales como precipitación, geología, vegetación, topografía, temperatura, entre otros. Sin embargo los factores que tienen una mayor influencia son las precipitaciones y las condiciones geológicas.

Los valores de caudales máximos de una estación, así como los de precipitación siguen una distribución de probabilidades. En una serie de datos estadísticos de una estación hidrológica, es indispensable resumir esta multitud de valores en elementos sintéticos que caractericen la estación desde el punto de vista considerado.

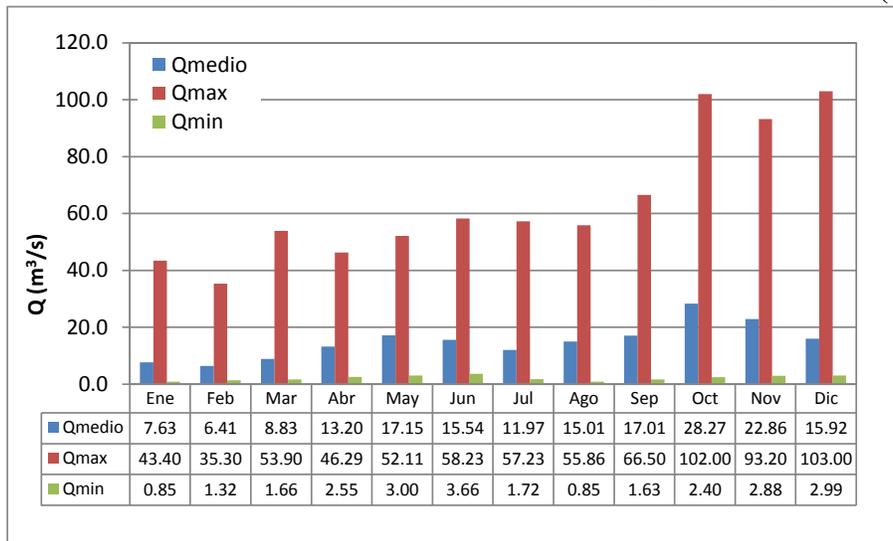
El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y determinar con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un período de retorno dado.

La información de caudales máximos anuales de cada estación fue procesada y ajustada mediante el software Hyfran<sup>®</sup> a funciones probabilísticas.

#### 7.1.4.1.1 Estación Peñalta (Río Aurrá)

La Estación Peñalta registra un caudal máximo medio anual de 14.98 m<sup>3</sup>/s, en un registro de 32 años. La serie de máximos muestra un caudal mínimo de 0.85 m<sup>3</sup>/s y máximo de 103 m<sup>3</sup>/s. (Ver Figura 7-4).

**Figura 7-4. Caudales máximos mensuales multianuales - Estación Peñalta (Río Aurrá)**



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016.

#### ➤ Análisis de Frecuencia

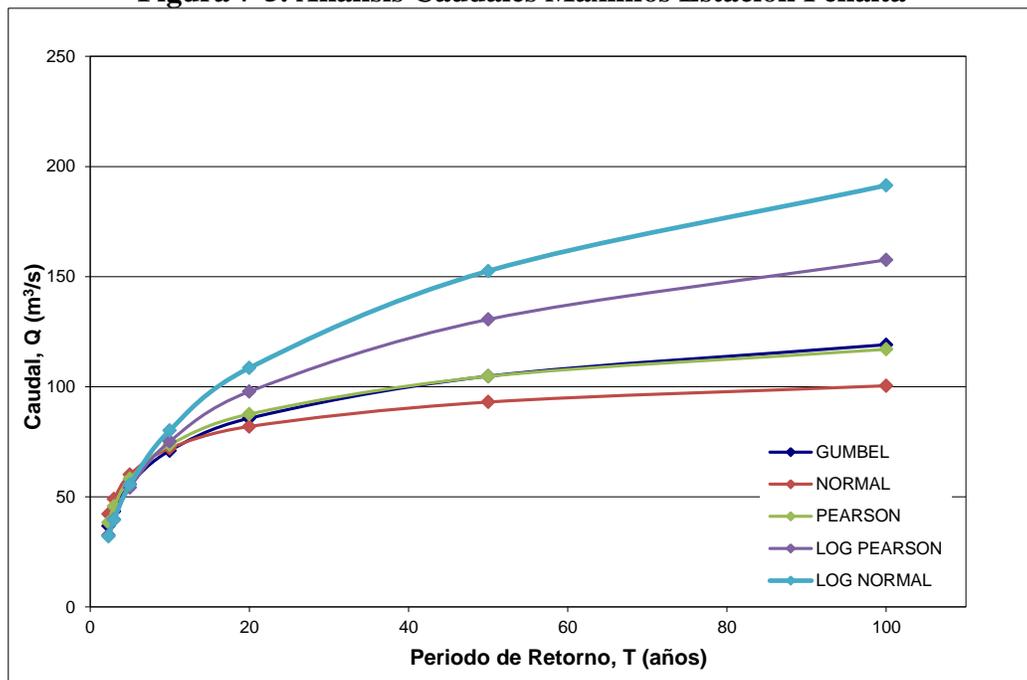
El análisis de frecuencia de los registros máximos anuales de caudal reportados de la estación Peñalta en el río Aurrá indica 21.06 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 1.33 años, y 55.59 m<sup>3</sup>/s para 5 años. Los resultados de acuerdo con cada distribución de probabilidad se muestran en la Tabla 7-8 y en la Figura 7-5.

**Tabla 7-8. Frecuencia de caudales máximos estación Peñalta**

Periodo Retorno (años)	Valor esperado para cada distribución para cada Tr					Caudal Seleccionado m <sup>3</sup> /s
	GUMBEL m <sup>3</sup> /s	NORMAL m <sup>3</sup> /s	PEARSON m <sup>3</sup> /s	LOG PEARSON m <sup>3</sup> /s	LOG NORMAL m <sup>3</sup> /s	
1.33	21.06	23.07	20.75	18.51	17.83	21.06
2	32.37	37.29	33.41	28.26	27.58	32.37
5	55.59	60.13	58.26	54.19	55.57	55.59
10	70.95	72.08	73.61	75.16	80.18	70.95
20	85.70	81.94	87.57	97.80	108.53	85.70
50	104.78	93.04	104.71	130.56	152.56	104.78
100	119.08	100.44	116.99	157.58	191.44	119.08
<b>PRUEBA CHI CUADRADO</b>	16.55	37.41	31.68	23.09	20.64	16.55
<b>Probabilidad</b>	0.011	0.000	0.000	0.000	0.002	0.01

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

**Figura 7-5. Análisis Caudales Máximos Estación Peñalta**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

#### 7.1.4.1.2 Transposición de caudales -cuencas instrumentadas (INVIAS, 2009)

Es posible que la estación hidrométrica sobre la corriente de agua que cruza la vía que se estudia, no se encuentre exactamente en el sitio de proyecto de la obra de drenaje vial, pero sí en la misma hoya hidrográfica, por lo cual se pueden transferir caudales máximos

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

instantáneos anuales de diferentes periodos de retorno de esta estación hasta el sitio de proyecto, mediante relaciones de áreas de drenaje, así:

$$Q_{SP} = Q_{EH} \times \left( \frac{A_{SP}}{A_{EH}} \right)^x$$

Dónde:

Q<sub>SP</sub>: Caudal en el sitio de proyecto, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

Q<sub>EH</sub>: Caudal en la estación hidrométrica, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

A<sub>SP</sub>: Área hoya hidrográfica hasta el sitio de proyecto, en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).

A<sub>EH</sub>: Área hoya hidrográfica hasta la estación hidrométrica, en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).

El exponente x es un valor que fluctúa usualmente entre 0.5 y 0.75. Según literatura, se acostumbra tomar un valor igual a 0.5.

En todo caso, para la aplicación de esta metodología es imperativo que las áreas de drenaje no sean muy diferentes. En general, esta diferencia no podrá ser mayor o menor al 50 % del valor original del área de drenaje.

#### 7.1.4.1.2.1 Cálculo caudales máximos captación 4- Río Aurrá

Aplicando la metodología anteriormente expuesta, se obtienen los caudales máximos mostrados en la Tabla 7-9.

**Tabla 7-9 Estimación de caudales de cuencas por método de transposición**

Corriente	AREA <sub>sp</sub> (Km <sup>2</sup> )	Estación	AREA <sub>eh</sub> (Km <sup>2</sup> )	Asp/Aeh	Transposición de caudales			
					Aplicación	1.33	2	5
Río Aurrá	130.56	Peñalta	192.06	0.68	Válido	14.64	26.69	45.83

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2015

#### 7.1.4.1.3 Métodos lluvia – escorrentía – cuencas no instrumentadas

A fin de calcular caudales máximos para diferentes periodos de retorno, se utiliza la metodología del hidrograma unitario recomendada por “The Soil Conservation Service-SCS” para cuencas mayores a 2.50 km<sup>2</sup>.

Estos modelos lluvia – escorrentía son utilizados cuando no existe la posibilidad de obtener medidas directas de caudales de drenaje en las cuencas hidrográficas, y son modelos en los cuales se calcula la escorrentía superficial.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

➤ **Parámetros Morfométricos**

Para las cuencas en estudio se han evaluado los parámetros de pendiente media y tiempo de concentración, según la siguiente metodología:

- **Pendiente media del cauce (S)**

Es la variación de inclinación del cauce. Determina la velocidad de escurrimiento del agua. A mayor pendiente, mayor velocidad.

La pendiente media del cauce se realizó por el método de Taylor - Schwarz, que ajusta una rasante al perfil de la corriente.

$$S = \left[ \frac{L_t}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^2$$

Dónde:

- Lt: Longitud total del cauce principal en (Km)
- Li: Longitud en que se divide el cauce principal (Km)
- Si: Pendiente de cada uno de los tramos

- **Tiempo de concentración (Tc)**

Tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca.

Las expresiones más utilizadas son las de:

- Kirpich

$$T_c = 0.06628 \cdot \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Desarrollada a partir de información del SCS, recomendada para cuencas rurales en zonas montañosas.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>  <b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
---	--	--

- Temez

$$T_c = 0.30 \cdot \frac{L^{0.75}}{S^{0.19}}$$

- U.S. Corps of Engineers

$$T_c = 0.0882 \cdot \frac{L^{0.76}}{S^{0.19}}$$

- Chow

$$T_c = 0.0197 \cdot \frac{L^{0.64}}{S^{0.32}}$$

Dónde:

L: Longitud total del cauce principal en (Km)

S: Pendiente Promedio en (m/m)

Tc: Tiempo de Concentración en (min)

➤ Método del Hidrograma unitario del SCS

Este método de cálculo de la escorrentía máxima, utiliza como información básica, el área de drenaje, la longitud del cauce principal, la pendiente del cauce, la precipitación bruta caída en la cuenca en estudio, su duración y el valor característico del suelo CN, de acuerdo con la clasificación definida por el U.S. S.C.S. Para cuencas sin medición de caudales y con áreas mayores a 2.5 km<sup>2</sup>, se empleó el método del hidrograma unitario de SCS.

En esencia se pretende determinar un caudal pico específico o por unidad de lluvia neta (qp) en m<sup>3</sup>/s-cm de lluvia neta. Para este fin, se utilizó la metodología del Hidrograma Unitario, el cual, a través de un proceso lineal como lo es la convolución, se hace la transformación de lluvia efectiva a escorrentía directa por el cauce. Uno de los métodos más utilizados para cuencas con tamaños similares a la de los ríos de la zona del proyecto, es el Método Triangular, desarrollado por el SCS de los Estados Unidos.

Se utilizó el hidrograma triangular desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service que a partir de su forma se obtiene las siguientes relaciones:

$$T_c = L^{0.77} S^{-0.385}$$

L: Longitud del cauce principal desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés, en Km

S: Pendiente promedio del cauce, en m/m

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

T<sub>p</sub>: Tiempo al pico, se mide desde el comienzo del hidrograma unitario en horas y está dado por la siguiente expresión:

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6T_c$$

Donde D es el exceso de precipitación unitaria en horas y T<sub>c</sub> es el tiempo de concentración en horas

Ahora:

Q<sub>p</sub>: Caudal unitario máximo en m<sup>3</sup>/s y está dado por la expresión:

$$Q_p = 0.2083A \frac{E}{T_p}$$

Dónde:

A: Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

E: Esguerrimiento medio en mm

T<sub>p</sub>: Tiempo al pico en horas

De la misma manera:

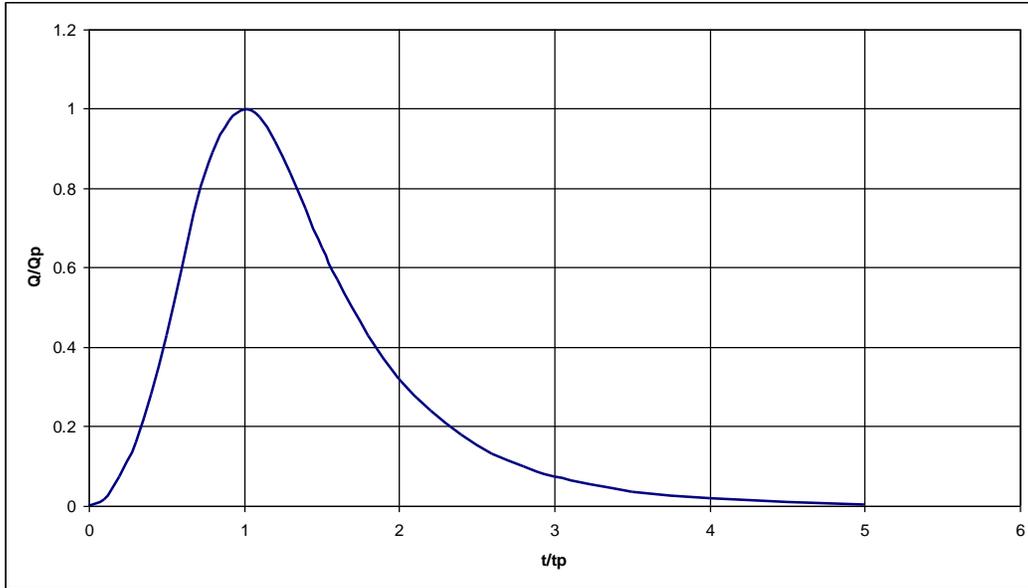
$$T_b = \frac{8}{3}T_p$$

Para convertir el hidrograma unitario triangular en curvilíneo se utilizó el hidrograma unitario adimensional desarrollado por el U. S. Soil Conservation Service (Ver Figura 7-6).

Ahora, para la determinación del hietograma sintético de la lluvia de diseño o sea la distribución de la profundidad de la lluvia en el tiempo. Se obtuvieron las profundidades totales para diferentes períodos de retorno en las estaciones más representativas de los sitios de interés.

En el presente estudio se obtuvo el valor de la profundidad de la lluvia para períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años, a partir de los análisis de precipitación realizados para la estación pluviométrica La Iguaná, operada por el IDEAM.

**Figura 7-6. Hidrograma unitario adimensional del U.S.S.C.S.**



Fuente: Ven te Chow, 1994

La precipitación efectiva ( $P_e$ ), fue estimada utilizando el método del Soil Conservation Service de los EEUU, el cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_e = \frac{\left( P - \frac{5080}{CN} + 50.8 \right)^2}{P + \frac{20320}{CN} - 203.2}$$

Dónde:

- Pe: precipitación efectiva en mm.
- P: precipitación de tormenta de diseño en mm.
- CN: número de curva.

La determinación del número de curva de las cuencas se realiza mediante un promedio ponderado por el área del número de curva asignado a cada zona o unidad de suelo y cobertura vegetal homogénea identificada dentro de las cuencas.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

#### 7.1.4.1.3.1 Resultados caudales máximos- captación 8 – Q. La Frisola y captación 7- Q. La Volcana y captación Portal Medellín –Q. La Culebra

Con base en datos de precipitación efectiva, tiempo de concentración y área aferente de las cuencas, se calcularon los caudales máximos en condiciones de lluvia asociadas a diferentes periodos de retorno (Ver Tabla 7-10).

**Tabla 7-10 Caudales Máximos captaciones Portal Medellín, 7 y 8 – Método SCS**

ID	Cuenca	Características de la Cuenca						Tc Kirpich	
		Área (Km <sup>2</sup> )	Longitud de Cauce (Km)	Cota Mayor (m)	Cota Menor (m)	Dif. de altura (m)	Pendiente media (%)	(horas)	(min)
3	Quebrada La Culebra	2.02	2.47	2,657	2,025	632	25.59	0.25	15.00
7	Quebrada La Frisola3	11.48	6.62	3,108	1,860	1,248	18.87	0.54	32.38
8	Quebrada La Volcana	12.21	3.97	3,117	1,758	1,359	34.27	0.29	17.35

ID	Cuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	T retardo (horas)	Tpico (horas)	Qpico (m <sup>3</sup> /s/m m)	Caudales (m <sup>3</sup> /s)		
						1.33	2	5
3	Quebrada La Culebra	2.02	0.15	0.53	0.80	0.82	1.23	4.13
7	Quebrada La Frisola3	11.48	0.32	0.82	2.90	1.40	2.11	5.28
8	Quebrada La Volcana	12.21	0.17	0.67	3.77	8.19	12.31	8.19

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

#### 7.1.4.2 Caudales mínimos

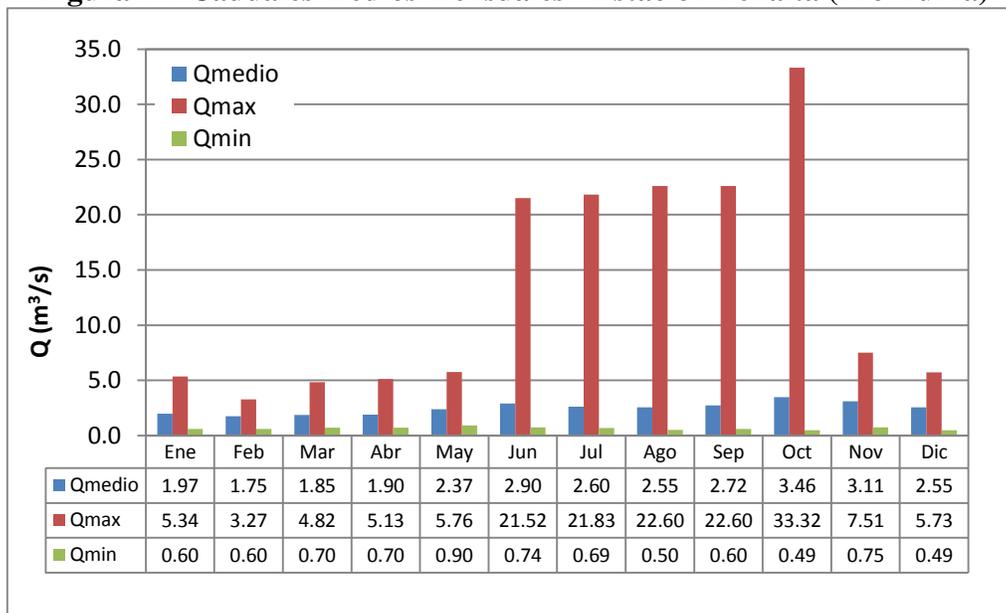
Se presenta, la información de la estación hidrométrica, correspondiente a los valores mínimos mensuales de caudales, reportados por el IDEAM.

Los valores mínimos en hidrología (precipitación o caudales), se pueden ajustar a distribuciones probabilísticas. Aunque existen numerosas distribuciones de probabilidad para valores extremos, es muy común que los datos históricos presenten mejor ajuste con las distribuciones de probabilidad Gumbel (escuela europea) y log-Pearson Tipo III (escuela americana).

##### 7.1.4.2.1 Estación Peñalta (Río Aurrá)

La Estación Peñalta registra un caudal mínimo medio anual de 2.48 m<sup>3</sup>/s, en un registro de 32 años. La serie de medios muestra un caudal mínimo de 0.49 m<sup>3</sup>/s y máximo de 33.32 m<sup>3</sup>/s. (Ver Figura 7-7).

**Figura 7-7 Caudales medios mensuales - Estación Peñalta (Río Aurrá)**



Fuente: Consultoría Colombiana, 2016.

➤ **Análisis de Frecuencia**

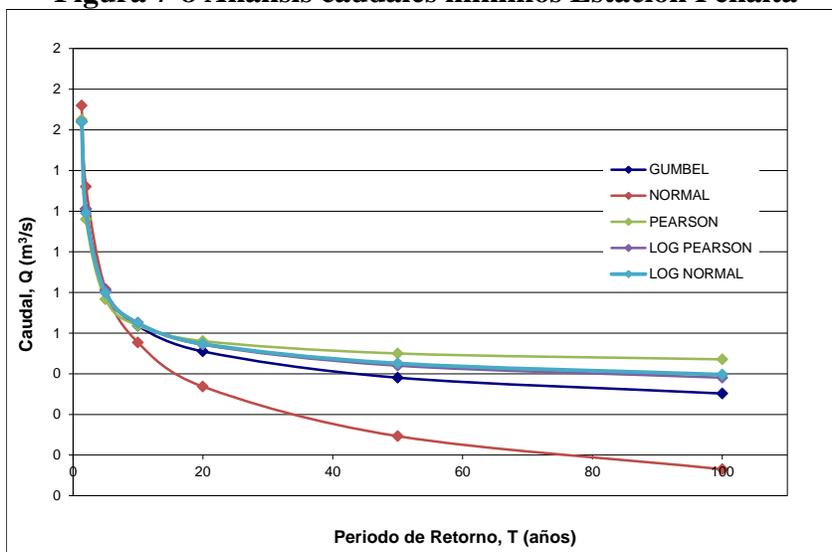
El análisis de frecuencia de los registros mínimos anuales de caudales reportados de la estación Peñalta en el río Aurrá indica 1.64 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 1.33 años, y 0.81 m<sup>3</sup>/s para 5 años. Los resultados de acuerdo con cada distribución de probabilidad se muestran en la Tabla 7-11 y en la Figura 7-8.

**Tabla 7-11 Frecuencia de caudales mínimos Estación Peñalta**

PERIODO RETORNO	VALOR ESPERADO PARA CADA DISTRIBUCIÓN PARA CADA Tr					CAUDAL SELECCIONADO
	GUMBEL	NORMAL	PEARSON	LOG PEARSON	LOG NORMAL	
(años)	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
1.33	1.64	1.72	1.65	1.64	1.64	1.65
2	1.21	1.32	1.16	1.21	1.19	1.16
5	0.81	0.82	0.77	0.81	0.80	0.77
10	0.64	0.55	0.64	0.65	0.65	0.64
20	0.51	0.34	0.56	0.54	0.55	0.56
50	0.38	0.09	0.50	0.44	0.45	0.50
100	0.30	-0.07	0.47	0.38	0.40	0.47
<b>PRUEBA CHI CUADRADO</b>	4.86	4.10	1.81	7.52	3.33	1.81
<b>Probabilidad</b>	0.434	0.534	0.771	0.111	0.649	0.77

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

**Figura 7-8 Análisis caudales mínimos Estación Peñalta**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

#### 7.1.4.2.2 Transposición de caudales -cuencas instrumentadas (INVIAS, 2009)

Es posible que la estación hidrométrica sobre la corriente de agua que cruza la vía que se estudia no se encuentre exactamente en el sitio de proyecto de la obra de drenaje vial, pero sí en la misma hoya hidrográfica. Se pueden transferir caudales máximos instantáneos anuales de diferentes periodos de retorno de esta estación hasta el sitio de proyecto, mediante relaciones de áreas de drenaje, así:

$$Q_{SP} = Q_{EH} \times \left( \frac{A_{SP}}{A_{EH}} \right)^x$$

Dónde:

$Q_{SP}$ : Caudal en el sitio de proyecto, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

$Q_{EH}$ : Caudal en la estación hidrométrica, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

$A_{SP}$ : Área hoya hidrográfica hasta el sitio de proyecto, en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).

$A_{EH}$ : Área hoya hidrográfica hasta la estación hidrométrica, en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).

El exponente x es un valor que fluctúa usualmente entre 0.5 y 0.75. Según literatura, se acostumbra tomar un valor igual a 0.5.

En todo caso, para la aplicación de esta metodología es imperativo que las áreas de drenaje no sean muy diferentes. En general, esta diferencia no podrá ser mayor o menor al 50 % del valor original del área de drenaje.

#### 7.1.4.2.2.1 Cálculo caudales mínimos captación 4- Río Aurrá

Aplicando la metodología anteriormente expuesta, se obtienen los caudales mínimos mostrados en la Tabla 7-12.

**Tabla 7-12 Estimación de caudales de cuencas por método de transposición**

Corriente	AREA <sub>sd</sub> (Km <sup>2</sup> )	Estación	AREA <sub>eh</sub> (Km <sup>2</sup> )	Asp/Aeh	Transposición de caudales			
					Aplicación	1.33	2	5
Río Aurrá	130.56	Peñalta	192.06	0.68	Válido	1.35	1.00	0.67

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2015

#### 7.1.4.2.3 Caudales mínimos mensuales de las cuencas no instrumentadas. Captación 8 – Q. La Frisola, Captación 7- Q. La Volcana y Captación Portal Medellín – Q. La Culebra

A partir del área de la cuenca hasta el sitio de cruce, y con el dato de rendimientos hídricos mínimos calculados en la estación Peñalta sobre el río Aurrá, se obtiene el caudal mínimo de las cuencas en estudio (Ver Tabla 7-13).

**Tabla 7-13 Caudales mínimos estimados en cuencas de sitio de captación (m<sup>3</sup>/s)**

ID	Nombre	Area (Km <sup>2</sup> )	Caudal Mínimo (m <sup>3</sup> /s)												
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Mínimo
3	Quebrada La Culebra	2.02	0.007	0.006	0.006	0.008	0.011	0.011	0.010	0.010	0.011	0.015	0.013	0.010	0.010
7	Quebrada La Frisola3	11.4783	0.042	0.035	0.037	0.044	0.063	0.064	0.055	0.055	0.063	0.083	0.075	0.057	0.056
8	Quebrada La Volcana	12.2125	0.044	0.037	0.039	0.047	0.067	0.068	0.059	0.058	0.067	0.088	0.080	0.061	0.060

Fuente: Consultoría Colombiana, 2016.

#### 7.1.4.3 Curvas de duración de caudal – Caudales medios

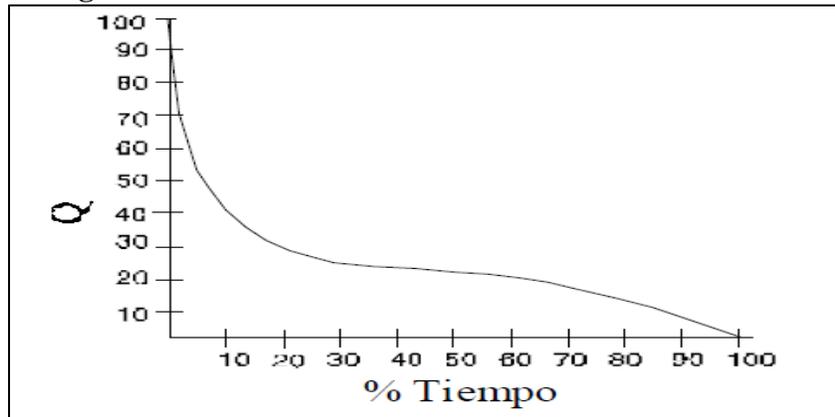
La curva de duración (CDC) es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. Es una gráfica que tiene el caudal, Q, como ordenada y el número de días del año (generalmente expresados en % 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:

$$P = N/m$$

Siendo  $m$  el número de veces que se presenta en ese tiempo el caudal. Si se dibuja el caudal contra el porcentaje de tiempo en que éste es excedido o igualado se tiene una gráfica como la mostrada en la Figura 7-9.

**Figura 7-9 Curva de duración de caudales de corrientes**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. (2016)

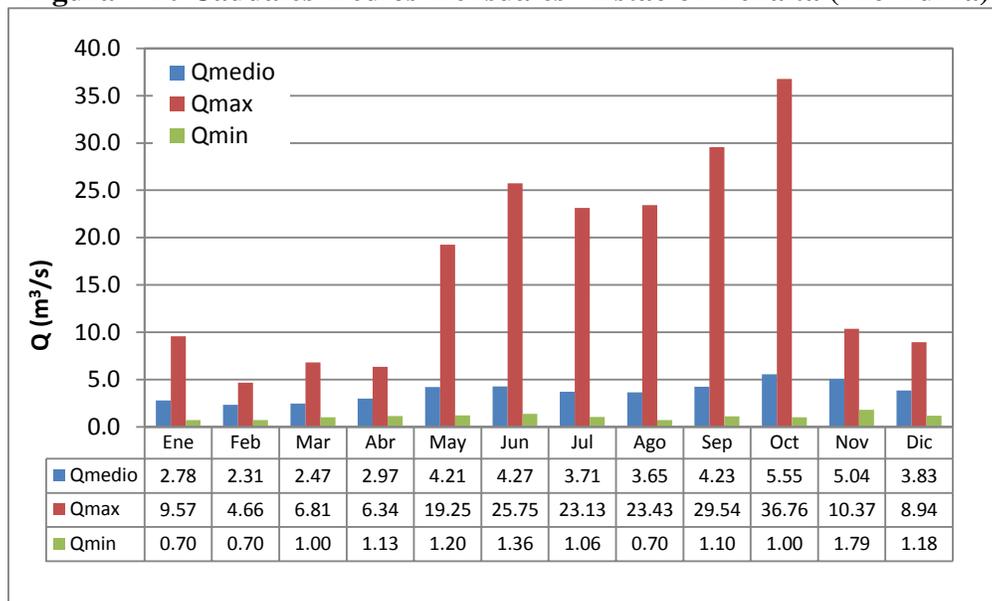
La curva de duración de caudales resulta del análisis de frecuencias de la serie histórica de caudales medios diarios. Se estima que si la serie histórica es suficientemente buena, la curva de duración es representativa del régimen de caudales medios de la corriente y por lo tanto puede utilizarse para pronosticar el comportamiento del régimen futuro de caudales, o sea el régimen que se presentará durante la vida útil del proyecto.

Las curvas de duración tienen formas típicas que dependen de las características de las cuencas vertientes. En cuencas de montaña, por ejemplo, la pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva indica que los caudales altos se presentan durante períodos cortos, mientras que en los ríos de llanura no existen diferencias muy notables en las pendientes de los diferentes tramos de la curva.

#### **7.1.4.4 Estación Peñalta (Río Aurrá)**

La Estación Peñalta registra un caudal medio anual de  $3.75 \text{ m}^3/\text{s}$ , en un registro de 32 años. La serie de medios muestra un caudal mínimo de  $0.70 \text{ m}^3/\text{s}$  y máximo de  $36.76 \text{ m}^3/\text{s}$ . (Ver Figura 7-10).

**Figura 7-10 Caudales medios mensuales - Estación Peñalta (Río Aurrá)**

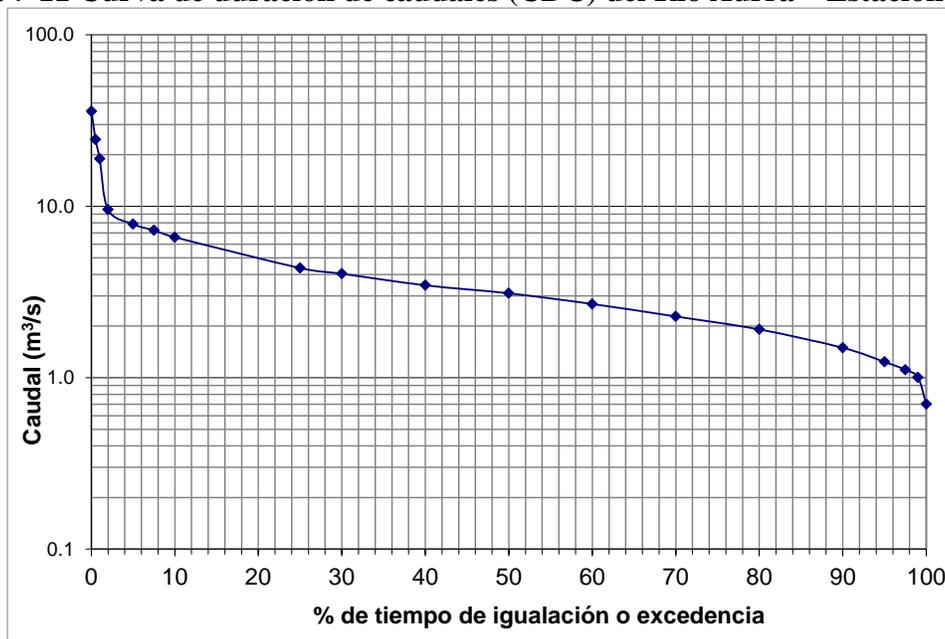


Fuente: Consultoría Colombiana, 2016.

➤ **Curva de duración de caudales**

En la Figura 7-11 se presenta la CDC para el río Aurrá en la estación de registro respectiva.

**Figura 7-11 Curva de duración de caudales (CDC) del Río Aurrá – Estación Peñalta**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Así se obtienen caudales característicos del río Aurrá a la altura de la estación, los cuales se presentan en la Tabla 7-14.

**Tabla 7-14 Caudales característicos (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Aurrá– Estación Peñalta**

Porcentaje del tiempo que el caudal es excedido (%)	Caudal m <sup>3</sup> /s Estación Peñalta (Río Aurrá)
1	9.75
5	8.02
10	6.85
25	4.35
50	3.00
75	1.95
90	1.47
95	1.21
97.5	1.10
100	1.00

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

#### 7.1.4.5 Caudales medios cuencas no instrumentadas - Captación 8 – Q. La Frisola y Captación 7- Q. La Volcana y Captación Portal Medellín – Q. La Culebra

Teniendo en cuenta los resultados de balance hídrico y según las características propias de las cuencas – verificadas en campo-, en general el área de estudio se trata de una zona seca con poca disponibilidad de agua. Las corrientes más representativas son las que tienen agua permanentemente, y por tanto, en las que se puede cuantificar un caudal medio.

Así, a partir del área de la cuenca hasta el sitio de cruce, y con el dato de rendimientos hídricos calculados en la estación Peñalta sobre el río Aurrá, se obtiene el caudal medio en cada sitio. En la Tabla 7-15 se puede observar los caudales medios estimados.

**Tabla 7-15 Caudales medios estimados en cuencas de sitio de captación (m<sup>3</sup>/s)**

ID	Nombre	Area (Km <sup>2</sup> )	Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)												
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Medio
3	Quebrada La Culebra	2.02	0.029	0.024	0.026	0.031	0.044	0.045	0.039	0.038	0.044	0.058	0.053	0.040	0.039
7	Quebrada La Frisola3	11.4783	0.166	0.138	0.148	0.178	0.251	0.255	0.222	0.218	0.253	0.332	0.301	0.229	0.224
8	Quebrada La Volcana	12.2125	0.177	0.147	0.157	0.189	0.267	0.271	0.236	0.232	0.269	0.353	0.321	0.243	0.239

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

#### 7.1.4.6 Inventario y cuantificación aguas abajo de la captación

El inventario de usos y usuarios fue realizado en las fuentes de agua a intervenir para captaciones. En el *Capítulo 5.1.7 Usos del Agua* del presente estudio, se muestra el inventario detallado de los usos y usuarios identificados en el área de estudio considerada, en los que se contempla los reportes obtenidos en campo, así mismo el reporte entregado por CORANTIOQUIA.

Para las captaciones localizadas sobre las quebradas La Culebra, La Volcana y La Frisola (Captación 7 y 8 respectivamente) no se identifican usuarios registrados aguas abajo de los sitios propuestos de captación. La no existencia de usuarios aguas abajo sobre las corrientes, se asocia a la existencia de acueductos veredales que abastecen las comunidades presentes, mediante bocatomas instaladas en la parte alta de las cuencas o por su cercanía a la zona sub urbana de Medellín, como es el caso del punto propuesto en la Quebrada La Culebra. En cuanto a usuarios identificados durante el trabajo de campo, se encontró para la quebrada La Frisola en las coordenadas X: 1153683,8 Y: 1191423,3 una manguera que capta por gravedad en la margen derecha de la corriente para consumo doméstico.

Para la captación número 4 correspondiente al Rio Aurrá según el informe entregado por CORANTIOQUIA en el mes de julio de presente año se registran 2 usuarios aguas abajo desde el punto de captación (Ver Tabla 7-16).

**Tabla 7-16 Usuarios registrados por CORANTIOQUIA**

Usuario	Municipio	Vereda	Coordenadas Magna Sirgas Origen Oeste	
			Este	Norte
Senderos y Lagos S.A.S	Sopetrán	San Nicolás	1144141,46	1207950,25
Blanca Paniagua Gallego	Sopetrán	Guaymarala	1142718,00	1209421,59

Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

Según la tabla anterior, el usuario Senderos y Lagos S.A.S se encuentra a una distancia de 5.7 km aproximadamente aguas abajo del punto de captación y el usuario Blanca Paniagua a 8.2 km, por lo que se considera que no tendrán afectación por la captación prevista.

El bajo número de usuarios registrados obedece a la existencia de acueductos veredales que suplen las necesidades de la comunidad mediante bocatomas en la parte alta de las cuencas, las cuales se encuentran por encima de la cota de intervención del proyecto.

#### 7.1.4.7 Análisis de conflictos actuales o potenciales sobre la disponibilidad y usos

La disponibilidad del recurso está asociada con época de caudales mínimos que para el área corresponde a los periodos de enero – abril y agosto, siendo acorde con la temporada de menos lluvias. Los caudales mínimos más bajos a nivel mensual son del orden de 6.1 l/s para la quebrada La Culebra, 35 l/s en la quebrada La Frisola (captación 8), 37 l/s en la quebrada La Volcana (captación 7) y 1000 l/s para el río Aurrá (captación 4).

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

Como no se reportan usuarios aguas abajo dentro del área de influencia y dado el poco caudal a captar, durante la época seca, no se esperarían afectaciones a los usuarios localizados fuera del área del proyecto. Para asegurar lo anterior, en el caso que la quebrada La Culebra registre valores iguales o menores a 6,1 l/s, durante la época seca (enero – abril y agosto), se limitará la captación, asegurando el caudal ecológico de la corriente.

## 7.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

En atención al requerimiento No. 16 formulado por la ANLA durante la audiencia de solicitud de información adicional celebrada el 16 de diciembre de 2016, a continuación se presente la información correspondiente a caudal, volumen requerido, infraestructura de captación, conducción y almacenamiento asociado al uso de las aguas de infiltración que se espera se presenten producto de su construcción.

### 7.2.1 CAUDAL ESTIMADO

La estimación de los caudales de infiltración que llegarán al “tubo” que se configurará con el nuevo túnel, se realizó representando las condiciones hidráulicas de todos los elementos del entorno, siendo fundamental el fracturamiento y otras condiciones particulares de flujo en el macizo rocoso. El soporte de cálculo del caudal estimado se presenta en el documento denominado “TUNEL-Hidrogeología” que se incluye en el Anexo B. Aspectos civiles constructivos, del presente documento. No obstante, para determinar el caudal de agua disponible, se toma como referencia el caudal más bajo esperado en cada portal y sobre este se calcula el 80%, previendo cambios en el comportamiento de las unidades litológicas. Acorde con lo anterior, se consideran los siguientes caudales para uso de las actividades constructivas:

**Tabla 7-17. Caudal de agua de infiltración estimado en cada portal**

Portal	Caudal estimado de infiltración (L/s)		Caudal disponible para uso en el proyecto durante los cinco años (L/s)
	primer y segundo año	tercer y cuarto año	
Santa Fe (Formación Pzes)	3,40	3,20	2,56
Medellín (Formación Kida)	6,16	5,84	4,67
<b>TOTAL</b>	9,56	9,04	7,23

Fuente: DEVIMAR, 2016.

No obstante que una parte de estos caudales no saldrán como agua residual por su utilidad y recirculación en el proceso constructivo; para efectos del cálculo de vertimientos se asumirá que el 100% de los valores estimados irán al tratamiento correspondiente para posteriormente verterlos en los cuerpos de agua que sean autorizados.

## 7.2.2 VOLUMEN REQUERIDO

Las aguas de infiltración del túnel se emplearan principalmente para las actividades de perforación las cuales se estima demandaran 167,25 m<sup>3</sup>/día por cada frente de trabajo de acuerdo a la siguiente estimación:

**Tabla 7-18. Demanda de agua por frente de trabajo en el túnel**

Actividad	Demanda de agua al día (m <sup>3</sup> )
Perforación con Jumbo de 3 brazos, 3 martillos	123,75
Vestuarios 75 L/día x 75 hombres	5,5
Agua para gunitado	20
Taller	15
Varios	3
<b>TOTAL</b>	<b>167,25</b>

Fuente: DEVIMAR, 2016.

De acuerdo con estas estimaciones y la duración de la etapa constructiva del túnel (5 años), la demanda de agua se calcula en 610.463 m<sup>3</sup> de agua, del cual se suplirá mediante uso de aguas de infiltración del túnel el siguiente:

**Tabla 7-19. Volumen total de agua de infiltración del túnel a usar en el proceso constructivo (5 años)**

Portal	Volumen de agua de infiltración (m <sup>3</sup> )
Santa Fe	168.192
Medellín	306.819
<b>TOTAL</b>	<b>475.011</b>

Fuente: DEVIMAR, 2016.

El volumen restante de agua requerido por el proyecto para la Unidad Funcional 3 y Unidad Funcional 1 (Vía en superficie), será suministrado a partir de las captaciones solicitadas en la quebrada La Culebra, quebrada La Frisola, quebrada La Volcana o Río Aurrá, tal como se indicó en el numeral 7.1.2 Identificación de las fuentes de captación y caudal a solicitar.

### **7.2.3 INFRAESTRUCTURA DE CAPTACIÓN, CONDUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO**

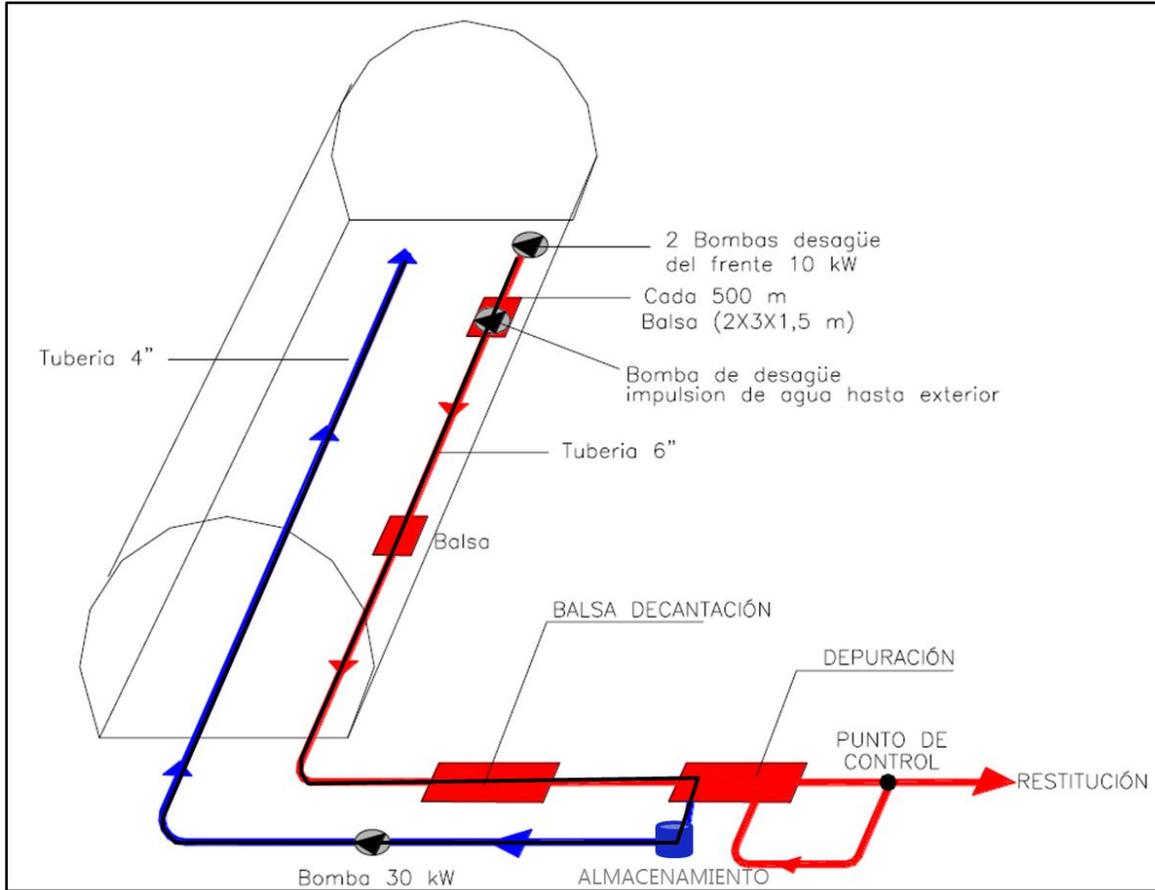
El agua de infiltración del túnel se obtiene como resultado del avance en las actividades de excavación y como tal no requieren una infraestructura de captación, para su manejo, se contempla la adecuación de canales laterales al frente de trabajo o la instalación de tubería de tal forma que conduzcan el agua al exterior del túnel. Una vez sale el agua de la excavación, se pasa por un sedimentador (que se describe en el aparte de Vertimientos) y de allí se conduce a un tanque de almacenamiento (Fotografía 7-1) y posteriormente se retorna al interior del túnel mediante tubería de 4 pulgadas de acuerdo a las necesidades de obra, impulsada por una bomba a ubicar en la parte externa de la excavación; si existieran volúmenes de agua sobrantes, se conducirán hasta el punto de vertimiento solicitado en cada uno de los portales del túnel (Quebrada La Culebra o Quebrada La Frisola). El sistema de conducción previsto se presenta en la Figura 7-12.

**Fotografía 7-1. Tanque de almacenamiento a instalar**



Fuente: DEVIMAR, 2016.

**Figura 7-12. Esquema de manejo de las aguas de infiltración del túnel**



Fuente: DEVIMAR, 2016.

### 7.3 VERTIMIENTOS

Las actividades constructivas a desarrollar, generaran aguas residuales de tipo industrial y doméstico las cuales se manejaran de acuerdo a lo indicado a continuación.

#### 7.3.1 Vertimiento en cuerpo de agua

Durante la etapa constructiva se requerirá el uso de las corrientes denominadas como Quebrada La Culebra y Quebrada La Frisola, para el manejo de los vertimientos generados, para el caso de la última mencionada se contemplan dos puntos de entrega, uno asociado al portal Santa Fe y el otro a la Planta. La disposición de aguas se efectuará previo tratamiento, de tal forma que se dé cumplimiento a la normatividad vigente (Resolución 0631 de 2015 y Decreto 3930 de 2010).

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

### 7.3.1.1 Localización de los sitios de vertimiento

La selección del punto de vertimiento se realizó teniendo en cuenta la proximidad a los sitios de generación, capacidad de mezcla, transporte y asimilación de los vertimientos (reaireación). Otros aspectos que se tuvieron en cuenta en la definición del punto de vertimiento fueron los siguientes:

- Facilidad de acceso
- Mínima afectación a la vegetación existente
- Estabilidad en las márgenes del cauce
- No afectación a la comunidad según el inventario de usos y usuarios del recurso

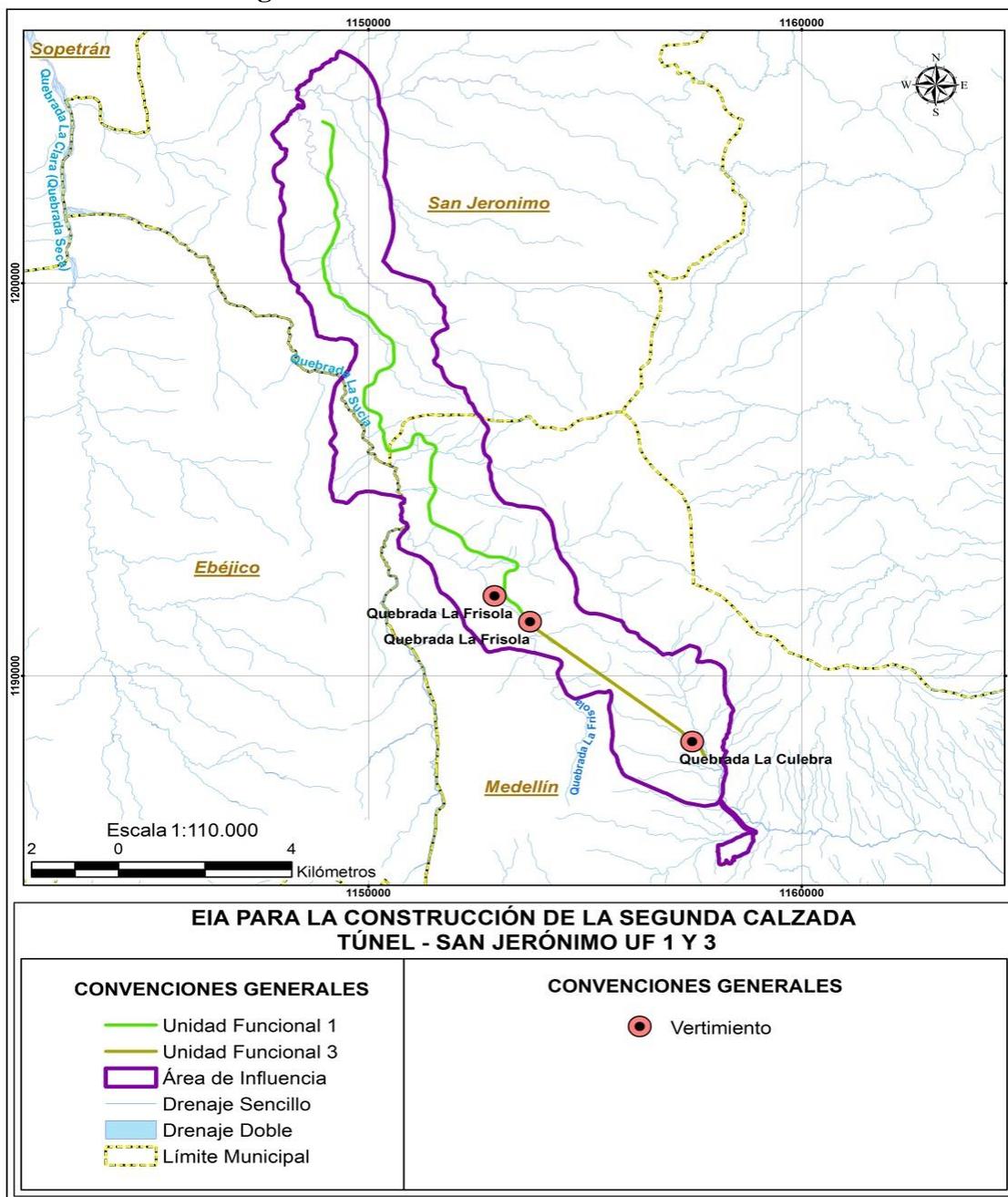
En la Tabla 7-20 se muestra la ubicación georreferenciada de los puntos de vertimiento contemplados, así como el tipo de agua a verter. La coordenada indicada es de referencia, el vertimiento se definirá en una franja de 50 metros alrededor de dicho punto. En cuanto a su localización esta se puede observar en la Figura 7-13.

**Tabla 7-20 Sitios Propuestos para Vertimiento – Quebrada La Frisola**

Id	Nombre	Drenaje	Coordenadas Magna Sirgas Origen Oeste		Municipio
			Este	Norte	
2	Planta 1	Quebrada La Frisola	1152909,4	1192030,8	La Volcana-Guayabal – Medellín
3	Portal Santa Fe	Quebrada La Frisola	1153729,8	1191376,3	La Frisola - Medellín
4	Portal Medellín	Quebrada La Culebra	1157472,2	1188319,5	El Naranjal - Medellín

Fuente: Consultoría Colombiana 2.016

**Figura 7-13 Localización sitios de vertimiento**



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

### **7.3.1.1.1 Vertimiento directo en la quebrada La Frisola**

Como se indicó previamente, sobre la quebrada La Frisola se tienen previstos dos puntos de vertimientos, el primero de ellos se localiza en cercanía del portal Santa Fe y manejará las aguas resultantes de las actividades de excavación del túnel, por lo cual se consideran de origen industrial. Para el segundo punto, ubicado a aproximadamente 1,15 km aguas abajo del primero, se contempla la entrega de las aguas provenientes del área de planta, por lo cual incluirá aguas de origen industrial y doméstico.

### **7.3.1.1.2 Vertimiento directo en la quebrada La Culebra**

Para este cuerpo de agua se tiene prevista la entrega del agua de origen industrial resultante de las actividades de excavación del túnel desde el portal Medellín, se localiza en cercanías de dicho portal a 60 metros aguas abajo del punto de captación considerado en esta corriente.

### **7.3.1.2 Actividades generadoras**

Las actividades generadoras de vertimiento corresponden a las desarrolladas en el área de planta y en los portales del túnel, en las que se destacan la preparación de concretos, asfaltos, manejo de materias primas, la perforación de roca con jumbo y como tal el manejo de las aguas provenientes de la excavación del túnel.

### **7.3.1.3 Sistemas de tratamiento**

Las estructuras de tratamiento propuestas para las aguas residuales a generar, se resumen a continuación.

#### **7.3.1.3.1 Sistemas de tratamiento en área de Planta 1**

Teniendo en cuenta que para este punto se considera la generación de aguas residuales de origen doméstico e industrial, se plantea el siguiente sistema de tratamiento:

##### **7.3.1.3.1.1 Aguas residuales industriales**

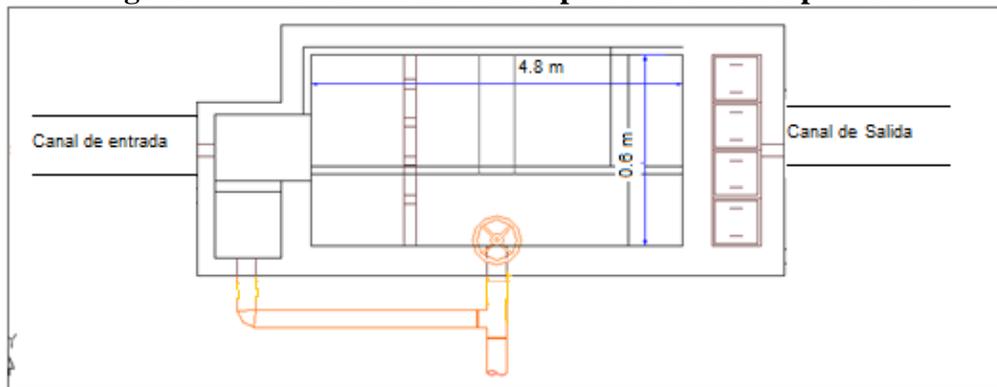
En el caso de la planta de trituración se implementará un área destinada para almacenar y tratar el agua proveniente del lavado de las mixer. Para el manejo de dichas aguas se contará con un sistema de tratamiento que consta de sedimentadores y cunetas. El agua tratada será recirculada y usada nuevamente en el proceso.

En la planta de concreto, las aguas de escurritía, así como las aguas del lavado de la planta y de los vehículos (mixer) se conducirán mediante canales perimetrales hacia estructuras sedimentadores (ver Figura 7-14 y Figura 7-15) después de la decantación de

las partículas de cemento, grava y arena, el agua será conducida al sistema de recirculación de la planta para ser reutilizada en la elaboración del concreto. El agua resultante del secado de lodos será conducida a las estructuras sedimentadores y reincorporadas al proceso de la planta de concreto.

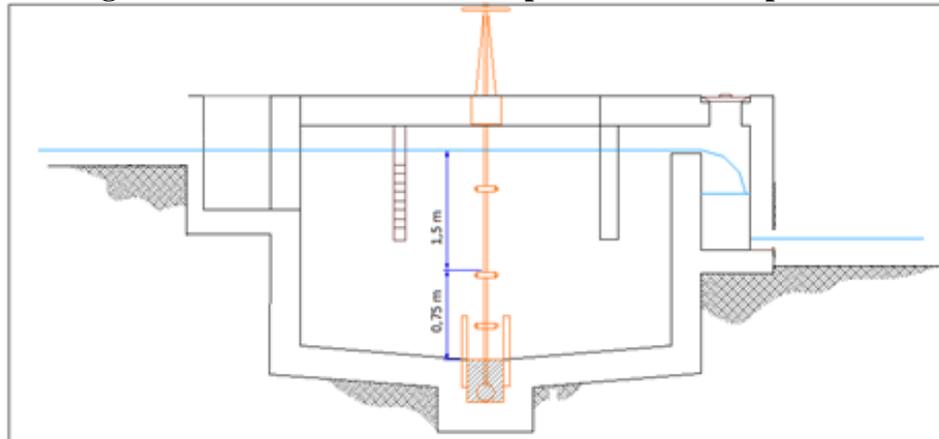
En cuanto a la producción de asfalto, no se considera la generación de aguas residuales, sin embargo, todas las instalaciones de trabajo contarán con canales perimetrales, canales de conducción, sedimentadores y trampas de grasa, destinados al manejo de aguas de escorrentía. Al igual que las zonas de servicio y zonas de almacenamiento de combustibles (aguas residuales también conducidas mediante canales perimetrales hasta los sistemas de tratamiento). Las trampas de grasas y los desarenadores tendrán un mantenimiento periódico, para garantizar su adecuado funcionamiento; los residuos aceitosos serán almacenados herméticamente y entregados a empresas especializadas para su disposición final, mientras que los lodos resultantes se secarán (en la zona de secado) y dispondrán finalmente en las ZODME correspondientes.

**Figura 7-14 Planta - Desarenador para tratamiento primario**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

**Figura 7-15 Perfil - Desarenador para tratamiento primario**



Fuente: Consultoría Colombiana S. A. 2016

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

### 7.3.1.3.1.2 Aguas residuales domésticas

Durante la etapa de construcción se contará con baños portátiles en las diferentes áreas de intervención del proyecto, incluyendo el área de Planta, como los que se muestran en la Figura 7-16, sin embargo, se contempla un caudal mínimo de vertimiento en el caso que la empresa a cargo del suministro y mantenimiento no se haga responsable de ellos; dicho caudal, se podrá tratar mediante una planta compacta (REDFOX), planta compacta de lodos activados o se enviarán por una línea a un pozo séptico compuesto, en términos generales, por una cámara cerrada a donde llegan los residuos, la cual facilita la descomposición y la separación de la materia orgánica por acción de las bacterias de estos residuos.

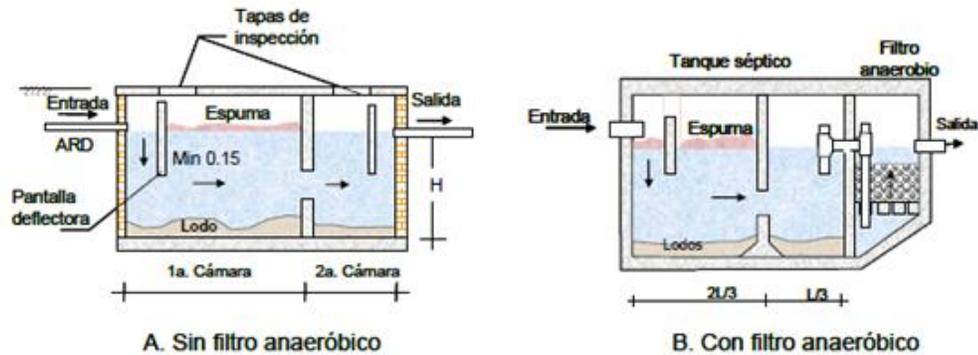
**Figura 7-16 Unidades Sanitarias Portátiles**



Fuente: Consultoría Colombiana S. A. 2016

El tanque séptico permitirá la transformación de la materia orgánica en gases, líquidos y lodos; los lodos (sólidos sedimentables) se depositarán en la parte inferior de la cámara, por el contrario, las grasas y demás materiales ligeros flotan y se acumulan en la superficie formando una capa de espumas; los líquidos libres de material flotante se evacuarán de la cámara, a través de tubos enterrados dirigidos hacia el punto de entrega al cuerpo de agua receptor. Por último los gases que se generen en los lodos, por procesos de descomposición anaeróbica y facultativa, (dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)), serán evacuados del tanque por medio de tuberías de aireación. El dimensionamiento del tanque se efectuará con base a los diseños técnicos que sean propuestos. (Ver Figura 7-17)

**Figura 7-17 Esquema básico de un tanque séptico**

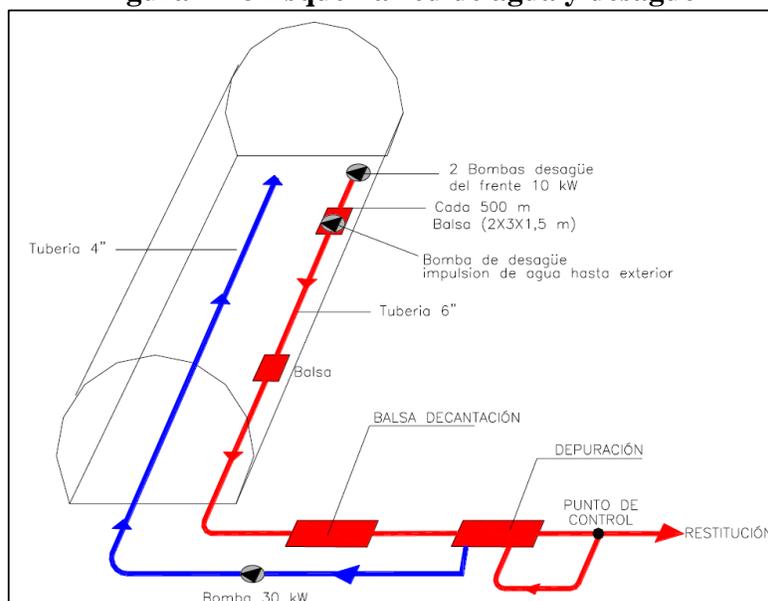


### 7.3.1.3.2 Sistemas de tratamiento en portal Medellín y portal Santa Fe

Para la construcción del segundo Túnel de Occidente entre Medellín y San Jerónimo, se ha estimado que durante las actividades de perforación del túnel -que se llevarán a cabo a partir de ambos portales- se presente la infiltración de agua desde el macizo rocoso en determinados puntos del túnel, la cual deberá ser objeto de manejo en la medida que avancen los trabajos de excavación. Las aguas que se obtengan serán conducidas desde el interior del túnel hacia los portales mediante equipos de bombeo que la conduzcan hasta el exterior mediante tubería. Dependiendo del desnivel entre el frente de trabajo y cada portal, el caudal previsto de infiltración y las necesidades durante la excavación se calculará las bombas y tuberías necesarias.

Las aguas se llevarán en primera instancia una balsa que se ubicará a 500 metros del frente de trabajo, tendrá unas dimensiones estimadas de 3 metros de largo y 2 m de ancho y 1,5 metros de profundidad. En la balsa se ubicará una segunda bomba encargada de impulsar el agua a través de la tubería de desagüe al exterior. En la medida que se avance en la excavación se adecuará una nueva balsa y la anterior quedará en desuso, desplazando por tanto la bomba a la nueva balsa. (Ver Figura 7-18)

**Figura 7-18 Esquema red de agua y desagüe**



Fuente: DEVIMAR, 2016.

Una vez evacuadas las aguas al exterior del túnel, se llevarán a un pre sedimentador o balsa de decantación, la cual tendrá una capacidad de 20 m<sup>3</sup>. Su principal labor es concentrar todas las aguas previo a su tratamiento además, actuar como un desarenador en cabeza. De esta primera balsa de decantación se llevará a un segundo tanque y de allí a un tanque final. En todos los tanques, se llevaran a cabo procesos de sedimentación, además de los indicados a continuación, los cuales corresponden a procesos de control y tratamiento químico de las aguas.

- Inyección de cortina de aire en la cara anterior de la deflectora, para el barrido de los hidrocarburos.
- Canal de aguas bajas en la arqueta desengrasante.
- Control de la acidez o basicidad de las aguas mediante la instalación de un pHmetro digital aguas arriba del segundo vertedero.
- Equipo corrector del pH del agua, en el segundo vertedero tanque 1°.
- Control del pH en el 3° vertedero del tanque 2°.
- Control del pH en el 4ª vertedero.
- Equipo de bombeo en la arqueta de recogida para recircular el agua a la primera balsa en caso de no haber logrado los estándares previstos

Finalmente las aguas obtenidas serán conducidas a través de tubería o manguera hasta el punto de vertimiento correspondiente (Quebrada La Culebra o Quebrada La Frisola) o, se reincorporaran al proceso constructivo a través de bombeo por tubería que las conduzca nuevamente la interior del túnel para uso en la perforación con jumbo (ver Figura 7-18), estas aguas también podrían ser empleadas para uso en riego y compactación, refrigeración

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

de equipos, fabricación de hormigón en masa, limpieza de maquinaria, entre otras, de tal forma que se reduzca el volumen a captar y el vertimiento a los cuerpos de agua de sean autorizados.

En conclusión, *durante la construcción del proyecto vial se generaran vertimientos de tipo doméstico e industrial producto de las actividades inherentes al proyecto, las cuales serán objeto de tratamiento previo a la entrega a las corrientes que sean autorizadas (Quebrada La Culebra -1 punto- y Quebrada La Frisola -2 puntos-). Es de resaltar que las aguas domésticas e industriales resultantes de la operación en el área de Planta, serán tratadas en unidades independientes para luego ser conducidas por una misma línea hacia la quebrada La Frisola, previo permiso de la autoridad ambiental competente. Igualmente es de destacar, que se espera reducir el caudal de vertimiento solicitado para los portales del túnel, mediante el uso eficiente del agua que sea obtenida durante el proceso de perforación del túnel, reincorporándolas a los procesos constructivos del proyecto vial.*

#### 7.3.1.4 Caudales a verter en cada corriente

En concordancia con lo mencionado anteriormente, se tiene dos tipos de vertimiento (Industrial y domésticos) en la construcción de la segunda calzada entre el Túnel de Occidente y San Jerónimo, los cuales se estima ascenderán a:

**Tabla 7-21 Caudales de vertimiento esperados**

Punto	Cuerpo de agua	Tipo de agua a verter – caudal (L/s)		Caudal total por punto (L/s)
		Doméstica	Industrial	
Planta 1	Quebrada La Frisola	0.03	1,70	1,73
Portal Santa Fe	Quebrada La Frisola		3.40	3,40
Portal Medellín	Quebrada La Culebra		6.16	6,16
<b>Caudal total proyecto</b>				<b>11,30</b>

Fuente: Consultoría Colombiana 2.016

Los anteriores valores corresponden a las siguientes estimaciones:

*Planta 1:* Para el caso de las aguas residuales industriales, se considera un caudal equivalente al 10% sobre el caudal de captación para demanda industrial, es decir **1,7 L/s**, los cuales son generados en la planta de concreto, de manera continua durante la etapa de construcción del proyecto. En el caso de la planta de trituración se implementará un área destinada para almacenar y tratar el agua proveniente del lavado de las mixer, de tal forma que pueda ser reincorporada al proceso. Producto de la planta de asfalto, no se estima la generación de vertimientos.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

En cuanto al agua residual doméstica, se calculó a partir de la dotación y caudal captado (Ver Numeral 7.1.1 Demanda de agua a utilizar), considerando que ésta (en su mayor porcentaje) corresponde al coeficiente de retorno sanitario (85%). Por lo anterior, el caudal doméstico a verter es de **0,0255 ≈ 0,03L/s.** de manera continua durante la etapa de construcción del proyecto

*Portal Santa Fe y portal Medellín:* Las aguas a verter en estos puntos se determinaron a partir del comportamiento de las aguas de infiltración que se esperan recibir en el túnel durante la fase de construcción. Para su definición se tuvo en cuenta la permeabilidad del macizo rocoso que se deriva esencialmente del fracturamiento y la integración de los caudales unitarios a lo largo de la superficie de drenaje que se configura con el túnel.

El soporte de cálculo del caudal estimado se presenta en el documento denominado “TUNEL-Hidrogeología” que se incluye en el Anexo B. Aspectos civiles constructivos, del presente documento. Acorde con lo indicado, para el portal Santa Fe se estima un caudal de vertimiento equivalente a **3,40 l/s** y, para el portal Medellín de **6,16 l/s.**, de manera permanente durante la etapa de construcción del proyecto. Si bien, en el numeral 7.2 se consideró la inclusión del agua de infiltración en el proceso de construcción, para la solicitud del permiso de vertimientos se asume el escenario más crítico, es decir el no uso de estas aguas y el vertimiento del 100% de tales caudales estimados.

### **7.3.1.5 Metodología para modelación de vertimientos**

Para el desarrollo de la modelación en los puntos de vertimiento previstos, se hizo necesaria la recopilación de datos mediante las metodologías que se indican a continuación. El informe detallado de los trabajos realizados para obtener la modelación del vertimiento en cada uno de los puntos considerados, se presenta en el Anexo O del presente estudio de impacto ambiental.

#### **7.3.1.5.1 Aforo de caudal**

Este procedimiento consistió en realizar una serie de mediciones en la sección transversal de cada corriente de tal forma que permitiera calcular el caudal puntual de cada corriente, los cuales están referenciados a un nivel parcial (IDEAM, 2007). La metodología implementada consistió en dividir la sección considerada en un cierto número de verticales para levantar el perfil.

Según el nivel del cauce, para realizar el aforo se empleó un micromolinet digital el cual requiere una pausa en el sitio de medición hasta que se estabilicen las velocidades, debido a que las corrientes presentan continuas variaciones generadas por el lecho del cauce. Las distancias entre verticales se midieron con cinta métrica y la profundidad con el mismo

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>  <b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	 SOMOS TU VÍA
--	--	---

micromolinete, utilizando la siguiente ecuación:

$$Ql = \left(\frac{b_1+d_1}{2}\right) * v_1 \qquad Q_2 = \left(\frac{d_1+d_2}{2}\right) * (v_2 * b_2)$$

Dónde:

Q= Caudal m<sup>3</sup>/seg

b= Ancho parcial m

d= Altura de lámina m

v= Velocidad m/seg

Con esta información se halla la velocidad media del perfil y finalmente el caudal será la sumatoria del producto de cada velocidad media por su área.

### 7.3.1.5.2 Ensayos con trazadores

Para las mediciones con trazadores se utilizó un equipo IDF-030 con software Inirida Deep Flow para mediciones en tiempo real, lo que permite emplear una cantidad menor de trazador por cada experimento en un menor tiempo.

La información obtenida por los trazadores con respecto a las características del flujo es variada y muy valiosa pues permite al analista conocer de primera mano los valores de los coeficientes que definen la dispersión y la advección. Estos valores hallados en campo permiten la calibración óptima de los modelos. El trazador –al evolucionar íntimamente con el flujo- refleja de forma correcta los procesos de mezcla y movimiento en el tramo estudiado.

Las masas y las distancias de aplicación dependen básicamente del ancho del tramo y la naturaleza de su flujo, de tal forma que el instrumento recoja una serie de datos representativos de la distribución de velocidades y de las propiedades de la mezcla turbulenta, ideales para establecer cálculos posteriores con respecto al comportamiento de solutos inyectados en tramos mayores. El número de experimentos que se realizaron en cada punto de inyección corresponde a la caracterización aguas arriba y aguas abajo del punto de interés junto con un eventual punto intermedio.

Como trazador, se usó Rodamina WT líquida al 20% de concentración, con un promedio de 5 a 10 gramos de RWT en cada experimento (según tamaño del cauce), inyectando el trazador sobre la corriente central de cada cauce sin necesidad de lancha, levantando una o dos curvas en cada uno de los puntos para obtener información completa sobre el tramo en estudio. (Ver Fotografía 7-2)

### Fotografía 7-2 Avance de las plumas de trazador en la Quebrada La Frisola-Planta 1



Fuente: Fluvia, Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

#### 7.3.1.5.3 Topobatimetría

Para cada cuerpo de agua se levantaron cuatro secciones transversales, de tal forma que se obtuvo información planimétrica y altimétrica (x, y, z), del lecho del cauce a lo largo de un kilómetro, donde se repartirá en 500 metros aguas arriba y agua abajo del punto donde se realice el vertimiento. El amarre a las coordenadas IGAC se realizó mediante el posicionamiento de dos puntos GPS con el rastreo suficiente para hacer el pos proceso diferencial con los Rinex de las antenas permanentes del IGAC más próximos a la zona del trabajo. Este levantamiento se desarrolló mediante el uso de estación total de topografía Topcon GPT 3003LW y GPS Receptor Hi-Target V30. (Ver Fotografía 7-3)

### Fotografía 7-3. Levantamiento topobatimétrico en la Quebrada La Frisola-Planta 1



Fuente: Fluvia, Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

#### 7.3.1.5.4 Caracterización hidráulica de los cuerpos receptores

La caracterización hidráulica de las corrientes consistió en determinar las características hidrodinámicas en un tramo de aproximadamente 1000 metros, bajo diferentes condiciones de caudal. Para secciones transversales representativas se realizó la modelación hidráulica en el programa HEC-RAS, utilizando como insumos las secciones transversales tomadas en campo y caudales estimados a partir de la metodología de cuencas no instrumentadas con información histórica de estaciones hidroclimatológicas del IDEAM cercanas.

Con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico de los sitios de vertimiento, se utilizó el software HEC-RAS, del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, que permite estimar el perfil hidráulico de una corriente natural a flujo libre, bajo condiciones de flujo uniforme.

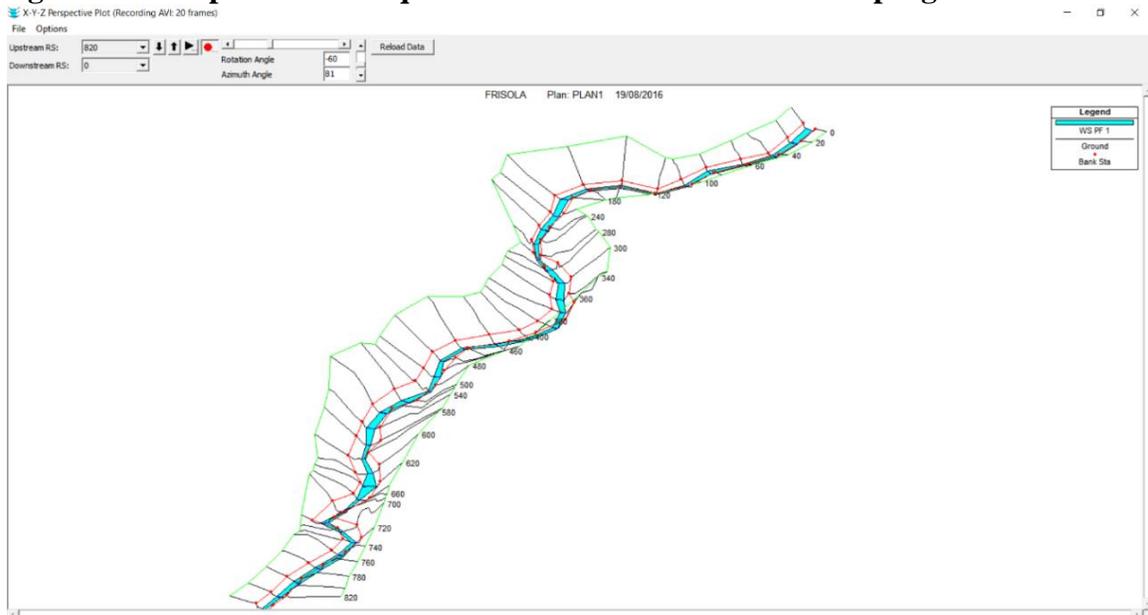
Para el cálculo se consideró que el flujo en los tramos en promedio corresponde a profundidades normales (pendiente de la línea de energía similar a las pendientes medias de los cauces). Mediante ayuda del programa HEC-RAS e iteraciones se estimó el nivel a lo largo de los tramos ajustado al criterio indicado. (Ver Figura 7-19)

Se debe tener en cuenta que las características de la pendiente del fondo de las corrientes en el sector tiende a generar condiciones de flujo casi crítico, en la cual la corriente presenta una gran inestabilidad, ocurriendo altas variaciones de energía específica en tramos muy 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 de las corrientes en el área en estudio y el coeficiente de rugosidad de las bancas y de los lechos.

La información geométrica de las secciones y pendiente se obtuvo a partir de medidas aproximadas tomadas en campo. 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.

**Figura 7-19. Superficie de la quebrada La Frisola-Planta 1 en el programa HEC-RAS**



Fuente: Consultoría Colombiana S. A. 2016

### 7.3.1.5.5 Estimación de caudales (método lluvia/escorrentía)

Como insumo para el modelo se efectuó la estimación del escurrimiento superficial con el Método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Soil Conservation Service -SCS) sobre las cuencas que son parte de la caracterización del componente hidrológico, cuyo objetivo es establecer escenarios de dilución en periodos secos y húmedos. El método SCS estima el escurrimiento medio (Q) mediante la cantidad de precipitación y retención máxima potencia(S), utilizando valores de curva numérica. Las fórmulas para obtener Q y S se indican a continuación.

$$Q = \frac{(P - 0,20S)^2}{P - 0,80S}$$

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

Donde,

Q= Escorrentía total acumulada

P= Precipitación total del evento según la escala temporal

S= Infiltración potencial (cm)

La variable S corresponde al análisis de hidrógrafas de cuencas homogéneas en función del uso del suelo, condiciones de la superficie del terreno y la humedad inicial. El valor de S para una determinada condición se puede obtener mediante el análisis de hidrogramas de cuencas homogéneas. Este valor se da en función del suelo y el número de curva de escorrentía (CN), mediante la siguiente expresión.

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

El valor de CN se determina en función de las prácticas agrícolas, la humedad antecedente y condición hidrológica promedio (AMC=II). La humedad antecedente corresponde a la suma de los valores totales diarios de los últimos cinco días previos a la estimación del caudal.

Para valorar caudales, el software empleado para realizar la modelación es HECHMS (Hydrologic Engineer Center), desarrollado por el Centro de Investigación del U.S. Army Corps of Engineers. HEC-HMS simula procesos de precipitación – escorrentía en cuencas, incluyendo hidrología de inundación.

Estos procesos se efectúan por medio de la separación de los componentes del ciclo hidrológico y de la definición de límites del entorno del área de interés. Una vez calculada la precipitación efectiva, esta se convierte en escorrentía utilizando convolución de hidrogramas unitarios (convoluta). El método utilizado en el modelo HEC HMS para estimar la escorrentía en el sitio de la ocupación es el hidrograma del servicio de Conservación de Suelos.

Finalmente, para la delimitación topográfica de las cuencas, se utiliza el modelo digital de elevación, el cual corresponde a una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, caracterizando las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular que permite, a través de un sistema de información geográfica, definir las áreas aferentes según el interés del usuario y la escala de trabajo a analizar.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

### 7.3.1.5.6 Calidad de agua de las corrientes objeto de vertimiento

Otro de los insumos requeridos para alimentar el modelo, corresponde a los resultados de las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas de los cuerpos de agua considerados para vertimiento. Los resultados de los análisis de laboratorio se presentan en como parte de la modelación que se desarrolla para cada punto de vertimiento, es de mencionar que los reportes generados por el laboratorio son presentados en el Anexo E. Hidrología.

### 7.3.1.5.7 Caracterización del vertimiento

Para realizar el modelo de calidad del agua se debe contar con la caracterización del vertimiento a efectuar sobre la corriente, para el caso se tomaron datos de acuerdo a los valores máximos permisibles para los vertimientos en aguas superficiales según Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 y composición típica de aguas residuales domesticas e industriales tratadas y no tratadas. Los datos escogidos para la modelación fueron los más altos con el fin de generar escenarios en condiciones críticas.

Es de aclarar que la aplicación de los modelos de calidad se realizaron con base en el Decreto 3930 de 2010, Artículo 7 “De los modelos de simulación de la calidad del recurso hídrico”, contemplando los parámetros mínimos que exige la norma (DBO5, SST, pH, Temperatura y Caudal) y otros de interés ambiental y que debido a las características del agua a verter, se incluyeron dentro del modelo de calidad, los cuales corresponden a: DQO, cloruros, sulfatos y grasas y aceites. Se destaca que los modelos fueron generados tomando el máximo caudal de vertimiento que podría llegar a generarse, por lo cual en los portales del túnel no se consideró el uso del agua de infiltración en el proceso constructivo.

A continuación se presentan los aspectos más relevantes con respecto a los resultados obtenidos de la modelación del vertimiento sobre las corrientes receptoras de los vertimientos proyectados; el informe completo y detallado de los trabajos realizados se presenta en el Anexo O. Demanda del presente estudio.

### 7.3.1.6 Modelación del vertimiento Quebrada La Frisola – Planta 1

A continuación se expone el cálculo desarrollado para determinar el balance de masas y el factor de dilución como insumos del modelo.

#### 7.3.1.6.1 Balance de masas

El balance de masas se realizó con el objeto de determinar el efecto de un vertimiento puntual sobre una fuente receptora, en este caso puntual para evaluar algunos parámetros como cloruros, sulfatos y grasas y aceites, este ultimo de característica conservativa, el cual tienen un comportamiento atípico dentro del cuerpo de agua receptor y que de acuerdo a su composición no es posible modelarlo dentro del modelo de calidad Qual2kw. Sin embargo,

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>  <b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	
---	--	---

el balance de masas es una aceptable aproximación de cuál es la concentración que puede presentar el cuerpo de agua al generarse la mezcla. A continuación se presenta la metodología para la aplicación del Balance de Masas:

$$C = ((Q_e * C_e) + (Q_w * C_w)) / Q$$

Dónde:

C : Concentración del parámetro evaluado en la corriente receptora aguas abajo de la descarga.

Q : Caudal de la corriente receptora una vez se hace el vertimiento.  $Q = Q_w + Q_e$

Q<sub>w</sub> : Caudal de la corriente receptora, aguas arriba del vertimiento.

C<sub>w</sub> : Concentración del parámetro evaluado en la corriente receptora, aguas arriba del vertimiento.

Q<sub>e</sub> : Caudal del efluente tratado.

C<sub>e</sub> : Concentración del parámetro evaluado, del efluente tratado.

Se presenta el balance de cargas en el punto de vertimiento, tomando los valores máximos de acuerdo a la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 y la composición típica de aguas residuales domesticas tratadas y no tratadas, con el fin de cumplir con el Decreto 3930 de 2010 (cuyos límites todavía están regidos por el Decreto 1594 de 1984), para la calidad del agua del cuerpo receptor.

Así mismo el balance de cargas se realizó confrontando el monitoreo de calidad del agua con los caudales medidos en campo mediante la prueba de trazadores y los caudales mínimos y máximos generados por medio de la modelación hidrológica para la quebrada Frisola, esto con el fin de evaluar el comportamiento de la quebrada en los tres escenarios de caudales.

En la Tabla 7-22, se presenta el balance de masas estimado para el vertimiento sobre la quebrada La Frisola en el punto asociado a la Planta 1, en el cual se evidencia que este provoca una variación en la concentración de cada parámetro evaluado. Esta variación en la cual siempre es un descenso genera una condición óptima en las características que trae la quebrada, por lo cual se puede afirmar que bajo los tres escenarios de caudal no se presenta una afectación al cuerpo de agua receptor y no aqueja los conflictos por uso-calidad del recurso.

**Tabla 7-22 Balance de masas para Quebrada La Frisola –Planta 1**

Parámetro	Concentración del vertimiento	Concentración de la quebrada La Frisola antes del vertimiento	Concentración inmediatamente se presenta la descarga bajo condición de caudal de 0, 17 m <sup>3</sup> /s	Concentración inmediatamente se presenta la descarga bajo condición de caudal de 0, 49 m <sup>3</sup> /s	Concentración inmediatamente se presenta la descarga bajo condición de caudal de 2,27 m <sup>3</sup> /s
CAUDAL (m <sup>3</sup> )	0,00173		0,17173000	0,49173000	2,27173000
pH (Unidades)	8,27	8,26	8,19107895	8,24522954	8,26799953
DBO5 (mg/l)	77,2	13	12,89152861	12,97675352	13,01259006
Solidos Suspendidos Totales (mg/l)	46	198	196,34789725	197,64593821	198,19175624
DQO (mg/l)	108	33,4	33,12131196	33,34027442	33,43234676
Cloruros (mg/l)	58,8	5	4,95828023	4,99105905	5,00484233
Sulfatos (mg/l)	135	24	23,79974512	23,95708342	24,02324318
Grasas y Aceites (mg/l)	10	10	9,91656047	9,98211809	10,00968466
Temperatura (°C)	26,84	20,8	20,62644577	20,76280563	20,82014409
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	900	4600	4561,61781483	4591,77432197	4604,45494286
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	80	180	178,49808841	179,67812564	180,17432385

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S.

### 7.3.1.6.2 Factor de dilución

El impacto negativo en un cuerpo de agua está dado por no cambiar las condiciones iniciales de este, respecto a los usos de que se tengan sobre las fuentes hídricas aguas abajo.

El factor de dilución es una forma de obtener un resultado para predecir la capacidad que posee un río, quebrada, caño, arroyo o cualquier cuerpo de agua lótico de asimilar un vertimiento, el cual está dado por la relación entre el volumen del cuerpo de agua y el volumen del vertimiento, siendo un mejor escenario cuando esta relación se aleje más a 0.

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

Con base a los resultados de los caudales medidos en campo y los mínimos y máximos generados por modelación hidrológica, se realizó la evaluación de factor de dilución tal y como se muestra en la Tabla 7-23.

**Tabla 7-23 Factor de dilución en la quebrada La Frisola –Planta 1**

	Quebrada La Frisola		
	Caudal (l/s)	Caudal del vertimiento (l/s)	Factor de dilución
MEDIDO	490	1,73	283
MÍNIMO	170	1,73	98
MÁXIMO	2270	1,73	1312

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S.

En la Tabla 7-23 se observa el factor de dilución bajo los tres escenarios de caudal, siendo un mejor escenario bajo condición de caudal máximo (2270 l/s), lo que facilita la dilución y posterior asimilación. En el caso de los caudales mínimos y el medido con la prueba de trazadores se observa que el factor de dilución oscila entre 98 y 283.

### 7.3.1.6.3 Zona de mezcla

La zona de mezcla se calcula mediante un coeficiente de dispersión lateral y longitudinal, estos coeficientes se pueden determinar mediante ecuaciones planteadas por diversos autores o por la utilización de trazadores. Para la determinación de la zona de mezcla de las corrientes de interés se desarrolló la metodología de ensayos con trazadores y se compararon con las ecuaciones teóricas, quienes están desarrolladas en función del caudal y las condiciones geométricas de la corriente, analizando el cuerpo de agua obteniéndose los siguientes resultados.

#### 7.3.1.6.3.1 Longitud de zona de mezcla teórica

La longitud de zona de mezcla es de gran importancia para el estudio de la calidad de agua, ya que por medio de esta establecemos como una descarga puntual se comporta tanto longitudinal como verticalmente, y el tiempo que tarda para mezclarse completamente. Sin embargo su aplicación más importante se refiere a la determinación del punto donde se realiza la dilución total con el fin de establecer por medio el software Qual2kw el comportamiento de cada parámetro en el cuerpo de agua.

Para la estimación de la zona de mezcla se presentan cuatro fórmulas de dos autores diferentes, las cuales presentan variables dependiendo de la zona donde se realice la descarga.

**Tabla 7-24 Ecuaciones de longitud de zona de mezcla teórica**

FISHER		YOTSUKURA	
Descarga desde la orilla	Descarga desde la mitad:	Descarga desde la orilla	Descarga desde la mitad:
$B^2$	$B^2$	$U \cdot B^2$	$U \cdot B^2$
$LMo = 0,4 * U * \frac{CDLa}{H}$	$LMc = 0,1 * U * \frac{CDLa}{H}$	$LMo = 8,52 * \frac{U \cdot B^2}{H}$	$LMc = 4,26 * \frac{U \cdot B^2}{H}$
LMo= Longitud de la zona de mezcla desde la orilla    LMc= Longitud de la zona de mezcla desde el centro B=Ancho de la sección    U=Velocidad media    CDLa=Coefficiente de dispersión lateral    H=Profundidad			

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S.

Entonces de acuerdo a las ecuaciones anteriores, las longitudes de las zonas de mezcla Teóricas para el caso de la quebrada La Frisola comparada con la del análisis de trazadores son:

**Tabla 7-25 Longitud de zona de mezcla teórica para la quebrada La Frisola –Planta 1 comparada con la del análisis de trazadores**

Longitud zona de mezcla teórica (m)		
DESCARGA A LA ORILLA		
CUERPO DE AGUA	FISHER	YOTSUKURA
QUEBRADA FRISOLA	11,92	80,94
DESCARGA EN EL CENTRO		
CUERPO DE AGUA	FISHER	YOTSUKURA
QUEBRADA FRISOLA	3	40,47
LONGITUD ZONA DE MEZCLA TRAZADOR (metros)		
38		

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S.

A su vez se calculó el coeficiente de dispersión lateral para los escenarios de caudal mínimo y máximo como se muestra a continuación:

**Tabla 7-26 Longitud de zona de mezcla teórica para la quebrada La Frisola –Planta 1 en los escenarios de caudal mínimo y máximo**

Longitud zona de mezcla teórica (m)		
DESCARGA A LA ORILLA		
ESCENARIO	FISHER	YOTSUKURA
MÍNIMO (0,17 m <sup>3</sup> /s)	19,91	72,87
MÁXIMO (2,27 m <sup>3</sup> /s)	29,47	207,87
DESCARGA EN EL CENTRO		
ESCENARIO	FISHER	YOTSUKURA
MÍNIMO (0,17 m <sup>3</sup> /s)	5	36,44
MÁXIMO (2,27 m <sup>3</sup> /s)	7,4	103,93

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S

#### 7.3.1.6.4 Longitud de tramo de modelación

La longitud del tramo de modelación se definió teniendo en cuenta la zona de mezcla, es decir, que la longitud del tramo a modelar no fue inferior a la distancia de zona de mezcla determinada en el escenario más crítico de caudal o flujo máximo, siendo para la quebrada La Frisola una distancia de 210 m.

#### 7.3.1.6.5 Modelo de calidad de agua Quebrada La Frisola – Planta 1

Para efecto de la utilización del modelo Qual2kw en la simulación de vertimientos sobre la quebrada La Frisola se establecieron las constantes de reaireación y desoxigenación las cuales permiten establecer la capacidad de asimilación. (Ver Tabla 7-27 y Tabla 7-28)

**Tabla 7-27 Constante de reaireación para para la quebrada La Frisola-Planta 1 en los escenarios de caudal medido, mínimo y máximo**

Ecuaciones de constante de reaireación (d-1)						
ESCENARIO	O'CONNOR Y DOBBINS	CORRECCION T °C	CHURCHILL	CORRECCION T °C	OWENS Y GIBBS	CORRECCION T °C
MEDIDO	18,93	18,96	25,61	25,66	36,43	36,51
MÍNIMO	32,88	32,94	38,63	38,71	70,25	70,38
MÁXIMO	8,98	8,99	12,88	12,91	14,77	14,80

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S.

**Tabla 7-28 Constante de desoxigenación para la quebrada La Frisola-Planta 1 en los escenarios de caudal medido, mínimo y máximo**

Ecuación de constante de desoxigenación (d-1)	
MEDIDO	17,18
MÍNIMO	5,93
MÁXIMO	80,18

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S.

#### 7.3.1.6.5.1 Calibración y precisión del modelo de calidad

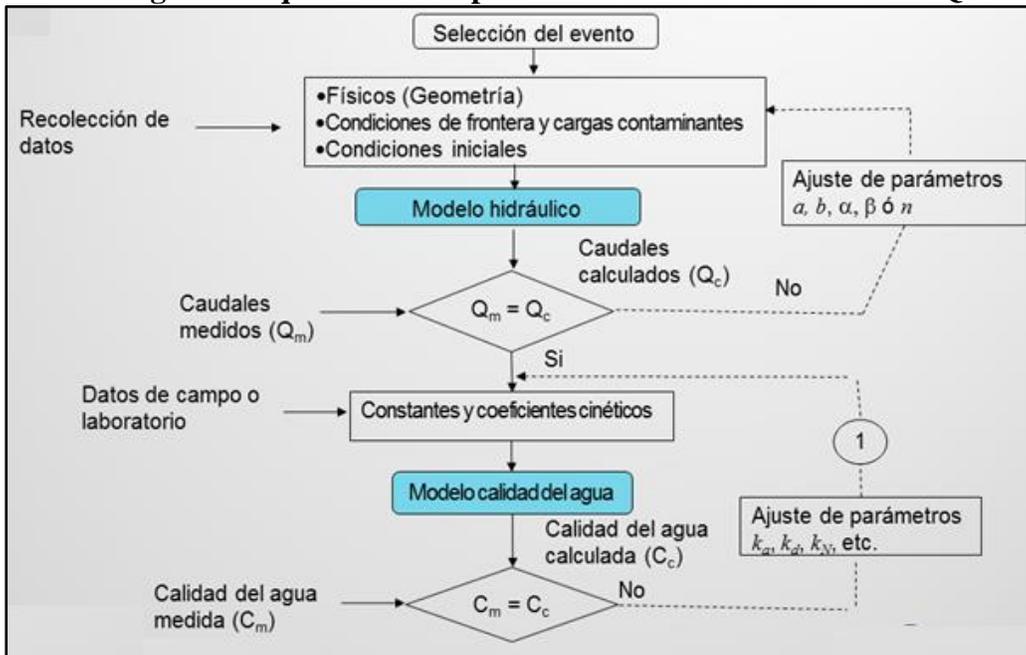
La calibración en los modelos de calidad consiste en ajustar las constantes y coeficientes incluidos en el modelo de tal manera que este sea capaz de reproducir la calidad del agua en la corriente con una alta confiabilidad.

La calibración del modelo Qual2kw se realizó bajo un caudal específico, se determinaron las características físicas de la corriente y se midieron los parámetros en campo y en el laboratorio, las variables que no se pudieron medir in situ se estimaron aplicando conceptos de la literatura.

Se evaluaron dentro del tramo de modelación las cargas contaminantes puntuales y/o distribuidas y se segmentó la corriente de acuerdo a sus características, midiendo las pendientes, secciones, altitud, longitudes, caudales, velocidades, profundidades, etc, con el fin de que no fuera fuente de incertidumbre en los resultados.

En el siguiente diagrama se explica el procedimiento para la calibración del modelo QUAL2KW:

**Figura 7-20 Diagrama esquemático del proceso de calibración del modelo QUAL2KW**



Fuente: Curso de modelación de calidad de aguas en ríos y corrientes y su aplicación en planes de saneamiento y manejo de vertimientos (Res. 1433/2004 y Dec. 3930/2010 sobre vertimientos).

### 7.3.1.6.5.2 Datos ajustados e introducidos al modelo QUAL2KW

A continuación se presentan los cálculos de cada una de las variables a introducir en el modelo de calidad del agua QUAL2KW (Ver Tabla 7-29).

**Tabla 7-29 Variables a introducir en el modelo de calidad sobre la quebrada La Frisola-Planta 1**

Parámetro	Unidades	Punto Monitoreado
DBO <sub>5</sub>	mg / L	13
DBO R	mg / L	18,3
DQO	mg / L	33,4
POM	mg / L	15,1
	mg D/L	14
SST	mg / L	198

Fuente: Curso de modelación de calidad de aguas en ríos y corrientes y su aplicación en planes de saneamiento y manejo de vertimientos (Res. 1433/2004 y Dec. 3930/2010 sobre vertimientos).

### **7.3.1.6.5.3 Resultados del modelo después del vertimiento escenario medido con prueba de trazadores en la quebrada La Frisola-Planta 1**

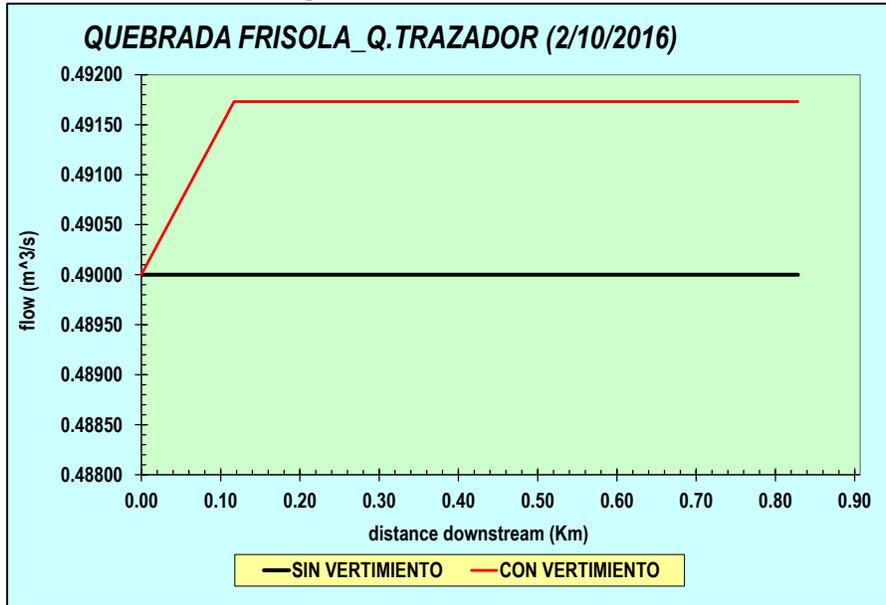
Después de realizar la calibración del modelo de simulación con los datos hidrológicos e hidráulicos, se introduce dentro del programa Qual2kw los parámetros hidrológicos y de calidad del agua en las condiciones en que se pretende realizar el vertimiento, es de aclarar que dichos valores son los presentados en la caracterización típica del vertimiento, los cuales se tomaron bajo la respectiva normatividad ambiental vigente.

A continuación se presentan los resultados de la simulación del vertimiento sobre la quebrada La Frisola en condiciones de caudal medido por el método de trazadores, mínimo y máximo generado mediante modelación hidrológica e hidráulica, y datos ínsito de la fuente hídrica receptora bajo un caudal de descarga de 1,73 l/s.

De igual manera, en las figuras se presenta la comparación de los resultados del modelo de simulación antes y después del vertimiento de cada uno de los parámetros de calidad del agua simulados.

- Escenario de Caudal Medido con Trazadores para quebrada La Frisola-Planta 1

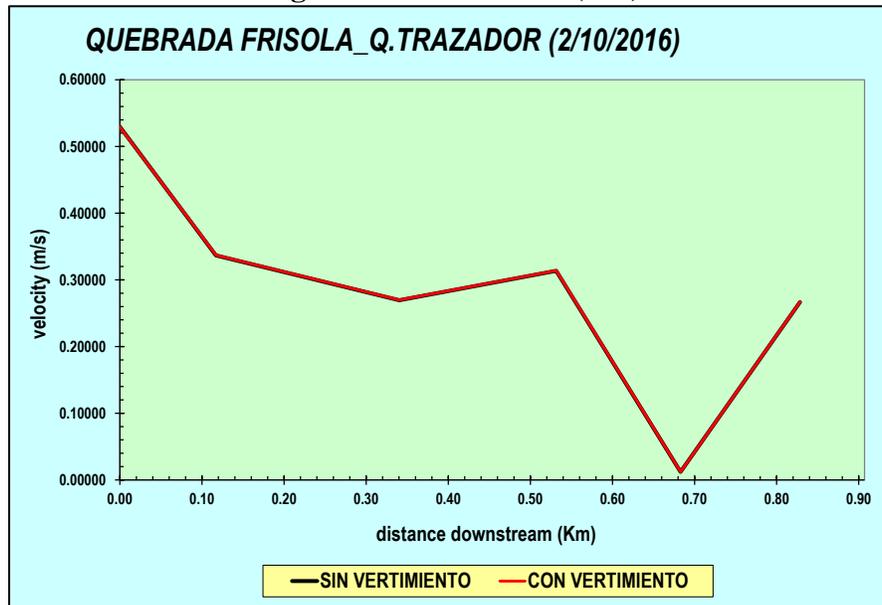
**Figura 7-21 Caudal (m<sup>3</sup>/s)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (m <sup>3</sup> /s)	Resultados con vertimiento (m <sup>3</sup> /s)
0.00000	0.49000	0.49000
0.11700	0.49000	0.49173
0.34050	0.49000	0.49173
0.53150	0.49000	0.49173
0.68300	0.49000	0.49173
0.82850	0.49000	0.49173

Fuente: Software Qual2kw

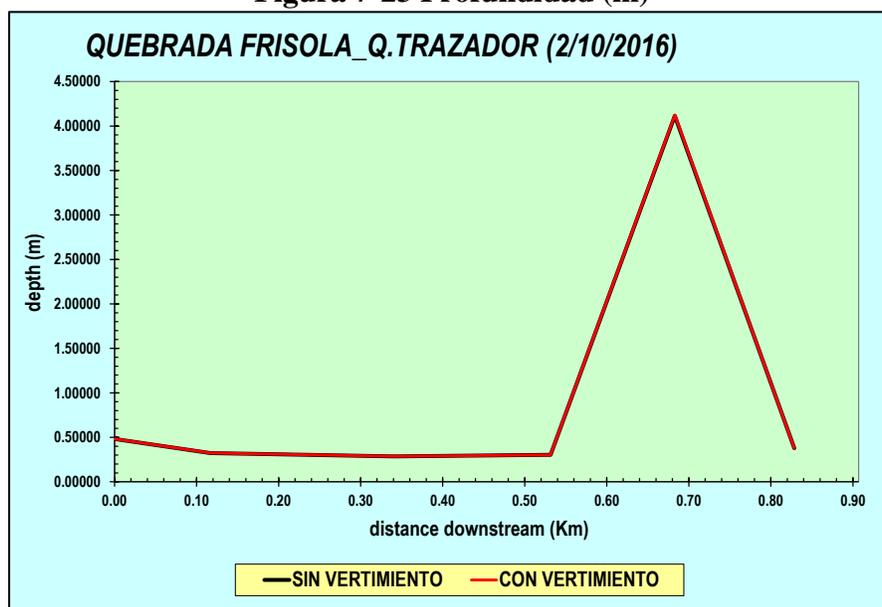
**Figura 7-22 Velocidad (m/s)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (m/s)	Resultados con vertimiento (m/s)
0.00000	0.52939	0.52939
0.11700	0.33671	0.33714
0.34050	0.26957	0.26993
0.53150	0.31348	0.31389
0.68300	0.01220	0.01221
0.82850	0.26674	0.26708

Fuente: Software Qual2kw

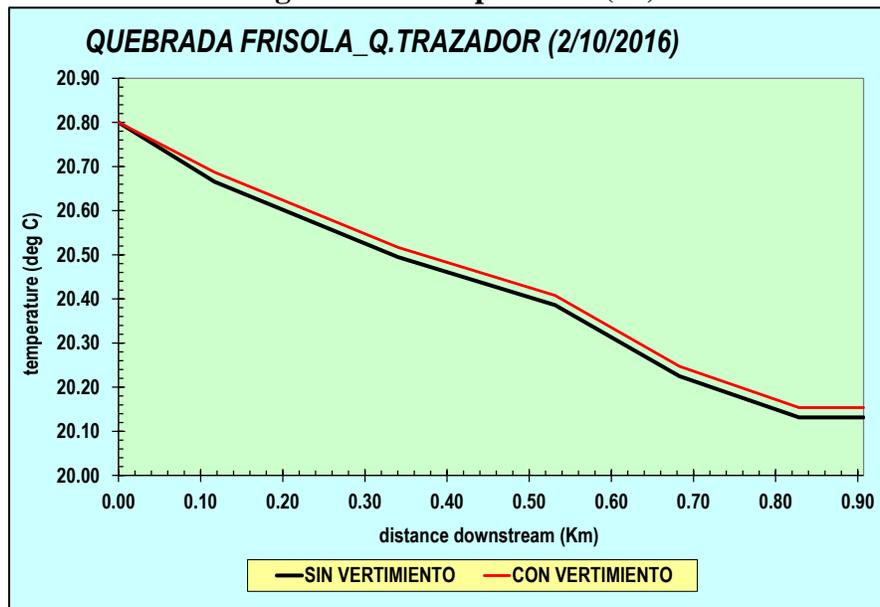
**Figura 7-23 Profundidad (m)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (m)	Resultados con vertimiento (m)
0.00000	0.48208	0.48208
0.11700	0.32268	0.32340
0.34050	0.28536	0.28598
0.53150	0.30234	0.30301
0.68300	4.11485	4.12551
0.82850	0.37721	0.37805

Fuente: *Software Qual2kw*

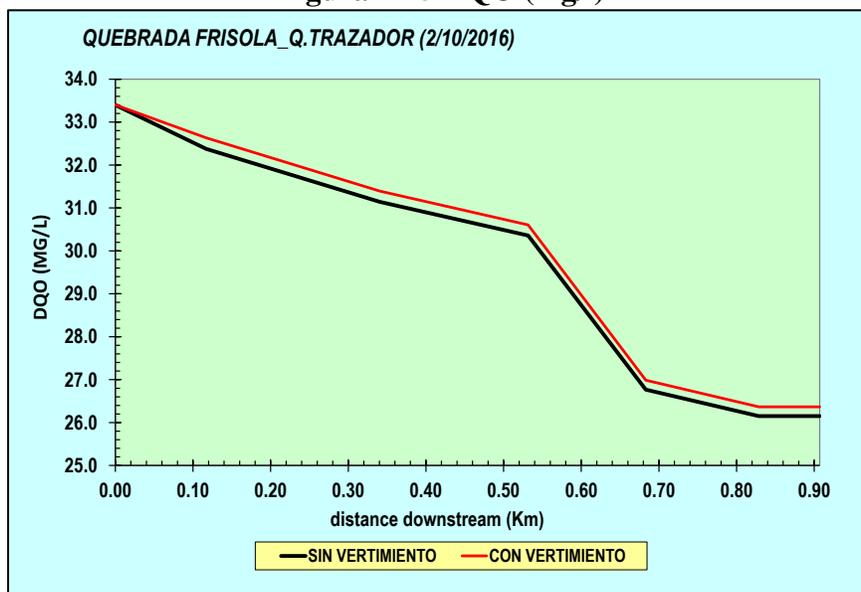
**Figura 7-24 Temperatura (°C)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (°c)	Resultados con vertimiento (°c)
0.000000	20.800000	20.800000
0.1170000	20.665500	20.687000
0.3405000	20.494900	20.516700
0.5315000	20.385900	20.407900
0.6830000	20.224900	20.247200
0.8285000	20.131500	20.153900
0.9070000	20.131500	20.153900

Fuente: *Software Qual2kw*

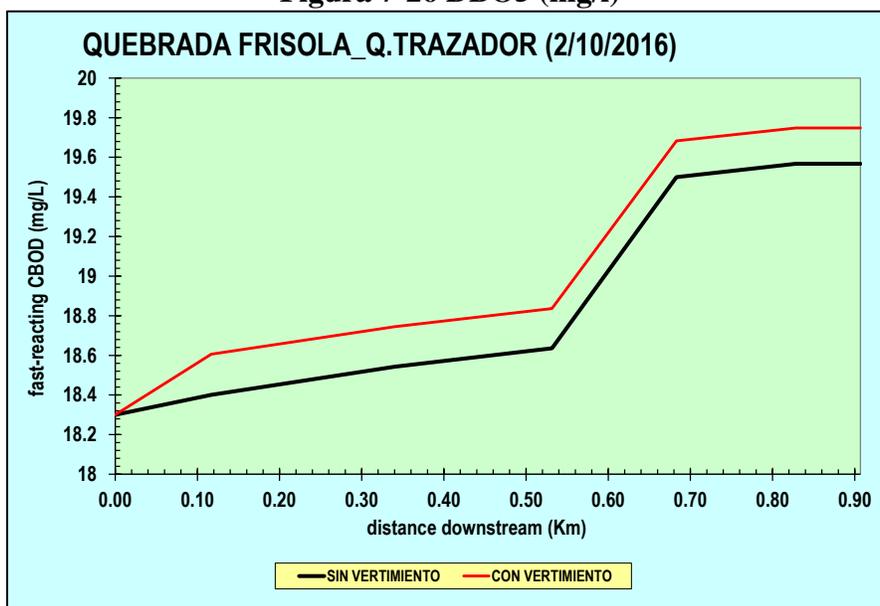
**Figura 7-25 DQO (mg/l)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (mg/l)	Resultados con vertimiento (mg/l)
0.000000	33.400000	33.400000
0.117000	32.375034	32.632178
0.340500	31.141368	31.392086
0.531500	30.359220	30.605782
0.683000	26.767855	26.986433
0.828500	26.151712	26.366863
0.907000	26.151712	26.366863

Fuente: Software Qual2kw

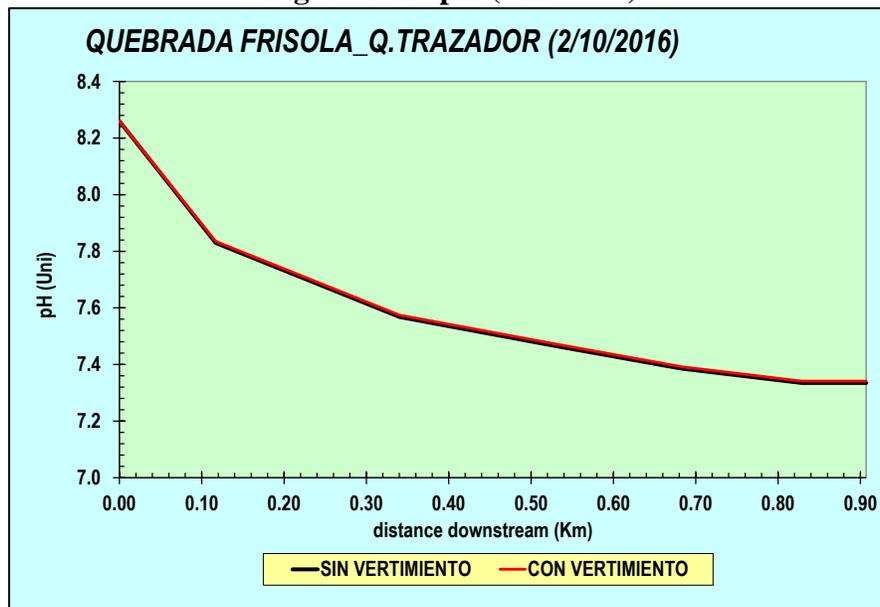
**Figura 7-26 DBO5 (mg/l)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (mg/l)	Resultados con vertimiento (mg/l)
0.000000	18.3000000	18.3000000
0.1170000	18.4007810	18.6057110
0.3405000	18.5430780	18.7452710
0.5315000	18.6355760	18.8359950
0.6830000	19.5000550	19.6825240
0.8285000	19.5673830	19.7482910
0.9070000	19.5673830	19.7482910

Fuente: Software Qual2kw

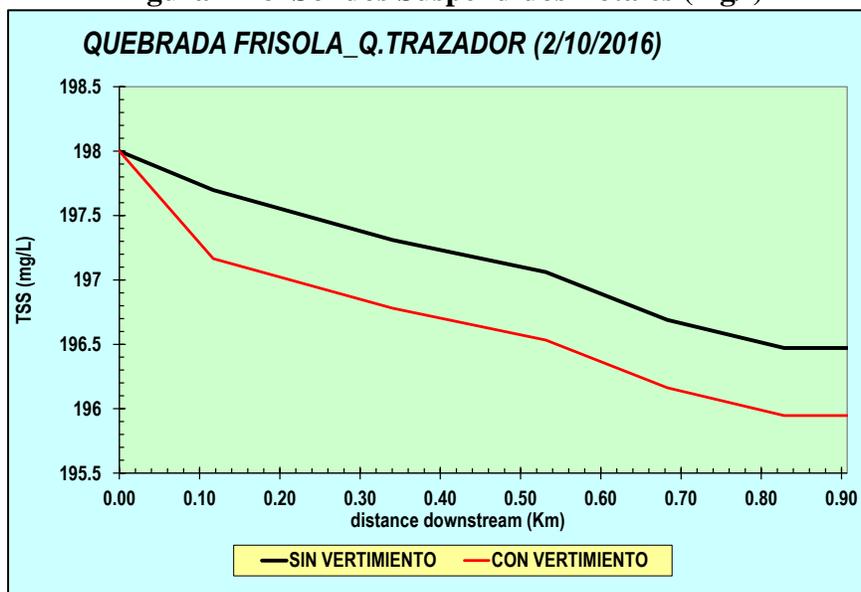
**Figura 7-27 pH (Unidades)**



Tramo (Km)	Resultados Sin Vertimiento (Unidades)	Resultados Con Vertimiento (Unidades)
0.000000	8.2600000	8.2600000
0.1170000	7.8295660	7.8349990
0.3405000	7.5675830	7.5742380
0.5315000	7.4645550	7.4714070
0.6830000	7.3853280	7.3916310
0.8285000	7.3346960	7.3411540
0.9070000	7.3346960	7.3411540

Fuente: Software Qual2kw

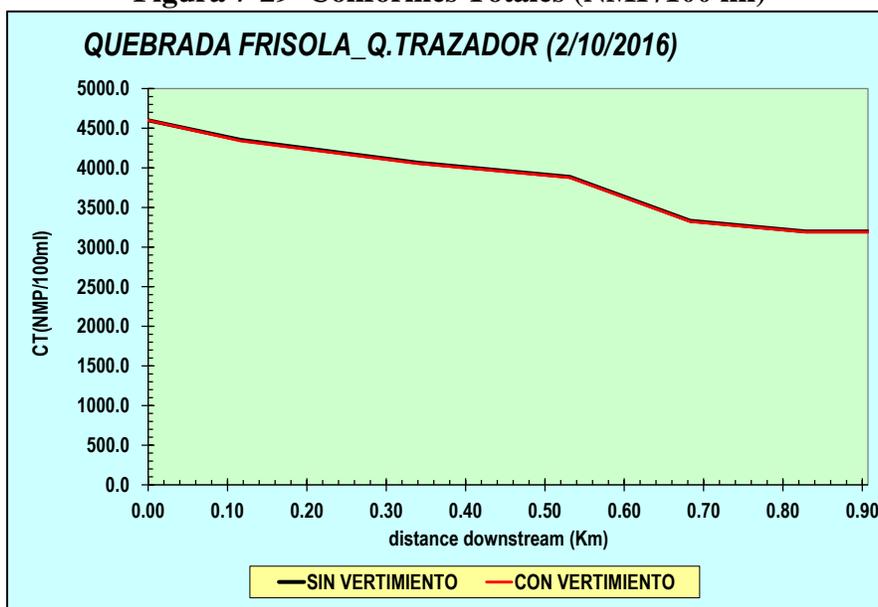
**Figura 7-28 Solidos Suspendidos Totales (mg/l)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (mg/l)	Resultados con vertimiento (mg/l)
0.000000	198.000000	198.000000
0.1170000	197.6980020	197.1651110
0.3405000	197.3104970	196.7800070
0.5315000	197.0612740	196.5323270
0.6830000	196.6889310	196.1622880
0.8285000	196.4714920	195.9461930
0.9070000	196.4714920	195.9461930

Fuente: Software Qual2kw

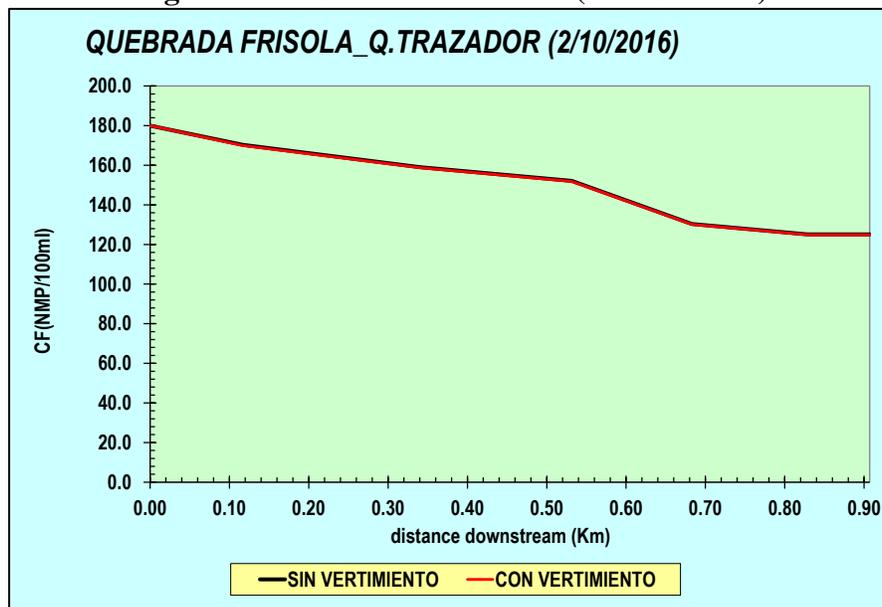
**Figura 7-29 Coliformes Totales (NMP/100 ml)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (nmp/100 ml)	Resultados con vertimiento (nmp/100 ml)
0.000000	4600.000000	4600.000000
0.1170000	4351.291443	4339.415445
0.3405000	4063.295386	4052.726039
0.5315000	3886.549783	3876.766415
0.6830000	3331.212800	3323.052078
0.8285000	3196.878223	3189.289856
0.9070000	3196.878223	3189.289856

Fuente: *Software Qual2kw*

**Figura 7-30 Coliformes Fecales (NMP/100 ml)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (nmp/100 ml)	Resultados con vertimiento (nmp/100 ml)
0.000000	180.000000	180.000000
0.1170000	170.2679260	169.9522630
0.3405000	158.9985150	158.7241350
0.5315000	152.0823830	151.8327150
0.6830000	130.3518050	130.1466130
0.8285000	125.0952350	124.9078450
0.9070000	125.0952350	124.9078450

Fuente: *Software Qual2kw*

### 7.3.1.6.6 Análisis de resultados

A partir del modelo de calidad del agua analizado para la quebrada La Frisola-Planta 1, se estableció que después de conformarse la zona de mezcla en condición de caudales mínimo, máximo y medido en campo sobre la fuente hídrica, no se genera una afección notoria sobre la calidad fisicoquímica, bacteriológica e hidrobiológica, los cuales en su totalidad presentan una correcta asimilación del vertimiento propuesto para los parámetros

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

modelados (Caudal, Velocidad, Profundidad, DBO<sub>5</sub>, pH, Temperatura, DQO, Solidos Suspendidos Totales, Coliformes Totales y Fecales).

Teniendo en cuenta todos los resultados de la modelación de la calidad del agua, en condiciones de caudal vertido de 1,73 l/s y caudales de cuerpo de agua receptor mínimo de 170 l/s, máximo de 2270 l/s y medido 490 l/s, se determinó que el poder de asimilación es óptimo y no representa cambios significativos.

El ensayo con trazadores permitió determinar que la distancia de zona de mezcla para la quebrada La Frisola es de aproximadamente 38 m, dicho valor está relacionado con las condiciones hidráulicas del cuerpo de agua (ancho, velocidad de flujo y caudal). De igual manera mediante la aplicación de ecuaciones empíricas se estableció que la distancia de mezcla en condición de caudal máximo es de 208 m aproximadamente en su escenario más crítico que corresponderá a un vertimiento desde la orilla del cauce.

Mediante el análisis del factor de asimilación para la quebrada La Frisola se pudo establecer que en condición de caudal mínimo el factor de asimilación es de 1:98, en condición de caudal máximo es de 1:1312 y en condición de caudal medido es de 1:283, condición que atribuye una buena asimilación incluso en el condición de caudal mínimo.

### 7.3.1.7 Modelación del vertimiento Quebrada La Culebra

Como se mencionó anteriormente sobre la quebrada La Culebra se tiene prevista la entrega del agua de origen industrial resultante de las actividades de excavación del túnel desde el portal Medellín, para efectos de la modelación se tomó el máximo caudal esperado sin considerar uso en las actividades constructivas. A continuación en la Tabla 7-30 se presenta un resumen general de los aspectos principales de este punto de vertimiento.

**Tabla 7-30. Localización del vertimiento previsto para la quebrada La Culebra**

Id	Nombre	Drenaje	Caudal de vertimiento *(L/s)	Coordenadas Magna Sirgas Origen Oeste**		Municipio
				Este	Norte	
4	Portal Medellín	Quebrada La Culebra	6,77	1157472,2	1188319,5	El Naranjal - Medellín

\*Caudal en el escenario más crítico. Con la inclusión de las aguas de infiltración en el proceso constructivo se espera un vertimiento mucho menor.

\*\*Coordenadas de referencia desde las cuales se definirá el punto definitivo de vertimiento en una franja de 50 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo sobre la corriente.

Fuente: Consultoría Colombiana 2016.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el desarrollo de la modelación, se recopiló información de campo correspondiente a caudal, topobatimetría, caracterización hidráulica y caracterización fisicoquímica del cuerpo receptor, los cuales corresponden a insumos de entrada del programa Qal2KW, a continuación se resumen los resultados obtenidos.

### 7.3.1.7.1 Determinación del caudal de la corriente

Mediante el método de trazadores y la determinación a partir de modelación hidrológica se establecieron los caudales medios, mínimos y máximos de la quebrada La Culebra, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7-31.

**Tabla 7-31 Caudales estimados quebrada La Culebra**

Drenaje	Caudal con prueba de trazadores (m <sup>3</sup> /s)	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)
Quebrada La Culebra	0,025	0*	0,05*	0,25*

\*Caudales estimados por medio de modelación hidrológica

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies SAS, 2016.

### 7.3.1.7.2 Calidad del agua de la Quebrada La Culebra

La calidad de agua de la quebrada La Culebra se determinó a partir de monitoreo efectuado en octubre de 2016 por el laboratorio ANASCOL y otros, los cuales cuentan con acreditación expedida por el IDEAM para el desarrollo de la actividad, los reportes de laboratorio así como los soportes de acreditación se presentan en el Anexo 2 del presente documento.

**Tabla 7-32 Caracterización fisicoquímica y bacteriológica quebrada La Culebra**

Variable	Unidades	Resultado
Aceites y Grasas	mg /L	<10
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	37,7
Coliformes Fecales	NMP/100Ml	490
Coliformes Totales	NMP/100Ml	1400
DBO5	mg O <sub>2</sub> /L	<5
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	<20
Fósforo Total	mg P/L	0,09
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	6,25
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg NTK/L	<4
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/L	<10
pH	N.A.	7,66
Temperatura	°C	18,9
Conductividad	µS/cm	166
Oxígeno Disuelto	mg OD/L	4,7

Fuente: ANASCOL, 2016.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

### 7.3.1.7.3 Características del agua a verter

Para realizar el modelo de calidad del agua se tomaron datos de acuerdo a los valores máximos permisibles para los vertimientos en aguas superficiales según Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 y composición típica de aguas residuales domésticas e industriales tratadas y no tratadas. Los datos escogidos para la modelación fueron los más altos con el fin de generar escenarios en condiciones críticas. Es de aclarar que los valores escogidos se analizaron y escogieron sin pasar por alto lo estipulado por la normatividad ambiental vigente.

**Tabla 7-33 Caracterización fisicoquímica de las aguas a verter (tratadas y no tratadas)**

Parámetro	Valor del vertimiento propuesto	Composición típica de aguas residuales domésticas e industriales tratadas	Composición típica de aguas residuales domésticas e industriales no tratadas	Resolución 0631 de 2015 Art. 15
pH (Unidades)	9	6-9	8,4	6 – 9
DBO5 (mg/l)	50	50	NE	50
Sólidos Suspendidos Totales	50	50	33	50
DQO (mg/l)	150	150	NE	150
Grasas y aceites (mg/l)	10	10	0,5	10
Temperatura (°C)	40	<40	24,5	NE
Coliformes totales (NMP /100ml)	50	NE	50	NE
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1	NE	<1	NE

Fuente: Resolución 0631 de 2015, Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible.

### 7.3.1.7.4 Caudal del vertimiento

El caudal máximo de vertimiento contemplado para la quebrada La Culebra se estima en  $6,77 \approx 6,8$  l/s, cual fue determinado a partir del comportamiento hidrológico esperado en el túnel durante la fase de construcción, para su definición se tuvo en cuenta la permeabilidad del material presente (unidades litológicas), la longitud del material y el caudal de filtración por cada metro lineal de excavación.

### 7.3.1.7.5 Calibración, corrida y verificación del modelo

A continuación se expone el resultado de los cálculos desarrollados para determinar el balance de masas y el factor de dilución como insumos del modelo.

### 7.3.1.7.5.1 Balance de masas

El balance de cargas en el punto de vertimiento se presenta a continuación, tomando los valores máximos establecidos en la resolución 631 de 2015 y la composición típica de aguas residuales industriales tratadas y no tratadas, con el fin de cumplir con el Decreto 3930 de 2010.

Así mismo el balance de cargas se realizó confrontando el monitoreo de calidad del agua con los caudales medidos en campo mediante la prueba de trazadores y los caudales máximos generados por medio de la modelación hidrológica para la quebrada La Culebra, esto con el fin de evaluar el comportamiento de la quebrada en los dos escenarios de caudales.

**Tabla 7-34 Balance de masas quebrada La Culebra**

Parámetro	Concentración del vertimiento	Concentración de la quebrada La Culebra antes del vertimiento	Concentración inmediatamente se presenta la descarga bajo condición de caudal de 0,05 m <sup>3</sup> /s	Concentración inmediatamente se presenta la descarga bajo condición de caudal de 0,25 m <sup>3</sup> /s
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	0,0068		0,05680000	0.25680000
pH (Unidades)	9	7,66	7.82042254	7.69548287
DBO5 (mg/l)	50	5	10.38732394	6.19158879
Solidos Suspendidos Totales (mg/l)	50	10	14.78873239	11.05919003
DQO (mg/l)	150	20	35.56338028	23.44236760
Grasas y Aceites (mg/l)	10	10	10.00000000	10.00000000
Temperatura (°C)	40	18,9	21.42605634	19.45872274
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	50	1400	1238.38028169	1364.25233645
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1	490	431.45774648	77.05140187

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies SAS, 2016.

La Tabla 7-34 permite evidenciar que el vertimiento sobre la quebrada La Culebra provoca una variación en la concentración de cada parámetro evaluado. De acuerdo con el balance de masas se produce un aumento en las concentraciones iniciales de los parámetros pH, DBO5, SST, DQO y Temperatura, con mayor oscilación bajo condiciones de caudal de la fuente hídrica de 0,025 m<sup>3</sup>/s.

### 7.3.1.7.5.2 Factor de dilución

Con base a los resultados de los caudales medidos en campo y los máximos generados por modelación hidrológica, se realizó la evaluación de factor de dilución tal y como se muestra en la Tabla 7-35.

**Tabla 7-35 Factor de dilución en la quebrada La Culebra**

	Quebrada La Frisola		
	Caudal (l/s)	Caudal del vertimiento (l/s)	Factor de dilución
MEDIDO	50	6,8	7,35
MÁXIMO	250	6,8	36,76

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

En la Tabla 7-35 se observa el factor de dilución bajo los dos escenarios de caudal, presentándose un mejor factor bajo condición de caudal máximo (250 l/s), lo que facilita la dilución y posterior asimilación. En el caso del caudal medido con la prueba de trazadores se observa que el factor de dilución es mucho menor, equivalente a 7,35.

### 7.3.1.7.5.3 Zona de mezcla

Para la determinación de la zona de mezcla se desarrolló la metodología de ensayos con trazadores, determinando inicialmente el coeficiente de dispersión lateral y longitudinal, posteriormente se compararon con las ecuaciones teóricas, los resultados obtenidos se presentan a continuación.

#### 7.3.1.7.5.3.1 Longitud de zona de mezcla teórica

Para la estimación de la zona de mezcla se presentan cuatro fórmulas de dos autores diferentes, las cuales consideran variables dependiendo de la zona donde se realice la descarga.

**Tabla 7-36 Ecuaciones de longitud de zona de mezcla teórica**

FISHER		YOTSUKURA	
Descarga desde la orilla	Descarga desde la mitad:	Descarga desde la orilla	Descarga desde la mitad:
$B^2$	$B^2$	$U \cdot B^2$	$U \cdot B^2$
$LMo = 0,4 * U * \frac{B^2}{CDLa}$	$LMc = 0,1 * U * \frac{B^2}{CDLa}$	$LMo = 8,52 * \frac{U \cdot B^2}{H}$	$LMc = 4,26 * \frac{U \cdot B^2}{H}$

LMo= Longitud de la zona de mezcla desde la orilla    LMc= Longitud de la zona de mezcla desde el centro  
 B=Ancho de la sección    U=Velocidad media    CDLa=Coeficiente de dispersión lateral    H=Profundidad

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

De acuerdo a las ecuaciones anteriores, las longitudes de las zonas de mezcla Teóricas para la quebrada La Culebra comparada con la del análisis de trazadores son:

**Tabla 7-37 Longitud de zona de mezcla teórica para la quebrada La Culebra comparada con la del análisis de trazadores**

Longitud zona de mezcla teórica (m)		
Descarga A La Orilla		
Cuerpo de agua	Fisher	Yotsukura
Quebrada La Culebra	11,09	43,40
Descarga En El Centro		
Cuerpo de agua	Fisher	Yotsukura
Quebrada La Culebra	2,8	21,70
<b>Longitud Zona de Mezcla Trazador (metros)</b>		
12,2		

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

#### 7.3.1.7.5.4 Longitud de tramo de modelación

La longitud del tramo de modelación se definió teniendo en cuenta la zona de mezcla, es decir, que la longitud del tramo a modelar no fue inferior a la distancia de zona de mezcla determinada en el escenario más crítico de caudal o flujo máximo, siendo para la quebrada La Culebra una distancia de 44 m.

#### 7.3.1.7.6 Modelo de calidad de agua en La Quebrada La Culebra

Para efecto de la utilización del modelo Qual2kw en la simulación de vertimientos sobre la quebrada La Culebra se establecieron las constantes de reaireación y desoxigenación las cuales permiten establecer la capacidad de asimilación del cuerpo de agua. (Ver Tabla 7-38 y Tabla 7-39)

**Tabla 7-38 Constante de reaireación para para la quebrada La Culebra en los escenarios de caudal medido y máximo**

Ecuaciones de constante de reaireación (d-1)						
ESCENARIO	O'CONNOR Y DOBBINS	CORRECCION T °C	CHURCHILL	CORRECCION T °C	OWENS Y GIBBS	CORRECCION T °C
MEDIDO	69,69	67,89	60,48	58,93	169,3478	164,99
MÁXIMO	6,02	5,87	3,96	3,86	8,2645	8,05

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

**Tabla 7-39 Constante de desoxigenación para la quebrada La Culebra en los escenarios de caudal medido y máximo**

Ecuación de constante de desoxigenación (d-1)	
MEDIDO	10,85
MÁXIMO	3,55

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

#### 7.3.1.7.6.1 Calibración y precisión del modelo de calidad

La calibración en los modelos de calidad consiste en ajustar las constantes y coeficientes incluidos en el modelo de tal manera que este sea capaz de reproducir la calidad del agua en la corriente con una alta confiabilidad

#### 7.3.1.7.6.2 Datos ajustados e introducidos al modelo QUAL2KW

A continuación se presentan los cálculos de cada una de las variables introducidos en el modelo de calidad del agua QUAL2KW (Ver Tabla 7-40).

**Tabla 7-40 Variables a introducir en el modelo de calidad sobre la quebrada La Culebra**

Parámetro	Unidades	Punto Monitoreado
DBO <sub>5</sub>	mg / L	5
DBO R	mg / L	7,1
DQO	mg / L	20
SST	mg / L	10

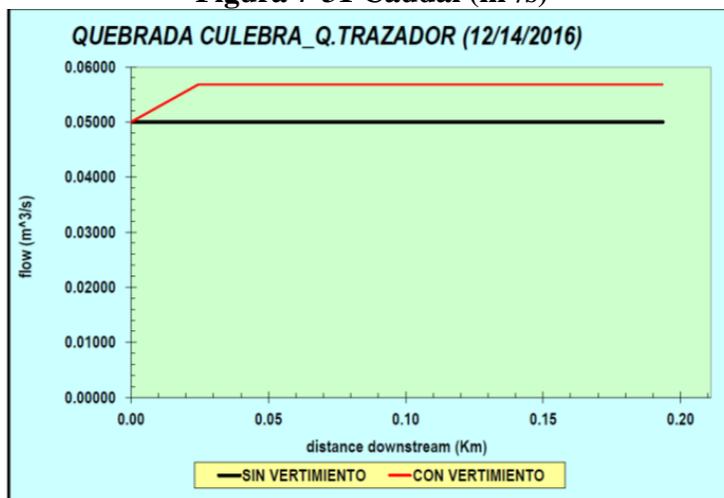
Fuente: Curso de modelación de calidad de aguas en ríos y corrientes y su aplicación en planes de saneamiento y manejo de vertimientos (Res. 1433/2004 y Dec. 3930/2010 sobre vertimientos).

#### 7.3.1.7.6.3 Resultados del modelo después del vertimientos escenario de caudal medido con prueba de trazadores en la Quebrada La Culebra

Después de realizar la calibración del modelo de simulación con los datos hidrológicos e hidráulicos, se introduce dentro del programa Qual2kw los parámetros hidrológicos y de calidad del agua en las condiciones en que se pretende realizar el vertimiento, es de aclarar que dichos valores son los presentados en la caracterización típica del vertimiento, los cuales se tomaron bajo la respectiva normatividad ambiental vigente.

A continuación se presentan los resultados de la simulación del vertimiento sobre la quebrada La Culebra en condiciones de caudal medido por el método de trazadores generado mediante modelación hidrológica e hidráulica, y datos in situ de la fuente hídrica receptora bajo un caudal de descarga de 6,8 l/s. El resultado de simulación en el escenario de caudal máximo de la corriente puede ser consultado en el Anexo 1 del presente documento. En las figuras se presenta la comparación de los resultados del modelo de simulación antes y después del vertimiento de cada uno de los parámetros de calidad del agua simulados.

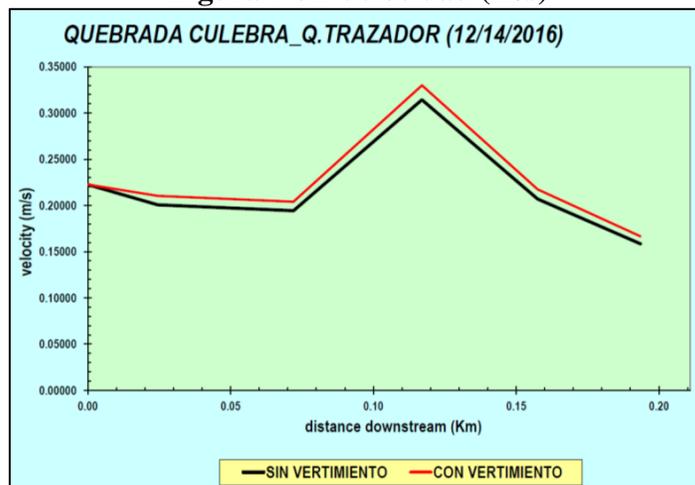
**Figura 7-31 Caudal (m<sup>3</sup>/s)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (m <sup>3</sup> /s)	Resultados con vertimiento (m <sup>3</sup> /s)
0.00000	0.05000	0.05000
0.02450	0.05000	0.05680
0.07200	0.05000	0.05680
0.11700	0.05000	0.05680
0.15750	0.05000	0.05680
0.19350	0.05000	0.05680

Fuente: Software Qual2kw

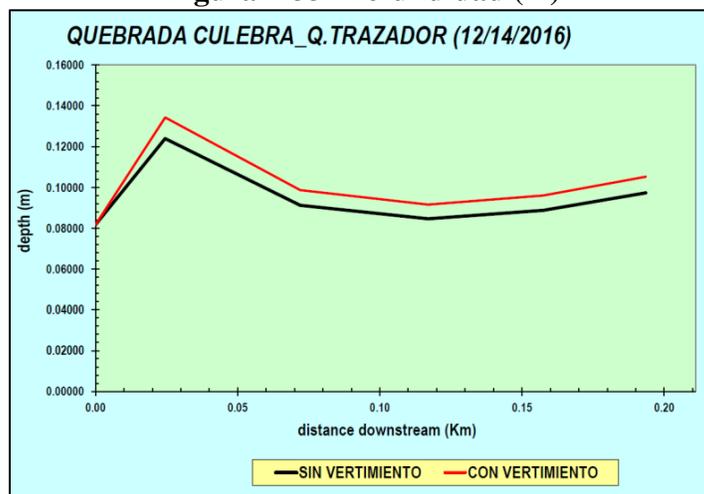
**Figura 7-32 Velocidad (m/s)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (m/s)	Resultados con vertimiento (m/s)
0.00000	0.22260	0.22260
0.02450	0.20069	0.21042
0.07200	0.19428	0.20405
0.11700	0.31435	0.32991
0.15750	0.20703	0.21742
0.19350	0.15856	0.16655

Fuente: Software Qual2kw

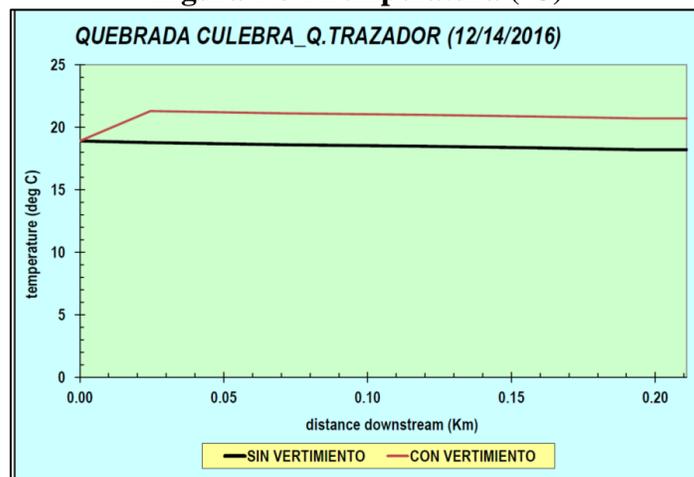
**Figura 7-33 Profundidad (m)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (m)	Resultados con vertimiento (m)
0.00000	0.08168	0.08168
0.02450	0.12395	0.13430
0.07200	0.09126	0.09871
0.11700	0.08460	0.09158
0.15750	0.08879	0.09604
0.19350	0.09733	0.10526

Fuente: Software Qual2kw

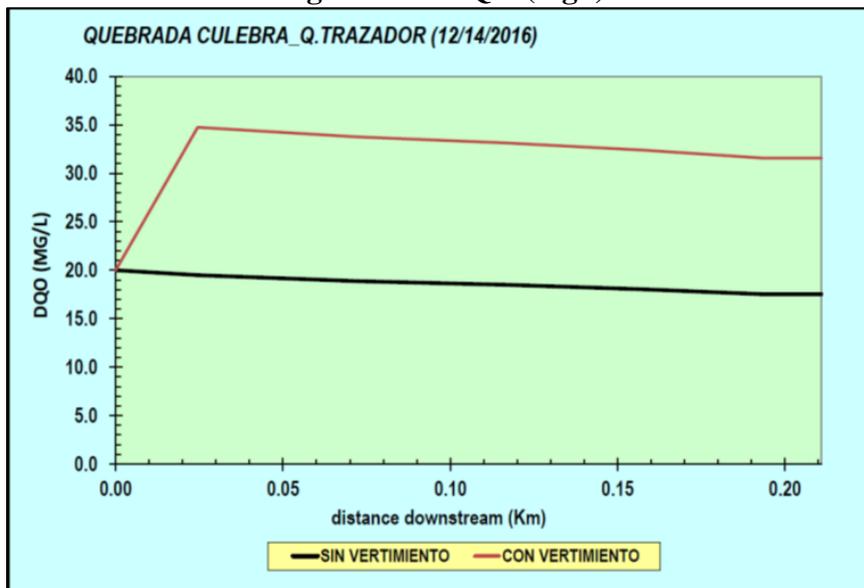
**Figura 7-34 Temperatura (°C)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (°c)	Resultados con vertimiento (°c)
0.00	18.90000	18.90000
0.02	18.76730	21.28850
0.07	18.59460	21.10920
0.12	18.48530	20.99580
0.16	18.35350	20.85890
0.19	18.20650	20.70620
0.21	18.20650	20.70620

Fuente: Software Qual2kw

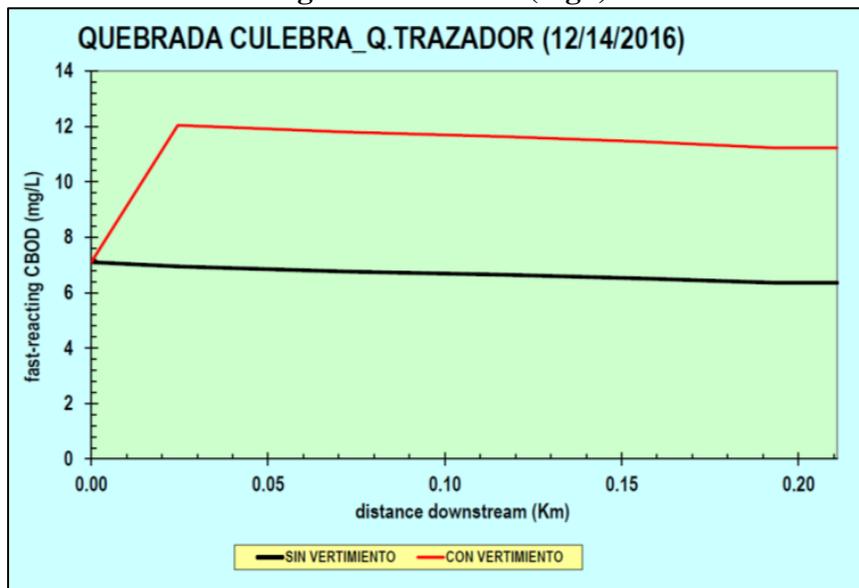
**Figura 7-35 DQO (mg/l)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (mg/l)	Resultados con vertimiento (mg/l)
0.00	20.00000	20.00000
0.02	19.50191	34.75998
0.07	18.88110	33.76137
0.12	18.49519	33.14008
0.16	19.03643	32.39932
0.19	17.53163	31.58097
0.21	17.53163	31.58097

Fuente: Software Qual2kw

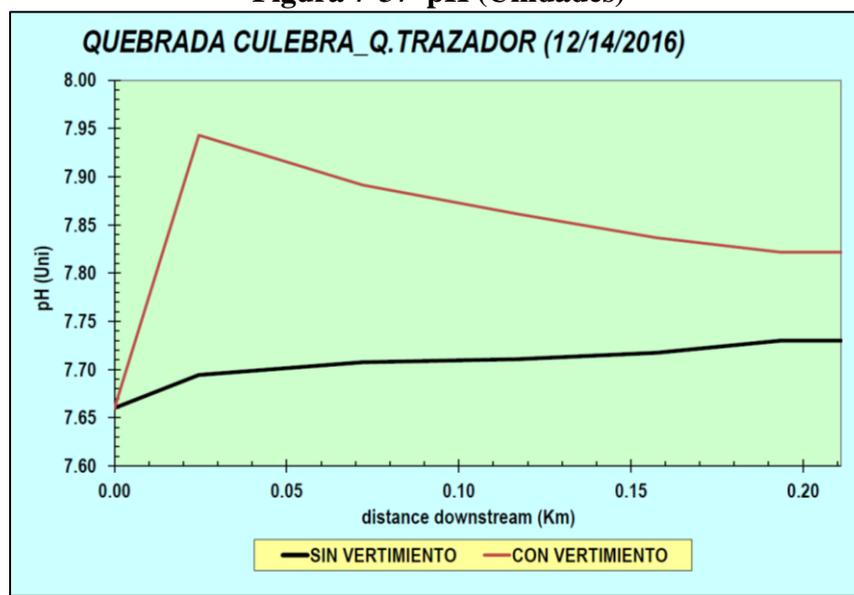
**Figura 7-36 DBO5 (mg/l)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (mg/l)	Resultados con vertimiento (mg/l)
0.00	7.10000	7.10000
0.02	6.94835	12.04086
0.07	6.76372	11.79471
0.12	6.64532	11.63288
0.16	6.50698	11.43894
0.19	6.35717	11.22277
0.21	6.35717	11.22277

Fuente: Software Qual2kw

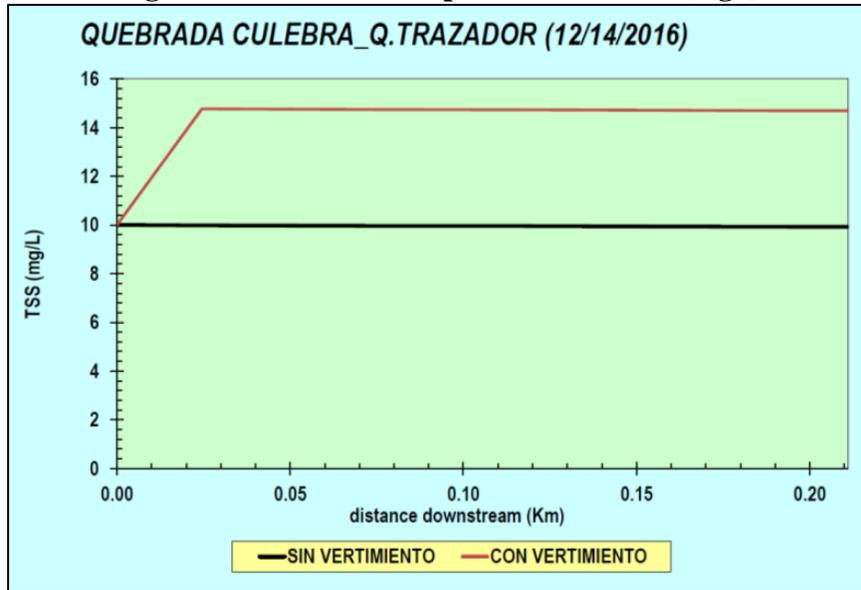
**Figura 7-37 pH (Unidades)**



Tramo (Km)	Resultados Sin Vertimiento (Unidades)	Resultados Con Vertimiento (Unidades)
0.00	7.66000	7.66000
0.02	7.69435	7.94297
0.07	7.70761	7.89145
0.12	7.71067	7.86141
0.16	7.71747	7.83666
0.19	7.72997	7.82169
0.21	7.72997	7.82169

Fuente: Software Qual2kw

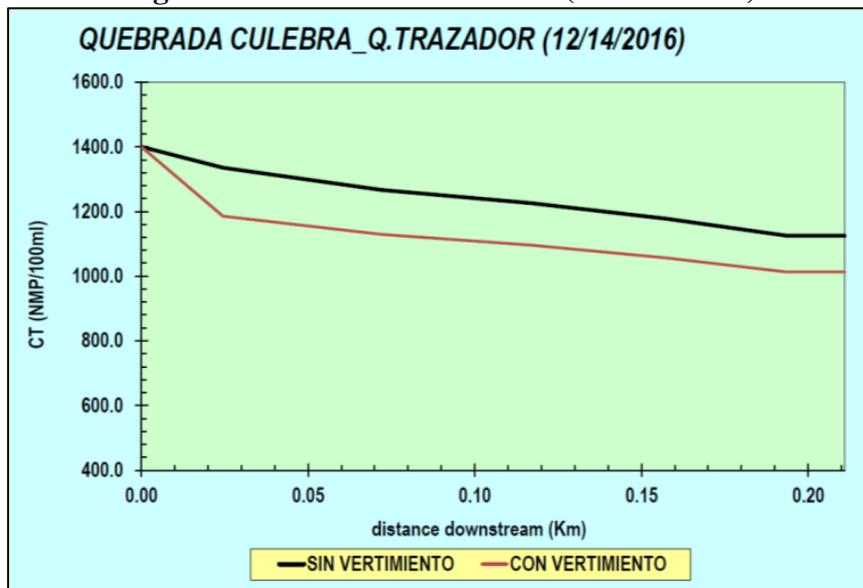
**Figura 7-38 Solidos Suspendidos Totales (mg/l)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (mg/l)	Resultados con vertimiento (mg/l)
0.00	10.00000	10.00000
0.02	9.98605	14.77057
0.07	9.96771	14.74668
0.12	9.95603	17.73146
0.16	9.94183	14.71297
0.19	9.92587	14.69217
0.21	9.92587	14.69217

Fuente: Software Qual2kw

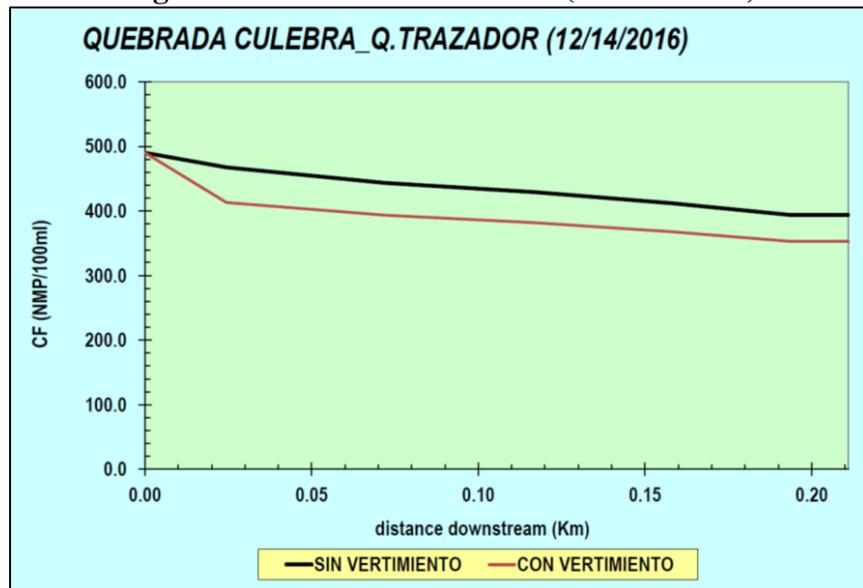
**Figura 7-39 Coliformes Totales (NMP/100 ml)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (nmp/100 ml)	Resultados con vertimiento (nmp/100 ml)
0.00	1400.00	1400.00
0.02	1335.46	1185.65
0.07	1266.64	1129.41
0.12	1225.87	1096.01
0.16	1177.89	1056.55
0.19	1125.12	1012.93
0.21	1125.12	1012.93

Fuente: Software Qual2kw

**Figura 7-40 Coliformes Fecales (NMP/100 ml)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (nmp/100 ml)	Resultados con vertimiento (nmp/100 ml)
0.00	490.00000	490.00000
0.02	467.41058	413.08744
0.07	443.32476	393.49025
0.12	429.05553	381.85526
0.16	412.26224	368.10883
0.19	393.79154	352.90995
0.21	393.79154	352.90995

Fuente: *Software Qual2kw.*

### 7.3.1.7.7 Análisis de resultados

De los resultados obtenidos anteriormente para a quebrada La Culebra, se establece que después de conformarse la zona de mezcla en condición de caudal medido por el método de trazadores, no se genera una afección notoria sobre la calidad fisicoquímica y bacteriológica, los cuales en su totalidad presentan una correcta asimilación del vertimiento propuesto para los parámetros modelados (Caudal, Velocidad, Profundidad, DBO<sub>5</sub>, pH, Temperatura, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, Coliformes Totales y Fecales).

Teniendo en cuenta todos los resultados de la modelación de la calidad del agua, en condiciones de caudal vertido de 6,8 l/s y caudal de cuerpo de agua receptor de 50 l/s (medido en campo), se determina que el poder de asimilación es óptimo y no representa cambios significativos. A continuación se presenta el análisis de cada uno de los parámetros evaluados:

- Temperatura

Se observó que en los dos escenarios de caudal considerados la temperatura del agua a ser vertida sobre la quebrada La Culebra es menor a 40°C por lo cual se da cumplimiento al Decreto 1076 de 2015.

Es de aclarar que debido a la oscilación de temperatura en el medio, producto del clima y de la radiación solar dependiendo de la hora del día, se generan igualmente cambios en la temperatura del agua, presentándose valores más bajos en la mañana y noche y valores más altos al medio día y la tarde, marcando una diferencia mayor en condiciones de caudales bajos.

- DBO<sub>5</sub>

Bajo condición del vertimiento representado por el modelo de calidad para los dos escenarios de caudal de la fuente hídrica, se presenta un incremento de tan solo 4 mg/l en su escenario más desfavorable, destacando que los incrementos en las concentraciones son mínimos y no afectan la calidad del agua presentada por la quebrada antes de la descarga.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

- DQO

En escenarios de vertimiento, la quebrada La Culebra presenta un incremento en las concentraciones iniciales de hasta 14,75 mg/l en el escenario más crítico. Es de aclarar que los valores evidenciados dentro de los modelos de calidad para los dos escenarios, no presentan incrementos considerables después de realizarse el vertimiento. Es pertinente aclarar que para la DQO, según la norma colombiana no se indica límites permisibles de concentración.

- PH

La quebrada La Culebra presenta un valor de pH en el punto inicial del monitoreo de 7,66 unidades, dato que evidencia que el cuerpo de agua tiene una tendencia básica, generando un hábitat específica para el desarrollo de determinados organismos acuáticos.

Mediante los modelos de calidad del agua se pudo observar que después de realizarse la descarga de agua residual tratada en condiciones de pH de 9 unidades, característico de las aguas residuales, el cuerpo de agua no sufre cambios notorios en la concentración en los escenarios de caudal analizados.

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, está en la margen para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, pues los límites señalados están entre 5 y 9. Así mismo, los rangos para uso agrícola y pecuario son de 4,5 a 9 y de 5 a 9, respectivamente.

Cabe mencionar que pese a que el pH mantiene su naturaleza a lo largo del día, puede presentar una variación mínima que se asocia a cambios en la temperatura del agua por efectos de la radiación solar que incide en el sistema hídrico. Este cambio es casi imperceptible y puede darse con mayor frecuencia en la época de menor caudal, donde el nivel del cuerpo de agua es mínimo y por ende los cambios en la temperatura del agua se pueden presentar más rápidos, en mayor magnitud y/o con mayor frecuencia.

- Solidos suspendidos totales

Se encontró que la quebrada La Culebra antes de realizarse el vertimiento presenta una concentración de SST de 10 mg/l, el cual tiende a disminuir en la distancia. Bajo condiciones de caudales de vertimiento para los dos escenarios, se presenta un incremento de hasta 4,77 mg/l, no obstante, este no afecta los usos del agua teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto 1076 de 2015 el cual indica concentraciones permisibles de sólidos suspendidos totales de 800 mg/l, por lo cual el vertimiento propuesto cumple con la normatividad ambiental vigente.

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>  <b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	
--	--	--

- Coliformes totales y fecales

De acuerdo a lo reportado por el modelo de calidad, se observa que los Coliformes Fecales presentan una tendencia a disminuir a medida que se aleja en la distancia, esta condición se da naturalmente debido a la capacidad de auto purificación del cuerpo de agua. De igual manera se puede observar que después de realizado el vertimiento, el cuerpo de agua presenta la misma tendencia a asimilar el vertimiento en los dos escenarios de modelación, relacionado a que la carga bacteriológica en las aguas residuales industriales no tiende a ser alta, por lo cual se considera que la asimilación del cuerpo de agua puede llegar a ser mejor que los presentados anteriormente.

Para Coliformes Fecales, comparado el valor más restrictivo establecido por el decreto 1076 (200 NMP para fines recreativos mediante contacto primario) con el valor obtenido del muestreo realizado in situ, se puede afirmar que sobrepasan los límites de la norma, valor medido de 490 NMP, por lo cual se limita el uso para recreación. Es de aclarar que el vertimiento no genera ninguna afectación sobre este parámetro y la limitación en el uso está dada por las características que trae consigo la fuente hídrica antes de la descarga.

Para coliformes Totales el Decreto establece como límite permisible 20000 NMP/100mL para la destinación del recurso humano y doméstico, e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico donde para su potabilización se requiere solo desinfección es de 1000 NPM. El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto, en cuanto a los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario están en el orden de los 1000 NPM.

De acuerdo a lo monitoreado sobre la quebrada La Culebra, se establece que por presentar un valor de Coliformes Totales de 1400 NMP, se requiere tratamiento convencional para la destinación del recurso humano y doméstico, y debido a la carga de Coliformes Totales no es posible tratar el agua solamente con desinfección. Es de resaltar que el vertimiento no genera incremento notorio sobre este parámetro, el cual para los dos escenarios propuestos genera una buena asimilación.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el modelo de calidad del agua, es posible indicar que después de conformarse la zona de mezcla en la quebrada La Culebra, no se generará una afección notoria sobre la calidad fisicoquímica, bacteriológica e hidrobiológica, dada la adecuada asimilación del cuerpo de agua en los dos escenarios de caudal modelados.

El ensayo con trazadores permitió determinar que la distancia de zona de mezcla para la quebrada La Culebra es de aproximadamente 12 m, dicho valor está relacionado con las

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

condiciones hidráulicas del cuerpo de agua (ancho, velocidad de flujo y caudal). De igual manera mediante la aplicación de ecuaciones empíricas se estableció que la distancia de mezcla en condición de caudal máximo es de 43 m aproximadamente en su escenario más crítico que corresponderá a un vertimiento desde la orilla del cauce.

### 7.3.1.8 Modelación del vertimiento Quebrada La Frisola – Portal Santa Fe

Sobre la quebrada La Frisola se tiene prevista la entrega del agua de origen industrial resultante de las actividades de excavación del túnel desde el portal Santa Fe, para efectos de la modelación se tomó el máximo caudal esperado sin considerar la incorporación en el proceso constructivo; el punto definido para el vertimiento se localiza en las coordenadas que se indican a continuación:

**Tabla 7-41 Localización del vertimiento previsto para la quebrada La Frisola-Portal Santa Fe**

Id	Nombre	Drenaje	Caudal de vertimiento (L/s)*	Coordenadas Magna Sirgas Origen Oeste**		Vereda / Municipio
				Este	Norte	
3	Portal Santa Fe	Quebrada La Frisola	3,39	1153729,8	1191376,3	La Frisola - Medellín

\*Caudal en el escenario más crítico. Con la inclusión de las aguas de infiltración en el proceso constructivo se espera un vertimiento mucho menor.

\*\*Coordenadas de referencia desde las cuales se definirá el punto definitivo de vertimiento en una franja de 50 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo sobre la corriente.

Fuente: Consultoría Colombiana 2016.

Al igual que para el punto de vertimiento de la quebrada La Culebra, para el desarrollo de la modelación, se recopiló información de campo correspondiente a caudal, topobatimetría, caracterización hidráulica y caracterización fisicoquímica del cuerpo receptor, los cuales corresponden a insumos de entrada del programa Qal2KW, a continuación se resumen los resultados obtenidos.

#### 7.3.1.8.1 Determinación del caudal de la corriente

Mediante el método de trazadores y la determinación a partir de modelación hidrológica se establecieron los caudales medios, mínimos y máximos de la quebrada La Frisola, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7-31.

**Tabla 7-42 Caudales estimados quebrada La Frisola-Portal Santa Fe**

Drenaje	Caudal con prueba de trazadores (m <sup>3</sup> /s)	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)
Quebrada La Frisola	0,0505	0.17*	0,46*	2,27*

\*Caudales estimados por medio de modelación hidrológica

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies SAS, 2016.

### 7.3.1.8.2 Calidad del agua de la Quebrada La Frisola – Portal Santa Fe

La calidad de agua de la quebrada La Culebra se determinó a partir de monitoreo efectuado en octubre de 2016 por el laboratorio ANASCOL y otros, los cuales cuentan con acreditación expedida por el IDEAM para el desarrollo de la actividad, los reportes de laboratorio así como los soportes de acreditación se presentan en el Anexo 2 del presente documento.

**Tabla 7-43 Caracterización fisicoquímica y bacteriológica quebrada La Frisola-Portal Santa Fe**

Variable	Unidades	Resultado
Aceites y Grasas	mg /L	<10
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	46,6
Coliformes Fecales	NMP/100MI	170
Coliformes Totales	NMP/100MI	1400
DBO5	mg O <sub>2</sub> /L	<5
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	<20
Fósforo Total	mg P/L	0,068
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg NTK/L	<4
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/L	<10
pH	N.A.	7,6
Temperatura	°C	20,3
Conductividad	µS/cm	172
Oxígeno Disuelto	mg OD/L	4,7

Fuente: ANASCOL, 2016.

### 7.3.1.8.3 Características del agua a verter en Quebrada La Frisola – Portal Santa Fe

Al igual que la quebrada La Culebra, para el modelo de calidad del agua se tomó los valores máximos permisibles para los vertimientos en aguas superficiales de la Resolución 631 del 17 de marzo de 2015 y composición típica de aguas residuales domesticas e industriales tratadas y no tratadas.

**Tabla 7-44 Caracterización fisicoquímica de las aguas a verter (tratadas y no tratadas)**

Parámetro	Valor del vertimiento propuesto	Composición típica de aguas residuales domésticas e industriales tratadas	Composición típica de aguas residuales domésticas e industriales no tratadas	Resolución 0631 de 2015 Art. 15
pH (Unidades)	9	6-9	8,4	6 – 9
DBO5 (mg/l)	50	50	NE	50
Solidos Suspendidos Totales	50	50	33	50

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

Parámetro	Valor del vertimiento propuesto	Composición típica de aguas residuales domésticas e industriales tratadas	Composición típica de aguas residuales domésticas e industriales no tratadas	Resolución 0631 de 2015 Art. 15
DQO (mg/l)	150	150	NE	150
Grasas y aceites (mg/l)	10	10	0,5	10
Temperatura (°C)	40	<40	24,5	NE
Coliformes totales (NMP /100ml)	50	NE	50	NE
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1	NE	<1	NE

Fuente: Resolución 0631 de 2015, Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible.

#### 7.3.1.8.4 Caudal de vertimiento en la Quebrada La Frisola – Portal Santa Fe

El caudal máximo de vertimiento contemplado para la quebrada La Frisola en el portal Santa Fe del Túnel proyectado, se estima en  $3,39 \approx 3,4$  l/s y fue determinado al igual que el de la quebrada La Culebra, a partir del comportamiento hidrológico esperado en el túnel durante la fase de construcción.

#### 7.3.1.8.5 Calibración, corrida y verificación del modelo

A continuación se expone el resultado de los cálculos desarrollados para determinar el balance de masas y el factor de dilución como insumos del modelo.

##### 7.3.1.8.5.1 Balance de masas

El balance de cargas en el punto de vertimiento se presenta a continuación, tomando los valores máximos establecidos en la resolución 631 de 2015 y la composición típica de aguas residuales industriales tratadas y no tratadas, con el fin de cumplir con el Decreto 3930 de 2010.

El balance de cargas se realizó confrontando el monitoreo de calidad del agua con los caudales medidos en campo mediante la prueba de trazadores y los caudales máximos y mínimos generados por medio de la modelación hidrológica para la quebrada La Frisola.

Como se puede observar en la Tabla 7-34, el vertimiento sobre la quebrada La Frisola provoca una variación en la concentración de cada parámetro evaluado. De acuerdo con el balance de masas las oscilaciones de cada uno de los parámetros fueron en descenso por lo cual se puede afirmar que bajo los tres escenarios de caudal no se presenta una afectación al cuerpo de agua receptor.

**Tabla 7-45 Balance de masas quebrada La Frisola- Portal Santa Fe**

Parámetro	Concentración del vertimiento	Concentración de la quebrada La Frisola antes del vertimiento	Concentración inmediatamente se presenta la descarga (caudal de 0,17 m <sup>3</sup> /s)	Concentración inmediatamente se presenta la descarga (caudal de 0,5 05 m <sup>3</sup> /s)	Concentración inmediatamente se presenta la descarga (caudal de 2,27 m <sup>3</sup> /s)
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	0,0034		0.17340000	0.50840000	2.27340000
Ph (Unidades)	9	7,66	7.62745098	7.60936271	7.60209378
DBO5 (mg/l)	50	5	5.88235294	5.30094414	5.06730008
Solidos Suspendidos Totales (mg/l)	50	10	10.78431373	10.26750590	10.05982229
DQO (mg/l)	150	20	22.54901961	20.86939418	20.19442245
Grasas y Aceites (mg/l)	10	10	10.000	10.000	10.000
Temperatura (°C)	40	20,3	20.68627451	20.43174666	20.32946248
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	50	1400	1373.52941176	1390.97167585	1397.98099762
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1	170	166.68627451	168.86978757	169.74725081

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies SAS, 2016.

### 7.3.1.8.5.2 Factor de dilución

Con base a los resultados de los caudales medidos en campo y los máximos generados por modelación hidrológica, se realizó la evaluación de factor de dilución el cual se muestra en la Tabla 7-46.

**Tabla 7-46 Factor de dilución en la quebrada La Frisola –Portal Santa Fe**

	Quebrada La Frisola- Portal Santa Fe		
	Caudal (l/s)	Caudal del vertimiento (l/s)	Factor de dilución
Medido	550	3,4	162
Mínimo	170	3,4	50
Máximo	2270	3,4	667

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

En la Tabla 7-46 se observa el factor de dilución bajo los tres escenarios de caudal, siendo un mejor escenario bajo condición de caudal máximo (2270 l/s), lo que facilita la dilución y posterior asimilación. En el caso del caudal medido con la prueba de trazadores y mínimo, se observa que el factor de dilución oscila entre 50 y 162.

### 7.3.1.8.5.3 Zona de mezcla

Para la determinación de la zona de mezcla se desarrolló la metodología de ensayos con trazadores, determinando inicialmente el coeficiente de dispersión lateral y longitudinal, posteriormente se compararon con las ecuaciones teóricas, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

#### 7.3.1.8.5.3.1 Longitud de zona de mezcla teórica

Para la estimación de la zona de mezcla se presentan cuatro fórmulas de dos autores diferentes, las cuales consideran variables dependiendo de la zona donde se realice la descarga.

**Tabla 7-47 Ecuaciones de longitud de zona de mezcla teórica**

FISHER		YOTSUKURA	
Descarga desde la orilla	Descarga desde la mitad:	Descarga desde la orilla	Descarga desde la mitad:
$LMo = 0,4 * U * \frac{B2}{CDLa}$	$LMc = 0,1 * U * \frac{B2}{CDLa}$	$LMo = 8,52 * \frac{U * B2}{H}$	$LMc = 4,26 * \frac{U * B2}{H}$
LMo= Longitud de la zona de mezcla desde la orilla    LMc= Longitud de la zona de mezcla desde el centro B=Ancho de la sección    U=Velocidad media    CDLa=Coeficiente de dispersión lateral    H=Profundidad			

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

De acuerdo a las ecuaciones anteriores, las longitudes de las zonas de mezcla Teóricas para la quebrada La Frisola en el punto de vertimiento del portal Santa Fe comparada con la del análisis de trazadores son:

**Tabla 7-48 Longitud de zona de mezcla teórica para la quebrada La Frisola-Portal Santa Fe comparada con la del análisis de trazadores**

Longitud zona de mezcla teórica (m)		
<b>Descarga A La Orilla</b>		
Cuerpo de agua	Fisher	Yotsukura
Quebrada La Frisola	30,21	184,65
<b>Descarga En El Centro</b>		
Cuerpo de agua	Fisher	Yotsukura
Quebrada La Frisola	7,6	92,33
<b>Longitud Zona de Mezcla Trazador (metros)</b>		
24,22		

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

#### 7.3.1.8.5.4 Longitud de tramo de modelación

La longitud del tramo de modelación se definió teniendo en cuenta la zona de mezcla, es decir, que la longitud del tramo a modelar no fue inferior a la distancia de zona de mezcla determinada en el escenario más crítico de caudal o flujo máximo, siendo para la quebrada La Frisola una distancia de 25 m, es de mencionar que la distancia entre este punto de vertimiento y el definido para la Planta 1 a efectuarse sobre la misma quebrada La Frisola es de 1140 metros, por lo cual se establece que hay una mezcla completa del vertimiento inicial (Portal Santa Fe) antes que se realice el segundo (Planta 1).

Teniendo en cuenta lo anterior, se define la longitud del tramo de modelación en 1500 metros, de tal forma que se pueda abarcar el tramo completo de mezcla de los dos vertimientos propuestos sobre la quebrada La Frisola.

#### 7.3.1.8.6 Modelo de calidad de agua en la Quebrada La Frisola Portal Santa Fe

Para efecto de la utilización del modelo Qual2kw en la simulación de vertimientos sobre la quebrada La Frisola- Portal Santa Fe, se establecieron las constantes de reaireación y desoxigenación las cuales permiten establecer la capacidad de asimilación del cuerpo de agua. (Ver Tabla 7-49 y Tabla 7-50)

**Tabla 7-49 Constante de reaireación para para la quebrada La Frisola – Portal Santa Fe en los escenarios de caudal medido, mínimo y máximo**

Ecuaciones de constante de reaireación (d-1)						
ESCENARIO	O'CONNOR Y DOBBINS	CORRECCION T °C	CHURCHILL	CORRECCION T °C	OWENS Y GIBBS	CORRECCION T °C
MEDIDO	26,16	26,35	36,94	37,20	54,35	54,75
MÍNIMO	32,88	32,94	38,63	38,71	70,25	70,38
MÁXIMO	8,98	8,99	12,88	12,91	14,77	14,80

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

**Tabla 7-50 Constante de desoxigenación para la quebrada La Frisola – Portal Santa Fe en los escenarios de caudal medido, mínimo y máximo**

Ecuación de constante de desoxigenación (d-1)	
MEDIDO	19,02
MÍNIMO	5,93
MÁXIMO	80,18

Fuente: Fluvia Hydrocloro Technologies S.A.S., 2016.

#### 7.3.1.8.6.1 Calibración y precisión del modelo de calidad

La calibración en los modelos de calidad consiste en ajustar las constantes y coeficientes incluidos en el modelo de tal manera que este sea capaz de reproducir la calidad del agua en

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

la corriente con una alta confiabilidad.

#### 7.3.1.8.6.2 Datos ajustados e introducidos al modelo QUAL2KW

A continuación se presentan los cálculos de cada una de las variables introducidos en el modelo de calidad del agua QUAL2KW (Ver Tabla 7-51).

**Tabla 7-51 Variables a introducir en el modelo de calidad sobre la quebrada La Culebra**

Parámetro	Unidades	Punto Monitoreado
DBO <sub>5</sub>	mg / L	5
DBO R	mg / L	7,1
DQO	mg / L	20
POM	mg / L	13
	mg / L	12
SST	mg / L	10

Fuente: Curso de modelación de calidad de aguas en ríos y corrientes y su aplicación en planes de saneamiento y manejo de vertimientos (Res. 1433/2004 y Dec. 3930/2010 sobre vertimientos).

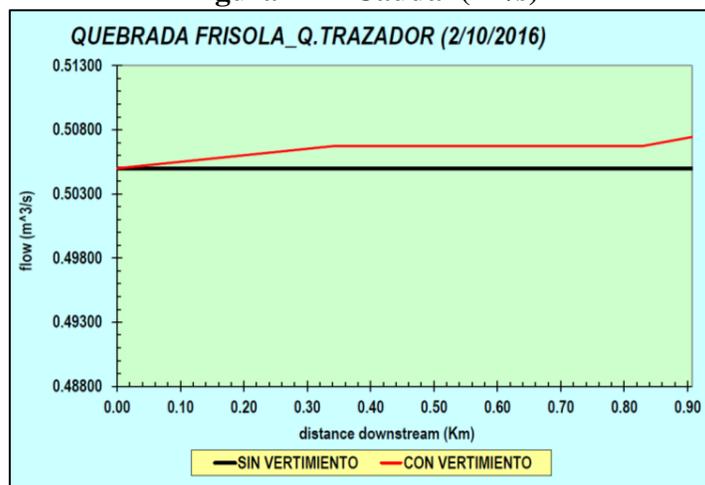
#### 7.3.1.8.6.3 Resultados del modelo después del vertimientos escenario de caudal medido con prueba de trazadores en la Quebrada La Frisola

Después de realizar la calibración del modelo de simulación con los datos hidrológicos e hidráulicos, se introduce dentro del programa Qual2kw los parámetros hidrológicos y de calidad del agua en las condiciones en que se pretende realizar el vertimiento, es de aclarar que dichos valores son los presentados en la caracterización típica del vertimiento, los cuales se tomaron bajo la respectiva normatividad ambiental vigente.

A continuación se presentan los resultados de la simulación del vertimiento sobre la quebrada La Frisola (punto a la salida del portal Santa Fe) en condiciones de caudal medido por el método de trazadores generado mediante modelación hidrológica e hidráulica, y datos in situ de la fuente hídrica receptora bajo un caudal de descarga de 3,4l/s. El resultado de simulación en el escenario de caudal máximo y mínimo de la corriente puede ser consultado en el Anexo 1 del presente documento. Se toma como referencia el escenario de caudal medido mediante prueba de trazadores por mostrar condiciones reales de la corriente.

En las figuras que se presentan a continuación, se incluye la comparación de los resultados del modelo de simulación antes y después del vertimiento de cada uno de los parámetros de calidad del agua simulados.

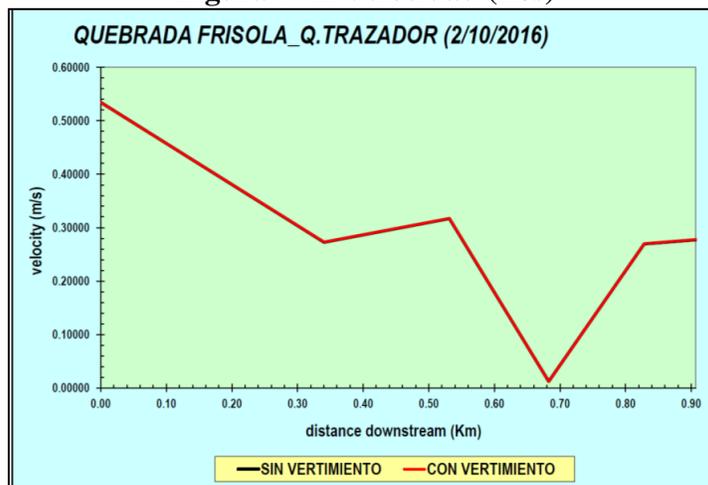
**Figura 7-41 Caudal (m<sup>3</sup>/s)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (m <sup>3</sup> /s)	Resultados con vertimiento (m <sup>3</sup> /s)
0.00000	0.50500	0.50500
0.34050	0.50500	0.50673
0.53150	0.50500	0.50673
0.68300	0.50500	0.50673
0.82850	0.50500	0.50673
1.20350	0.50500	0.51013

Fuente: *Software Qual2kw*

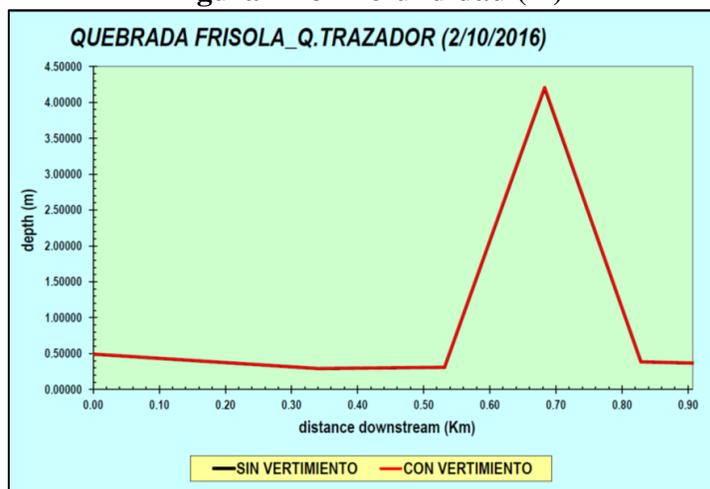
**Figura 7-42 Velocidad (m/s)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (m/s)	Resultados con vertimiento (m/s)
0.00000	0.53431	0.53431
0.34050	0.27267	0.27302
0.53150	0.31703	0.31743
0.68300	0.01230	0.01231
0.82850	0.26970	0.27003
1.20350	0.30650	0.30766

Fuente: *Software Qual2kw*.

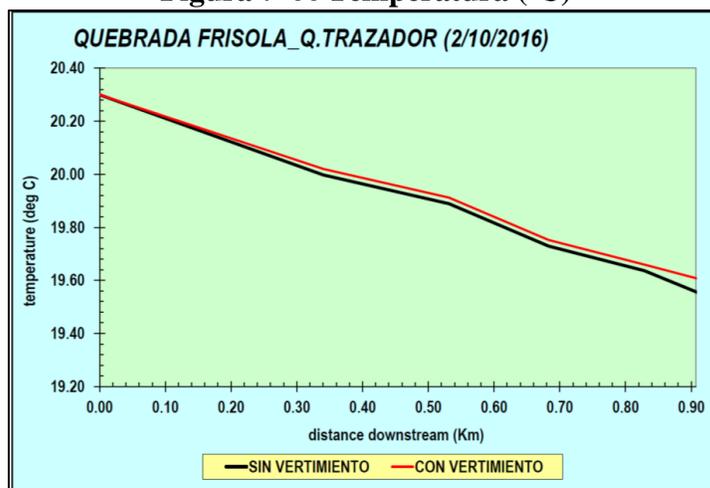
**Figura 7-43 Profundidad (m)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (m)	Resultados con vertimiento (m)
0.00000	0.49226	0.49226
0.34050	0.29075	0.29137
0.53150	0.30811	0.30877
0.68300	4.20711	4.21772
0.82850	0.384490	0.38533
1.20350	0.30344	0.30536

Fuente: Software Qual2kw

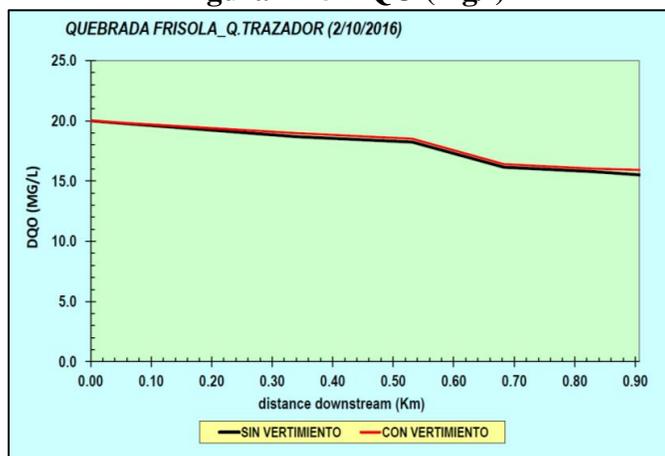
**Figura 7-44 Temperatura (°C)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (°c)	Resultados con vertimiento (°c)
0.00000	20.300000	20.300000
0.34050	19.997400	20.020200
0.53150	19.889300	19.912300
0.68300	19.729400	19.752700
0.82850	19.636600	19.660000
1.20350	19.256900	19.415100
0.00000	19.256900	19.415100

Fuente: Software Qual2kw

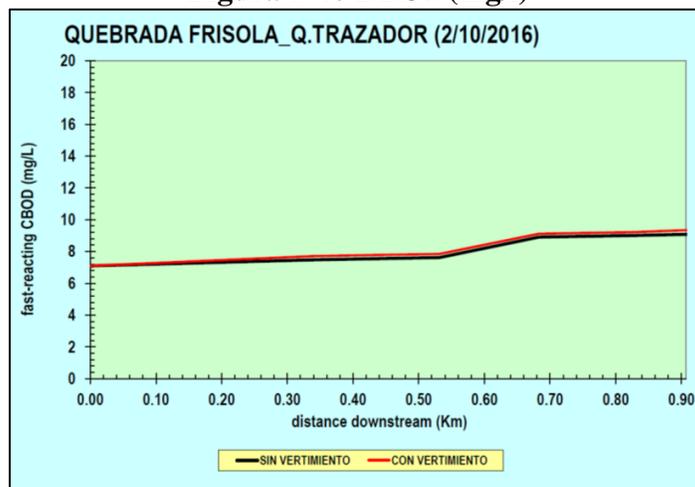
**Figura 7-45 DQO (mg/l)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (mg/l)	Resultados con vertimiento (mg/l)
0.00000	20.0000000	20.0000000
0.34050	18.6893800	18.97352240
0.53150	18.2348770	18.5133210
0.68300	16.1506950	16.3978310
0.82850	15.7909140	16.0334540
1.20350	14.4758320	15.5255780
0.00000	14.4758320	15.5255780

Fuente: Software Qual2kw

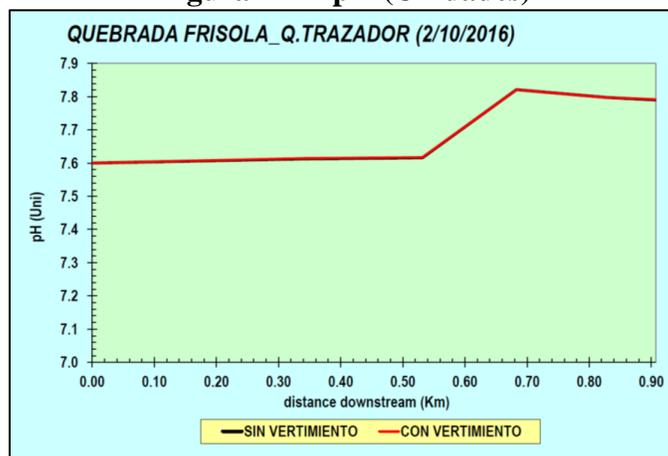
**Figura 7-46 DBO5 (mg/l)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (mg/l)	Resultados con vertimiento (mg/l)
0.00000	7.1000000	7.1000000
0.34050	7.4807380	7.7144240
0.53150	7.6180310	7.8497170
0.68300	8.9042820	9.1169760
0.82850	9.0129130	9.2238020
1.20350	9.3318960	9.8002470
0.00000	9.3318960	9.8002470

Fuente: Software Qual2kw

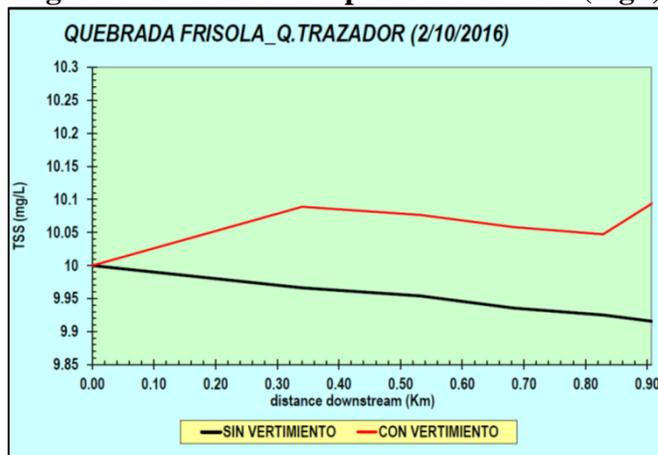
**Figura 7-47 pH (Unidades)**



Tramo (Km)	Resultados Sin Vertimiento (Unidades)	Resultados Con Vertimiento (Unidades)
0.00000	7.6000000	7.6000000
0.34050	7.6129870	7.6148850
0.53150	7.6162440	7.6178850
0.68300	7.8211990	7.8212760
0.82850	7.7975420	7.7975690
1.20350	7.7637560	7.7728570
0.00000	7.7637560	7.7728570

Fuente: *Software Qual2kw*

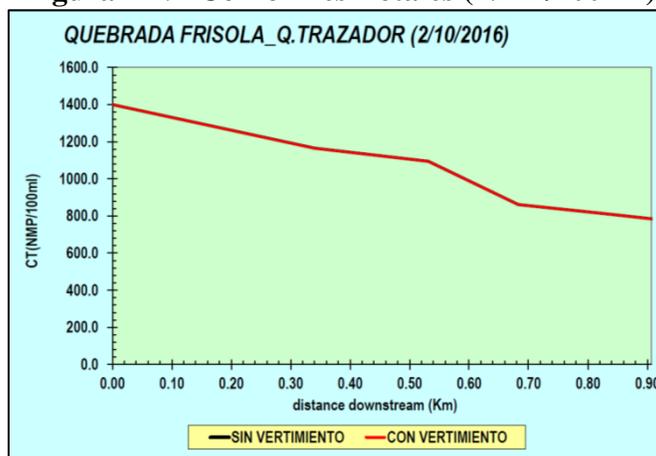
**Figura 7-48 Solidos Suspendidos Totales (mg/l)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (mg/l)	Resultados con vertimiento (mg/l)
0.00000	10.0000000	10.0000000
0.34050	9.9662080	10.0888150
0.53150	9.9539930	10.0764920
0.68300	9.9357430	10.0580800
0.82850	9.9250850	10.0473280
1.20350	9.8804020	10.2676440
0.00000	9.8804020	10.2676440

Fuente: *Software Qual2kw*

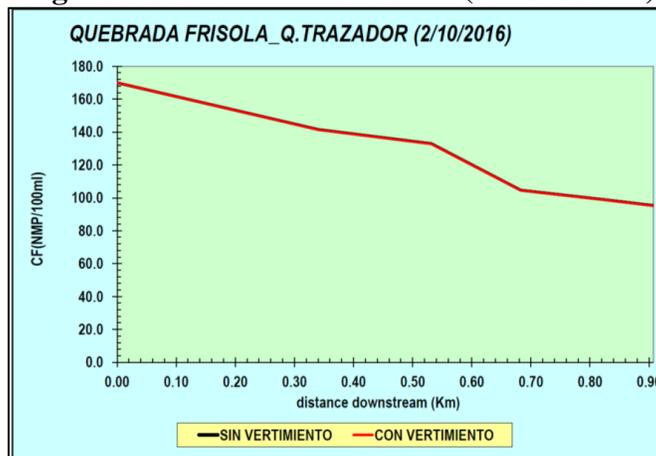
**Figura 7-49 Coliformes Totales (NMP/100 ml)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (nmp/100 ml)	Resultados con vertimiento (nmp/100 ml)
0.00000	1400.000000	1400.000000
0.34050	1165.420802	1164.432749
0.53150	1095.016360	1094.221567
0.68300	861.707644	861.517930
0.82850	812.802158	812.698847
1.20350	680.130885	676.384188
0.00000	680.130885	676.384188

Fuente: *Software Qual2kw*

**Figura 7-50 Coliformes Fecales (NMP/100 ml)**



Tramo (km)	Resultados sin vertimiento (nmp/100 ml)	Resultados con vertimiento (nmp/100 ml)
0.00000	170.0000000	170.0000000
0.34050	141.5153830	141.3121440
0.53150	132.9662720	132.7915210
0.68300	104.6359280	104.5512900
0.82850	98.6974050	98.6267490
1.20350	82.5873220	82.0571090
0.00000	82.5873220	82.0571090

Fuente: *Software Qual2kw*.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

### 7.3.1.8.7 Análisis de resultados

De los resultados obtenidos anteriormente para a quebrada La Frisola, en el punto de vertimiento propuesto en el portal Santa Fe del túnel proyectado, se establece que después de conformarse la zona de mezcla en condición de caudal medido por el método de trazadores, no se genera una afección notoria sobre la calidad fisicoquímica y bacteriológica, los cuales en su totalidad presentan una correcta asimilación del vertimiento propuesto para los parámetros modelados (Caudal, Velocidad, Profundidad, DBO<sub>5</sub>, pH, Temperatura, DQO, Sólidos Suspendedos Totales, Coliformes Totales y Fecales).

Teniendo en cuenta todos los resultados de la modelación de la calidad del agua, en condiciones de caudal vertido, se determina que el poder de asimilación del cuerpo de agua es óptimo y no representa cambios significativos. A continuación se presenta el análisis de cada uno de los parámetros evaluados:

- Temperatura

Se observó que en los tres escenarios de caudal considerados la temperatura del agua a ser vertida sobre la quebrada La Culebra es menor a 40°C por lo cual se da cumplimiento al Decreto 1076 de 2015.

Es de aclarar que debido a la oscilación de temperatura en el medio, producto del clima y de la radiación solar dependiendo de la hora del día, se generan igualmente cambios en la temperatura del agua, presentándose valores más bajos en la mañana y noche y valores más altos al medio día y la tarde, marcando una diferencia mayor en condiciones de caudales mínimos.

- DBO<sub>5</sub>

La quebrada La Frisola, posterior a efectuarse los dos vertimientos proyectados, de acuerdo a los resultados arrojados por el modelo presenta un incremento mínimo en la concentración de DBO<sub>5</sub>, la cual no afectará la calidad del agua medida en la corriente.

- DQO

En escenarios de vertimiento, la quebrada La Frisola presenta un incremento en las concentraciones iniciales sin que estos sean representativos frente a los valores evidenciados antes de cualquier vertimiento. Es pertinente mencionar que la norma colombiana no indica límites permisibles de concentración para la DQO.

- PH

La quebrada La Frisola presenta un valor de pH en el punto inicial del monitoreo de 7,6

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>  <b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b> <b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	
---	--	---

unidades, el cual es evidencia que el cuerpo de agua tiene una tendencia básica, generando un hábitad específica para el desarrollo de determinados organismos acuáticos.

Mediante los modelos de calidad del agua se pudo observar que después de realizarse la descarga de agua residual tratada para los dos puntos de vertimiento, el cuerpo de agua no sufre cambios notorios en la concentración en todos los escenarios de caudal analizados.

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, está en la margen para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, pues los límites señalados están entre 5 y 9. Así mismo, los rangos para uso agrícola y pecuario son de 4,5 a 9 y de 5 a 9, respectivamente.

- Sólidos suspendidos totales

Se encontró que la quebrada La Frisola antes de realizarse el vertimiento presenta una concentración de SST de 10 mg/l, el cual tiende a disminuir en la distancia.

Al evaluar el modelo de calidad del agua bajo los dos vertimientos propuestos, se evidencia que los SST tienden a aumentar en la distancia siendo más evidente y con mayor oscilación bajo caudal mínimo de la fuente hídrica receptora. Sin embargo, la variación de los SST en su escenario más crítico es de 0,86 mg/l, lo cual permite indicar que los vertimientos propuestos no afectan los usos del agua establecidos en el Decreto 1076 de 2015.

- Coliformes totales y fecales

De acuerdo a lo reportado por el modelo de calidad, se observa que los Coliformes Fecales presentan una tendencia a disminuir a medida que se aleja en la distancia, esta condición se da naturalmente debido a la capacidad de auto purificación del cuerpo de agua de tal forma que se presenta una asimilación de los vertimientos en los tres escenarios de modelación, presentando una mínima variación únicamente. Es de destacar que las aguas residuales industriales no presentan una carga bacteriológica alta, por lo cual no se espera una variación en estos parámetros producto del vertimiento propuesto.

Para Coliformes Fecales, comparado el valor más restrictivo establecido por el decreto 1076 (200 NMP para fines recreativos mediante contacto primario) con el valor obtenido del muestreo realizado in situ, se puede afirmar que no se sobrepasan los límites de la norma, teniendo en cuenta que el valor medido fue de 170 NMP.

Para Coliformes Totales, la quebrada La Frisola presentó un valor de 1400 NMP, por lo cual se requiere tratamiento de desinfección para la destinación del recurso a uso humano y doméstico o para su uso en fines recreativos con contacto primario, de acuerdo a lo indicado por el Decreto 1076 de 2015; para los demás usos establecidos en la norma, no se presenta limitantes dado que el valor registrado se encuentra por debajo del límite establecido. Es de resaltar que los vertimientos no generan incremento notorio sobre este

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

parámetro, el cual para los tres escenarios analizados presenta una buena asimilación.

En conclusión se puede afirmar que luego de efectuada la modelación de la corriente, una vez conformada la zona de mezcla en la quebrada La Frisola, no se generará una afectación notoria sobre la calidad del recurso, dado que presenta una correcta asimilación de los vertimientos propuestos en los tres escenarios de caudal.

Teniendo en cuenta todos los resultados de la modelación de la calidad del agua con vertimientos de 1,73 L/s y de 3,4 L/s, y caudales del cuerpo de agua mínimos, medidos y máximos, se determinó que dado a los caudales transportados por la quebrada La Frisola, el poder de asimilación es óptimo y que producto del vertimiento de aguas residuales tratadas en las condiciones más desfavorables de calidad de la descarga, no representan cambios significativos en la calidad del agua.

### **7.3.2 Vertimiento en suelo**

La construcción de la segunda calzada entre el Túnel de Occidente – San Jerónimo (Unidad Funcional 3 y 1) del proyecto Autopista al Mar 1, no contempla efectuar vertimientos al suelo.

## **7.4 OCUPACIONES DE CAUCE**

Para la intersección de todos los drenajes identificados los cuales se cruzan con el diseño de la vía; se han planeado obras hidráulicas las cuales van a permitir el transcurso normal sin ser alterada por la configuración final del proyecto. Todas las secciones han sido determinadas desde el punto de vista hidrológico e hidráulico con el fin de garantizar su correcto funcionamiento y ubicación a lo largo del trazado.

### **7.4.1 Cruces con la vía a construir**

De acuerdo a los diseños propuestos, el trazado de la segunda calzada requiere el cruce de veintidós cuerpos de agua mediante puentes, de tal forma que se permita el normal curso de la corriente y se asegure la configuración final del proyecto. En la Tabla 7-52 se puede observar el listado de puentes a construir que implican la ocupación del cauce o márgenes de algún cuerpo de agua, en ella se especifica su localización, longitud y número de pilas requeridas para su construcción y en la Figura 7-51 se presenta su localización sobre el corredor vial. El detalle de la información indicada, puede ser consultada en el Anexo O. Demanda / Detalle de puentes.

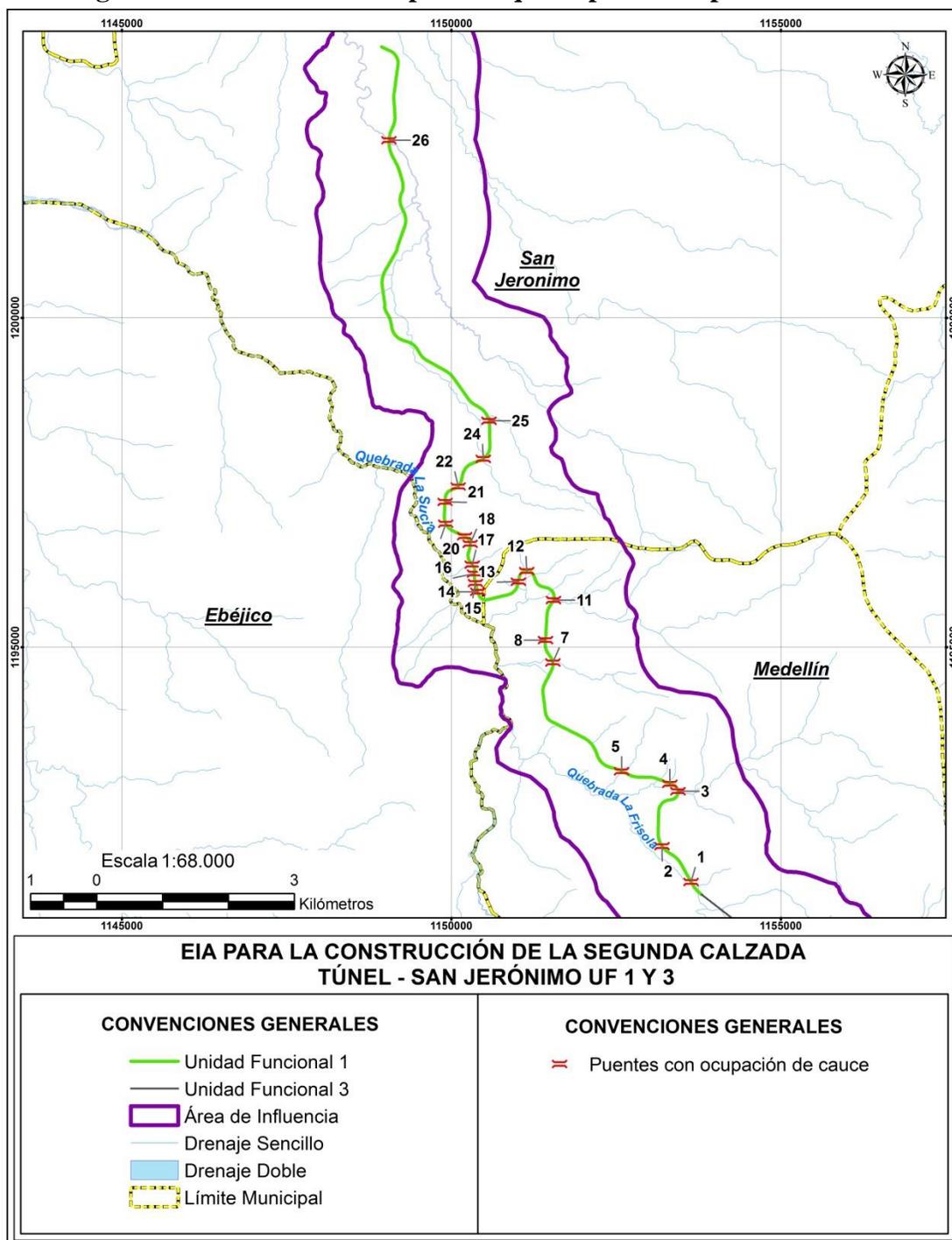
**Tabla 7-52. Ubicación de puentes que implican ocupación de cauce -Unidad Funcional 3 y 1**

Identificación de la fuente hídrica		Coordenadas Magna Sirga Origen Oeste		Pk		Abscisa aproximada del cuerpo de agua	Longitud (m)	Número de pilas	ID de la estructura	Nombre de la estructura
		Este	Norte	Inicio	Fin					
151	La Frisola	1153636,94	1191434,65	0+153	0+313	0+253	160	5	1	Puente 0+160
150	Drenaje NN 01	1153196,94	1191978,34	0+935	1+020	0+980	85	2	2	Puente 0+980
147	La Volcana	1153437,75	1192814,63	1+888	1+993	1+960	105	3	3	Puente 1+940
146	La Cola	1153314,69	1192927,72	2+105	2+185	2+165	80	2	4	Puente 2+100
144	La Causala	1152583,05	1193118,11	2+922	2+962	2+935	40	N/A	5	Puente 2+920
143	La Potrera	1151540,06	1194770,27	5+212	5+377	5+260	165	2	7	Puente 5+240
164	Drenaje NN 164	1151428,37	1195107,55	5+837	5+867	5+540	215	7	8	Puente 5+540
142	La Miserenga	1151549,70	1195716,57	6+207	6+367	6+270	160	1	11	Puente 6+240
138	Salto y Pisquines	1151142,90	1196157,58	6+866	6+996	6+900	130	4	12	Puente 6+900
137	San Gregorio	1151015,08	1195996,72	7+034	7+164	7+150	130	4	13	Puente 7+000
135	La Roncha	1150399,98	1195844,30	7+875	7+985	7+945	85	2	14	Puente 7+920
134	La Mula	1150366,33	1195975,04	8+090	8+130	8+100	40	N/A	15	Puente 8+080
166	Drenaje NN 166	1150351,40	1196119,00	8+236	8+276	8+240	40	N/A	16	Puente 8+240
133	La Rochela	1150317,82	1196254,68	8+350	8+450	8+400	100	4	17	Puente 8+380
165	Drenaje NN 165	1150285,22	1196570,72	8+630	8+745	8+680	115	4	18	Puente 8+680
132	La Seca	1150200,28	1196687,10	8+790	8+945	8+875	155	5	19	Puente 8+900

Identificación de la fuente hídrica		Coordenadas Magna Sirga Origen Oeste		Pk		Abscisa aproximada del cuerpo de agua	Longitud (m)	Número de pilas	ID de la estructura	Nombre de la estructura
		Este	Norte	Inicio	Fin					
66	La Yola	1149913,74	1196876,41	9+084	9+269	9+200	185	2	20	Puente 9+120
64	La Madera	1149903,70	1197207,30	9+377	9+612	9+420	235	7	21	Puente 9+420
63	Quebrada NN 02 – La Cola	1150103,20	1197444,42	9+886	9+898	9+890	30	N/A	22	Puente 9+880
62	La San Juan	1150483,04	1197860,75	10+455	10+585	10+500	130	4	24	Puente Quebrada La San Juan (10+460)
60	La Murrapala	1150569,98	1198439,43	11+028	11+178	11+125	150	4	25	Puente Quebrada La Murrapala (11+040)
51	Puente Quebrada La Guaracu	1149054,13	1202699,22	17+315	17+550	17+370	165	5	26	Puente 17+370

Fuente. (DEVIMAR, 2016)

**Figura 7-51 Localización de puentes que implican ocupación de cauce**



La identificación corresponde al ID del puente.  
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016.

Además de los puentes indicados, se prevé la adecuación de alcantarillas y *box coulvert* que faciliten el manejo de las aguas en la zona, de las obras de drenaje menores que se tienen previstas, en la Tabla 7-53 se relacionan aquellas que se construirán en cuerpos de agua existentes y por lo cual se configuran como una ocupación de cauce.

**Tabla 7-53 Ubicación obras de drenajes menores Unidad Funcional 3 y 1**

Identificación fuente hídrica		Coordenadas Magna Sirga Origen Oeste		Abscisa de referencia	ID de la obra	Tipo	Longitud (m)	Sección	Características	Observación
		Este	Norte							
1	La Culebra	1157486,0	1188332,0	0+735	6	Box Couvert	19	3 m ancho por 3 m. de alto	Prolongación	Se efectuará conexión al box coulvert existente mediante poceta. Requerido para cruce de la nueva calzada.
1	La Culebra	1157371,0	1188380,0	0+800	7	Canalización	90	3 m ancho por 3 m. de alto	Nueva	Canalización que asegure la continuidad del cauce y proteja la plataforma de la nueva calzada ante eventuales avenidas, corresponde a un canal de concreto armado de sección rectangular, con objeto de mantener el canal confinado serán necesarios rellenos localizados en el trasdós de dicho canal.
1	La Culebra	1157651,0	1188251,1	0+300	4	Canalización o Box Couvert	44	3 m ancho por 3 m. de alto	Nueva	Canalización en concreto armado de sección rectangular, el cual contara con rellenos localizados en el trasdós para mantenerlo confinado.
151	La Frisola	1153744,0	1191288,0	0+070	8	Box Couvert	124	4 m ancho por 4 m. de alto	Nuevo	Box Couvert requerido para adecuación de plataforma de trabajo en la cual se instalarán equipos de apoyo para la perforación del túnel y posteriormente se empleará para el cruce de la nueva calzada.

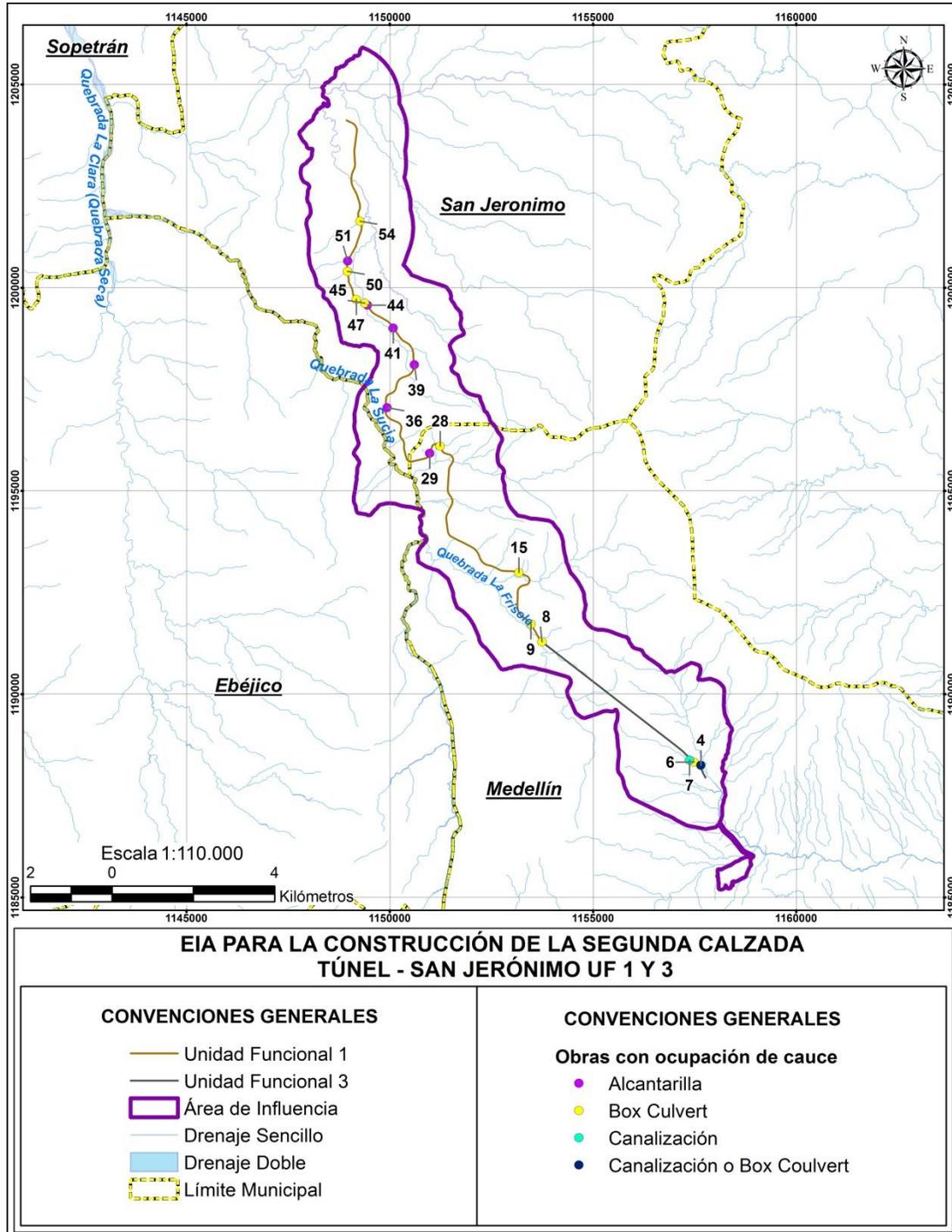
Identificación fuente hídrica		Coordenadas Magna Sirga Origen Oeste		Abscisa de referencia	ID de la obra	Tipo	Longitud (m)	Sección	Características	Observación
		Este	Norte							
163	Drenaje NN 100	1153472,0	1191727,0	0+588	9	Box Couvert	35	2 m ancho por 2 m. de alto	Nuevo	Requerido para cruce de la nueva calzada.
145	La Nuez	1153176,0	1192991,9	2+325	15	Box Couvert	29	2 m ancho por 2 m. de alto	Prolongación	Se efectuará conexión al box couvert existente mediante poceta. Requerido para cruce de la nueva calzada.
141	Drenaje NN 02 – La Mica	1151256,9	1196113,4	6+806	28	Box Couvert	13	2,5 m ancho por 2,5 m. de alto	Prolongación	Se efectuará conexión al box couvert existente mediante poceta. Requerido para cruce de la nueva calzada.
136	La Iris – Q. San Gregorio	1150984,3	1195926,8	7+210	29	Alcantarilla	13,5	1,2 m. de diámetro	Nueva	Requerida para cruce de la nueva calzada.
65	Mestizal	1149937,0	1197049,0	9+343	36	Alcantarilla	14	1,2 m. de diámetro	Nueva	Requerida para cruce de la nueva calzada.
61	Drenaje NN 03	1150603,9	1198106,7	10+800	39	Alcantarilla	14	1,2 m. de diámetro	Nueva	Requerida para cruce de la nueva calzada.
59	Drenaje NN 04	1150084,4	1199009,1	11+860	41	Alcantarilla	14	1,2 m. de diámetro	Nueva	Requerida para cruce de la nueva calzada.
58	Drenaje NN 05	1149451,8	1199572,1	12+775	44	Alcantarilla	14	1,2 m. de diámetro	Nueva	Requerida para cruce de la nueva calzada.
57	La San Juan	1149384,0	1199618,0	12+746	45	Box Couvert	36	4 m. ancho por 3,5 m. de alto	Nuevo	Requerido para cruce de la nueva calzada.
56	Drenaje NN 06	1149175,4	1199712,2	12+977	47	Box Couvert	17	2 m ancho por 2 m. de alto	Prolongación	Se efectuará conexión al box couvert existente mediante poceta. Requerido para cruce de la nueva calzada.
54	Cañada Honda	1148962,5	1200400,5	13+795	50	Box Couvert	15	2 m ancho por 2 m. de alto	Prolongación	Se efectuará conexión al box couvert existente mediante poceta. Requerido para cruce de la nueva calzada.

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

Identificación fuente hídrica		Coordenadas Magna Sirga Origen Oeste		Abscisa de referencia	ID de la obra	Tipo	Longitud (m)	Sección	Características	Observación
		Este	Norte							
53	Drenaje NN 07	1148965,2	1200657,9	14+055	51	Alcantarilla	14	1,2 m. de diámetro	Nueva	Requerida para cruce de la nueva calzada.
52	Caño El Garabato	1149271,0	1201637,0	15+037	54	Box Couvert	39	3,5 m ancho por 3,5 m. de alto	Nuevo	Requerido para cruce de la nueva calzada.

Fuente. (DEVIMAR, 2016)

**Figura 7-52 Localización de obras de drenaje menor que implican ocupación de cauce**

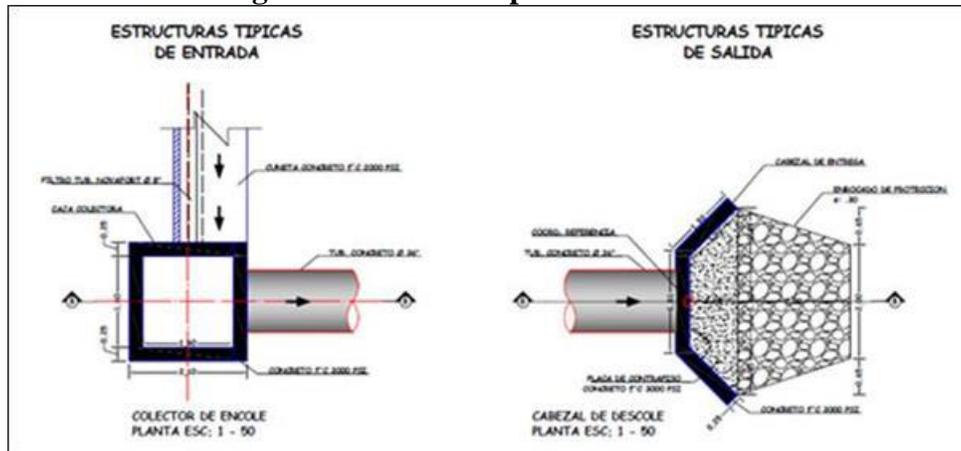


La identificación corresponde al ID de la obra de drenaje.  
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016.

### 7.4.2 Métodos constructivos

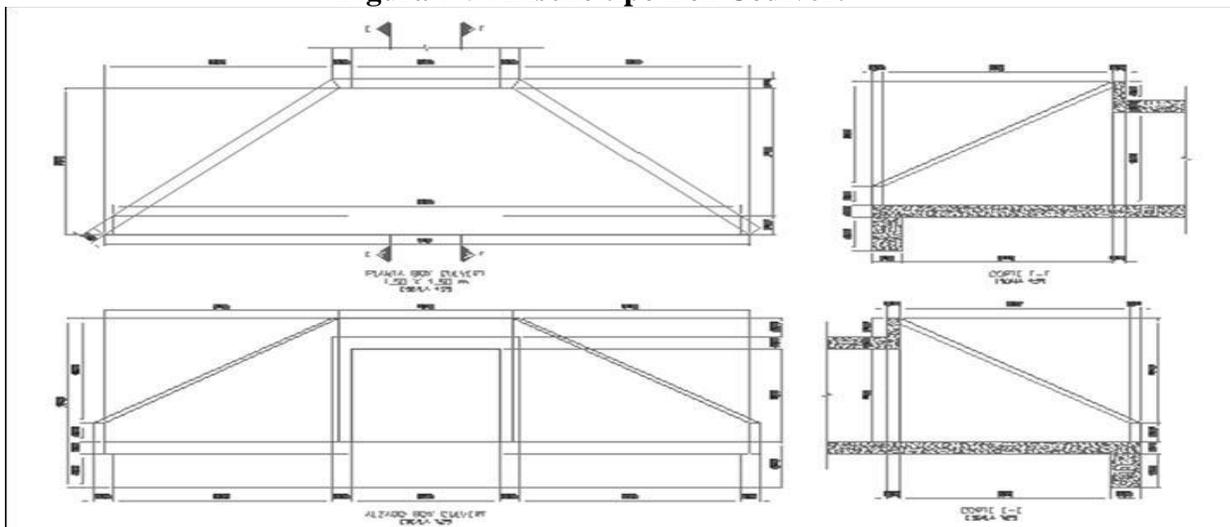
A continuación se presenta los posibles diseños tipo para la construcción de las obras menores:

**Figura 7-53 Diseño tipo de alcantarillas**



Fuente: Consultoría Colombiana S. A. 2016

**Figura 7-54 Diseño tipo Box Culvert**



Fuente: Consultoría Colombiana S. A. 2016

Como obras de drenaje longitudinal, se propone la construcción de cunetas triangulares en concreto con el fin de recoger las aguas de escorrentía de la vía.

**Figura 7-55 Diseño tipo de cunetas triangular**



Fuente: Consultoría Colombiana S. A. 2016

De acuerdo con el Manual de Drenaje de Inviás, como se muestra en la Tabla 7-54 se han adoptado los siguientes periodos de retorno para el dimensionamiento de las obras:

**Tabla 7-54 Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial**

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) <sup>1</sup>
Cunetas	5
Zanjas de Coronación <sup>2</sup>	10
Estructuras de Caída <sup>2</sup>	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: Manual de Drenaje INVIAS, 2010

En cuanto a los estudios hidráulicos, en el Anexo O. Demanda del presente documento, se incluye el Estudio hidráulico para cada una de las obras consideradas, detallando las metodologías, dimensiones y capacidad de las estructuras hidráulicas planteadas para el proyecto.

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

## 7.5 APROVECHAMIENTO FORESTAL

De acuerdo con la Resolución 0751 del 26 de marzo de 2015 (MADS) en lo correspondiente al aprovechamiento Forestal, se debe realizar: *“inventario forestal de los individuos presentes en las unidades de ecosistema vegetal de cada ecosistema donde se prevé realizar el aprovechamiento forestal (en relación con las actividades y obras del proyecto), mediante un muestreo estadístico que debe cumplir con un error de muestreo no superior al 15% y una probabilidad del 95%”*.

Adicional a lo anterior, a continuación se presenta el numeral concerniente a la descripción de la demanda del recurso forestal para el proyecto en estudio, atendiendo al Requerimiento de Información Adicional (No. 20) solicitado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, en lo referente al Aprovechamiento Forestal.

### 7.5.1 Muestreo y Censo Forestal

Dadas las condiciones propias del proyecto para las Unidades Funcionales - UF 1 y 3 el área total de intervención es de 64,86 has distribuidas en 20 ecosistemas terrestres como se muestra en la Tabla 7-55.

**Tabla 7-55 Ecosistemas terrestres intervenidos por el proyecto**

Ecosistemas	Área (Ha)	Área (%)
Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes	3.72	5.73
Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes	2.50	3.85
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales del Orobioma bajo de los Andes	4.41	6.80
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales del Orobioma medio de los Andes	4.22	6.51
Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos del Orobioma medio de los Andes	0.18	0.28
Mosaico de pastos y cultivos del Orobioma bajo de los Andes	1.58	2.43
Pastos arbolados del Orobioma bajo de los Andes	3.04	4.69
Pastos arbolados del Orobioma medio de los Andes	3.15	4.85
Pastos enmalezados del Orobioma bajo de los Andes	2.29	3.52
Pastos enmalezados del Orobioma medio de los Andes	1.02	1.57
Pastos limpios del Orobioma bajo de los Andes	9.71	14.97
Pastos limpios del Orobioma medio de los Andes	6.24	9.63
Ríos del Helobioma del Magdalena y Caribe	0.01	0.02
Tejido urbano discontinuo del Orobioma medio de los Andes	2.66	4.10
Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes	4.26	6.56
Vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los Andes	0.69	1.07
Vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes	0.09	0.14
Vía pavimentada del Orobioma medio de los Andes	1.43	2.20

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

Ecosistemas	Área (Ha)	Área (%)
Vivienda rural nucleada del Orobioma bajo de los Andes	11.63	17.93
Vivienda rural nucleada del Orobioma medio de los Andes	2.03	3.13
<b>Total general</b>	<b>64.86</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Gran parte de las actividades constructivas se realizarán sobre ecosistemas artificializados o transformados con 53.59 has, correspondiente al 82.62% del total de área a intervenir y un área de 11.27 has, para ecosistemas naturales, equivalente al 17.37% del total del área (Tabla 7-56).

**Tabla 7-56. Área de intervención por ecosistema transformado y natural**

Tipo de ecosistema	Área (Ha)	Área (%)
Ecosistema natural	11.27	17.38
Ecosistema transformado	53.59	82.62
<b>Total</b>	<b>64.86</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la Tabla 7-57 se observan las diferentes actividades dentro de este tramo como; accesos, Plataforma Frisola, canalización, chaflanes, plantas, captación, peaje, portales, áreas de ZODME y Zonas de acopio, discriminando el área por ecosistemas natural y por ecosistema transformado que será intervenido. Las áreas listadas anteriormente fueron descritas detalladamente en el Capítulo 3 Descripción del proyecto (Tabla 3-38 Consolidado de áreas consideradas en el proyecto)

**Tabla 7-57 Áreas de las actividades constructivas del proyecto susceptibles de aprovechamiento forestal**

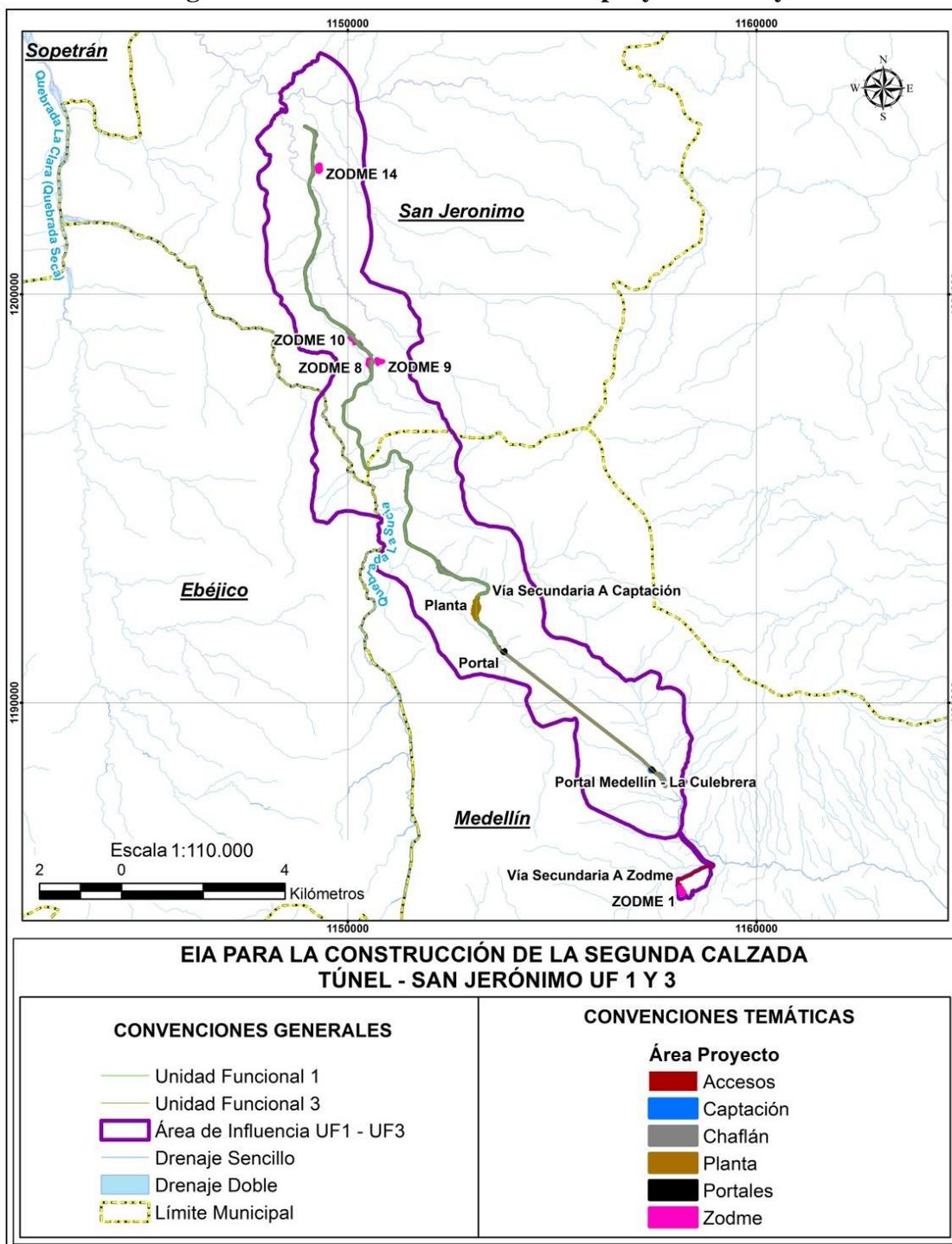
Actividades	Área (Ha)	Área (%)
<b>Accesos</b>		
Ecosistema Natural	1.20	18.57
Ecosistema Transformado	5.25	81.43
	<b>6.45</b>	<b>100.00</b>
<b>Plataforma Frisola</b>		
Ecosistema Natural	0.41	50.15
Ecosistema Transformado	0.41	49.85
	<b>0.81</b>	<b>100.00</b>
<b>Canalización</b>		
Ecosistema Natural	0.17	93.76
Ecosistema Transformado	0.01	6.24

Actividades	Área (Ha)	Área (%)
	<b>0.18</b>	<b>100.00</b>
<b>Captación</b>		
Ecosistema Natural	0.20	78.46
Ecosistema Transformado	0.05	21.54
	<b>0.25</b>	<b>100.00</b>
<b>Chaflán</b>		
Ecosistema Natural	8.70	20.13
Ecosistema Transformado	34.53	79.87
	<b>43.24</b>	<b>100.00</b>
<b>Peaje</b>		
Ecosistema Natural	0.00	0.00
Ecosistema Transformado	1.05	100.00
	<b>1.05</b>	<b>100.00</b>
<b>Planta</b>		
Ecosistema Natural	0.00	0.00
Ecosistema Transformado	3.88	100.00
	<b>3.88</b>	<b>100.00</b>
<b>Portales</b>		
Ecosistema Natural	0.06	16.80
Ecosistema Transformado	0.30	83.20
	<b>0.36</b>	<b>100.00</b>
<b>ZODME</b>		
Ecosistema Natural	0.52	6.30
Ecosistema Transformado	7.76	93.70
	<b>8.28</b>	<b>100.00</b>
<b>Zona de acopio</b>		
Ecosistema Natural	0.02	4.63
Ecosistema Transformado	0.34	95.37
	<b>0.36</b>	<b>100.00</b>
<b>Total</b>	<b>64.86</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016.

La Figura 7-56 muestra el área de intervención del proyecto, con la respectiva localización de cada una de las actividades constructivas del proyecto susceptibles a aprovechamiento.

**Figura 7-56 Área de intervención del proyecto UF 1 y 3**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

De acuerdo con lo anteriormente expuesto y para contar con los datos de volúmenes de aprovechamiento de todos los ecosistemas presentes en el área de intervención del proyecto, los resultados del cálculo del aprovechamiento forestal, se presenta de la siguiente manera:

- Muestreo de ecosistemas naturales a partir de parcelas de caracterización
- Censo forestal para los ecosistemas transformados, donde se realizarán cada una de las actividades en el área de intervención del proyecto.

### 7.5.1.1 Muestreo forestal sobre ecosistemas naturales

El inventario forestal se llevó a cabo para los ecosistemas naturales susceptibles de aprovechamiento forestal identificados dentro de las áreas de intervención del proyecto, mediante el establecimiento de parcelas, teniendo en cuenta que el número de parcelas a realizar por ecosistema, cumpla con los requisitos estadísticos por medio del error de muestreo (probabilidad del 95% y error de muestreo inferior al 15%).

Los ecosistemas naturales sobre los cuales se realizó el muestreo forestal a partir de parcelas se encuentran en la Tabla 7-58.

**Tabla 7-58 Ecosistemas naturales presentes en el área de influencia**

Ecosistemas	Área (Ha)
Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes	3.72
Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes	2.50
Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes	4.26
Vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los Andes	0.69
Vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes	0.09
<b>Total general</b>	<b>11.26</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Con la información de las áreas de los ecosistemas (Tabla 7-58), se hizo el cálculo de los parámetros estadísticos (Tabla 7-59). Previamente se calcularon las variables dasométricas: área basal, volumen total y volumen comercial, para obtener sus promedios por parcela y tener la base de información para los análisis estadísticos.

**Tabla 7-59 Parámetros estadísticos**

Parámetros Estadísticos	
Promedio (X)	$X = \frac{\sum Xi}{n}$ donde: $Xi$ = valor observado de unidad i-ésima de la muestra $n$ = número de unidades de la muestra (tamaño muestra)

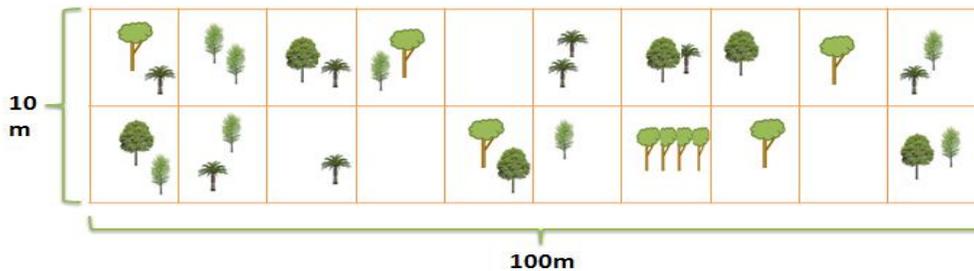
Parámetros Estadísticos	
Desviación estándar (S)	$S = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{\sum Xi^2}{n}}{n - 1}}$
Coeficiente de variación (CV)	$CV = \frac{S}{X} * 100$
Error estándar (Sx)	$Sx = \frac{S}{\sqrt{N \frac{1-n}{N}}}$ donde: S = Desviación estándar N= Tamaño de la muestra (número de unidades muestréales) n= Tamaño de la población (expresado en parcelas)
Error de muestreo absoluto (ECM)	$ECM = X - t(Sx)$
Error de muestreo relativo (E%)	$E\% = \frac{t(Sx)}{X} * 100$

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Selección de sitios de muestreo

De acuerdo con la información suministrada por el mapa temático de ecosistemas terrestres los puntos se escogieron al azar; sin embargo, se eliminan como sitios posibles los predios con los que no se cuenta con permiso de ingreso, zonas con dificultad extrema de acceso y zonas con algún problema de orden público; en este diseño la unidad de muestreo es una parcela de 1.000 m<sup>2</sup> (0.1 ha.) de extensión para todos los ecosistemas (Figura 7-57), correspondiente a un rectángulo de 100 m. de longitud por 10 m. de ancho como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Figura 7-57 Forma y tamaño de las parcelas de muestreo**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

En la Tabla 7-60 muestra la ubicación geográfica de las parcelas de muestreo de los ecosistemas naturales; el tamaño de las parcelas corresponde a unidades de muestreo de 100 m X 10 m (0,1 ha).

 <b>ANI</b> Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 <b>Devimar</b> SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN          JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

**Tabla 7-60 Unidades de parcelas de muestreo**

Bioma	Ecosistema	Parcela	Coordenadas Magna Sirga Origen Oeste	
			Este	Norte
Orobioma bajo de los Andes	Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes	3	1151609,527	1194776,85
		4	1151796,825	1195608,137
		8	1150394,688	1198010,718
		3	1151036,008	1195833,538
		5	1149892,629	1196470,382
		6	1150561,682	1198453,84
		7	1149087,937	1202662,807
		8	1148468,143	1204763,156
		25	1148899,958	1204651,75
		5	1150217,169	1197757,464
	6	1149628,11	1199194,34	
	Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes	2	1151416,748	1194141,248
		9	1148901,031	1200632,01
		10	1149021,197	1203093,829
		2	1151644,932	1193682,38
		23	1149256,937	1202691,709
7		1149143,065	1202958,836	
Orobioma medio de los Andes	Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes	1	1153832,686	1191083,536
		7	1154806,924	1191307,859
		1	1153457,21	1192791,865
		24	1154562,143	1190711,846
		1	1153679,156	1191793,997
		3	1156334,664	1189170,344
		4	1156835,751	1188853,856
		1	2317076,061	2371288,647
		2	2317108,145	2371375,906
		6	2317125,488	2371510,248
	Vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los Andes	5	1156489,205	1189039,691
		6	1157052,862	1188579,511
		4	2316002,778	2373567,412
		5	2315694,873	2375260,196
		7	2313243,299	2377896,062
		7	2316443,223	2371251,963
	Vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes	4	1156447,644	1189182,047
		6	2313149,400	2378481,438
		5	2308356,628	2382842,476

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para el cálculo del volumen comercial y volumen total, dentro de las parcelas de muestreo, en campo se tomaron variables de tipo cualitativo y cuantitativo para los individuos en estado fustal, como: especie, CAP (Circunferencia a la altura del pecho), altura comercial, altura total, proyección de la copa y estado fitosanitario, mediante planillas de datos. El factor forma usado para el cálculo del volumen fue de 0.7.

A continuación se presentan los estadígrafos para cada uno de los ecosistemas con un error de muestreo inferior al 15% y una probabilidad del 95%;. Es importante nombrar que se eliminaron dos individuos de la vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los Andes, de las especies *Cupressus lusitanica* y *Tibouchina lepidota* debido, a que las alturas totales no correspondían a las alturas promedio de los individuos muestreados, sino a árboles remanentes de una cobertura mejor conservada anteriormente. No obstante, se incluyeron en el muestreo para efectos de la caracterización florística y estructural de dicho ecosistema.

#### Volumen por ecosistema

- Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes

Para la determinación del volumen de este ecosistema se utilizaron 5 parcelas para cumplir con el error de muestreo, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela en un área de 0,5 ha (Tabla 7-61).

**Tabla 7-61 Volumen por parcela para el Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes**

Ecosistema	Comisión	Número de Parcela	Volumen total (m3)	Volumen comercial (m3)
<b>Bosque de galería del Orobioma bajos de los Andes</b>	1	3	8.005	4.198
	1	4	18.564	11.698
	1	5	11.401	4.566
	2	6	20.068	4.281
	3	8	12.663	6.598

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

En la Tabla 7-62 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 6,91%.

**Tabla 7-62 Estadígrafos para el Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes**

Análisis estadístico	
n	5
N	37.18
Área del ecosistema en hectáreas	3.718
Media	14.1402
desviación	5.050614685
CV%	35.71812765
Error estándar	0.352750231
EM%	6.91021442
Lim inferior	12.10851786
Lim superior	16.17188214

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes

Para la determinación del volumen de este ecosistema se utilizaron 5 parcelas para cumplir con el error de muestreo, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela en un área de 0,5 ha (Tabla 7-63).

**Tabla 7-63 Volumen por parcela para la Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes**

Ecosistema	Comisión	Número de Parcela	Volumen total (m3)	Volumen comercial (m3)
<b>Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes</b>	1	2	5.516	2.63
	1	9	8.924	3.657
	1	10	3.808	2.568
	2	23	7.036	3.844
	3	2	5.617	3.107

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la Tabla 7-64 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 5,99%.

**Tabla 7-64 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para la Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes**

Análisis estadístico	
n	5
N	42.55
Área del ecosistema en hectáreas	4.255
Media	6.1802
desviación	1.913538659
CV%	30.9624067
Error estándar	0.133647337
EM%	5.990147956
Lim inferior	5.275449034
Lim superior	7.084950966

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes

Con el fin de determinar el volumen de este ecosistema, se utilizaron 5 parcelas que cumplieran con el error de muestreo, en un área de 0,5 ha (Tabla 7-65).

**Tabla 7-65 Volumen por parcela para el Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes**

Ecosistema	Comisión	Número de Parcela	Volumen total (m3)	Volumen comercial (m3)
Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes	3	3	9.487	4.322
	3	4	3.585	0.935
	3	6	8.598	2.188
	2	1	11.661	6.075
	3	1	14.558	6.459

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la Tabla 7-66 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 8,20%.

**Tabla 7-66 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes**

Análisis estadístico	
n	5
N	24.99
Área del ecosistema en hectáreas	2.499
Media	9.5778
desviación	4.062758263
CV%	42.41849133
Error estándar	0.283755345
EM%	8.206501566
Lim inferior	8.15485061
Lim superior	11.00074939

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- Vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los Andes

La Tabla 7-67 muestra el volumen por cada parcela utilizada como parámetro para el cálculo del error de muestreo de dicho ecosistema, en un área de 0.4 ha.

**Tabla 7-67 Volumen por parcela para la Vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los Andes**

Ecosistema	Comisión	Número de Parcela	Volumen total (m3)	Volumen comercial (m3)
Vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los Andes	1	5	11.294	7.777
	2	5	14.322	9.788
	2	7	12.265	8.756
	3	7	12.531	4.461

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

En la Tabla 7-68 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 2,22%.

**Tabla 7-68 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los andes**

Análisis estadístico	
n	4
N	6.9
Área del ecosistema en hectáreas	0.69
Media	12.603
Desviación	1.263311785
CV%	10.02389737
Error estándar	0.088233522
EM%	2.226315966
Lim inferior	11.29978494
Lim superior	13.90621506

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- Vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes

Para el cálculo del error de muestreo de este ecosistema, se utilizaron 3 parcelas cuyos volúmenes totales y comerciales se registran a continuación, en la Tabla 7-69.

**Tabla 7-69 Volumen por parcela para la Vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes**

Ecosistema	Comisión	Número de Parcela	Volumen total (m3)	Volumen comercial (m3)
Vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes	2	4	0.618	0.342
	2	6	1.396	0.758
	3	5	5.681	1.529

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

En la Tabla 7-70 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema.

**Tabla 7-70 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes**

Análisis estadístico	
n	3
N	0.938
Área del ecosistema en hectáreas	0.0938
Media	2.565
Desviación	2.726428616
CV%	106.2935133
Error estándar	0.190422034
EM%	31.94487386

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Se observa que este ecosistema presenta un error de muestreo de 31,94% asociado a que el área de intervención es muy pequeña (0.0938 ha) en esta vegetación en sucesión.

No obstante, cabe aclarar que este ecosistema no será intervenido por las obras del proyecto como tal, siendo los únicos naturales a intervenir el Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes y la Vegetación secundaria alta del mismo bioma, como se verá más adelante.

#### **7.5.1.2 Censo forestal para los ecosistemas transformados dentro del área de intervención del proyecto**

Se realizó la identificación y conteo de todos los individuos arbóreos cuyo diámetro a la altura del pecho es mayor a 10 cm. de DAP, que se encuentran dentro de las áreas de intervención del proyecto. Es importante aclarar que el aprovechamiento forestal que requiere la actividad de los pilares del viaducto, está incluido dentro de los cálculos del aprovechamiento forestal del corredor vial proyectado; de igual manera el Intercambiador La Aldea, el Enlace Ebéjico y el Retorno K12 hacen parte de la vía proyectada y los chaflanes, razón por la cual el aprovechamiento forestal calculado para esta infraestructura contiene la demanda requerida para estas actividades.

A continuación se muestran los resultados del censo forestal realizado en los ecosistemas transformados proyectados para las actividades que tengan lugar en ellos. Cabe aclarar que se incluyen valores de individuos fustales pertenecientes a ecosistemas naturales (Bosque de galería y Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes) que hacen parte de algunas de estas áreas, debido a una variación en la precisión de la extensión de las mismas.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

### ➤ Resultados del Censo por Actividad

La Tabla 7-71 contiene los resultados del censo forestal de todos los individuos arbóreos con su respectivo ecosistema, número de individuos y volúmenes que se encuentran en los **chaflanes** dentro del área de intervención del proyecto.

**Tabla 7-71 Resultados del censo forestal en chaflanes**

Ecosistemas	Nº de Individuos	Volumen Total (m³)	Volumen Comercial (m³)
Bosque de galería del Orobiomas bajos de los Andes	352	218.45	61.71
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales del Orobiomas bajos de los Andes	223	73.85	36.10
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales del Orobiomas medios de los Andes	35	21.17	9
Mosaico de pastos y cultivos del Orobiomas bajos de los Andes	43	16.52	8.58
Pastos arbolados del Orobiomas bajos de los Andes	276	235.5	130.23
Pastos enmalezados del Orobiomas bajos de los Andes	155	86.35	38.16
Pastos enmalezados del Orobiomas medios de los Andes	4	0.87	0.47
Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	334	223.33	67.94
Pastos limpios del Orobiomas medios de los Andes	11	2.31	1.45
Tejido urbano continuo del Orobiomas bajos de los Andes	8	0.67	0.27
Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	161	52.04	19.68
Vía pavimentada del Orobiomas medios de los Andes	4	0.48	0.01
Vivienda rural nucleada del Orobiomas bajos de los Andes	1370	922.79	402.04
Vivienda rural nucleada del Orobiomas medios de los Andes	9	10.04	3.09
<b>TOTAL</b>	<b>2985</b>	<b>1864.38</b>	<b>778.73</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Dentro de las áreas de afectación chaflanes fueron censados 2985 individuos, con un volumen total de 1864,38 m<sup>3</sup> y comercial de 778,73 m<sup>3</sup>.

En la Tabla 7-72 presenta la propuesta de los sitios debidamente licenciados para llevar a cabo el manejo de escombros, en donde se realizará el aprovechamiento forestal respectivo.

**Tabla 7-72 Identificación de sitios ZODMES**

ZODME	Municipio	Área (Ha)	SRC Magna Sirgas Origen Oeste	
			Este	Norte
ZODME 1	Medellín	1.95554	1158166.8	1185387.7
ZODME 10	San Jerónimo	1.157077	1150124.4	1198887.7
ZODME 14	San Jerónimo	1.854055	1149294	1203087.2

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

ZODME	Municipio	Área (Ha)	SRC Magna Sirgas Origen Oeste	
			Este	Norte
ZODME 8	San Jerónimo	1.813334	1150526.2	1198317.2
ZODME 9	San Jerónimo	1.504349	1150757.8	1198358.7

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la siguiente tabla se muestran los resultados del censo forestal para los **ZODMES** y su relación por ecosistema, número de individuos y volúmenes (total y comercial).

**Tabla 7-73 Resultados del censo forestal para ZODMES**

ZODME	Ecosistema	N° de individuos	Volumen total (m3)	Volumen Comercial (m3)
ZODME 1	Pastos arbolados del Orobioma medio de los Andes	11	3.39	1.87
	<b>Total ZODME 1</b>	<b>11</b>	<b>3.39</b>	<b>1.87</b>
ZODME 8	Pastos limpios del Orobioma bajo de los Andes	31	12.04	2.72
	<b>Total ZODME 8</b>	<b>31</b>	<b>12.04</b>	<b>2.72</b>
ZODME 9	Pastos limpios del Orobioma bajo de los Andes	38	18.36	5.35
	Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes	17	5.19	1.58
	<b>Total ZODME 9</b>	<b>55</b>	<b>23.54</b>	<b>6.92</b>
ZODME 10	Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes	36	30.15	8.47
	Pastos limpios del Orobioma bajo de los Andes	1	0.80	0.23
	Vivienda rural nucleada del Orobioma bajo de los Andes	1	0.09	0.08
	<b>Total ZODME 10</b>	<b>38</b>	<b>31.04</b>	<b>8.77</b>
ZODME 14	Pastos arbolados del Orobioma bajo de los Andes	15	11.22	2.95
	<b>Total ZODME 8</b>	<b>15</b>	<b>11.22</b>	<b>2.95</b>
<b>TOTAL</b>		<b>150</b>	<b>81.25</b>	<b>23.23</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Dentro de los ZODMES fueron censados 150 individuos, con un volumen total de 81,25 m<sup>3</sup> y comercial de 23,23 m<sup>3</sup>. (Ver Anexo O DEMANDA\_FUN Aprovechamiento).

Para la Unidad Funcional 3 y 1, se considera la ubicación de una **planta (N°1)** en el municipio de Medellín, con un área aproximada de 3,88 ha, según se describe en la Tabla 7-74.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

**Tabla 7-74 Identificación del sitio para la planta N° 1**

Planta	Municipio	Área (Ha)	SRC Magna Sirgas Origen Oeste	
			Este	Norte
Planta 1	Medellín	3.88	1153134.6	1192296.4

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la siguiente tabla se muestran los resultados del censo forestal para la Planta N° 1 y su relación por ecosistema, número de individuos y volúmenes (total y comercial).

**Tabla 7-75 Resultados del censo forestal para la planta N° 1**

Planta	Ecosistema	N° de individuos	Volumen total (m3)	Volumen Comercial (m3)
Planta 1	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales del Orobioma medio de los Andes	19	7.31	3.44
	Pastos limpios del Orobioma medio de los Andes	8	2.17	1.00
	Vivienda rural nucleada del Orobioma medio de los Andes	20	1.22	0.21
<b>Total</b>		<b>47</b>	<b>10.70</b>	<b>4.64</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Dentro de la Planta N° 1 fueron censados 47 individuos, con un volumen total de 10,70 m<sup>3</sup> y comercial de 4,64 m<sup>3</sup>.

### 7.5.1.3 Volúmenes del Aprovechamiento Forestal

A continuación, en la Tabla 7-76 se muestra el consolidado de los volúmenes totales y comerciales por ecosistema natural, a partir de las parcelas utilizadas en el muestreo forestal.

**Tabla 7-76 Volúmenes totales por muestreo en ecosistema natural**

ECOSISTEMA	VOL_TOTAL (m3)	VOL_COMERCIAL (m3)	AREA_AID (ha)	AREA_parc (ha)	VOL_TOTAL (m3/ha)	VOL/ECOSISTEMA (m3/ha)
Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes	70.701	31.341	3.72	0.5	35.351	131.461
Vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los Andes	50.412	30.782	0.69	0.4	20.165	13.932
Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes	47.889	19.979	2.50	0.5	23.945	59.854
Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes	30.901	15.806	4.26	0.5	15.451	65.747

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

ECOSISTEMA	VOL_TOTAL (m3)	VOL_COMERCIAL (m3)	AREA_AID (ha)	AREA_parc (ha)	VOL_TOTAL (m3/ha)	VOL/ECOSISTEMA (m3/ha)
Vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes	7.695	2.629	0.09	0.3	2.309	0.217
<b>SUBTOTAL</b>	<b>207.598</b>	<b>100.537</b>	<b>11.26</b>	<b>2.2</b>	<b>97.219</b>	<b>271.210</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la Tabla 7-77 se observan los volúmenes hallados mediante el censo realizado, en los ecosistemas naturales que se presentan en las áreas de las actividades del proyecto. No se muestran los resultados del censo en los ecosistemas transformados, los cuales se aprecian más adelante en la Tabla 7-79.

**Tabla 7-77 Censo forestal en ecosistemas naturales presentes en los tipos de actividad**

ECOSISTEMA	TIPO DE ACTIVIDAD	VOL_TOTA L (m3)	VOL_COMERCIA L (m3)
Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes	Chaflanes - ZODME 10	248.601	70.176
Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes	Chaflanes - ZODME 9	57.225	21.252
<b>TOTAL</b>		<b>305.826</b>	<b>91.428</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Por último, la Tabla 7-78 presenta el consolidado de los volúmenes por ecosistema natural, producto de la sumatoria de los volúmenes totales por ecosistema del muestreo (Tabla 7-76) y los volúmenes totales del censo (Tabla 7-77) de las dos tablas anteriores.

**Tabla 7-78 Volúmenes totales por ecosistema natural (censo y muestreo)**

ECOSISTEMA	VOL_TOTAL (m3)
Bosque de galería del Orobioma bajo de los Andes	319.302
Vegetación secundaria alta del Orobioma medio de los Andes	50.412
Bosque de galería del Orobioma medio de los Andes	47.889
Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes	88.126
Vegetación secundaria baja del Orobioma medio de los Andes	7.695
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>513.424</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

La Tabla 7-79 muestra los volúmenes encontrados mediante el censo realizado en los ecosistemas transformados presentes, en las áreas de las actividades del proyecto.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

**Tabla 7-79 Censo forestal en ecosistemas transformados presentes en los tipos de actividad**

ECOSISTEMA	TIPO DE ACTIVIDAD	VOL_TOTAL (m3)	VOL_COMERCIAL (m3)	No. INDIVIDUOS
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales del Orobiomas bajos de los Andes	Chaflanes	73.85	36.11	223
<b>Sub-Total</b>		<b>73.85</b>	<b>36.11</b>	<b>223</b>
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales del Orobiomas medios de los Andes	Chaflanes	21.17	9	35
	PLANTA 1	7.31	3.44	19
<b>Sub-Total</b>		<b>28.48</b>	<b>12.44</b>	<b>54</b>
Mosaico de pastos y cultivos del Orobiomas bajos de los Andes	Chaflanes	16.52	8.58	43
<b>Sub-Total</b>		<b>16.52</b>	<b>8.58</b>	<b>43</b>
Pastos arbolados del Orobiomas bajos de los Andes	Chaflanes	235.5	130.23	276
	Zodme 14	11.22	2.95	15
<b>Sub-Total</b>		<b>246.72</b>	<b>133.18</b>	<b>291</b>
Pastos arbolados del Orobiomas medios de los Andes	ZODME 1	3.39	1.87	11
<b>Sub-Total</b>		<b>3.39</b>	<b>1.87</b>	<b>11</b>
Pastos enmalezados del Orobiomas bajos de los Andes	Chaflanes	86.35	38.16	155
<b>Sub-Total</b>		<b>86.35</b>	<b>38.16</b>	<b>155</b>
Pastos enmalezados del Orobiomas medios de los Andes	Chaflanes	0.87	0.47	4
<b>Sub-Total</b>		<b>0.87</b>	<b>0.47</b>	<b>4</b>
Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	Chaflanes	223.33	67.94	334
	ZODME 10	0.8	0.23	1
	ZODME 8	12.04	2.72	31
	ZODME 9	18.36	5.35	38
<b>Sub-Total</b>		<b>254.53</b>	<b>76.23</b>	<b>404</b>
Pastos limpios del Orobiomas medios de los Andes	Chaflanes	2.31	1.45	11
	PLANTA 1	2.17	1	8
<b>Sub-Total</b>		<b>4.48</b>	<b>2.44</b>	<b>19</b>
Tejido urbano continuo del Orobiomas bajos de los Andes	Chaflanes	0.67	0.27	8
<b>Sub-Total</b>		<b>0.67</b>	<b>0.27</b>	<b>8</b>
Vía pavimentada del Orobiomas medios de los Andes	Chaflanes	0.48	0.01	4
<b>Sub-Total</b>		<b>0.48</b>	<b>0.01</b>	<b>4</b>
Vivienda rural nucleada del Orobiomas bajos de los Andes	Chaflanes	921.76	401.65	1370
	ZODME 10	0.09	0.08	1
<b>Sub-Total</b>		<b>921.85</b>	<b>401.73</b>	<b>1371</b>
Vivienda rural nucleada del Orobiomas medios de los Andes	Chaflanes	10.04	3.09	9
	PLANTA 1	1.22	0.21	20
<b>Sub-Total</b>		<b>11.25</b>	<b>3.3</b>	<b>29</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1649.44</b>	<b>714.79</b>	<b>2612</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

En la Tabla 7-80 se presenta el resultado obtenido del censo en los ecosistemas naturales y transformados (Tabla 7-77 y Tabla 7-79) que tienen lugar en las diferentes áreas de las actividades. No se incluyen las estimaciones de los volúmenes en los ecosistemas naturales, los cuales resultan de la caracterización florística de los ecosistemas susceptibles a afectación, por medio de parcelas de muestreo, como se dijo anteriormente (Tabla 7-76).

**Tabla 7-80 Resultados del censo forestal (Ecosistemas transformados, ZODMES, Planta y chaflanes)**

Tipo de área	No. de Individuos	Volumen Total (m <sup>3</sup> )	Volumen comercial (m <sup>3</sup> )
Total Censo áreas de chaflanes	2985	1864.39	778.73
Total ZODMES	150	81.25	23.23
Total Plantas	47	10.7	4.64
<b>Total</b>	<b>3182</b>	<b>1956.34</b>	<b>806.6</b>

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Durante el aprovechamiento forestal, se deberán tomar las medidas ambientales acordes con la legislación ambiental vigente y con lo establecido por la autoridad ambiental competente.

#### **7.5.1.4 Especies en amenaza, veda y/o endemismo en las áreas de intervención del proyecto**

Durante el censo forestal en las áreas de intervención del proyecto, se registraron especies en categoría de veda, amenaza, peligro y/o vulnerables. Tabla 7-81 muestra las especies amenazadas de acuerdo con la consulta realizada en los libros rojos de plantas de Colombia, categoría CITES, UICN y Resolución 0192 de 2014.

Se incluye en la tabla siguiente, la especie *Cyathea caracasana* con un solo individuo perteneciente a la familia Cyatheaceae y que se encuentra reportada en veda regional mediante la Resolución 0801 de 1977 del INDERENA y en el Apéndice II del CITES; dicha especie hace parte del censo forestal ya que registra un DAP mayor a los 10 cm; a nivel regional también se encuentra reportada en la Resolución 10194 de Corantioquia. Al igual, la especie *Cycas circinali* hace parte del censo forestal por tener DAP mayores a 10 cm y se encuentra reportada en el apéndice II del CITES.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

**Tabla 7-81 Especies en amenaza, en peligro y/o vulnerables dentro registradas en el censo forestal para el área de intervención del proyecto**

ESPECIE	Endémica	CATEGORÍA UICN			CITES Apéndice II	VEDA	
		Casi amenazada	Preocupación menor	No evaluada		Nacional	Regional
<i>Albizia carbonaria</i>				X			
<i>Annona muricata</i>				X			
<i>Astronium graveolens</i>				X			X
<i>Cassia fistula</i>				X			
<i>Cavendishia pubescens</i>				X			
<i>Cestrum racemosum</i>				X			
<i>Cochlospermum vitifolium</i>				X			
<i>Croton mutisianus</i>			X				
<i>Cupania americana</i>				X			
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>				X			
<i>Cyathea caracasana</i>					X	X	X
<i>Cycas circinali</i>					X		
<i>Ficus americana</i>				X			
<i>Hymenaea courbaril</i>		X					X
<i>Inga edulis</i>			X				
<i>Machaerium biovulatum</i>			X	X			
<i>Machaerium glabratum</i>				X			
<i>Machaerium goudotii</i>				X			
<i>Melicoccus bijugatus</i>				X			
<i>Miconia caudata</i>				X			
<i>Myrcia fallax</i>				X			
<i>Myrsine latifolia</i>				X			
<i>Persea americana</i>				X			
<i>Persea caerulea</i>				X			
<i>Piper aduncum</i>			X				
<i>Platymiscium pinnatum</i>				X			
<i>Sapindus saponaria</i>				X			
<i>Senna spectabilis</i>			X				
<i>Trichilia martiana</i>			X				
<i>Urera caracasana</i>				X			
<i>Vachellia farnesiana</i>				X			

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

### 7.5.1.5 Justificación del tipo de aprovechamiento forestal

El tipo de aprovechamiento que se va a realizar es de tipo único, ya que el corte es a tala rasa retirando totalmente la cobertura vegetal de manera manual o mecánica, con caída direccionada, utilizando las medidas de seguridad apropiadas, con el fin de evitar accidentes en las labores y afectar los recursos naturales aledaños a las áreas establecidas como aprovechamiento. Durante el aprovechamiento forestal, se deberán tomar las medidas ambientales acordes con la legislación ambiental vigente y con lo establecido por la autoridad ambiental competente.

### 7.5.1.6 Sistema de aprovechamiento y extracción (Labores de remoción de la cobertura)

El sistema de aprovechamiento forestal sugerido a implementarse durante la etapa de construcción, corresponde a la “Técnica de impacto reducido en las operaciones de tumba, descope y trozado de árboles en bosques naturales objeto de aprovechamiento forestal”, el cual consiste en la aplicación de técnicas adecuadas que buscan aumentar la eficiencia en relación con el volumen posible de aprovechar un árbol, reducir los desperdicios de madera, prevenir o disminuir los impactos negativos sobre la vegetación, los suelos y las aguas, evitar accidentes sobre los trabajadores forestales y prevenir impactos sociales adversos asociados con estas actividades.

A continuación se enumeran una serie de aspectos importantes al momento de efectuar las labores de aprovechamiento forestal

- Solicitar autorización del propietario o encargado del predio para el ingreso y desarrollo de labores de aprovechamiento forestal
- Evaluar la ubicación y la contextura de cada árbol con el fin de definir la dirección de caída segura y el procedimiento de tala, siempre hacia el centro del área de servidumbre.
- Talar los árboles usando técnicas que garanticen direccionar la caída del árbol hacia los sitios seleccionados con anterioridad, con el fin de evitar accidentes a personas, proteger la vegetación aledaña, áreas ambientalmente sensibles, infraestructura comunitaria y privada, y evitar por lo tanto daños materiales, muerte de animales y daño de vegetación y cultivos en zonas fuera de servidumbre. Es importante considerar en su tala aspectos topográficos, ecológicos y características de crecimiento de las especies presentes en el corredor. Se evitará talar árboles en presencia de vientos fuertes o lluvias.
- Asegurar el árbol con manilas o guayas si el caso lo requiere.
- Dar alerta antes de iniciar el corte y cuando inicia caída.

	<p><b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b></p> <p><b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b></p> <p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p> <p><b>VERSIÓN 0.1</b></p>	
---	---	---

- Las técnicas de tala segura contemplan los siguientes aspectos:
  - Boca de caída: corte horizontal en el tronco realizado por el lado seleccionado para la caída, a 70 cms del nivel del suelo, con una profundidad aproximada de 1/3 del grosor del árbol y corte inclinado a 45° para sacar la cuña o boca.
  - Bisagra: dejar sin cortar el eje sobre el que girara el árbol durante la caída, tendrá un ancho de 1/8 del grosor del árbol.
  - Corte de caída: corte horizontal por el lado opuesto al de caída, a la mitad de la altura de la boca y con una profundidad de aproximadamente 1/2 del grosor del árbol.
  - Eliminación de bisagra en el tocón: corte horizontal que garantice una altura del tronco menor a 70 cm.
- En cada frente de trabajo de despeje, se establecerán áreas temporales y móviles de cargue y descargue de combustible y aceite para las motosierras, estos sitios se definirán de acuerdo con las condiciones topográficas de cada área, con el propósito de evitar el vertimiento de estos elementos en el suelo o cuerpos de agua; adicionalmente, se tomaran todas las previsiones necesarias para el manejo de derrames accidentales, para lo cual será necesario que se disponga de un kit antiderrame por cada frente de trabajo, así como las previsiones necesarias para realizar la labor de tal manera que cualquier tipo de derrame de combustible y/o aceite pueda ser controlado rápidamente y no se generen focos de contaminación.
- Identificar las rutas de evacuación y mantenerlas despejadas, previendo caminos de escape en caso de cambio inesperado de dirección de caída del árbol. Estas rutas de evacuación deben estar hacia un lado respecto a la dirección de caída del árbol.
- Cuando la vegetación corresponda a rastrojo bajo, bosque natural o bosque plantado y se ubique en zonas despobladas, luego del repicado de las ramas producto de las talas o podas de árboles, se procede a la distribución uniforme de los residuos vegetales en el terreno de la servidumbre, o donde se acuerde con el propietario del predio o la autoridad ambiental en el caso de árboles aislados y cercas vivas.
- Todos los sobrantes o residuos generados durante la actividad de despeje de servidumbre no deben tener como receptor final los cuerpos de agua, vías o caminos.
- Realizar el troceo del tronco con cortes perpendiculares a lo largo del mismo y en trozas de 2,5 m. o en longitudes acordadas con los propietarios o requerimientos establecidos en los permisos ambientales; el apilado de trozas o madera se realizará en los sitios definidos entre el ejecutor y el propietario del predio.
- Durante el corte de la vegetación, se deberán cumplir los compromisos adquiridos

	<p><b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b></p> <p><b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b></p> <p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p> <p><b>VERSIÓN 0.1</b></p>	
---	---	---

con las corporaciones, comunidades o propietarios de predios, con respecto a la protección áreas ambiental y socialmente sensibles como: nacimientos de agua, acueductos veredales y bosques protectores, cruce de vías, líneas de electrificación rural, cultivos y otras, utilizando tecnologías y metodologías apropiadas como cuerdas, poleas, desviantes, pórticos y otras.

- Se debe tener cuidado de no dejar montones que al secarse puedan ser de fácil combustión, o que al ser arrastrados por el agua puedan represar los recorridos de cauces de agua o interferir caminos.

#### **7.5.1.7 Destinación productos**

Las trozas, varillones y troncos obtenidos del aprovechamiento forestal, se dispondrán en pilas, conservando un orden por tamaño. En campo se decidirá la mejor forma de conservarlos pues existen muchas formas para almacenarlos.

- Los productos como bloques, tablas, varillones, repisas y estacones podrán ser utilizados en las obras de construcción y se debe dejar una buena parte para las obras de revegetalización.
- La madera sobrante se distribuirá entre los habitantes del área de influencia como medida de mitigación de la presión que sufre los bosques circundantes, no se realizará comercialización de los productos obtenidos del aprovechamiento.
- La madera que presente menor densidad o que no tenga uso práctico se puede dejar para que se descomponga y ser utilizado como insumo en las actividades de revegetalización.
- Por ningún motivo se realizarán quemas de los residuos de las podas.

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

## 7.6 EMISIONES ATMOSFÉRICAS

El proyecto Autopista al Mar “construcción de la segunda calzada entre el Túnel de Occidente – San Jerónimo” permitirá entre tantos beneficios mejorar el tránsito; en este sentido, es de esperarse que el proyecto genere emisiones atmosféricas en las fases de construcción.

No obstante si bien el corredor vial tiene como objeto fundamental el tránsito de vehículos, en Colombia, el transporte es considerado como una actividad privada la cual está ligada a la libertad de movimiento y circulación (Constitución Política -CP<sup>1</sup>- art. 24, Convención Interamericana art. 22, Pacto de Derechos Civiles y Políticos art. 12) presupone la existencia de formas y modos de transporte, pues mal podrían las personas transitar libremente por el territorio nacional, si la sociedad no les ofrece los medios para hacerlo, es decir el estado debe proveer los medios y los mecanismo de regulación necesarios que garanticen el goce efectivo del derecho en concordancia con la goce efectivo de los demás derechos entre estos el derecho a un ambiente sano.

En el código nacional de tránsito terrestre Ley 769 de 2002 Artículo 28<sup>2</sup> establece las condiciones Técnico mecánica, de Emisiones Contaminantes y de Operación de los vehículos entre ellos asegurar el cumplimiento de las normas de emisiones contaminantes que establezcan las autoridades ambientales.

En este contexto el proyecto va a generar un cambio en la calidad ambiental producto de las emisiones de los vehículos automotores que transitaran por el corredor vial, sin embargo el manejo y control de actividad es competencia del estado, por tanto, no requiere de la solicitud de permiso de emisiones ni la implementación de medidas de manejo; sin embargo con el fin de contemplar la magnitud del impacto producto de la vía, se incluyó en los cálculos de las emisiones y en el modelo de dispersión, anotando que en los términos de referencia solamente solicita información de las fuentes de generación que requieran permiso para emisiones atmosféricas.

Respecto a la fase de construcción las emisiones serán generadas por los procesos de re-suspensión del material particulado proveniente de las vías destapadas y por las actividades de excavación y descapote, gases producto de la combustión de los motores de vehículos y maquinaria, gases producto de la elaboración del asfalto y material particulado generado con la trituración.

<sup>1</sup> Artículo 24. Todo colombiano, con las limitaciones que establezca la ley, tiene derecho a circular libremente por el territorio nacional, a entrar y salir de él, y a permanecer y residenciarse en Colombia. El Gobierno Nacional podrá establecer la obligación de llevar un informe de residencia de los habitantes del territorio nacional, de conformidad con la ley estatutaria que se expida para el efecto.

<sup>2</sup> Modificado Artículo 8° Ley 1383 de 2010.)

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

### 7.6.1 Identificación de las Fuentes de emisión en el Área

Durante el mes de febrero, se realizó trabajo de campo y en él cual se incluía el inventario de fuentes de emisión, las cuales estuvieran generando contaminación atmosférica en el área de estudio del corredor vial de Túnel de Occidente – y San Jerónimo. Finalmente se identificaron puntos que ejercen presión y cambio en el medio, donde se clasificaron en fuentes fijas, móviles y de área. Sin embargo se debe tener en cuenta que la cantidad de fuentes de emisión en esta zona no es grande ni notoria, no se determinó una en la que afectara de manera considerable a la población ni al entorno en general, aun así a continuación se presenta lo observado en el trabajo de campo, por lo cual las fotografías y descripción que se muestra abarca el inventario realizado.

Según lo establecido en el Artículo 18 del decreto 948 de 1995, las fuentes se sub clasifican así:

- Fuentes Fijas: puntuales, dispersas o área – fuente
- Fuentes Móviles: aérea, terrestres y fluviales

#### 7.6.1.1 Fuentes fijas

Las fuentes fijas se pueden clasificar, de acuerdo a la envergadura y distribución espacial de las emisiones, en fuentes fijas puntuales y fuentes fijas difusas o dispersas. Las fuentes fijas puntuales se definen como aquellas que emiten contaminantes al aire por ductos o chimeneas y las fuentes fijas difusas son aquellas en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión, como por ejemplo, en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales (MADS, 2008).

Las fuentes de área identificadas en la zona de estudio se da a actividades comerciales asociadas a parqueaderos de vehículos, establecimientos de restaurantes y asaderos, estas actividades son predominantes generando impactos asociados a la calidad del aire.

**Fotografía 7-4. Zonas de restaurantes y parqueaderos  
(X: 1153430,50; Y: 1191820,67) y (X: 1152373,79; Y: 193243,07)**



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

### 7.6.1.1.1 Centros urbanos

Los poblamientos y asentamientos humanos identificados en el área de estudio pueden verse afectados por la contaminación atmosférica que se presentara durante la etapa de construcción, sin embargo se debe tener en cuenta que estos centros urbanos también son generadores de emisiones, ya que debido a la concentración urbana se incrementan las emisiones a la atmosfera.

En todo el corredor vial se observó que las zonas donde encontró presencia de centros urbanos es entrando al municipio de San Jerónimo en la unidad funcional 1 y por otro lado para la unidad funcional 3, estos puntos se encuentran en las bocas del túnel donde se observan pequeñas construcciones y viviendas turísticas lo cual hace referencia a emisiones a la atmosfera.

**Fotografía 7-5. Viviendas en remodelación – viviendas a la altura cercana de la vía (X: 1153138,46; Y: 1192585,44) y (X: 1153095,32; Y: 1192227,30)**



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

El área de influencia se caracteriza por ser una tierra dedicada a la actividad ganadera (las prácticas pecuarias tienen que ver en su mayoría con la cría de ganado vacuno con fines netamente comerciales los cuales se encuentran en potreros con infraestructura asociada a la actividad como establos, bebederos y saleros.) la cual genera grandes cantidades de metano por los procesos bioquímicos lo cual referencia a una generación de emisiones a la atmosfera. (Ver Fotografía 7-6).

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

**Fotografía 7-6 Actividad Ganadera- Piedra Negra – San Jerónimo (X:1150722,98; Y:1.198.368,23)**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Así mismo a lo largo del tramo del proyecto de la construcción de la segunda calzada entre en la unidad funcional 3 se encontraron cultivos de cebolla, cilantro, caña de azúcar, y en menor proporción frutas, mango y aguacates, en su gran mayoría para autoconsumo. (Fotografía 7-7)

**Fotografía 7-7. Vereda El Naranjal – Medellín. Cultivos**



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

#### **7.6.1.2 Fuente móvil**

Las fuentes móviles son aquellas que por razón de uso o propósito, es susceptible al desplazarse, como los automóviles, o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza.

En el área se presentan actividades comerciales, se cuenta con presencia continua de automotores, camiones, tractomulas, buses de transporte público, motocicletas y en general

	<p>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</p> <p>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</p> <p>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</p> <p>VERSIÓN 0.1</p>	
---	---	---

toda clase de vehículos los cuales transitan por la vía existente. Sin embargo se debe tener en cuenta que los fines de semana iniciando el viernes; la gente que se traslada hacia San Jerónimo viniendo desde Medellín, lo que hace que la cantidad de flujo vehicular aumente considerablemente y con ellos las emisiones a la atmosfera. En consecuencia a lo anterior, el tráfico vehicular presenta una fuente de emisión constante de Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) como resultado de la combustión de la gasolina y el diesel.

**Fotografía 7-8. Fuentes Móviles (Vía Túnel de Occidente – San Jerónimo)**



Fuente: (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

**- Fuentes Lineales**

Las vías de acceso dentro del área de influencia se encuentran en diferentes estados y según el material de construcción puede producir un mayor o menor impacto a la atmosfera. En el *Capítulo 3. Descripción del Proyecto* del presente estudio, se desarrolla con mayor detalle el inventario y estado de las vías principales y secundarias presentes en el área de influencia de la zona de estudio.

En el área de influencia del proyecto se observaron sectores sin pavimentar, lo que ocasiona que cuando un vehículo viaja en este tipo de carreteras la fuerza de las llantas contra la superficie del camino causa pulverización del material en la superficie; lo que hace que las partículas sean levantadas y lanzadas de las ruedas, además la turbulencia levantada detrás del vehículo continúa en la superficie del camino después de que el vehículo ha pasado<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> EPA (Environmental Protection Agency).Unpaved roads.U.S.EPA Office of Air and Radiation.ResearchTriangle Park, NC, USA. 2006.

### Fotografía 7-9. Fuentes Lineales – Vías secundarias



Fuente. (Consultoría Colombiana S.A, 2016)

#### - Fuentes de Área

Las fuentes de área representan aquellos puntos de contaminación que son demasiado numerosos y dispersos como para poder ser incluidos de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales debido al enorme esfuerzo que sería necesario para recopilar los datos y estimar las emisiones a nivel individual. Por otra parte es una zona o región, urbana, suburbana o rural, que por albergar múltiples fuentes fijas de emisión, es considerada como un área especialmente generadora de sustancias contaminantes del aire<sup>4</sup>.

Para el área de estudio, las Zonas de Extracción de Material de Arrastre se observó sobre la ronda hídrica de la quebrada La Frisola, se encuentran relacionadas como una fuente de área debido a las actividades de extracción, almacenamiento de material y actividades asociadas al transporte del mismo. Estas actividades tienen implícitas movimientos de tierra, implementación de depósitos para disposición del material extraído, entre otros aspectos que generan emisiones de material particulado en la zona e inclusive en áreas aledañas.

De igual forma, se considera la movilización de materiales, equipos y personal a través de vehículos como volquetas, camionetas y el funcionamiento de equipos como excavadoras, compresores, ventiladores y demás, que generan emisiones de gases y material particulado debido principalmente a la utilización de derivados de combustibles fósiles para su funcionamiento.

<sup>4</sup> Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2010). Resolución 610.

**Fotografía 7-10. Extracción de material en la quebrada La Frisola, vereda La Volcana-Guayabal del municipio de Medellín**



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016.

### 7.6.2 Identificación de fuentes de emisión atmosférica proyectadas

Las fuentes de contaminación de aire del proyecto construcción segunda calzada entre el Túnel de Occidente y San Jerónimo UF 3 y 1; están relacionadas con el tráfico de vehículos pesados, material particulado proveniente de las vías destapadas, gases producto de la combustión de los motores de vehículos y maquinaria, gases producto de la elaboración de concreto y material particulado generado con la trituración. En Tabla 7-82 se listan las potenciales fuentes de emisión del proyecto.

**Tabla 7-82 Potenciales fuentes de contaminación atmosférica asociadas al proyecto**

Fuente	Tipo	Emisión		Contaminantes
		Ruido	Gases y/o partículas	
Tráfico de vehículos por las vías industriales	Móviles	X	X	Partículas en suspensión (PST); principalmente material arcilloso muy fino.
Operación de Maquinaria y equipos en el frente de obra - vehículos livianos y pesados, así como la maquinaria de tipo pesado	Móviles	X	X	Gases y partículas de combustión
Plantas eléctricas y motobombas	Fijas	X	X	Gases y partículas de combustión
Planta de concreto, asfalto y trituración	Fijas	X	X	Partículas en suspensión
ZODMES	Área		X	Partículas en suspensión (PST)

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

La principal fuente de emisión de gases estará relacionada con la combustión del diésel y gasolina de las diferentes máquinas, equipos y vehículos utilizados. La calidad del aire

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

puede afectarse, dado que en el proceso de combustión se generan emisiones a la atmósfera de gases como CO, CO<sub>2</sub> y óxidos de nitrógeno.

El tránsito de vehículos por vías y sectores sin pavimentar, la operación de maquinaria y/o equipos principalmente durante los movimientos de tierras, generarán emisiones de material particulado.

De acuerdo al marco normativo para la construcción y operación se requieren permiso de emisión atmosférica para el desarrollo de las actividades referenciadas en la Tabla 7-83.

**Tabla 7-83 Actividades objeto de permisos de emisiones de acuerdo a la legislación colombiana**

Actividad	Legislación	Fuente de Emisión
Plantas de preparación o beneficio de minerales o materiales cerámicas o silicocalcareos: Cuando la capacidad de molienda sea superior a 5 Ton/día.	Numeral 2.13 Artículo 1 de la Resolución 619 de 1997	Planta de Trituración
Industrias, obras, actividades o servicios que cuenten con calderas y hornos, cuyo consumo nominal de combustible sea igual o superior a: A. Carbón Mineral: 500 Kg/hora. B. Bagazo de Caña: 3.000 Ton/año C. 100 galones/hora de cualquier combustible líquido, tales como ACPM, Fuel Oil o Combustóleo, Búnker, petróleo crudo.	Numeral 4.1 Artículo 1 de la Resolución 619 de 1997	Planta de Concreto

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

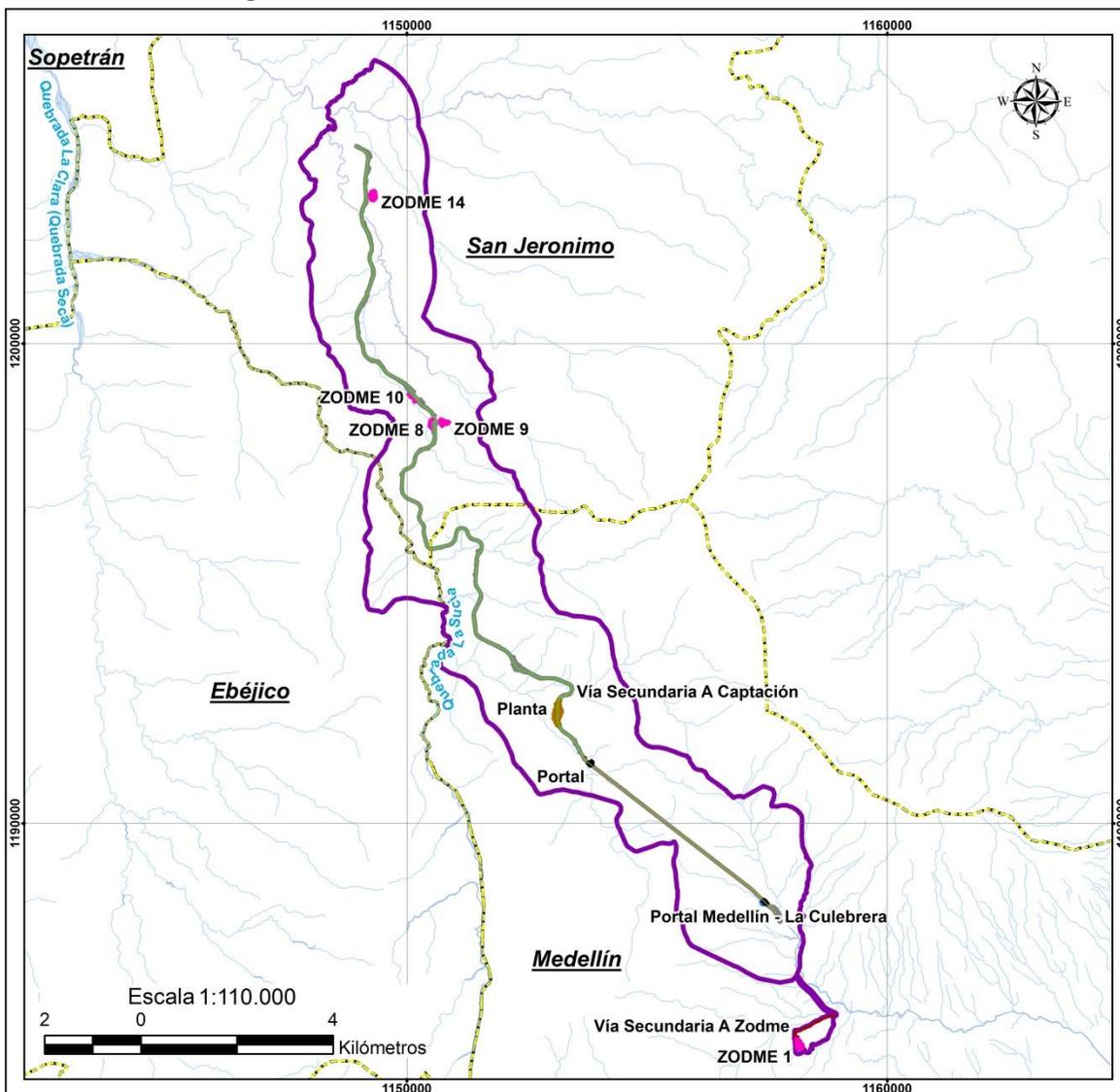
En este contexto se requiere la expedición de un permiso de emisiones atmosféricas durante el desarrollo del proyecto, particularmente para las fuentes fijas como la planta de producción de concreto, asfalto y trituración, en los sitios que se indican en la Figura 7-58, en cuanto a las características técnicas de las fuentes de emisión previstas se presentan a continuación:

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

**Tabla 7-84. Especificaciones técnicas de las fuentes de emisión para requerimiento de permisos de emisiones**

Criterio	Descripción
<b>Planta de Concreto</b>	
<b>CANTIDAD (UN)</b>	1
<b>TIPO DE MATERIAL PROCESADO</b>	Mezclas de Concretos Hidráulicos – Preparación de Materiales
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERAL PLANTAS</b>	Producción de 80 m <sup>3</sup> /día. Cuenta con 4 silos de almacenamiento de cementante, 3 de cemento (100 toneladas) y 1 de ceniza (60 toneladas) Tolvas de agregados (arena y grava de ½” y 1”)
<b>SISTEMA DE MANEJO DE EMISIONES</b>	Recirculación agua y filtros presurizados en silos de cemento
<b>HORAS PRODUCCIÓN (h/D)</b>	10
<b>TIPOS DE VÍAS CIRCULACIÓN (AFIRMADO, CONCRETO, ASFALTO, AFIRMADO HUMECTADO)</b>	Afirmado humectado
<b>Planta de Asfalto</b>	
<b>CANTIDAD (UN)</b>	1
<b>TIPO DE MATERIAL PROCESADO</b>	Agregados
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERAL PLANTAS</b>	Rango de producción 80 - 120Tn/h Cuenta con tres tolvas dosificadoras de 8 m <sup>3</sup> de capacidad
<b>SISTEMA DE MANEJO DE EMISIONES</b>	Pre colector centrifugo tipo “Separador estático” Filtro de mangas
<b>HORAS PRODUCCIÓN (h/D)</b>	10
<b>Planta de trituración</b>	
<b>Planta primaria</b>	Trituradora de mandíbulas sobre orugas hasta de 350 Tn/h Tolva de capacidad 8 m <sup>3</sup>
<b>Planta secundaria</b>	Trituradora con mandíbulas de impacto sobre orugas Tolva de capacidad 7 m <sup>3</sup>
<b>Planta de cribado</b>	Tolva de 6 m <sup>3</sup>
<b>Banda móvil de transferencia</b>	Ancho 750 mm y con 4 cubiertas.

**Figura 7-58 Localización General de las Instalaciones**



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

**CONVENCIONES GENERALES**

- Unidad Funcional 1
- Unidad Funcional 3
- Área de Influencia UF1 - UF3
- Drenaje Sencillo
- Drenaje Doble
- Límite Municipal

**CONVENCIONES TEMÁTICAS**

- Área Proyecto**
- Accesos
  - Captación
  - Chafán
  - Planta
  - Portales
  - Zodme

Fuente: Consultoría Colombiana S. A. 2016

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

### 7.6.3 Modelo de dispersión

Los cálculos de dispersión de contaminantes fueron efectuados aplicando el modelo de dispersión de contaminantes AERMOD de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) a partir de la información recopilada en un monitoreo de calidad de aire efectuado en el mes de septiembre el cual es presentado en el Anexo O del presente Estudio de Impacto Ambiental, al igual que el informe detallado del procedimiento implementado así como de las variables consideradas y la totalidad de resultados de la modelación. A continuación se encuentran los resultados de la modelación.

Los resultados de concentración comparados con la norma son el resultado de corregir a condiciones de referencia los resultados de las modelación presentadas en las tablas según los datos de temperatura y presión promedio de los datos meteorológicos incluidos en la modelación; por lo tanto para cada concentración obtenida en el modelo el factor de corrección está dado por:

$$C_{CR} = C_{CL} * \frac{T_{CL} * P_{CR}}{T_{CR} * P_{CL}} = C_{CL} * \frac{(300,2K) * (760mmHg)}{(298,2K) * (740,1mmHg)} = 1,034 * C_{CL}$$

Dónde:

$C_{CR}$ : Concentración del contaminante a condiciones de referencia en  $mg/m^3$

$C_{CL}$ : Concentración del contaminante a condiciones locales en  $mg/m^3$

$T_{CL}$ : Temperatura de los gases a condiciones locales en K (23,4°C o 296,6K)

$P_{CR}$ : Presión a condiciones de referencia en mm Hg (760 mmHg)

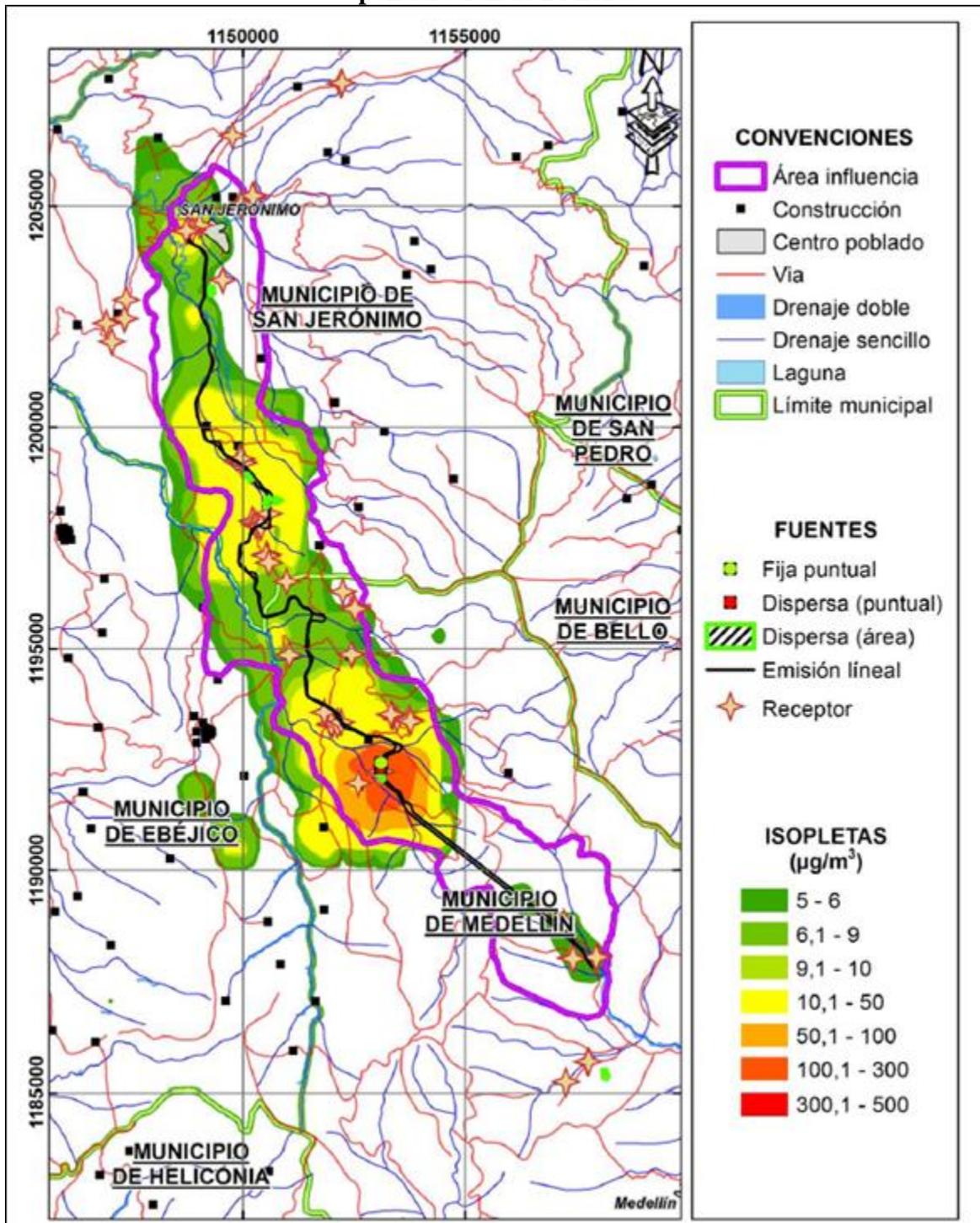
$P_{CL}$ : Presión de los gases a condiciones locales en mm Hg (674,2 mmHg)

$T_{CR}$ : Temperatura a condiciones de referencia en K (25°C o 298,2K)

#### 7.6.3.1 Partículas Suspensas Totales -PST

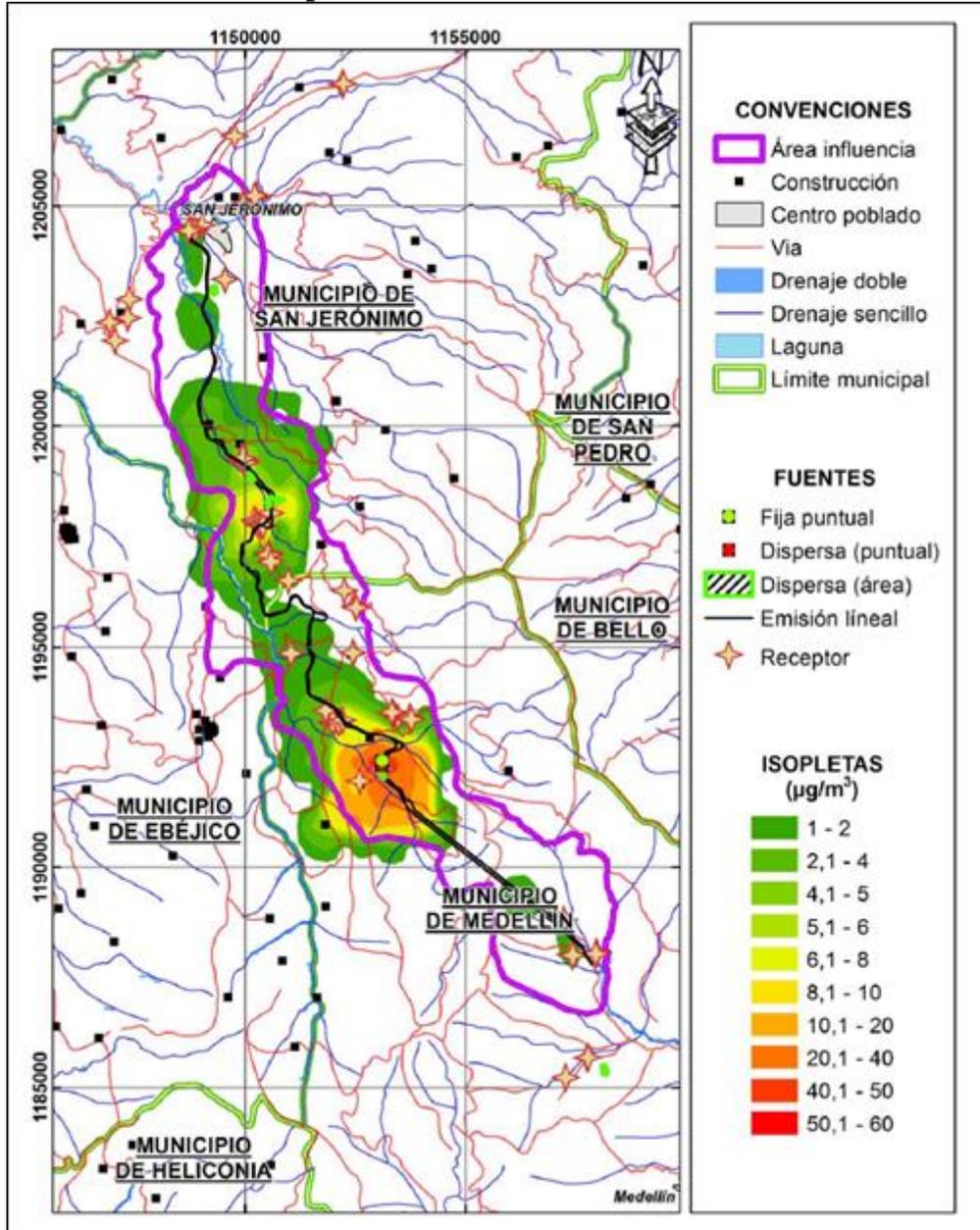
Se realizó la modelación de partículas respirables PST con la información meteorológica horaria anual del modelo de pronóstico WRF; en la Figura 7-59 y Figura 7-60 se muestran las isopletras sobre el área de estudio, las cuales se encuentran en detalle en el Anexo 3 del informe de modelación.

**Figura 7-59. Isopletas partículas suspendidas totales PST para un tiempo de ponderación de 24 horas**



Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

**Figura 7-60. Isopletas partículas suspendidas totales -PST para un tiempo de ponderación Promedio anual**



Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

En la Tabla 7-85, se presentan las concentraciones máximas de material particulado según los cálculos de dispersión en los diferentes escenarios y se comparan con la del límite normativo establecido en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT. Estos datos de concentración máxima son calculados y mostrados directamente por el programa de simulación.

**Tabla 7-85 Concentraciones máximas reportadas de PST en el modelamiento para cada escenario y su comparación con la Resolución 610 de 2010**

Escenario	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Norma	Modelo sitio	Modelo ref*
24 horas	300	608,5	682,1
Promedio anual	100	81,1	90,9

\* A condiciones de referencia para comparar con la norma.

Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

En este estudio, el pico de concentración de material promedio 24 horas y anual se encuentra a 190 m aproximadamente al suroccidente de la zona de plantas proyectada, las concentraciones reportadas se encuentran en cercanía a la vía y el promedio 24 horas excede y el promedio anual no excede los límites normativos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT.

En la Tabla 7-86, se presentan las concentraciones máximas de material particulado según los cálculos de dispersión y se comparan con los niveles de prevención, alerta y emergencia de la Resolución 610 de 2010 del MAVDT.

**Tabla 7-86. Comparación de la concentración máxima reportada de PST con los niveles de prevención, alerta y emergencia**

Parámetro	Tiempo De Exposición	Concentración Máxima Modelo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Estados Excepcionales		
		Sitio	Ref	Prevención ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Alerta ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Emergencia ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
PST	24 horas	608,5	682,1	375	625	875

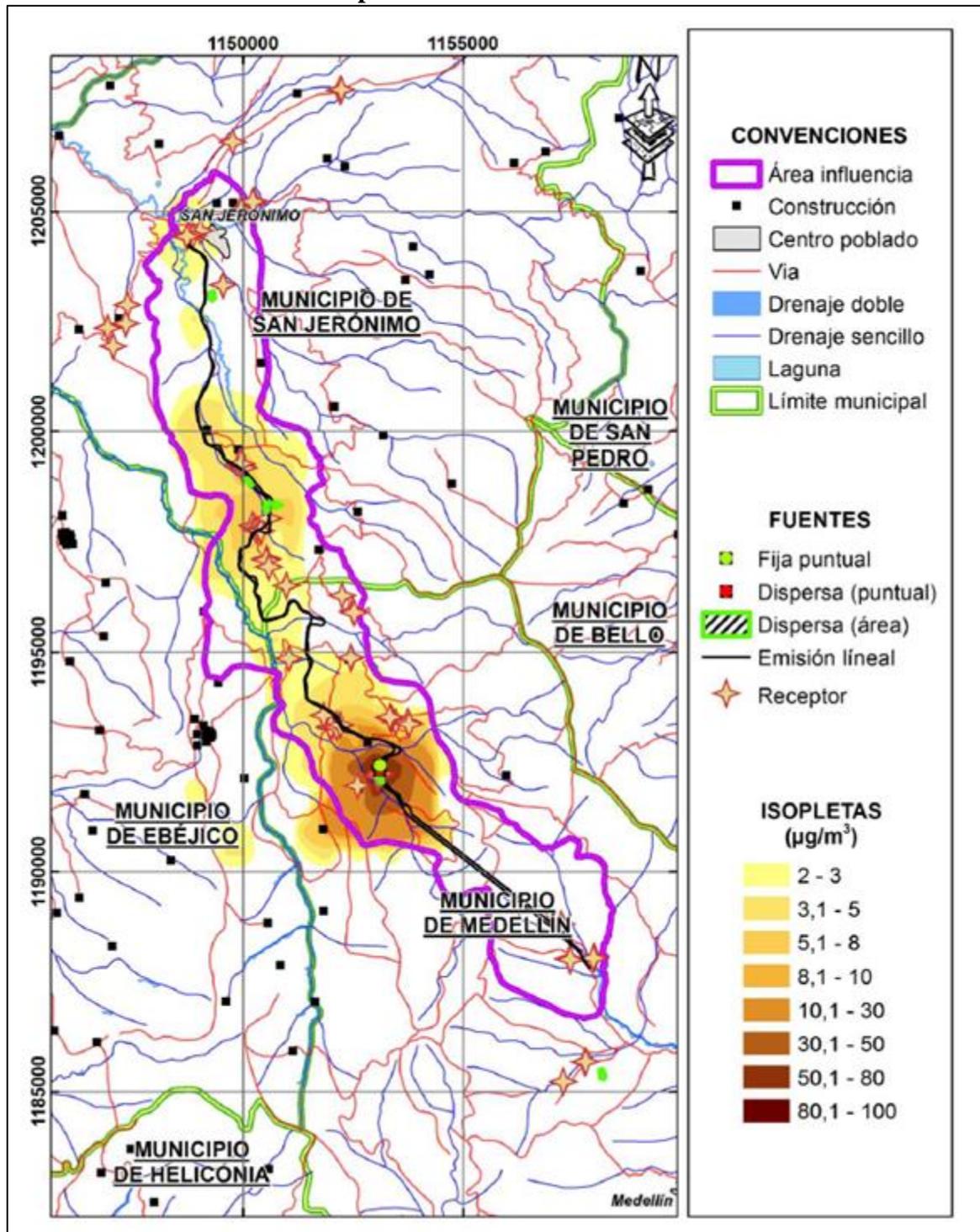
Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

La concentración máxima encontrada supera los niveles de prevención y alerta, pero no supera los niveles de emergencia. De igual forma los niveles máximos se encuentran en proximidad al área de planta definida.

### 7.6.3.2 Material Particulado Respirable -PM10

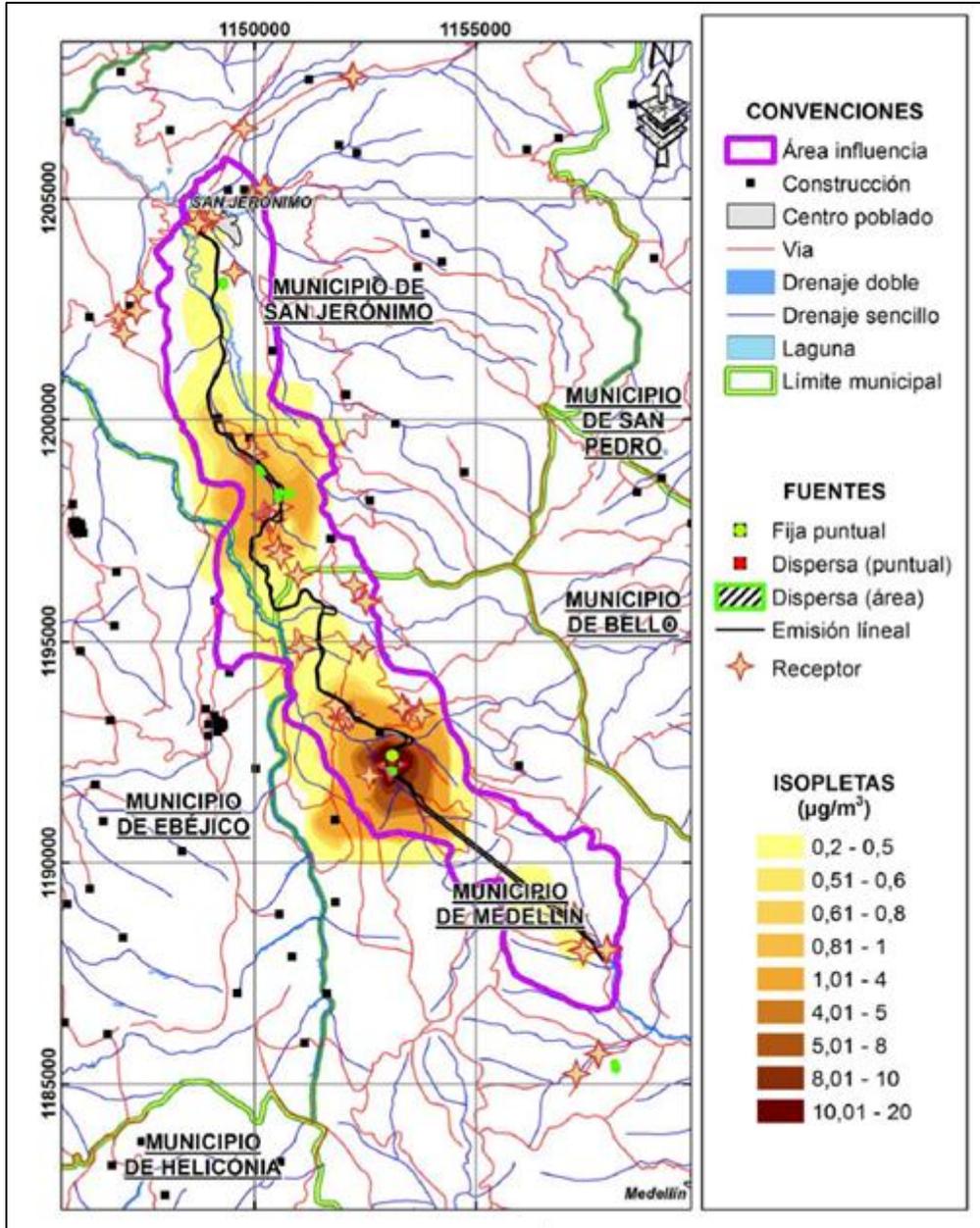
Se realizó la modelación de partículas respirables PM10 con la información meteorológica horaria anual del modelo de pronóstico WRF; en la Figura 7-61 y Figura 7-62 se muestran las isopletras sobre el área de estudio las cuales se encuentran en detalle en el Anexo 3 del informe de modelación.

**Figura 7-61. Isopletas material particulado respirable PM10 para un tiempo de ponderación de 24 horas**



Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

**Figura 7-62. Isopletas material particulado respirable PM10 para un tiempo de ponderación Promedio anual**



Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

En la Tabla 7-87, se presentan las concentraciones máximas de material particulado según los cálculos de dispersión en los diferentes escenarios y se comparan con la del Límite normativo establecido en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT. Estos datos de concentración máxima son calculados y mostrados directamente por el programa de simulación.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

**Tabla 7-87. Concentraciones máximas reportadas de PM10 en el modelamiento para cada escenario y su comparación con la Resolución 610 de 2010**

Escenario	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Norma	Modelo	Modelo Ref
24 horas	100	185,4	207,8
Promedio anual	50	25,4	28,5

Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

En este estudio, el pico de concentración de material promedio 24 horas y anual se encuentra a 190 m al igual que PST al suroccidente de la planta, las concentraciones reportadas se encuentran en cercanía a la vía y el promedio 24 horas y anual no excede los límites normativos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT. En la Tabla 7-88, se presentan las concentraciones máximas de material particulado según los cálculos de dispersión y se comparan con los niveles de prevención, alerta y emergencia de la Resolución 610.

**Tabla 7-88. Comparación de la concentración máxima reportada de PM10 con los niveles de prevención, alerta y emergencia**

Parámetro	Tiempo de Exposición	Concentración Máxima Modelo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Estados Excepcionales		
		Sitio	Referencia	Prevención ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Alerta ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Emergencia ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
PM10	24 horas	185,4	207,8	300	400	500

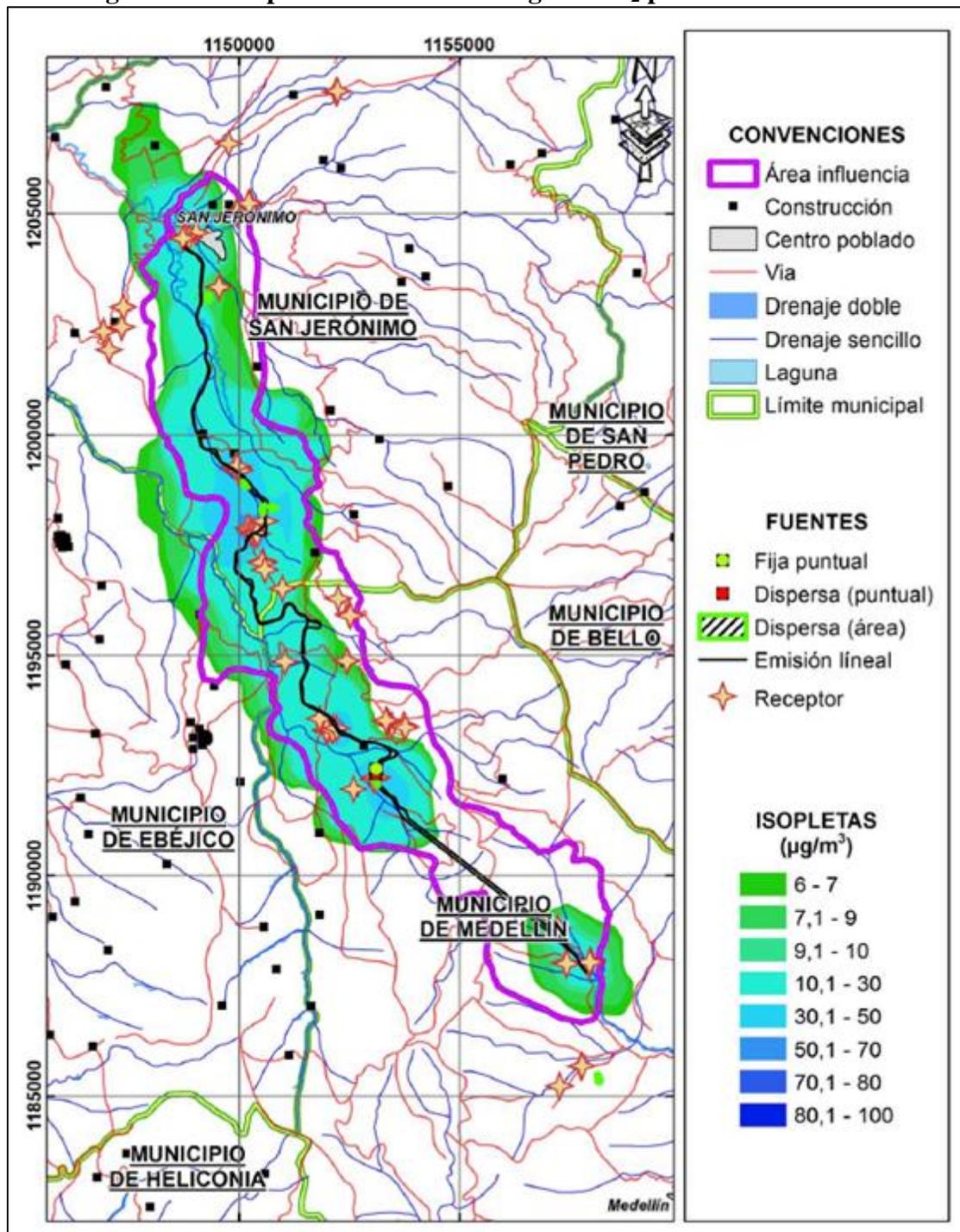
Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

La concentración máxima encontrada no supera los niveles de prevención, alerta o emergencia.

### 7.6.3.3 Dióxido de Nitrógeno $\text{NO}_2$

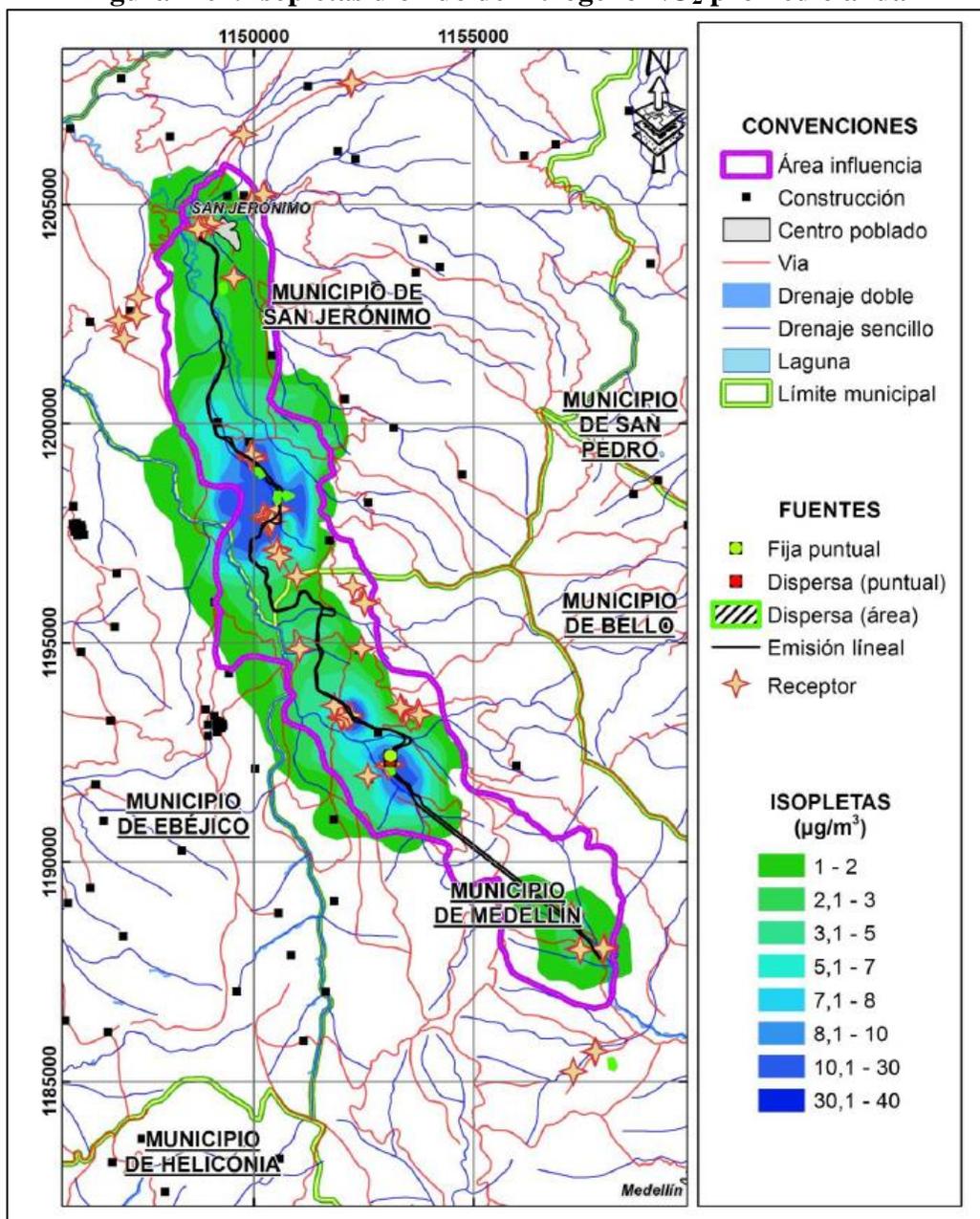
La modelación de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) con la información meteorológica horaria anual del modelo de pronóstico WRF, se puede observar en la Figura 7-63 y Figura 7-64, donde se muestran las isopletras sobre el área de estudio.

Figura 7-63. Isopletas dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> ponderación 24 horas



Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

**Figura 7-64. Isopletas dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> promedio anual**



Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

En la Tabla 7-89, se presentan las concentraciones máximas de dióxido de nitrógeno según los cálculos de dispersión en los diferentes escenarios y se comparan con la del límite normativo establecido en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT. Estos datos de concentración máxima son calculados y mostrados directamente por el programa de simulación.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

**Tabla 7-89. Concentraciones máximas reportadas en el modelamiento de NO<sub>2</sub> para cada escenario y su comparación con la Resolución 610 de 2010**

ESCENARIO	CONCENTRACIÓN (µg/m <sup>3</sup> )		
	Norma	Modelo	Modelo Ref
Máximo 24 horas	150	227.8	235.5
Promedio anual	100	46.4	48.0

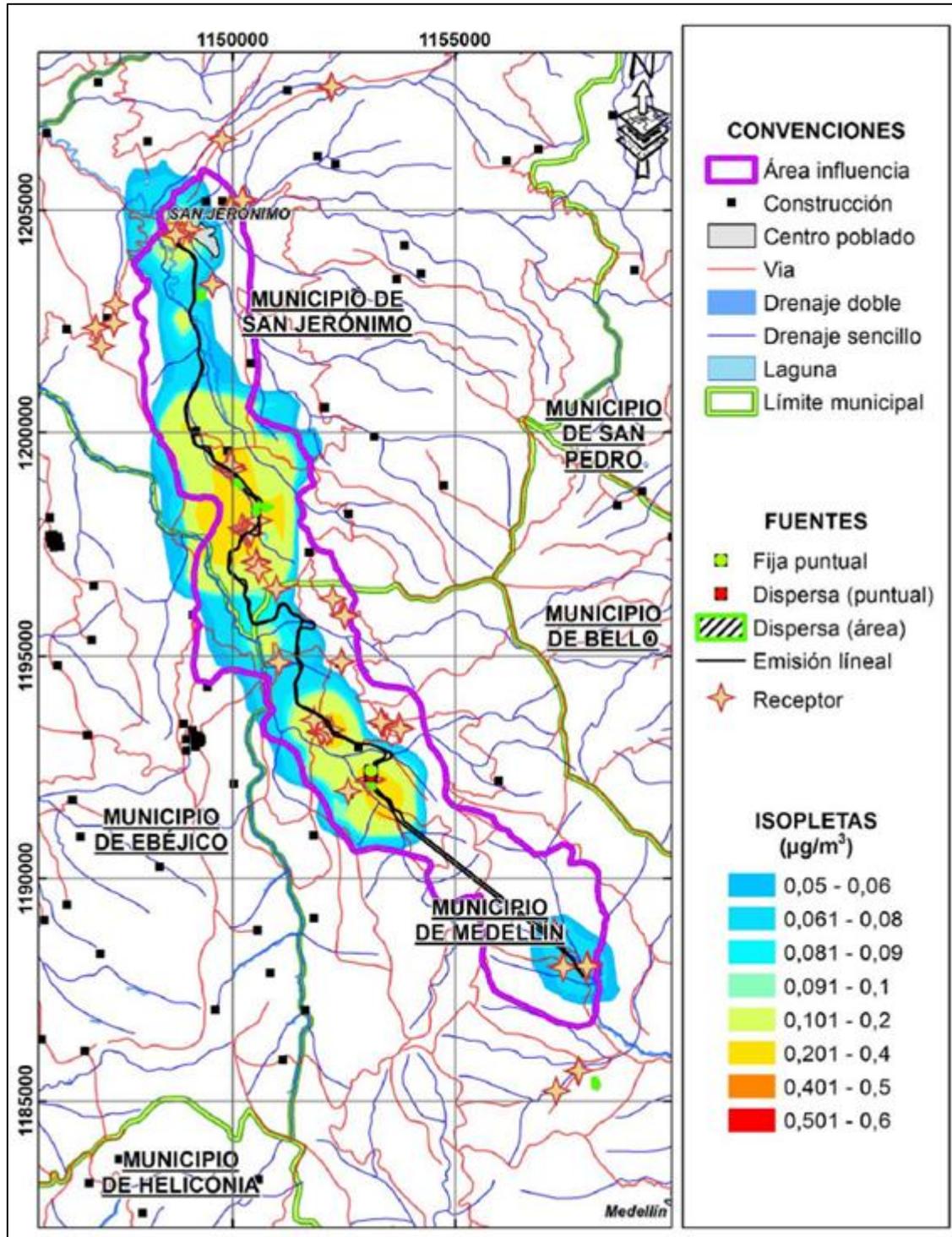
Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

Para el presente estudio, los picos de concentración máxima exceden los límites normativos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT para un promedio 24 horas pero no para el periodo anual, sin embargo, dicho sobrepaso es identificado en un área cercana a la vía a una distancia aproximada de 6 km al noroccidente del área de plantas dadas las condiciones topográficas de la zona, la cual genera concentración de contaminantes en zonas valle.

#### **7.6.3.4 Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>**

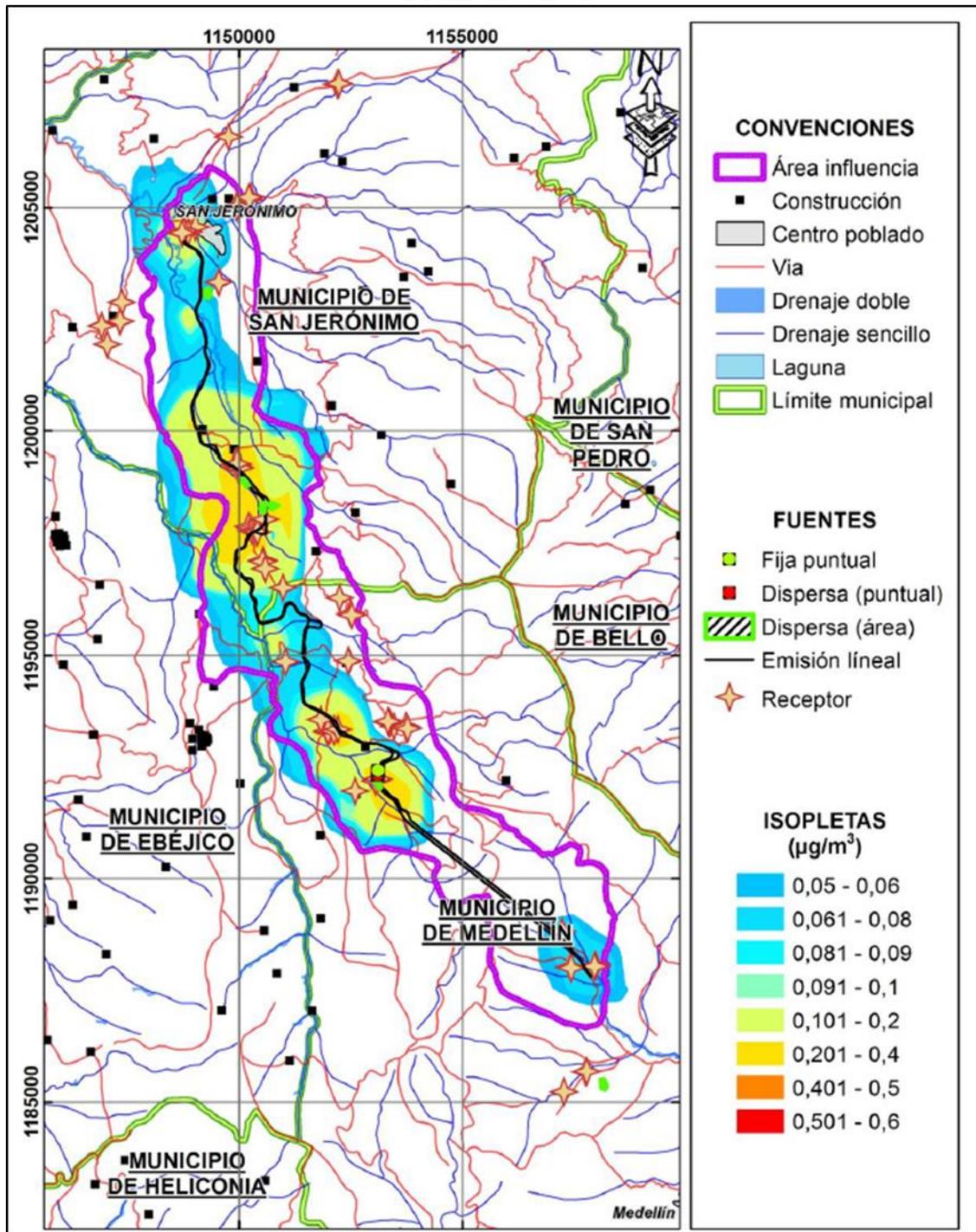
En la Figura 7-65 y Figura 7-66 se muestran las isopletras de la modelación del contaminante criterio dióxido de azufre con la información meteorológica horaria anual del modelo de pronóstico WRF.

Figura 7-65. Isopletas para dióxido de azufre SO<sub>2</sub> para un tiempo de ponderación de 24 horas



Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

**Figura 7-66. Isopletas dióxido de azufre SO<sub>2</sub> para un tiempo de ponderación Promedio anual**



Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 Devimar SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

En la Tabla 7-90, se presentan las concentraciones máximas de dióxido de azufre según los cálculos de dispersión en los diferentes escenarios y se comparan con la del límite normativo establecido en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT. Estos datos de concentración máxima son calculados y mostrados directamente por el programa de simulación.

**Tabla 7-90. Concentraciones máximas reportadas en el modelamiento de SO<sub>2</sub> para cada escenario y su comparación con la Resolución 610 de 2010**

Escenario	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )		
	Norma	Modelo	Modelo Ref
24 horas	250	0,91	1,02
Promedio anual	80	0,89	1,00

Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

De acuerdo con la Figura 7-65 y Figura 7-66, en general se observan concentraciones bajas en relación a la normatividad ambiental. Al detallar el mapa de dispersión para este contaminante, se puede ver que la concentración sobre el área de estudio es baja comparada con los límites permisibles y por lo tanto, la concentración por encima del estándar normativo no trasciende hasta los receptores cercanos.

En la Tabla 31, se presentan la concentración máximas (24 horas) de dióxido de azufre, según los cálculos de dispersión y se comparan con los niveles de prevención alerta y emergencia de la Resolución 610 de 2010 del MAVDT.

**Tabla 7-91. Comparación de la concentración máxima reportada de SO<sub>2</sub> con los niveles de prevención, alerta y emergencia**

Parámetro	Tiempo De Exposición	Concentración Máxima Modelo(µg/m <sup>3</sup> )		Estados Excepcionales		
		Sitio	Ref	Prevención (µg/m <sup>3</sup> )	Alerta (µg/m <sup>3</sup> )	Emergencia (µg/m <sup>3</sup> )
SO <sub>2</sub>	24 horas	0,91	1,02	300	400	500

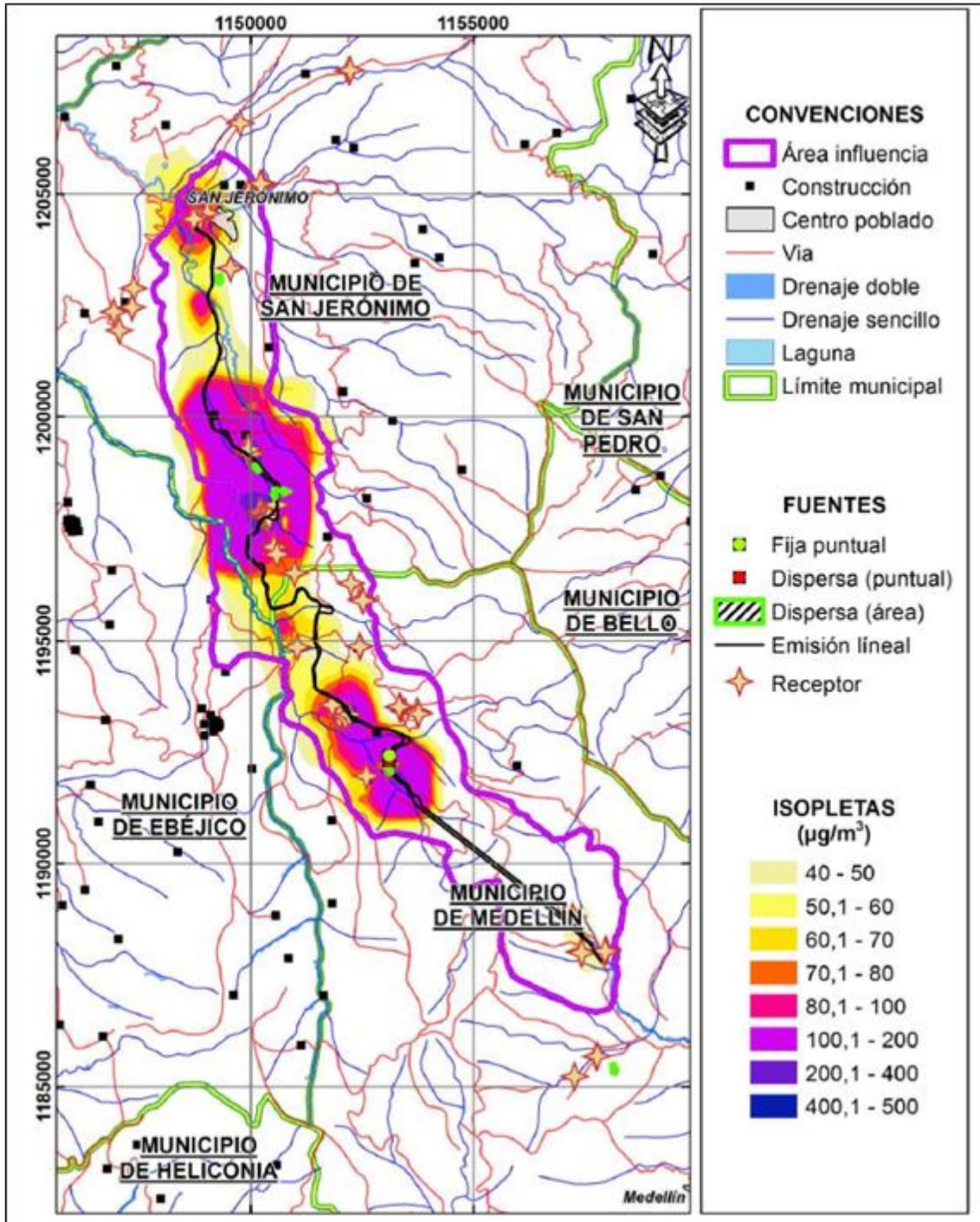
Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

La concentración máxima encontrada no supera los estados de prevención, alerta y emergencia establecidos por la normatividad.

### 7.6.3.5 Monóxido de Carbono -CO

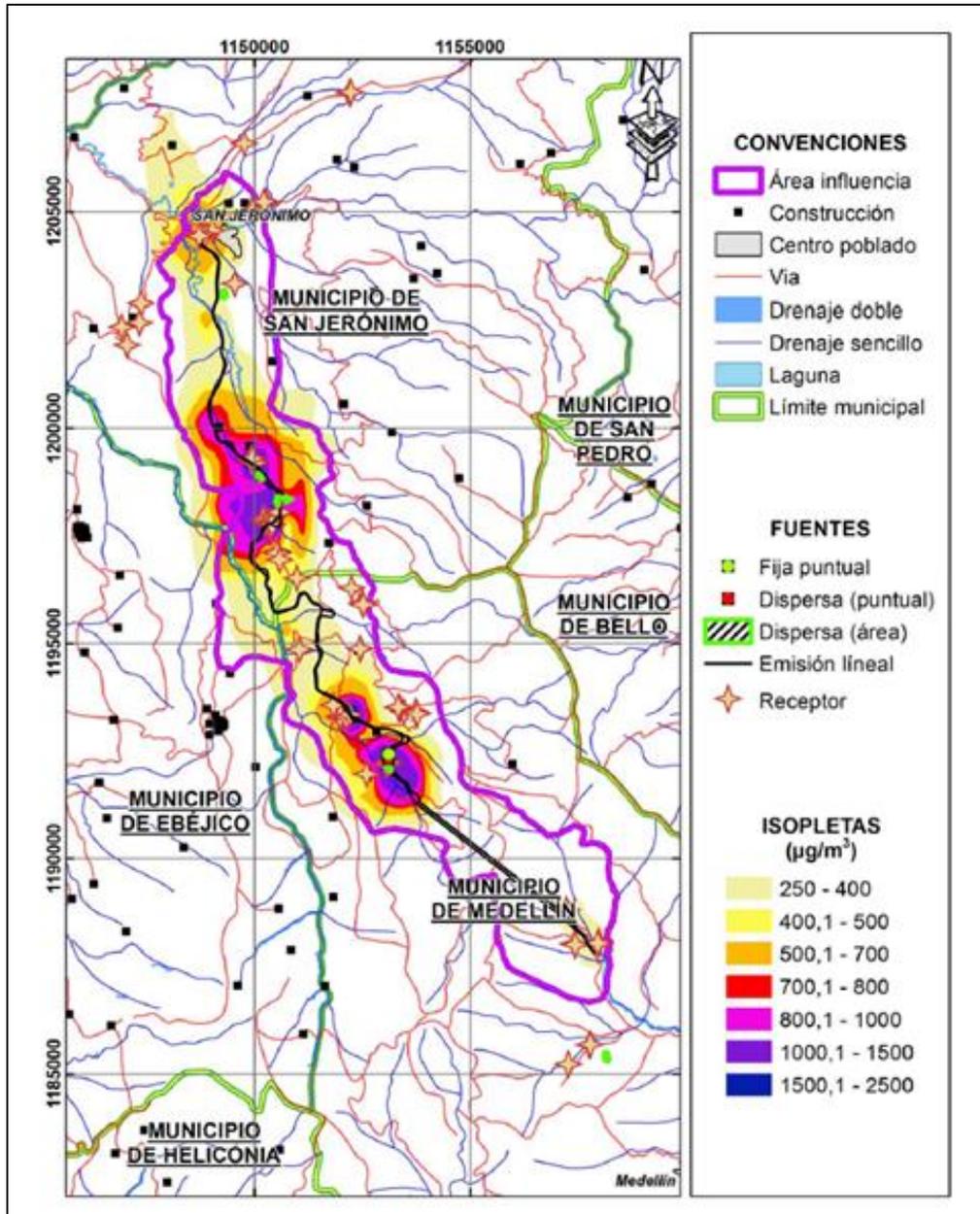
En la Figura 7-67 y Figura 7-68, se evidencian las isopletras de la modelación de dispersión del contaminante monóxido de carbono con la información meteorológica horaria anual del modelo de pronóstico WRF.

**Figura 7-67. Isopletas monóxido de carbono CO para un tiempo de ponderación 8 horas**



Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

**Figura 7-68. Isopletas monóxido de carbono CO para un tiempo de ponderación 1 hora**



Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

De acuerdo con la Figura 7-67 y Figura 7-68, en general se observan concentraciones bajas en relación a la normatividad ambiental. En la Tabla 7-92 se presentan las concentraciones máximas de monóxido de carbono según los cálculos de dispersión en los diferentes escenarios y se comparan con la del límite normativo establecido en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT.

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

**Tabla 7-92. Concentraciones máximas reportadas de CO en el modelamiento para cada escenario y su comparación con la Resolución 610 de 2010**

Escenario	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Norma	Modelo	Modelo Ref
8 horas	40000	619,0	693,9
1 hora	10000	3192,0	3578,2

Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

En este estudio, el pico de concentración máxima de monóxido de carbono no excede los límites normativos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT. Al observar el mapa de dispersión se puede ver que la concentración sobre el área de influencia es baja comprada con la normatividad y por lo tanto las concentraciones no trascienden a niveles significativos hasta los receptores cercanos. Se observan altas concentraciones comparadas con otros contaminantes debido al aporte vehicular; y se aprecia que para el escenario 24 h la ubicación de la concentración máxima se presenta en el mismo lugar que para  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ .

**Tabla 7-93. Comparación de la concentración máxima reportada de CO con los niveles de prevención, alerta y emergencia**

Parámetro	Tiempo De Exposición	Concentración Máxima Modelo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Estados Excepcionales		
		Sitio	Referencia	Prevención ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Alerta ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Emergencia ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
CO	8 horas	619,0	693,9	17000	34000	46000

Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

La concentración máxima encontrada no supera los estados de prevención, alerta y emergencia establecidos por la normatividad.

#### 7.6.3.6 Receptores y concentraciones de fondo

Para la determinación de las concentraciones de fondo se tuvieron en cuenta 80 receptores cercanos al área de interés, para los cuales se consideró dos escenarios de modelación con ponderación anual con el fin de establecer el aporte de la concentración de contaminantes. La concentración para los diferentes contaminantes en los receptores considerados se presenta en el informe de modelación incluido en el Anexo O. demanda.

De los 80 receptores cercanos se encontraron concentraciones de PST y PM10 por encima de norma para el escenario 24 horas en el punto identificado como “Escuela /Colegio 10” a 190 metros al suroccidente del área de planta para los contaminantes PST y PM10, y también se aprecian concentraciones por encima de norma para el escenario 24 horas para

 Agencia Nacional de Infraestructura	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	 SOMOS TU VÍA
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

NO<sub>2</sub> en el punto identificado como “Tienda 8” a 190 metros al noroccidente de la planta de concreto. Se aprecian concentraciones promedio diarias de 22,5 µg/m<sup>3</sup> para PST, 6,6 µg/m<sup>3</sup> para PM10, 17,2 µg/m<sup>3</sup> para NO<sub>2</sub>, 0,1 µg/m<sup>3</sup> para SO<sub>2</sub> y 77,2 µg/m<sup>3</sup> para CO (8 HORAS).

En la Tabla 7-94 se presentan los resultados obtenidos de las concentraciones modeladas en comparación con las concentraciones de fondo seleccionadas de acuerdo con los registros de calidad del aire. La concentración de fondo es estimada a partir de los datos más bajos de concentración obtenidos en las diferentes estaciones de monitoreo del informe de calidad del aire en septiembre 2016 (Estación 1. Escuela).<sup>5</sup>

**Tabla 7-94. Aporte de las concentraciones estimadas a las concentraciones de fondo del área de estudio (escenario monitoreo)**

Descripción	Resultado (µg/m <sup>3</sup> )		
	NO <sub>2</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>
PARÁMETRO	NO <sub>2</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>
PONDERACIÓN	ANUAL	24H	24H
Niveles máximos OMS *	40	50	20
Niveles máximos Resolución 610 de 2010 del MAVDT	100	100	250
CONCENTRACIÓN DE FONDO [A]	0.2**	14.3***	21.4***
Incremento de concentración. (Concentración máxima esperada Modelo AERMOD) [B]	159,4	207,8	1,02
Concentración máxima esperada en calidad el aire [A] + [B]	159,6	222,1	22,42

\* Límites de referencia a nivel mundial. [En línea] Disponible en: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)

\*\* Valor promedio campaña de monitoreo

\*\*\* Valores máximos diarios reportados campaña de monitoreo.

Fuente: ANASCOL SAS, 2016.

De la Tabla 7-94, se especifica que se realiza una suma de las concentraciones máximas obtenidas (escenario de modelación campaña de monitoreo empleando crudo como combustible) sobre las concentraciones obtenidas de la campaña de monitoreo en septiembre 2016 Estación 1 Escuela, suponiendo que las concentraciones de fondo en el punto son equivalentes en toda el área de estudio de forma tal que la suma realizada sea consistente a las condiciones del punto evaluado de máxima concentración.

Por otro lado es importante aclarar que las concentraciones de fondo son determinadas para los escenarios de ponderación 24 horas para los parámetros PM10 y SO<sub>2</sub>, y para la ponderación promedio anual para NO<sub>2</sub>, teniendo en cuenta que son los tiempos de

<sup>5</sup> Informe Aire Segunda Calzada entre el túnel de occidente-Santa fe de Antioquia Proyecto Autopista al Mar, Septiembre 2016.

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

ponderación disponibles y recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como niveles de referencia para evaluar el impacto más allá de los requisitos normativos exigidos por la normatividad ambiental colombiana.

En general se observa que las predicciones indican que los efectos de las fuentes consideradas sobre las concentraciones de los contaminantes evaluados en la calidad del aire en el área de influencia del proyecto (concentraciones de fondo), son tales que generan sobrepasos a los Niveles establecidos en las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud y a los límites establecidos por la norma nacional de Calidad del Aire (Resolución 610 de 2010 del MAVDT) para los parámetros NO<sub>2</sub> y PM10; en el caso de SO<sub>2</sub> NO se genera sobrepaso a los Niveles establecidos en las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud ni a los límites establecidos por la norma nacional de Calidad del Aire (Resolución 610 de 2010 del MAVDT).

### 7.6.3.7 Conclusiones

La concentración máxima estimada en el modelo de material particulado 24 horas PST y PM10 fue de 682,1 µg/m<sup>3</sup> y 207,8 µg/m<sup>3</sup> respectivamente, los cuales superan la normatividad vigente para los dos (2) contaminantes en el escenario 24 horas, pero no superan los niveles de emergencia. La concentración encontrada en el período de ponderación anual fue de 90.9 µg/m<sup>3</sup> para PST y 28,5 µg/m<sup>3</sup> para PM10 los cuales no superan la normatividad establecida.

La concentración máxima estimada en el modelo para dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) fue de 159.4 µg/m<sup>3</sup> para 24 horas y 52,5 µg/m<sup>3</sup> para el promedio anual. Es importante resaltar que la ubicación del punto de la máxima concentración horaria se encuentra cerca de la vía a causa de la concentración de gases por el valle orográfico en la zona.

La concentración máxima estimada en el modelo de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) fue de 1.02 µg/m<sup>3</sup> para promedio 24 horas y 1,00 µg/m<sup>3</sup> para el promedio anual, los cuales no superan los límites permisibles ni los estados de prevención, alerta o emergencia en el caso del escenario 24 horas. Este contaminante al igual que el NO<sub>2</sub> está asociado a las fuentes de combustión interna ocasionada por las fuentes móviles asociadas al tránsito característico de la zona.

Las concentraciones máximas estimada en el modelo de monóxido de carbono fue de 693,9 µg/m<sup>3</sup> promedio 8 horas y 3578,2 µg/m<sup>3</sup> promedio horario. Pese a que dichos valores se encuentran por debajo de los límites permisibles de la normatividad vigente, la concentración de este gas es superior a los otros gases producto de la combustión realizada por las fuentes móviles y fijas consideradas.

En relación al material particulado dado como PST y PM10 se observa que en los receptores identificados existe una mayor influencia de la vía existente cuyos aportes en

	<p><b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b></p> <p><b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b></p> <p><b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b></p> <p><b>VERSIÓN 0.1</b></p>	
---	---	---

algunos casos es hasta del 89% para PST y de 86% para PM10 en los receptores alejados del área de plantas. En cuanto a los receptores cercanos, presentan concentraciones de hasta el 93% para PST y PM10.

El aporte de gases está dado principalmente por los vehículos que pasan sobre la vía existente, siendo el aporte de las fuentes fijas del área de plantas proyectada, bajos en comparación con las vías con aportes de hasta el 35% de NO<sub>2</sub>, 13% de SO<sub>2</sub> y 63% de CO para los receptores más cercanos a la planta.

## 7.7 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

El desarrollo del proyecto requerirá la utilización de materiales de construcción para la conformación de sub-bases, bases y rellenos, para la construcción de estructuras, para la preparación de algunos concretos y morteros, y obras en general, cuyas cantidades fueron indicadas en el capítulo 3. Descripción del Proyecto del presente estudio de impacto ambiental.

Para el caso del proyecto, se tiene prevista la adquisición de materiales de canteras o sitios de extracción aluvial operados por terceros que tengan permiso y licencia ambiental vigentes y de sitios autorizados. En la Tabla 7-95 se relacionan algunas fuentes de material cercanas a las áreas del proyecto que conforman las Unidades Funcionales (3 y 1) para las cuales se verificará nuevamente la vigencia de la licencia en el momento de realizar las obras. Sin embargo, la adquisición de los materiales no queda limitada a las fuentes relacionadas, y el mismo podrá obtenerse de cualquier otro sitio que no hubiese sido identificado en el presente estudio, siempre que tenga la licencia ambiental.

	<b>CONCESIONARIA VIAL DESARROLLO VIAL AL MAR</b>	
	<b>CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TÚNEL - SAN JERÓNIMO. UF 1 Y 3 DEL PROYECTO AUTOPISTA AL MAR 1.</b>	
	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> <b>VERSIÓN 0.1</b>	

**Tabla 7-95 Fuentes de materiales licenciadas a utilizar**

Licencia o Plan de Manejo	Resolución No.	Fecha Expedición	Expediente No.	Vigencia de la Licencia o Plan de Manejo	Titular de la autorización	Identificación	Registro Minero	Exp. Minero No.	Minerales Autorizado(s)	Área del Proyecto (ha)	Ubicación Mina
Licencia ambiental	130HX-3742	2008-08-21	HX3-2005-3	2038-08-21	Albin Geovany Mery Correa	71.691.213	HHBA-14	6265	Materiales de construcción, arenas y gravas naturales	164,2195	Sopetrán
Licencia ambiental	130HX-1105-5182	2011-05-16	HX3-2006-5	2031-05-16	Construcciones e Inversiones Empresariales S.A.S	830.506.557-4	H7130005	7130	Arenas y gravas naturales y otros concentrados	156	Santa Fe de Antioquia y Sopetrán
Licencia Ambiental	130HX-4121	2009-04-15	HX3-2007-3	2039-04-15	Sociedad Agregados El Tonusco Ltda	900.181.621-4	HFSG-03 de 27-07-2007	6457 y 6922	Arenas y gravas naturales	232,3091	Santa Fe de Antioquia y Sopetrán
Licencia ambiental	130HX-4506	2009-12-03	HX3-2008-4	2039-12-02	Angela Londoño Santiago Londoño Olga Luz Londoño	21.791.567 1.128.407.787 21.791.450	HCIJ-45	5041	Materiales de construcción arenas y gravas naturales	8,818	Sopetrán
Licencia ambiental	130HX-4930	2010-09-07	HX3-2010-2	2040-09-07	Juan Rafael Lalinde Gallego	70.071.719	HEUC-03	4804	Arenas y gravas naturales	69,1612	Sopetrán
Licencia ambiental	130HX-1110-5438	2011-11-09	HX3-2010-3	2031-11-09	Elsa Liliana Marín Guevara	42.067.795	HEPP-05	7130	Arenas Silíceas	81,0475	Ebéjico
Licencia ambiental	130HX-1301-6195	2013-01-11	HX3-2011-1	2037-01-22	Sergio Sierra Tobón	70.120.092	HHBA-01	7174	Materiales de construcción de cantera	99	San Jerónimo

Fuente: Consultoría Colombiana, 2016.