CONCESIÓN RUTA DEL CACAO
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
CORREDOR VIAL BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA – YONDO

CONTRATO DE CONCESIÓN APP 013 DE 2015

CONSULTORÍA COLOMBIANA S.A.

CAPITULO VII DEMANDA DE RECURSOS NATURALES

BOGOTÁ

SEPTIEMBRE 2016

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN CORREDOR VIAL BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

DEPENDENCIA	No. DE COPIAS
INTERVENTORÍA	ORIGINAL
CONCESIONARIO	COPIA

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

Título Documento		**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN CORREDOR VIAL BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO**		
Documento No.		**AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA CÓDIGO CONCESIÓN- CONTRATO -ESPECIALIDAD- VERSIÓN**		
APROBACIÓN	**Número de Revisión**			
	Responsables por elaboración	NOMBRE	Liliana Bolívar	
		FIRMA		
		MAT:		
		FECHA		
	Responsable por revisión y aprobación	NOMBRE	Nicolas Suescun	
		FIRMA		
		MAT:		
		FECHA		

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CONCESIÓN RUTA DEL CACAO
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
PROYECTO BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO

CONTROL DE MODIFICACIÓN DEL DOCUMENTO

REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
		.	

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CONCESIÓN RUTA DEL CACAO
CAPITULO VII DEMANDA DE RECURSOS NATURALES
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
PROYECTO BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

7. DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES 1
7.1 AGUAS SUPERFICIALES 5
7.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS 5
7.3 VERTIMIENTOS 5
7.4 OCUPACIONES DE CAUCE 75
7.5 APROVECHAMIENTO FORESTAL 80
7.6 EMISIONES ATMOSFÉRICAS 113
7.6.1 Identificación de las Fuentes de Emisión 114
7.6.2 Análisis fuentes generadoras permiso de emisión 119
7.6.3 Modelo de dispersión 123
7.6.4 Resultados de modelación 133
7.6.5 Material particulado PST y PM10 136
7.6.6 Gases NO_2 y SO_2 140
7.7 MATERIALES DE CONSTRUCCION 147

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CONCESIÓN RUTA DEL CACAO
CAPITULO VII DEMANDA DE RECURSOS NATURALES
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
PROYECTO BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 7-1 Resumen de solicitud de permisos de uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales y Autorizaciones 1
Tabla 7-2 Ubicación de puntos de vertimiento sobre cuerpos de agua superficial 7
Tabla 7-3 Balance Hídrico a nivel mensual de largo plazo – estación Hacienda Trigueros 12
Tabla 7-4 Caudales medios mensuales (l/s) – Quebrada La Caimana 14
Tabla 7-5 Caudales medios mensuales (l/s) – Río Sucio 15
Tabla 7-6 Caudales mínimos mensuales (l/s) – Quebrada La Caimana 16
Tabla 7-7 Caudales mínimos mensuales (l/s) – Río Sucio 16
Tabla 7-8 Caudales utilizados para la modelación hidráulica y del vertimiento sobre el río Sucio 22
Tabla 7-9 Caudales utilizados para la modelación hidráulica y del vertimiento sobre la quebrada La Caimana 25
Tabla 7-10 Calidad de agua de cuerpos receptores 28
Tabla 7-11 Resultado de muestreo de sedimentos de cuerpos receptores 30
Tabla 7-12 Caracterización fisicoquímica de las aguas resultantes del proceso de perforación de túneles 31
Tabla 7-13 Aguas residuales industriales – Parámetros de cumplimiento Resolución 0631 de 2015 Art. 15 para vertimiento en aguas superficiales 32
Tabla 7-14 Factor de asimilación para cada contaminante 36
Tabla 7-15 Tasa de reaireación 38
Tabla 7-16 Criterios para la estimación de k_d 39
Tabla 7-17 Estimación de k_r 39
Tabla 7-18 Estimación de k_n 40
Tabla 7-19 Velocidades de sedimentación medidas para diferentes tipos y tamaños de partículas 40
Tabla 7-20 Velocidad de sedimentación 41
Tabla 7-21 Tasa de decaimiento por muerte de patógenos 42
Tabla 7-22 Coeficientes de partición de metales pesados y fenoles 43
Tabla 7-23 Coeficientes de partición de compuestos orgánicos 44

Tabla 7-24 Coeficientes de transferencia y velocidades de volatilización para fenoles 45
Tabla 7-25 Factores de asimilación para los determinantes de calidad del agua considerados en la metodología 45
Tabla 7-26 Tasas de reacción, factores de asimilación, tiempos de viaje y longitud de influencia estimada por cada determinante - río Sucio 46
Tabla 7-27 Tasas de reacción, factores de asimilación, tiempos de viaje y longitud de influencia estimada por cada determinante - quebrada La Caimana 47
Tabla 7-28 Resultado de coeficientes de dispersión y longitud de mezcla para diferentes condiciones de caudal - Rio Sucio 50
Tabla 7-29 Resultado de coeficientes de dispersión y longitud de mezcla para diferentes condiciones de caudal - Quebrada La Caimana 50
Tabla 7-30 Datos de entrada del modelo QUAL2K 53
Tabla 7-31 Descripción del punto de vertimiento - Río Sucio 54
Tabla 7-32 Descripción del punto de vertimiento - quebrada La Caimana 55
Tabla 7-33 Resumen de condiciones climatológicas 56
Tabla 7-34 Coeficientes de correlaciones hidrogeométricas - Río Sucio 58
Tabla 7-35 Coeficientes de correlaciones hidrogeométricas - Quebrada La Caimana 58
Tabla 7-36 Parámetros monitoreados 59
Tabla 7-37 Ejemplos de tipo de contaminante 60
Tabla 7-38 Tasas de reacción para diferentes determinantes 61
Tabla 7-39 Escenarios de modelación 62
Tabla 7-40 Permiso de vertimiento solicitados etapa de construcción. 73
Tabla 7-41 Ubicación de puentes y viaductos a construir 75
Tabla 7-42 Obras de drenajes menores 76
Tabla 7-43 Periodos de retorno de diseño obras de drenaje vial 79
Tabla 7-44 Obras y actividades constructivas del proyecto, susceptibles de aprovechamiento forestal 80
Tabla 7-45 Ecosistemas naturales en el área de intervención del proyecto 83
Tabla 7-46 Parámetros estadísticos 84
Tabla 7-47 Unidades de parcelas de muestreo 85
Tabla 7-48Volumen por parcela para el Bosque de galería con predominio de árboles del Helobioma del Magdalena y Caribe 88
Tabla 7-49 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para el Bosque de galería con predominio de árboles del Helobioma del Magdalena y Caribe 89
Tabla 7-50 Volumen por parcela para el Bosque de galería con predominio de árboles del Orobioma Bajo de los Andes 89
Tabla 7-51 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para el Bosque de galería con predominio de árboles del Orobioma bajo de los andes 90
Tabla 7-52 Volumen por parcela para el Bosque de galería con predominio de árboles del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe 92
Tabla 7-53 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para el Bosque de galería con predominio de árboles del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe 92
Tabla 7-54 Volumen por parcela para el Bosque de galería mixto del Helobioma del Magdalena y Caribe 93
Tabla 7-55 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para el Bosque de galería

mixto del Helobioma del Magdalena y Caribe 93
Tabla 7-56 Volumen por parcela para el Bosque de galería Mixto del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe 94
Tabla 7-57 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para el Bosque de galería mixto del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Carbe 94
Tabla 7-58 Volumen por parcela para el Bosque fragmentado con vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes 95
Tabla 7-59 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para el Bosque fragmentado con vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes 95
Tabla 7-60 Volumen por parcela para la vegetación secundaria alta del Helobioma del Magdalena y Caribe 96
Tabla 7-61 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para la vegetación secundaria alta del Helobioma del Magdalena y el Caribe 97
Tabla 7-62 Volumen por parcela para la vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes 97
Tabla 7-63 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para la vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes 98
Tabla 7-64 Volumen por parcela para la vegetación secundaria alta del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe 99
Tabla 7-65 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para la vegetación secundaria alta del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe 99
Tabla 7-66 Volumen por parcela para la vegetación secundaria baja del Orobioma bajo de los Andes 100
Tabla 7-67 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para la vegetación secundaria baja del Orobioma bajo de los Andes 100
Tabla 7-68 Volumen por parcela para la vegetación secundaria baja del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe 101
Tabla 7-69 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para la vegetación secundaria baja del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe 101
Tabla 7-70 Volumen por parcela para la vegetación secundaria baja del Helobioma del Magdalena y Caribe 102
Tabla 7-71 Ecosistemas transforamdos en el área de intervención del proyecto 102
Tabla 7-72 Resultados del censo forestal en los ecosistemas transformados 104
Tabla 7-73 Resultados del censo forestal por Autoridad ambiental y municipios 107
Tabla 7-74 Identificación de sitios de ZODME 107
Tabla 7-75 Censo forestal en ZODMES 108
Tabla 7-76 Especies en amenaza, en peligro y/o vulnerables dentro registradas en el censo forestal y censo en ZODMES 111
Tabla 7-77 Especies en Veda Regional por Corporación 112
Tabla 7-78 Resultados del censo forestal en los ecositemas transformados y ZODMES113
Tabla 7-79 Concentraciones de los principales criterio en el área de estudio – monitoreo de calidad de aire Marzo de 2016. 118
Tabla 7-80 Potenciales fuentes de contaminación atmosférica asociadas al proyecto de construcción 119
Tabla 7-81 Ubicación sitios solicitud permiso de emisiones atmosféricas 120
Tabla 7-82 Fuentes actividades y emisiones calculadas para PST y PM10 124

Tabla 7-83 Fuentes actividades y emisiones calculadas para NO_2 y SO_2 128
Tabla 7-84 Aumentos de PST esperados en los receptores discretos 146
Tabla 7-85 Aumentos de PM10 esperados en los receptores discretos 146
Tabla 7-86 Aumentos de NO_2 esperados en los receptores discretos 146
Tabla 7-87 Aumentos de SO_2 esperados en los receptores discretos 147
Tabla 7.88 Identificación de proveedores de materiales de construcción 151
Tabla 7.89 Títulos mineros en la zona del proyecto 152

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CONCESIÓN RUTA DEL CACAO
CAPITULO VII DEMANDA DE RECURSOS NATURALES
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
PROYECTO BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 7-1 Ubicación espacial de punto de vertimientos propuestos para el proyecto 8
Figura 7-2 Balance Hídrico mensual – estación Hacienda Trigueros 13
Figura 7-3 Caudales medios mensuales – Quebrada La Caimana 14
Figura 7-4 Caudales medios mensuales – Río Sucio 15
Figura 7-5 Ubicación de secciones transversales sobre el río Sucio 20
Figura 7-6 Tramo de modelación y secciones transversales del río Sucio 21
Figura 7-7 Curvas de calibración en función del caudal - Sección sobre el punto de vertimiento - río Sucio 23
Figura 7-8 Ubicación de los perfiles transversales sobre la quebrada la Caimana 24
Figura 7-9 Tramo de modelación y secciones transversales de la quebrada la Caimana 25
Figura 7-10 Curvas de calibración en función del caudal - Sección sobre el punto de vertimiento - quebrada La Caimana 27
Figura 7-11 Esquema de segmentación para un río en el QUAL2K. 52
Figura 7-12 Balance de flujo en un elemento computacional. 57
Figura 7-13 Comparación de escenarios simulados. Río Sucio 63
Figura 7-14 Perfiles calibrados de calidad de agua y características hidráulicas sobre la quebrada La Caimana 68
Figura 7-15 Diseño tipo de alcantarillas 77
Figura 7-16 Diseño tipo de disipador de energía 78
Figura 7-17 Diseño tipo box coulvert 78
Figura 7-18 Diseño tipo de cunetas triangular 79
Figura 7-19Área de intervención del proyecto y Ecosistemas 81
Figura 7-20 Localización de los ZODMES 82
Figura 7-21 Forma y tamaño de las parcelas de muestreo 84
Figura 7-22 Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de aire 117
Figura 7-23 Localización de Plantas y Zodmes del proyecto 121
Figura 7-24 Localización de Plantas y Zodmes del proyecto 122
Figura 7-25 Localización de Plantas y Zodmes del proyecto 123
Figura 7-26 Fuentes actividades y emisiones calculadas para PST y PM10 129
Figura 7-27 Fuentes actividades y emisiones calculadas para NO_2 y SO_2 129

Figura 7-28 Aporte de las emisiones de PST por fuente 130
Figura 7-29 Aporte de las actividades en la construcción de la vía a las emisiones de PST 131
Figura 7-30 Idealización de fuentes 132
Figura 7-31 Ubicación de los receptores discretos 135
Figura 7-32 Concentración máxima 24 horas PST receptores discretos 136
Figura 7-33 Concentración máxima 24 horas PM10 receptores discretos 137
Figura 7-34 Concentración promedio anual PST receptores discretos 137
Figura 7-35 Concentración promedio anual PM10 receptores discretos 138
Figura 7-36 Aporte de las fuentes al promedio anual de PST 138
Figura 7-37 Aporte de las fuentes al promedio anual de PM10 139
Figura 7-38 Concentración máxima 24 horas NO_2 receptores discretos 141
Figura 7-39 Concentración máxima 24 horas SO_2 receptores discretos 141
Figura 7-40 Concentración promedio anual NO_2 receptores discretos 142
Figura 7-41 Concentración promedio anual SO_2 receptores discretos 143
Figura 7-42 Porcentaje de contribución de los grupos a los resultados de concentración anual de NO_2 144
Figura 7-43 Porcentaje de contribución de los grupos a los resultados de concentración anual SO_2 144
Figura 7.44 Localización fuente material Licencia No ICQ-08491 148
Figura 7.45 Localización fuente material ASFALTAMOS 149
Figura 7.46 Área de Licencia No GI8-091 149
Figura 7.47 Localización fuente material Licencia No HAN-111 150
Figura 7.48 Localización de fuentes de material autorizados 151

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CONCESIÓN RUTA DEL CACAO
CAPITULO VII DEMANDA DE RECURSOS NATURALES
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN
PROYECTO BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA –YONDO

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 7-1 Zona de estacionamiento de maquinaria pesada 115
Fotografía 7-2 Zona de estacionamiento de maquinaria pesada 116

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

A continuación se presenta una caracterización detallada de los recursos naturales que demandara el proyecto y que son utilizados, aprovechados o afectados durante las diferentes fases de construcción del mismo.

De acuerdo con la Ley 373 de 1997, "Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico" y la Política de Producción más Limpia y Consumo Sostenible, en el presente Estudio de Impacto Ambiental no se presenta el programa de ahorro y uso eficiente del agua, teniendo en cuenta que no se solicitara concesiones de agua para el proyecto. Lo anterior, se suplirá con un tercero debidamente constituido y que cuente con el permiso de concesión de aguas para la venta en bloque y su uso sea industrial y para consumo humano y domestico se comprara agua en bolsa y botellones; lo cual se desarrollara más adelante.

Dichos permisos corresponderán a ocupaciones de cauce en sitios donde se requiere construir obras de drenaje, viaductos o puentes, vertimientos domésticos e industriales, emisiones atmosféricas, aprovechamiento forestal y Autorizaciones para la utilización de zonas de disposición de material estéril (ZODMES).

A continuación en la Tabla 7-1 se muestra, a manera de resumen, el uso, aprovechamiento y afectación de recursos naturales para las actividades que contempla el desarrollo del proyecto.

Tabla 7-1 Resumen de solicitud de permisos de uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales y Autorizaciones

Actividad o Instalación	Ubicación			Caudal mínimo del cuerpo de agua (l/s)	Flujo del vertimiento	Caudal a verter (l/s)	
	Nombre	Este	Norte			Industrial	Doméstico
Túnel La Paz	Quebrada La Caimana	1.083.243,09	1.286.594	2,94	continuo	50	No se planea vertimiento de aguas residual doméstica
Túnel La Sorda	Río Sucio	1.079.598,15	1.288.397	54,24	continuo	30	No se planea vertimiento de aguas residual doméstica

Nº	UF	PK	Denominación Estructura	Ancho (m)	Longitud (m)	Tipología
1	2	13+284	Puente Quebrada El Zarzal	11.00	80.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
2	4	0+725	Puente Quebrada La Lizama I	11.00	25.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
3	4	1+905	Puente Quebrada La Lizama II	11.00	35.00	Vigas Prefabricadas Hormigón

Nº	UF	PK	Denominación Estructura	Ancho (m)	Longitud (m)	Tipología
4	4	2+787	Puente Quebrada La Lizama III	11.00	35.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
5	4	4+982	Puente Quebrada La Putana	11.00	75.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
6	4	7+943	Puente Quebrada Santa Helena	11.00	40.00	Vigas Prefabricadas Hormigón

Nº	UF	PK	Denominación Estructura	Ancho (m)	Longitud (m)	Tipología
7	4	16+216	Puente Quebrada La Cabezonera	11.00	15.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
8	4	17+676	Puente La Paz Sobre Río Sogamoso	11.00	180.00	Metálico
9	5	-	Puente Intersección La Paz (Nueva)	7.35	50.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
10	5	74+134	Viaducto I	11.60	160.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
11	5	75+898	Viaducto II	11.60	240.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
12	5	79+803	Puente Quebrada San Silvestre	11.60	280.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
13	5	82+664	Puente Quebrada La Peligrosa	11.60	430.00	Cajón Postesado Por Voladizos
14	5	87+321	Puente Río Santa Rosa	11.60	110.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
15	7	92+128	Puente Río Sucio	11.60	683.00	Cajón Postesado Por Voladizos
16	7	96+418	Puente Quebrada La Sorda	11.60	130.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
17	7	98+336	Puente Quebrada N.N.	11.60	240.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
18	7	-	Puente Intersección Lisboa (Nueva)	7.35	53.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
19	8	102+172	Viaducto I (Calzada Izquierda)	11.00	87.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
20	8	102+270	Viaducto II (Calzada Derecha)	11.00	40.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
21	8	102+700	Viaducto III (Calzada Derecha)	11.00	156.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
22	8	102+709	Viaducto IV (Calzada Izquierda)	11.00	174.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
23	9	115+720	Puente Quebrada La Angula (Calzada Derecha)	11.00	49.50	Vigas Prefabricadas Hormigón
24	9	116+750	Puente Quebrada K116+750 (Calzada Izquierda)	11.00	25.00	Vigas Prefabricadas Hormigón

Listado de Ocupaciones de Cauce para permisos de Ocupación de Cauce

UF	Estación No	Abscisa Estación	Corriente Nombre	Estructura pre-dimensionada
UF 2	1	k00+00	Quebrada	box 2*2
	2	k00+01	Quebrada	box 2*2
	3	k00+02	Quebrada	box 3*2
	4	k00+03	Quebrada	box 2*2
	5	k00+04	Quebrada	box 3*3-ponton
	6	k00+05	Quebrada	box 2*2
	7	k00+06	Quebrada	box 2*2
	8	k00+07	Quebrada	box 2*2
	9	k00+08	Quebrada	box 3*2

UF	Estación No	Abscisa Estación	Corriente Nombre	Estructura pre-dimensionada
	10	k00+09	Quebrada	box 2*2
	11	k00+10	Quebrada	box 2*2
	12	k00+11	Quebrada	box 2*2
	13	k00+13	Caño El Salado	box 3*3
	14	k00+14	Quebrada	box 3*3
	15	k00+15	Quebrada	box 2*2
	16	k00+16	Caño Las Pavas	box 2*2
	17	k00+17	Quebrada	box 3*2
	18	k00+18	Quebrada	box 3*2
	19	k00+19	Quebrada	box 3*3
	20	k00+20	Quebrada	box 2*2
	21	k00+21	Quebrada Tapazón	box 3*3 ponton
	22	k00+22	Quebrada	box 2*2
	23	k00+23	Quebrada	box 2*2
	24	k00+24	Quebrada	box 2*2
	25	k00+25	Quebrada Estrella Roja o Las Flores	box 3*3
	26	k00+26	Quebrada Fany	box 3*2
	27	k00+27	Quebrada	box 2*2
	28	k00+28	Quebrada	box 2*2
	29	k00+29	Quebrada	box 2*2
	30	k00+30	Quebrada	box 2*2
	31	k00+31	Quebrada	box 2*2
	32	k00+32	Quebrada	box 2*2
	33	k00+33	Quebrada	box 2*3
	34	k00+34	Quebrada	box 2*2
	35	k00+35	Quebrada Las Mirlas	box 3*2
	36	k00+36	Quebrada	box 3*2
	37	k00+37	Quebrada	box 3*2
	38	k00+38	Quebrada	box 2*2
	39	k00+39	Quebrada	box 2*2
	40	k00+40	Quebrada	box 3*2
UF 3/4	41	k00+41	Quebrada	box 2*2
	42	k00+46	Quebrada	box 2*2
	43	k00+47	Quebrada	box 2*2
	44	k00+48	Quebrada	box 2*2
	45	k00+49	Quebrada	box 3*2
	46	k00+50	Caño Los Puercos	box 3*2
	47	k00+52	Quebrada Maritales	box 3*2
UF 8	48	k00+00	Quebrada La Azufrada	box 3*3
	49	k00+01	Quebrada	box 2*2
	50	k00+02	Quebrada	box 3*2
	51	k00+03	Quebrada	box 2*2
	52	k00+04	Quebrada	box 2*2
	53	k00+05	Quebrada	box 3*2
	54	k00+06	Quebrada	box 3*2

UF	Estación No	Abscisa Estación	Corriente Nombre	Estructura pre-dimensionada
	55	k00+07	Quebrada	box 2*2
	56	k00+08	Quebrada	box 2*2
	57	k00+09	Quebrada El Trapiche	box 2*2
	58	k00+10	Quebrada	box 2*2
	59	k00+11	Quebrada	box 2*2
	60	k00+12	Quebrada	box 2*2
	61	k00+13	Quebrada	box 2*2
	62	k00+14	Quebrada	box 2*2
UF 9	63	k00+15	Quebrada	box 2*2
	64	k00+16	Quebrada	box 2*2
	65	k00+17	Quebrada	box 2*2
	66	k00+18	Quebrada Agua Dulce	box 3*2
	67	k00+19	Quebrada	box 3*3
	68	k00+20	Quebrada	box 3*3
	69	k00+21	Quebrada	box 2*2
	70	k00+22	Quebrada	box 3*3
	71	k00+23	Quebrada	box 4*3
	72	k00+24	Quebrada San Nicolás	box 2*2

Resultados del censo forestal en los ecosistemas transformados y ZODMES

Tipo de área	No. de Individuos	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)
Total Censo (ecosistemas Transformados)	7175	4600.61	1269.11
Total ZODMES	849	2036.2	493.97
Total	**8024**	**6636.8**	**1763.08**

Ubicación sitios solicitud permiso de emisiones atmosféricas

Id	Nombre	Predio	vereda	Municipio	CAR´s	MAGNA SIRGAS ORIGEN CENTRAL	
						Este	Norte
1	Planta trituración, concreto y asfalto puente la paz	BBY-UF_05_002	Marta	Giron	CDMB	1073114.28	1277727.70
2	Planta trituración, concreto y asfalto tienda nueva 1	BBY-UF_04_068	La Putana Sector Tienda Nueva	Betulia	CAS	1070641.68	1278958.74
3	Planta trituración, concreto y asfalto tienda nueva 2	BBY-UF_03_021	La Putana Sector Tienda Nueva	Betulia	CAS	1070405.25	1278787.83

4	Planta trituración, concreto y asfalto tienda nueva 3	BBY-UF_04_064	La Putana Sector Tienda Nueva	Betulia	CAS	1069276.53	1279587.29
5	Planta trituración, concreto y asfalto GRODCO	BBY-UF_07_001	El Cristal	Lebrija	CDMB	1092397.45	1278971.09
6	Planta trituración, concreto y asfalto túneles	BBY-UF_09_115	El Cristal	Lebrija	CDMB	1083060.80	1286639.70
7	Planta trituración, concreto y asfalto túneles	BBY-UF_09_106/ BBY-UF_09_115/ BBY-UF_09_106	Santo Domingo/ San Nicolás Bajo	Lebrija	CDMB	1083110.10	1286697.40

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

7.1 AGUAS SUPERFICIALES

En el proyecto Ruta del Cacao, no se solicitara concesiones de agua, tanto para la construcción así como tampoco para consumo humano y doméstico. Lo anterior, se suplirá con un tercero debidamente constituido y que cuente con el permiso de concesión de aguas para la venta en bloque para uso industrial, el agua para consumo humano se comprara agua en bolsa y botellones. En el anexo F3 se presenta la certificación de la Empresa Aguas de Barrancabermeja ESP, donde se consta que dicha empresa de servicios públicos demandara el recurso hídrico necesario para la construcción del proyecto mencionado. Una vez se inicie la construcción, el agua se ira requiriendo y almacenando en tanques en fibra de vidrio de 2000 litros, de marcas comerciales, debidamente ubicados en sitios estratégicos para el proyecto. Se anexaran las constancias de compra del recurso y se llevaran las bitácoras correspondientes. Por lo tanto no se dará cumplimiento al Decreto 1541 de 1978.

Una de las principales empresas consideradas en el proceso de revisión de posibles proveedores del recurso hídrico para suplir la demanda de agua en el tramo de estudio, es la Empresa Aguas de Barrancabermeja ESP.

7.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para el desarrollo del proyecto vial Bucaramanga-Barrancabermeja-Yondo no se realizará aprovechamiento de aguas subterráneas.

7.3 VERTIMIENTOS

- **Para vertimientos en cuerpos de agua residual Industrial**

Se solicita la disposición de aguas residuales industriales, previamente tratadas y dando cumplimiento a la normatividad vigente, generadas durante las etapas de construcción del proyecto Bucaramanga - Barrancabermeja - Yondó mediante el siguiente sistema:

- **Vertimiento directo en el río Sucio y quebrada La Caimana**

A continuación se presentan de forma detallada las condiciones del sistema de vertimiento propuesto; así como la caracterización típica de las aguas residuales industriales provenientes del proyecto, su actividades generadoras, caudales a verter, longitud de influencia del vertimiento, capacidad de asimilación de las fuentes receptoras, la descripción general del sistemas de tratamiento necesarios para disminuir la carga contaminante a disponer sobre los cuerpos receptores y la modelación en QUAL2K del vertimiento, según lo estipulado en la normatividad colombiana (Resolución 0631 de 2015 y el Decreto 3930 de 2010) y la Resolución 751 de 2015.

- **Actividades generadora**

Durante la fase de construcción se realizará la perforación de dos túneles: La Paz (entrada del túnel en el K88 + 761 y salida en el K92+280) y La Sorda (entrada al túnel K93+115 y salida en el K95+555); los cuales tendrán una longitud de 3.166 m y 2.196 m, respectivamente. Dicha actividad generará aguas residuales provenientes de los equipos de perforación y voladura y el afloramiento de aguas subterráneas dentro de los túneles. La construcción del túnel La Paz tiene una duración aproximada de 48 meses y el túnel La Sorda tiene una duración aproximada de 42 meses.

- **Características de puntos de vertimiento a solicitar**

Para esta alternativa se tiene contemplado el vertimiento de aguas residuales industriales tratadas en cuerpos de agua superficial. Dichos vertimientos se harán sobre la quebrada La Caimana y el río Sucio, la selección se realizó teniendo en cuenta la proximidad a los sitios de generación y capacidad de mezcla, transporte y asimilación de los vertimientos (reaireación).

Otros aspectos que se tuvieron en cuenta en la definición de los puntos 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 7-2 se muestra la ubicación georeferenciada de los puntos de vertimiento y adicionalmente en la Figura 7-1 se puede apreciar la ubicación espacial de los mismos. Se solicita una franja de vertimiento de 100 m (50 m aguas arriba y 50 m aguas debajo de las coordenadas mostradas).

Tabla 7-2 Ubicación de puntos de vertimiento sobre cuerpos de agua superficial

Fuente	COORDENADA CENTRAL DE LA FRANJA MAGNA-SIRGAS DATUM BOGOTÁ		Municipio/ Vereda	Usos y usuarios
	Este	Norte		
Río Sucio	1.079.598,15	1.288.397	Lebrija / El Líbano El Cristal	No se identificaron usuarios aguas abajo del punto de vertimiento
Quebrada La Caimanera	1.083.243,09	1.286.594	Lebrija / La Girona	No se identificaron usuarios aguas abajo del punto de vertimiento

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

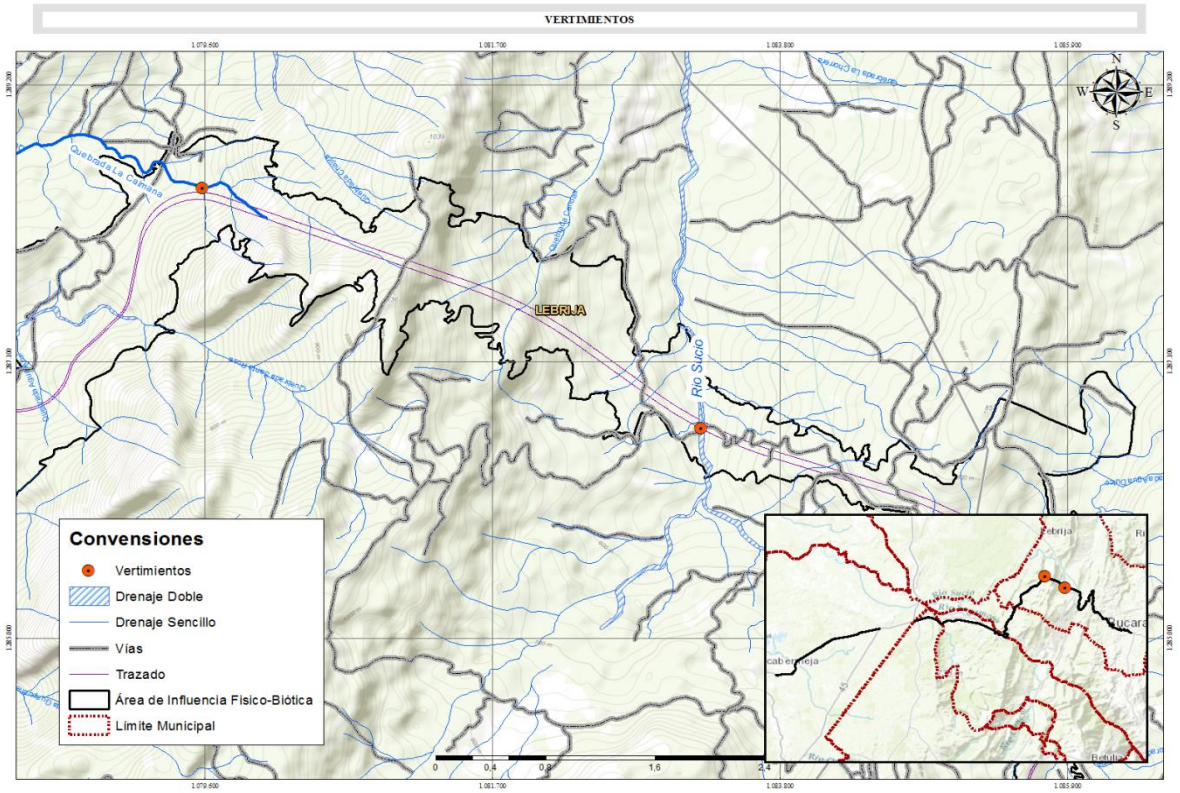
- **Caudal a verter sobre el río Sucio**

En el Informe final de estudios y diseños estructuración corredor vial Bucaramanga - Barrancabermeja - Yondó de 2013 se proyecta un caudal menor a 10 l/s por la excavación del túnel La Sorda. Dicho caudal está en función de la longitud del túnel y de las características litológicas, dada la baja porosidad y conductividad hidráulica de este tipo de rocas. Con base en lo anterior, se tomó un caudal conservador de 30 l/s generados durante la etapa de construcción para efectos de la estimación de la capacidad de asimilación sobre el río Sucio. (MinTransporte y ANI, 2013)

- **Caudal a verter sobre la quebrada La Caimana**

En el Informe final de estudios y diseños estructuración corredor vial Bucaramanga - Barrancabermeja - Yondó de 2013 se proyecta un cardal mayor a 30 l/s por la excavación del túnel La Paz. Dicho caudal está en función de la longitud del túnel y de las características litológicas, dada la alta porosidad y conductividad hidráulica de este tipo de rocas. Con base en lo anterior, se tomó un caudal conservador de 50 l/s generados durante la etapa de construcción para efectos de la estimación de la capacidad de asimilación sobre la quebrada La Caimana. (MinTransporte y ANI, 2013)

Figura 7-1 Ubicación espacial de punto de vertimientos propuestos para el proyecto



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- **Para vertimientos en cuerpos de agua residual Domestica**

Los vertimientos son de tipos industrial únicamente, las aguas residuales domésticas de los campamentos generadas por el uso de baños portátiles se entregarán a las empresas prestadoras de servicios de alquiler y mantenimiento para su tratamiento y correcta disposición final, estas empresas deben contar con el permiso vigente de la autoridad ambiental para la prestación de estos servicios.

- **Aspectos normativos**

En cuanto a aspectos normativos, las normas que se tuvo en cuenta son aquellas asociadas con vertimientos y conservación del recurso. En este numeral se presentan las consideradas en el análisis.

- Decreto 1594 de 1984: En cuanto a usos del agua y residuos líquidos, derogado por el Art. 79 Decreto Nacional 3930 de 2010, salvo los Art. 20 y 21 referentes a los límites máximos permisibles.
- Decreto 3930 de 2010: En cuanto a usos del agua y residuos líquidos, Capítulo III Del ordenamiento del recurso. Capítulo VII De la obtención de los permisos de vertimiento y planes de cumplimiento.
- Resolución 0631 de 2015: Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones
- Resolución 0751 de 2015: Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA, requeridos para el trámite de la licencia ambiental de los proyectos de construcción de carreteras y/o de túneles con sus accesos y se toman otras determinaciones.
- Metodología para la definición de la longitud de influencia del vertimiento sobre corrientes de agua superficial (Anexo F3), expedida por La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA-.

A continuación se presenta el desarrollo de los requerimientos de los Términos de referencia (Resolución 0751 de 2015) para la solicitud del permiso de vertimientos sobre el río Sucio y quebrada La Caimanera.

- **Longitud de influencia del vertimiento**

Para la estimación de la longitud del tramo de modelación se implementó la "Metodología para la definición de la longitud de influencia de vertimientos sobre corrientes de agua superficial" de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -. ANLA- Enero de 2013. Donde se presentan los criterios y lineamientos que deben seguir para definir la longitud de influencia (LIV) de vertimientos directos de aguas residuales domésticas y/o industriales sobre cuerpos de agua superficiales en proyectos, obras o actividades sujetos a licenciamiento ambiental por parte de la ANLA. Los criterios utilizados para la definición de la LIV se refieren a aspectos hidrológicos, hidráulicos y de la calidad del agua de los

cuerpos receptores; estos permitirán definir la longitud sobre la corriente receptora aguas abajo del punto de vertimiento que se considera directamente afectada por la descarga de las aguas residuales del proyecto, obra o actividad. El instrumento que se utilizará para el cálculo de dicha longitud es el factor de asimilación de la corriente requerido para que esta recupere sus condiciones de calidad del agua sin vertimiento o para que se alcancen aguas abajo los objetivos y metas de calidad dispuestos por la autoridad ambiental competente (en caso de que estén definidos). La longitud de influencia directa estimada corresponderá al tramo total sobre la corriente que deberá considerarse para la modelación de su capacidad de asimilación y sobre el cual el usuario deberá hacer seguimiento durante el desarrollo del proyecto en caso de que el permiso correspondiente sea otorgado (ANLA, 2013).

Los pasos para la estimación de la LIV son: estimación del caudal ambiental, caracterización hidráulica del cuerpo receptor, caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor y del vertimiento y por último, cálculo del factor de asimilación y de la longitud de influencia directa.

- ✓ **Definiciones**

Caudal ambiental (Q_{amb}): volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de una fuente.

Carga contaminante (W): cantidad de sustancia contaminante por unidad de tiempo. Se calcula como el producto entre el caudal vertido Q_v y la concentración de la sustancia contaminante vertida c_v. Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$W = Q_V \times c_v$$

Factor de asimilación (a): razón entre la carga del contaminante W a la entrada del tramo y la concentración resultante aguas abajo c sobre el cuerpo receptor.

$$a = \frac{W}{c}$$

Tiempo de arribo (τ): tiempo que tarda una sustancia disuelta en ser conducida exclusivamente por el movimiento del medio solvente (advección). Se puede estimar a partir de ensayos con trazadores o aproximadamente como la razón entre la longitud del tramo L y la velocidad máxima del agua v_{max} en la sección transversal de la corriente.

$$\tau = \frac{L}{v_{max}}$$

Tiempo medio de viaje ($\bar{t}$): tiempo que tarda una sustancia disuelta en ser conducida por el movimiento del medio y ser dispersada. Se puede estimar a partir de ensayos con trazadores o aproximadamente como la razón entre la longitud del tramo L y la velocidad media del agua $\bar{v}$.

$$\bar{t} = \frac{L}{\bar{v}}$$

Tiempo de residencia (T_r): tiempo que tarda una sustancia disuelta en ser dispersada por efecto de las zonas muertas o almacenamiento temporal y la dispersión longitudinal de la corriente principal. Se calcula como la diferencia entre el tiempo medio de viaje y el tiempo de arribo.

$$T_r = \bar{t} - \tau$$

Fracción dispersiva (DF): representa la fracción del volumen total del tramo que participa en el flujo que se considera completamente mezclada, o la fracción del tiempo de retención en el cual la sustancia disuelta es dispersada. Un valor de DF de 0 representa advección pura y de 1, dispersión pura. Se puede estimar a partir de ensayos con trazadores de la siguiente forma:

$$DF = 1 - \frac{\tau}{\bar{t}}$$

También se puede estimar, de manera aproximada, utilizando las velocidades medias $\bar{v}$ y máximas v_{max} del agua medidas en la sección transversal en el tramo de la corriente:

$$DF = 1 - \frac{\bar{v}}{v_{max}}$$

- ✓ **Estimación caudal medio**

Siguiendo la metodología del balance hídrico de Thorntwaite, a nivel de discretización mensual (Largo Plazo), y teniendo en cuenta los valores de precipitación y los valores de evapotranspiración potencial, se calculó tanto la reserva de humedad del suelo como el déficit y el excedente de la misma humedad, teniendo en cuenta una capacidad de almacenamiento de humedad del suelo de 100 mm.

Thornthwaite propuso que el 50 % del excedente de agua de un mes específico se escurre hacia los ríos durante el mes de cuestión y el resto se infiltra hacia las capas profunda. De esta manera la escorrentía superficial en (mm) mes a mes se estima a partir de la siguiente expresión:

$$Escorr_{(i)} = 0.5 \times \left[Escorr_{(i-1)} + Exc_{(i)} \right]$$

Dónde: q

$Escorr_{(i)}$: escorrentía del mes (i), mm
$Escorr_{(i-1)}$: escorrentía del mes (i-1), mm
$Exc_{(i)}$: Es el agua que excede de la reserva máxima, mm.

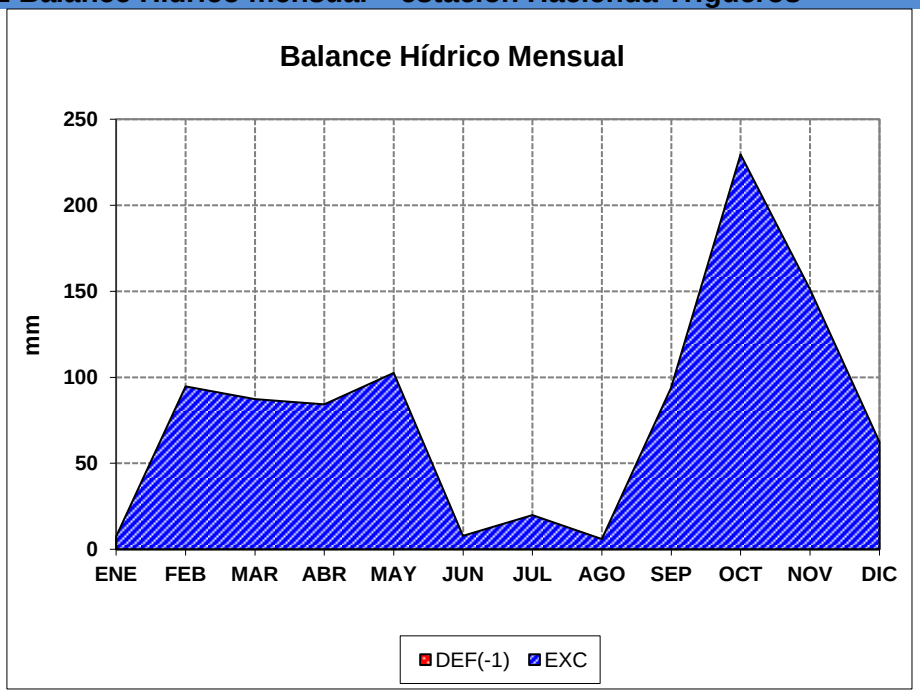
De acuerdo con el análisis climatológico, la estación con mayor influencia en la zona de estudio es la estación Hacienda Trigueros. Los resultados del balance hídrico se muestran en la **Tabla 7-3** y en la **Figura 7-2**.

Tabla 7-3 Balance Hídrico a nivel mensual de largo plazo – estación Hacienda Trigueros

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P (mm)	82,5	164,6	170,1	160,70	187,20	89,80	105,60	88,30	173,30	293,90	224,60	137,60	1878,20
T (°c)	20,3	20,50	21,00	20,40	20,90	20,8	20,90	20,6	20,70	18,70	20,30	20,30	20,45
ETP (mm)	75,04	69,90	82,78	76,40	84,60	81,8	85,64	82,2	79,30	64,30	73,50	75,15	930,72
P - ETP (mm)	7,46	94,70	87,32	84,30	102,60	7,93	19,96	6,04	94,00	229,60	151,10	62,45	947,48
RHS (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1200
VR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ETR	75,04	69,90	82,78	76,40	84,60	81,87	85,64	82,26	79,30	64,30	73,50	75,15	930,72
Déficit (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Exc. (mm)	7,46	94,70	87,32	84,30	102,60	7,93	19,96	6,04	94,00	229,60	151,10	62,45	947,48
Escorr. (mm)	56,16	75,43	81,38	82,84	92,72	50,33	35,15	20,59	57,30	143,45	147,28	104,87	947,48

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Figura 7-2 Balance Hídrico mensual – estación Hacienda Trigueros

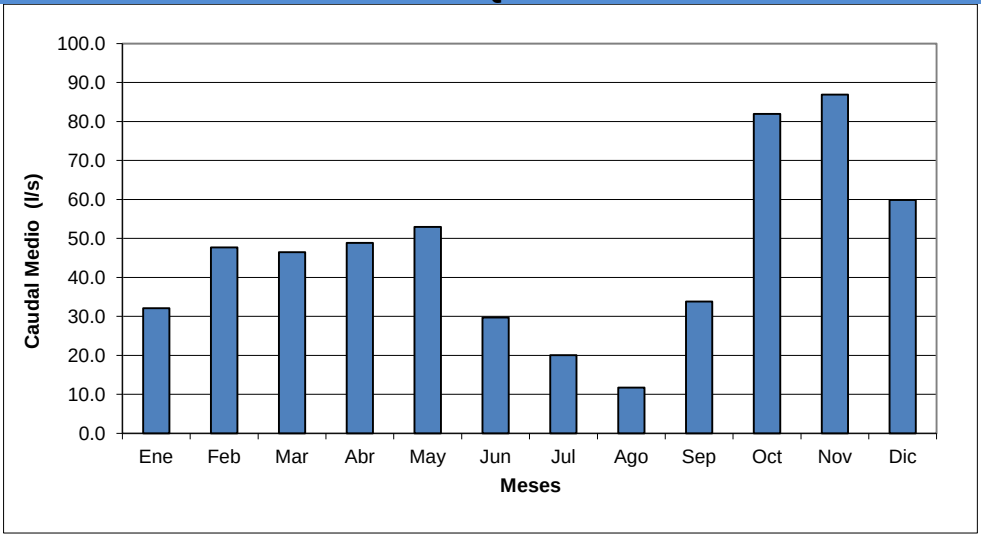


Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Así, a partir del área de la cuenca hasta el sitio de cruce, y con el dato de escorrentía resultado del balance hídrico, se obtiene el caudal medio en cada sitio.

La representación gráfica del comportamiento de los caudales en la quebrada La Caimana y río Sucio se indican en las **Figura 7-3** y **Figura 7-4**, y **Tabla 7-4** y **Tabla 7-5**.

Figura 7-3 Caudales medios mensuales – Quebrada La Caimana



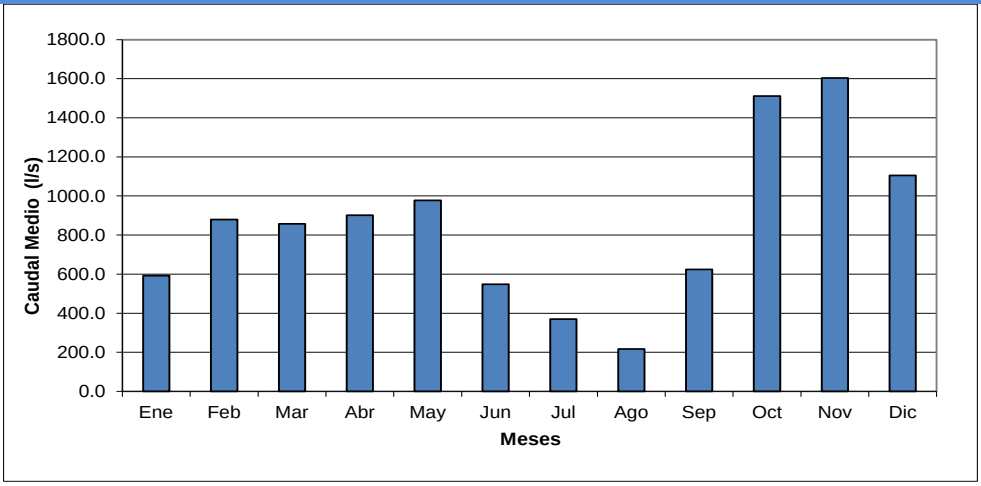
Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Tabla 7-4 Caudales medios mensuales (l/s) – Quebrada La Caimana

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANU
32,0	47,6	46,4	48,8	52,9	29,6	20,0	11,7	33,8	81,9	86,9	59,8	45,95

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Figura 7-4 Caudales medios mensuales – Río Sucio



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Tabla 7-5 Caudales medios mensuales (l/s) – Río Sucio

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
591,69	879,84	857,33	901,80	976,82	547,88	370,27	216,96	623,77	1511,31	1603,34	1104,80	847,79

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Estimación Caudales ambientales**

En Colombia la metodología para la estimación del caudal ecológico de cuencas se encuentra definida en la Resolución No. 0865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el cual el caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua. Este método fue desarrollado por el IDEAM y acogido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, como procedimiento general en el territorio nacional.

Existen diversas metodologías para conocer los caudales ecológicos:

- Hidrológicas: Se basan en el comportamiento de los caudales en los sitios de interés, para lo cual es necesario el conocimiento de series históricas de caudales.
- Hidráulicas: Consideran la conservación del funcionamiento o dinámica del ecosistema fluvial a lo largo de la distribución longitudinal del río, es decir que el caudal de reserva que se deje en los distintos tramos permita que el río siga comportándose como tal.
- Simulación de los hábitats: Estiman el caudal necesario para la supervivencia de una especie en cierto estado de desarrollo.
- Mínimo histórico: El Estudio Nacional del Agua (2000) a partir de curvas de duración de caudales medios diarios, propone como caudal mínimo ecológico el

caudal promedio multianual de mínimo 5 a máximo 10 años que permanece el 97,5% del tiempo y cuyo periodo de recurrencia es de 2,33 años.

- Porcentaje de Descuento: El IDEAM ha adoptado como caudal mínimo ecológico un valor aproximado del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

De acuerdo con lo anterior, el caudal mínimo ecológico se calcula a partir de la estimación de Balance Hídrico para la cuenca en análisis y con los registros de precipitación y temperatura de la estación Hacienda Trigueros. En las Tabla 7-6 y Tabla 7-7 se muestran los caudales mínimos calculados.

Tabla 7-6 Caudales mínimos mensuales (l/s) – Quebrada La Caimana

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
8,02	11,92	11,62	12,22	13,24	7,42	5,02	2,94	8,45	20,48	21,73	14,97	11,49

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para el caso de la quebrada La Caimana el caudal ambiental utilizado para estimar la longitud de influencia del vertimiento (LIV) será de 2,94 l/s, el cual corresponde al caudal del mes más seco de la serie de caudales (**Tabla 7-6**).

Tabla 7-7 Caudales mínimos mensuales (l/s) – Río Sucio

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
147,92	219,96	214,33	225,45	244,21	136,97	92,57	54,24	155,94	377,83	400,84	276,20	211,95

- Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para el caso del río Sucio el caudal ambiental utilizado para estimar la longitud de influencia del vertimiento (LIV) será de 54,24 l/s, el cual corresponde al caudal del mes más seco de la serie de caudales (**Tabla 7-7**).

- ✓ **Caracterización hidráulica de las corrientes**

La caracterización hidráulica del río Sucio y quebrada La Caimana consiste en determinar las características hidrodinámicas de las corrientes en un tramo de aproximadamente 500 metros, bajo diferentes condiciones de caudal. Para secciones transversales representativas se realizó la modelación hidráulica en el programa HEC-RAS, utilizando como insumos los secciones transversales tomadas de la imagen LIDAR 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 corresponden 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.

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 del río Sucio y la quebrada La Caimana 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 de la imagen LIDAR. Los coeficientes de fricción se estimaron con base en las observaciones de campo en cada uno de los sitios y la experiencia de los consultores en este tipo de trabajos.

Adoptando estos criterios de calibración se estimaron valores de rugosidad (n) en el lecho de 0,075 para río Sucio y 0,085 para la quebrada Caimana Estos valores resultan consistentes con las condiciones de la corriente según valores recomendados.

- ✓ **Descripción general del modelo Hec-Ras**

En este numeral se describe la principal herramienta utilizada en la estimación de los perfiles de flujo gradualmente variado necesarios para el diseño hidráulico, es decir, el modelo HEC-RAS versión 4.10. Este modelo se utiliza con el fin de estimar los perfiles de flujo en un canal natural o artificial. El programa aplica el método estándar por pasos para el cálculo de los cambios en el nivel del agua entre secciones contiguas de los cauces con base en las pérdidas de energía del flujo.

El cálculo comienza en uno de los extremos del canal y procede sección a sección hasta alcanzar el otro extremo. En las secciones determinadas por estructuras hidráulicas, como por ejemplo los puentes, las condiciones hidráulicas son más complejas, y obligan a que los cambios en el perfil se calculen con base en las ecuaciones de momentum, energía o aproximaciones de carácter empírico.

La metodología incorporada en el modelo se basa en varias suposiciones que simplifican un fenómeno complejo, como el que pretende modelar. Los resultados del modelo, si se tiene conciencia de sus limitantes y suposiciones básicas son satisfactorios para fines prácticos. Las suposiciones fundamentales del modelo son:

- Flujo permanente
- Flujo gradualmente variado
- Flujo unidimensional. El programa utiliza el factor de corrección de Coriolis para tener en cuenta la heterogeneidad en la distribución de velocidades.
- Canales de baja pendiente, hasta del 10%.
- Pendiente de la línea de energía constante entre secciones adyacentes.
- Lecho rígido

Las pérdidas de energía ocasionadas por la fricción del agua con el perímetro mojado de las secciones, las determina el programa como el producto de la pendiente media de la línea de energía y la longitud ponderada con base en los caudales por las sobrebancas y el canal entre secciones. Las pérdidas locales por contracciones o expansiones, las calcula como un porcentaje del cambio de la cabeza de velocidad entre las secciones.

Las ecuaciones básicas para la determinación de las pérdidas de energía son las siguientes:

$$h_e = L\overline{S_f} + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^{\,2}}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^{\,2}}{2g}\right|$$

$$\overline{S_f} = \left(\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{K_1 + K_2 + K_3}\right)^2$$

$$L = \frac{L_{lov}\overline{Q_{lov}} + L_{ch}\overline{Q_{ch}} + L_{rov}\overline{Q_{rov}}}{\overline{Q_{lov}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rov}}}$$

Dónde:
h_e: Pérdidas en la cabeza de energía
S_f: Pendiente de fricción representativa entre secciones contiguas.
C: Coeficiente de expansión o contracción.
L: Distancia ponderada entre secciones.
a_1 y a_2: Coeficiente de corrección para la velocidad media de flujo.
L_{lov}, L_{ch} y L_{rov}: Distancias entre las secciones transversales por la banca izquierda, por el canal y por la banca derecha, respectivamente.
Q_{lov}, $\overline{Q}_{ch}$ y $\overline{Q}_{rov}$: Promedio aritmético de los caudales entre secciones entre las secciones transversales por la banca izquierda, por el canal y por la banca derecha.
V_1 y V_2: Velocidades medias de las secciones contiguas. Estas velocidades se determinan con base en la ecuación de Manning, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde R es el radio hidráulico, n el coeficiente de rugosidad de Manning y S la pendiente de la línea de energía. El programa puede ser utilizado con las variables definidas en el sistema inglés o en el sistema internacional. En este caso se trabajó con el sistema internacional.

La información con la cual se alimenta el programa consta de la geometría transversal de las corrientes en estudio, dentro de la cual se incluyen las secciones topográficas, las distancias entre las secciones por el eje central del canal y las márgenes izquierda y derecha, los coeficientes de rugosidad de Manning (los cuales pueden variar transversalmente en la sección), los coeficientes de pérdidas locales, las obstrucciones al flujo, zonas de flujo inefectivo, las cotas, localización de las coronas de diques y las estructuras especiales (si aplica) como puentes o coberturas; los caudales para los cuales se desee estimar los perfiles de flujo y las condiciones de frontera, que pueden ser una curva de calibración, niveles conocidos del agua, las pendientes de fondo de los canales o la profundidad crítica, en las secciones aguas arriba, aguas abajo o ambas, dependiendo si se van a calcular perfiles supercríticos, subcríticos o mixtos respectivamente.

Topografía

La topografía disponible para los efectos de este estudio proviene de un levantamiento topográfico especialmente efectuado con motivo de éste y cuyo sistema de referencia en relación con las cotas corresponde al mismo utilizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Dentro de los perfiles levantados se incluyen todas las secciones singulares de los cauces de las corrientes en los tramos de los vertimientos, aguas arriba y aguas abajo con sus respectivas riberas de inundación.

Coeficientes de rugosidad

Las corrientes en estudio, en los tramos de interés, mantienen una sección transversal de similares características, en la que se distingue un cauce principal y riberas de inundación. El cauce principal está en general bien conformado, con secciones transversales relativamente regulares, con material de transporte en el lecho de gran tamaño y poca vegetación en su interior. Las riberas de inundación, por su parte, poseen más vegetación tipo matorral y se observan más irregulares.

Conforme a lo anterior, para todas las secciones transversales involucradas en el cálculo hidráulico se utilizarán los siguientes coeficientes de rugosidad:

Río Sucio

- Cauce principal : n = 0,075
- Riberas de inundación : n = 0,06

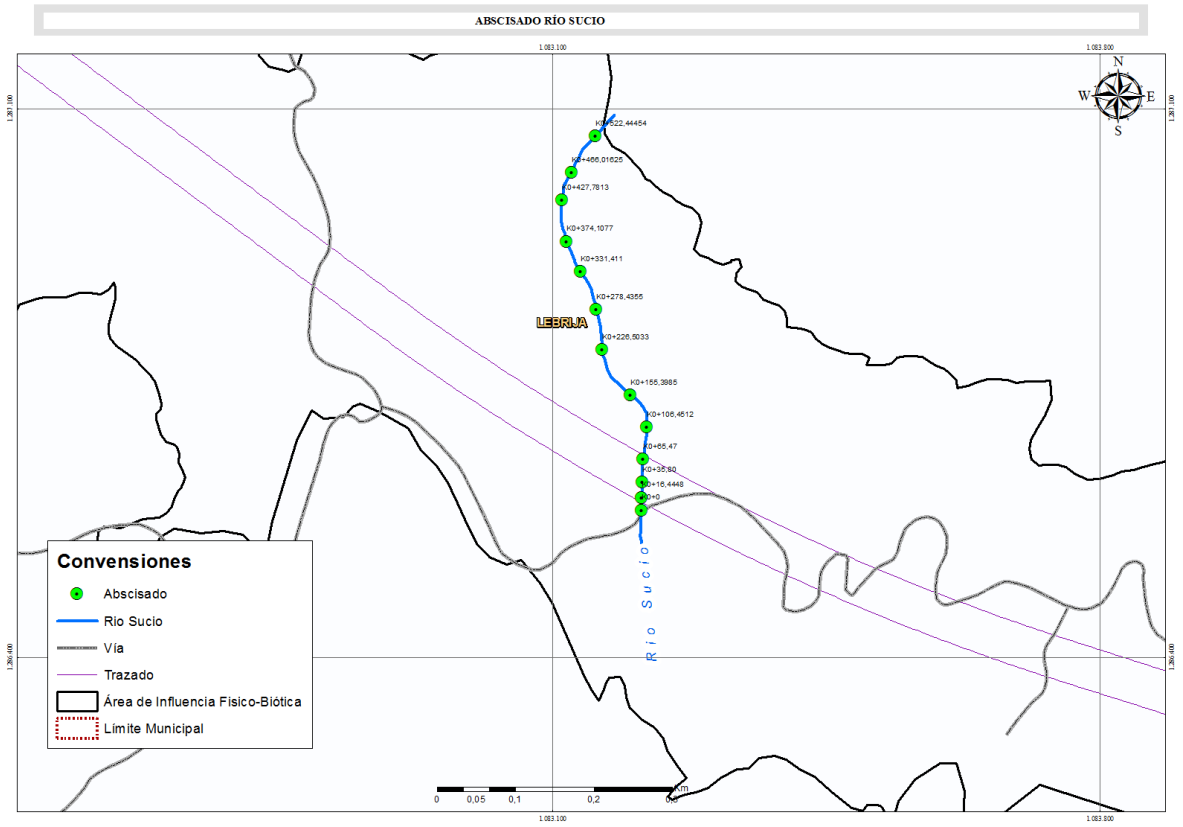
Quebrada Caimana

- Cauce principal : n = 0,085
- Riberas de inundación : n = 0,08

Resultados del modelo Hec-Ras - Río Sucio

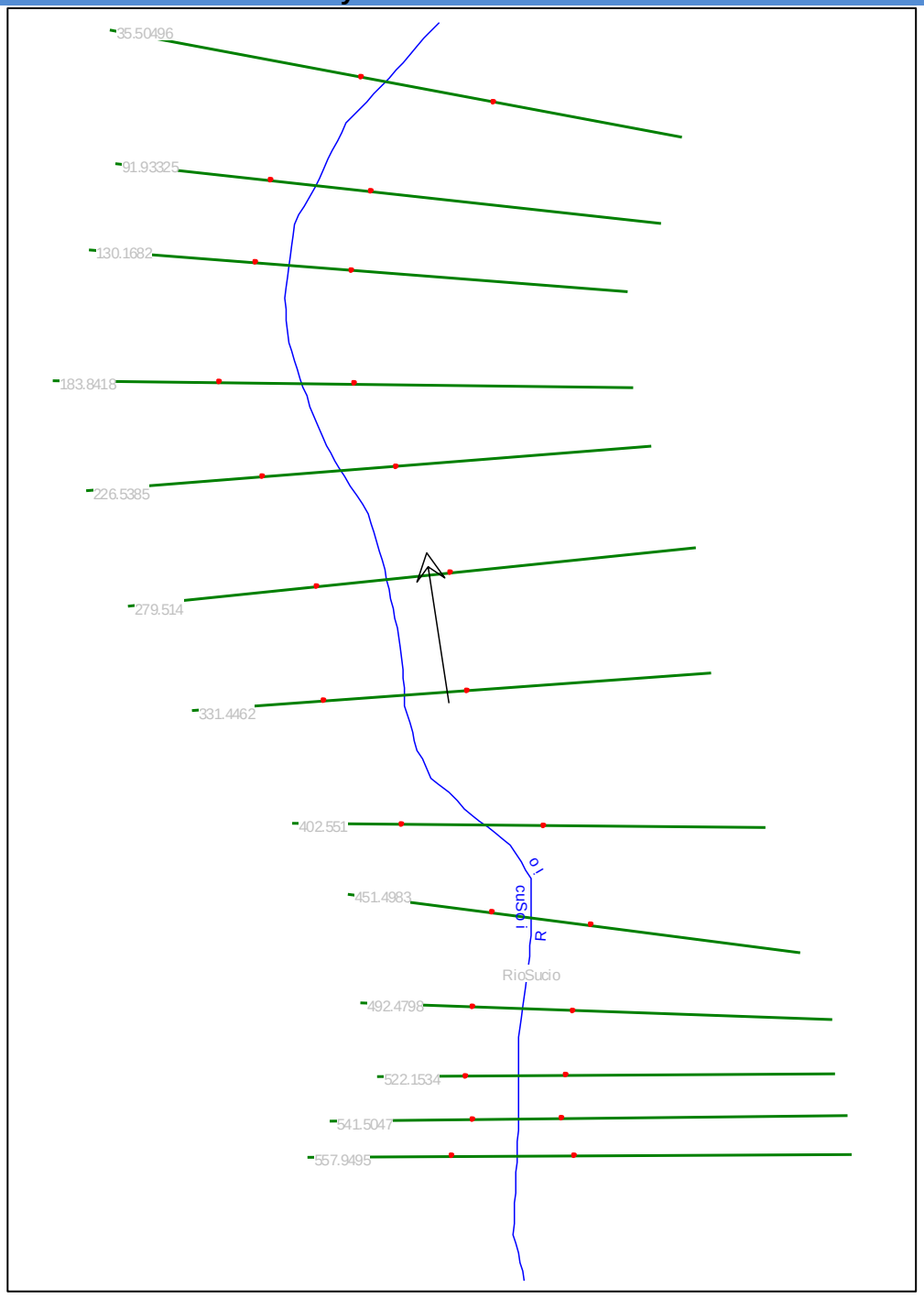
A continuación se presentan la ubicación espacial de los perfiles transversales y del vertimientos para la realización de la modelación hidráulica para escenarios analizados en diferentes condiciones de caudal (Figura 7-5). Adicionalmente se muestra el trazado modelado del río (**Figura 7-6**).

Figura 7-5 Ubicación de secciones transversales sobre el río Sucio



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Figura 7-6 Tramo de modelación y secciones transversales del río Sucio



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Para efectos de la modelación hidráulica y del vertimiento los caudales utilizados se muestran en la Tabla 7-8.

Tabla 7-8 Caudales utilizados para la modelación hidráulica y del vertimiento sobre el río Sucio

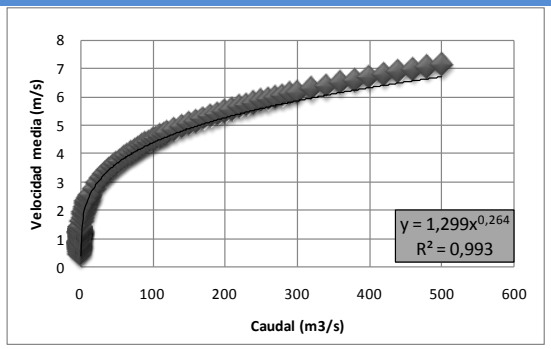
m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
0,01	0,45	1,65	35,00	190,00
0,02	0,50	1,70	40,00	200,00
0,03	0,55	1,75	45,00	210,00
0,04	0,60	1,80	50,00	220,00
0,05	0,65	1,85	55,00	230,00
0,06	0,70	1,90	60,00	240,00
0,07	0,75	1,95	65,00	250,00
0,08	0,80	2,00	70,00	260,00
0,09	0,85	3,00	75,00	270,00
0,10	0,90	4,00	80,00	280,00
0,11	0,95	5,00	85,00	290,00
0,12	1,00	6,00	90,00	300,00
0,13	1,05	7,00	95,00	320,00
0,14	1,10	8,00	100,00	340,00
0,15	1,15	9,00	105,00	360,00
0,16	1,20	10,00	110,00	380,00
0,17	1,25	11,00	115,00	400,00
0,18	1,30	12,00	120,00	420,00
0,19	1,35	13,00	130,00	440,00
0,20	1,40	14,00	140,00	460,00
0,25	1,45	15,00	150,00	480,00
0,30	1,50	20,00	160,00	500,00
0,35	1,55	25,00	170,00	
0,40	1,60	30,00	180,00	

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

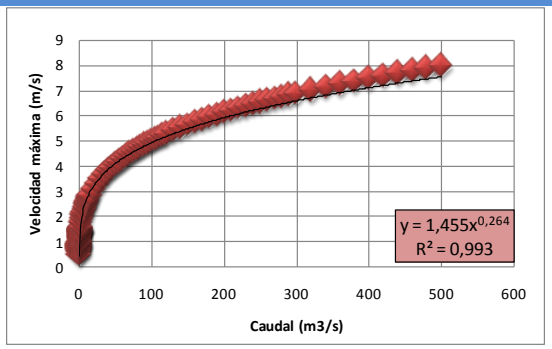
Como parte de la interpretación de los resultados de modelación hidráulica se presenta las curvas de calibración de diferentes características hidrodinámicas, tales como velocidad media, velocidad máxima, profundidad, ancho superficial, perímetro mojado y área transversal, en las diferentes secciones transversales modeladas. Dichas curvas de calibración pertenecen a la sección del punto de vertimiento y tiene como función ajuntar una línea de tendencia que permita determinar características de la corriente a diferentes condiciones de caudal. En la Figura 7-7 se presenta las funciones que describe el comportamiento de los puntos graficados y el coeficiente de correlación r. En total se

modelaron 13 secciones, las cuales sirven como insumo para el modelo QUAL2K, que se presenta más adelante.

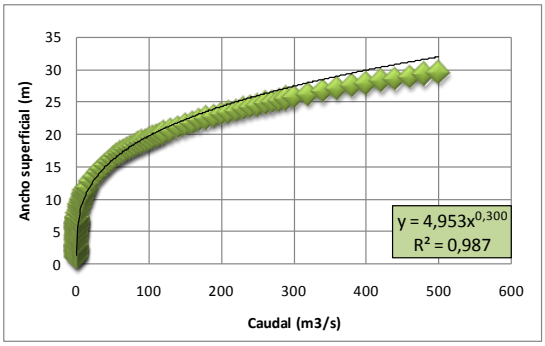
Figura 7-7 Curvas de calibración en función del caudal - Sección sobre el punto de vertimiento - río Sucio



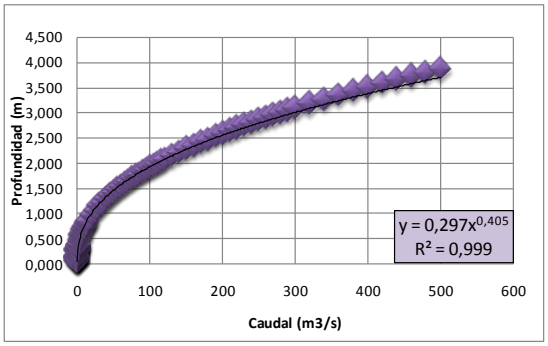
a. Velocidad media vs. Caudal



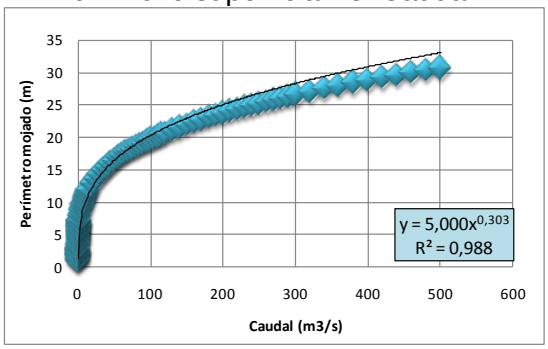
b. Velocidad máxima vs. Caudal



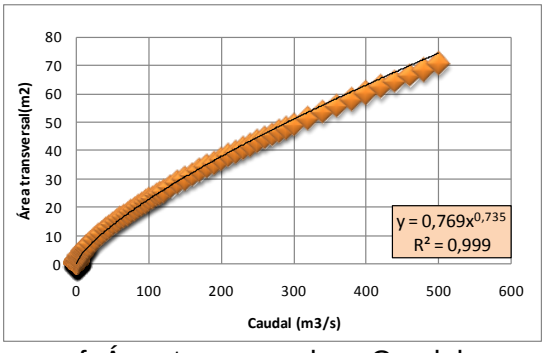
c. Ancho superficial vs. Caudal



d. Profundidad vs. Caudal



e. Perímetro mojado vs. Caudal



f. Área transversal vs. Caudal

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2014

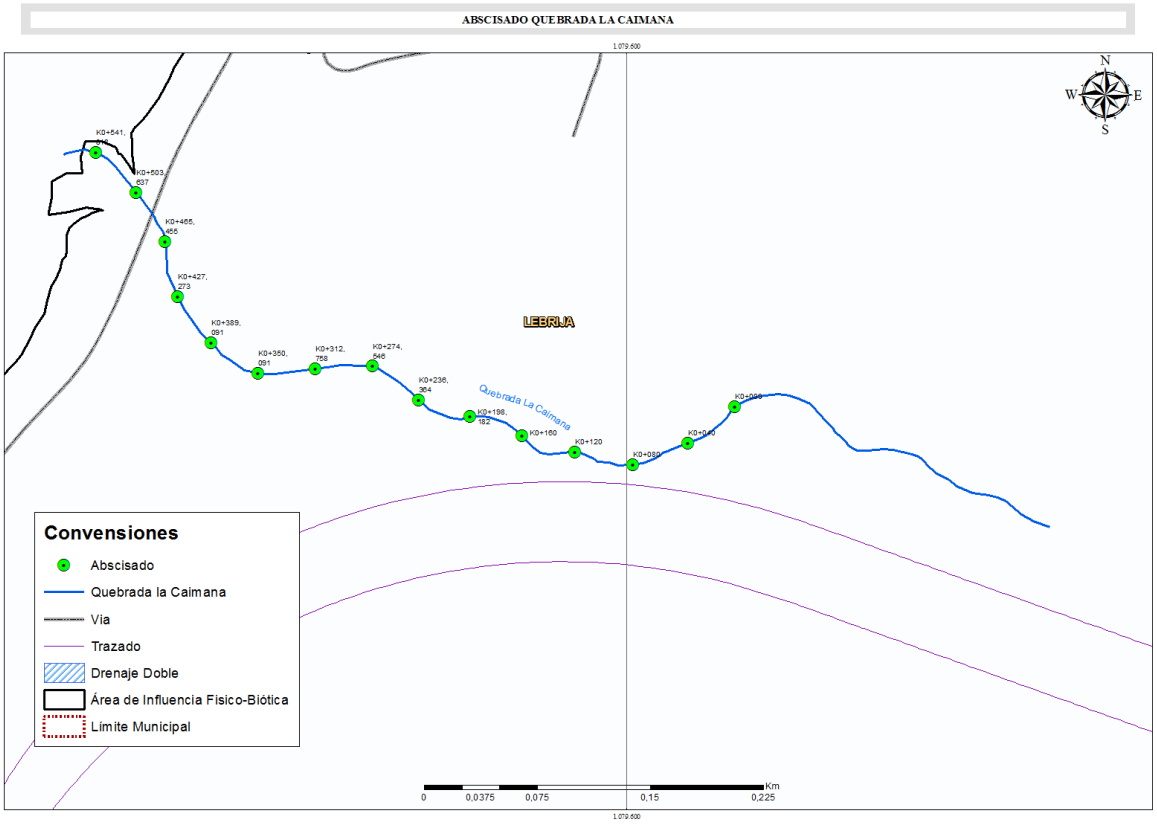
La secciones transversales cumplen con el propósito de modelar el comportamiento del río en un tramo de 560 metros aproximadamente. El río pertenece a una corriente de montaña lo cual hace que la velocidad con el cambio del caudal aumente debido a que la alta pendiente, le proporciona energía al agua. Es corriente se caracteriza por poseer rocas de tamaños importante que le agregan turbulencia al agua permitiendo que cargas adicionales se mezclen rápidamente en la sección transversal y longitudinal. Los coeficientes de correlación obtenido están por encima de 0,9 representando un muy buen

ajuste de la línea de tendencia a la curva.

- **Resultados del modelo HEC - RAS -Quebrada La Caimana**

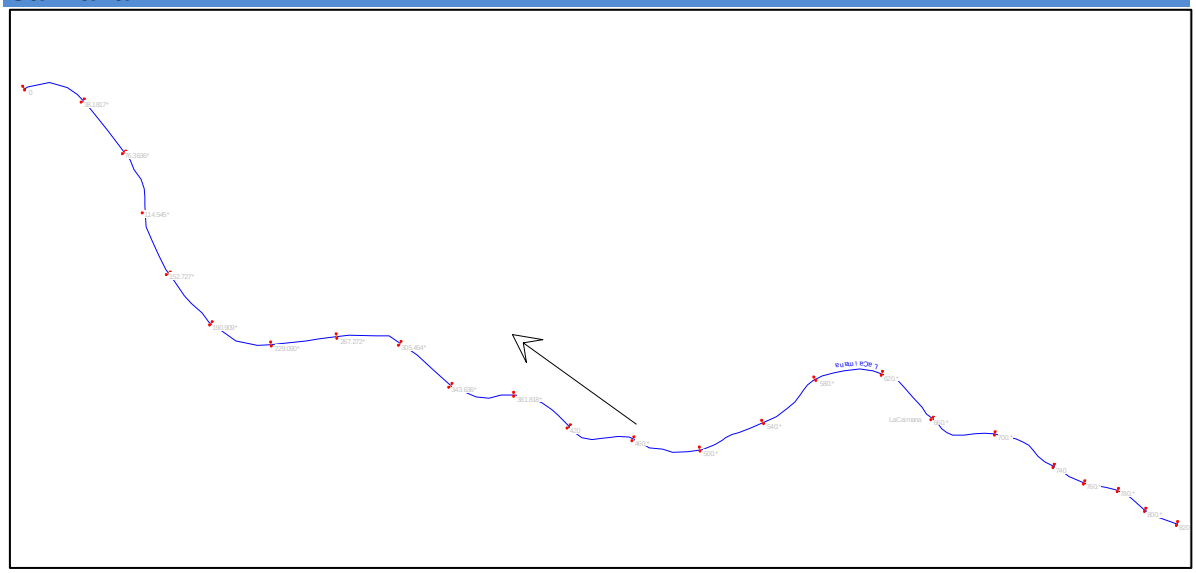
A continuación se presentan la ubicación espacial de los perfiles transversales y del vertimiento para la realización de la modelación hidráulica con diferentes condiciones de caudal (**Figura 7-8**). Adicionalmente se muestra el trazado modelado del río (**Figura 7-9**).

Figura 7-8 Ubicación de los perfiles transversales sobre la quebrada la Caimana



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2014

Figura 7-9 Tramo de modelación y secciones transversales de la quebrada la Caimana



Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2014

Para efectos de la modelación hidráulica y del vertimiento los caudales utilizados se muestran en la **Tabla 7-9**.

Tabla 7-9 Caudales utilizados para la modelación hidráulica y del vertimiento sobre la quebrada La Caimana

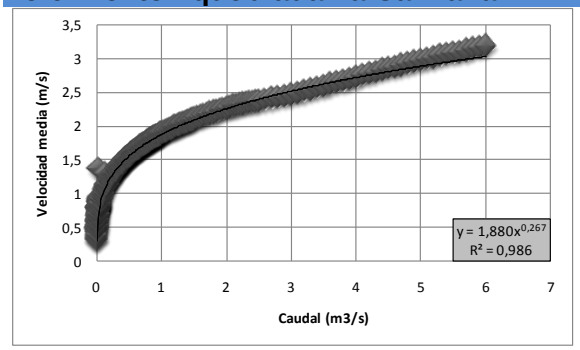
m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
0,001	0,04	0,25	0,64	1,075	2,7
0,002	0,041	0,26	0,65	1,1	2,8
0,003	0,042	0,27	0,66	1,125	2,9
0,004	0,043	0,28	0,67	1,15	3
0,005	0,044	0,29	0,68	1,175	3,1
0,006	0,045	0,3	0,69	1,2	3,2
0,007	0,046	0,31	0,7	1,225	3,3
0,008	0,047	0,32	0,71	1,25	3,4
0,009	0,048	0,33	0,72	1,275	3,5
0,01	0,049	0,34	0,73	1,3	3,6
0,011	0,05	0,35	0,74	1,325	3,7
0,012	0,051	0,36	0,75	1,35	3,8
0,013	0,052	0,37	0,76	1,375	3,9
0,014	0,053	0,38	0,77	1,4	4
0,015	0,054	0,39	0,78	1,425	4,1
0,016	0,055	0,4	0,79	1,45	4,2

m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
0,017	0,056	0,41	0,8	1,475	4,3
0,018	0,057	0,42	0,81	1,5	4,4
0,019	0,058	0,43	0,82	1,55	4,5
0,02	0,059	0,44	0,83	1,6	4,6
0,021	0,06	0,45	0,84	1,65	4,7
0,022	0,07	0,46	0,85	1,7	4,8
0,023	0,08	0,47	0,86	1,75	4,9
0,024	0,09	0,48	0,87	1,8	5
0,025	0,1	0,49	0,88	1,85	5,1
0,026	0,11	0,5	0,89	1,9	5,2
0,027	0,12	0,51	0,9	1,95	5,3
0,028	0,13	0,52	0,91	2	5,4
0,029	0,14	0,53	0,92	2,05	5,5
0,03	0,15	0,54	0,93	2,1	5,6
0,031	0,16	0,55	0,94	2,15	5,7
0,032	0,17	0,56	0,95	2,2	5,8
0,033	0,18	0,57	0,96	2,25	5,9
0,034	0,19	0,58	0,97	2,3	6
0,035	0,2	0,59	0,98	2,35	
0,036	0,21	0,6	0,99	2,4	
0,037	0,22	0,61	1	2,45	
0,038	0,23	0,62	1,025	2,5	
0,039	0,24	0,63	1,05	2,6	

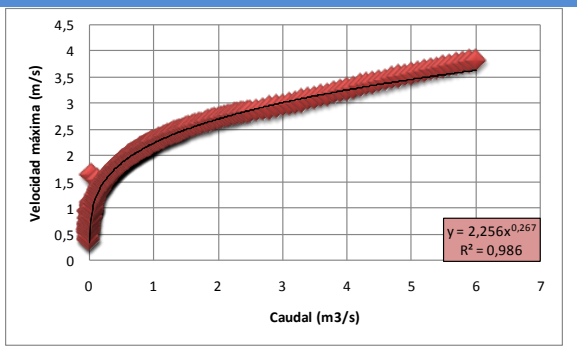
Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2014

Como parte de la interpretación de los resultados de modelación hidráulica se presenta las curvas de calibración de diferentes características hidrodinámicas, tales como velocidad media, velocidad máxima, profundidad, ancho superficial, perímetro mojado y área transversal, en las diferentes secciones transversales modeladas. Dichas curvas de calibración pertenecen a la sección del punto de vertimiento y tiene como función ajuntar una línea de tendencia que permita determinar características de la corriente a diferentes condiciones de caudal. En la Figura 7-10 se presenta las funciones que describe el comportamiento de los puntos graficados y el coeficiente de correlación r. En total se modelaron 16 secciones, las cuales sirven como insumo para el modelo QUAL2K, que se presenta más adelante.

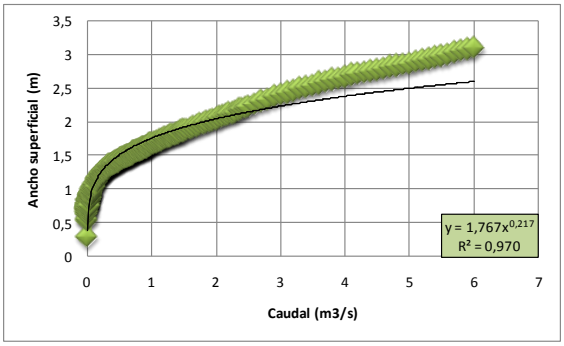
Figura 7-10 Curvas de calibración en función del caudal - Sección sobre el punto de vertimiento - quebrada La Caimana



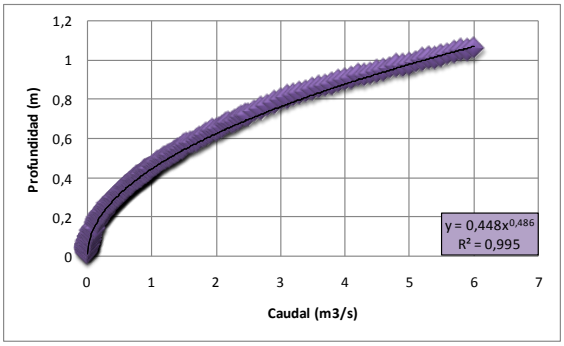
a. Velocidad media vs. Caudal



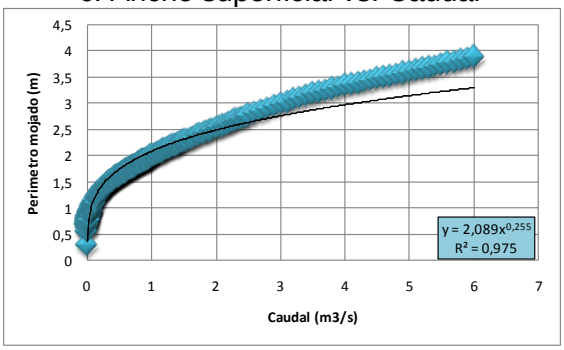
b. Velocidad máxima vs. Caudal



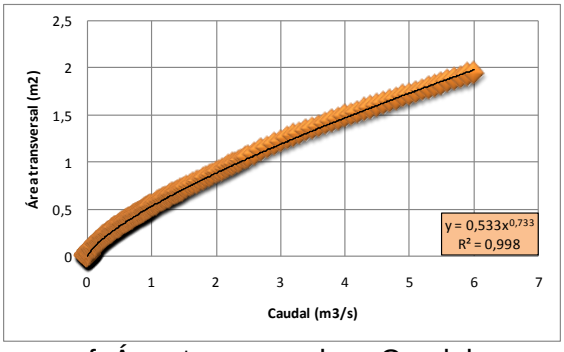
c. Ancho superficial vs. Caudal



d. Profundidad vs. Caudal



e. Perímetro mojado vs. Caudal



f. Área transversal vs. Caudal

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2014

La secciones transversales cumplen con el propósito de modelar el comportamiento del río en un tramo de 580 metros, esta es una corriente de montaña debido a los cambios de altura importantes que posee en tramos cortos del cauce. Los coeficientes de correlación obtenido están por encima de 0,9 representando un muy buen ajuste de la línea de tendencia a la curva.

- ✓ **Caracterización de la calidad del agua del cuerpo receptor**

Para el cálculo de los factores de asimilación requeridos para que el cuerpo de agua receptor recupere sus condiciones de calidad sin vertimiento, se debe conocer la carga

contaminante a la entrada del tramo (directamente aguas abajo del vertimiento) y la concentración esperada aguas abajo al final del tramo cuya longitud es el propósito de esta metodología.

- **Caracterización de fuentes receptoras**

En la Tabla 7-10 se presenta los resultados de los monitoreos de calidad de agua (fisicoquímicos), también se reporta en la Tabla 7-11 los resultados de muestreo de sedimentos del río Sucio y la quebrada La Caimana; los monitoreos fueron realizados el día 9 de marzo de 2016. Los resultados de los monitoreos fueron comparados con el Decreto 1594 de 1984 para usos como: consumo humano, agrícola, pecuario, recreativo contacto primario y recreativo contacto secundario; adicionalmente los resultados del análisis de sedimentos se comparó con el protocolo de Louisiana 29B. En el capítulo 5.1.6 Calidad de Agua se encuentra el análisis detallado de los resultados.

De acuerdo con la metodología se debe monitorear como mínimo los siguientes parámetros:

- Temperatura del agua (C°)
- Oxígeno disuelto (mg/L O)
- DBO (mg/L O)
- NTK (mg/L N)
- Fósforo Total (mg/L P)
- Coliformes Fecales (NMP/100mL)
- SST (mg/L)

La caracterización fisicoquímica del cuerpo receptor se realizó en los puntos de vertimiento sobre el río Sucio y la quebrada La Caimana. Los parámetros reportados se ajustan a las necesidades del modelo y a la metodología utilizada para la estimación de la capacidad de asimilación del cuerpo receptor y la longitud de influencia del vertimiento.

Tabla 7-10 Calidad de agua de cuerpos receptores

Parámetro	Unidad	Río Sucio	Quebrada La Caimana	Decreto 1594 de 1984					
				Art. 38	Art. 39	Art. 40	Art. 41	Art. 42	Art. 43
Acidez total	mg/l CaCO3	23,6	20,25	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Alcalinidad Total	mg/L	66,21	<4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Arsénico	mg/l	0.00059	0,00044	0,05	0,05	0,1	0,2	N.E.	N.E.
Bario	mg/l	<1	<1	1	1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Cadmio	mg/L	<0.01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	N.E.	N.E.
Cobre	mg/L	<0.1	<0,1	1	1	0,2	0,5	N.E.	N.E.

Parámetro	Unidad	Río Sucio	Quebrada La Caimana	Decreto 1594 de 1984					
				Art. 38	Art. 39	Art. 40	Art. 41	Art. 42	Art. 43
Coliformes fecales	NMP/100 mL	79	220	2000	N.E.	1000	N.E.	200	N.E.
Coliformes Totales	NMP/100 mL	870,4	6893	20000	1000	5000	N.E.	1000	5000
Color verdadero	UPC	11	6,1	75	20	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Conductividad	µS/cm	266	18	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Cromo	mg/l	<0.2	<0,2	0,05	0,05	0,1	1	N.E.	N.E.
DBO_5	mg/L	<2	4	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
DQO	mg/L	<32	<32	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza cálcica	mg/l CaCO3		<2,5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Dureza total	mg/l CaCO3	39,78	<6	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Fenoles totales	mg/l	<0,2	<0,2	0,002	0,002	N.E.	N.E.	0,002	N.E.
Fósforo Total	mg/L	<0.02	<0,02	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Grasas y aceites	mg/L	<5	<5	S.P.V	S.P.V	N.E.	N.E.	S.P.V	S.P.V
Mercurio	mg/L	<0.0019	<0,0019	0,002	0,002	N.E.	0,01	N.E.	N.E.
Níquel	mg/L	<0.1	<0,1	N.E.	N.E.	0,2	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno Total	mg/L	<0.54	<0,54	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Oxígeno disuelto	mgO2/l	7,18	6,7	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
pH	Unidades	8,2	5,52	5-9	6,5-8,5	4,5-9,0	N.E.	5-9	5-9
Plata	mg/L	<0.06	<0,06	0,05	0,05	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Plomo	mg/L	<0.1	<0,1	0,05	0,05	5	0,1	N.E.	N.E.
Selenio	mg/L	<0.005	<0,005	0,01	0,01	0,02	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos disueltos totales	mg/l	92	12	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos sedimentables	mg/l	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.

Parámetro	Unidad	Río Sucio	Quebrada La Caimana	Decreto 1594 de 1984					
				Art. 38	Art. 39	Art. 40	Art. 41	Art. 42	Art. 43
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<20	<20	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos totales	mg/l	206	<50	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Temperatura	°C	28,29	24,46	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Turbiedad	NTU	<1	1,2	N.E.	190	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Zinc	mg/L	<0.03	<0,03	15	15	2	25	N.E.	N.E.

Fuente: C.I.M.A.,2016

Tabla 7-11 Resultado de muestreo de sedimentos de cuerpos receptores

Parámetro	Unidades	Río Sucio	Quebrada La Caimana	Protocolo de Louisiana 29B
Aceites y grasas	%	<0,02	<0,02	≤ 1,0%
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	18,1	16,9	N.E.
Carbono orgánico disuelto	mg/kg	0,097	0,096	N.E.
Carbono orgánico total	%P/P	0,872	0,395	N.E.
Cobre	mg Cu/kg	8,60	8,9	N.E.
Cromo total	mg Cr/kg	<34,3	<34,3	500
Demanda Béntica	g O2/m2 día	0,53	0,25	N.E.
Densidad aparente	g/cm3	2,10	1,96	N.E.
Fenoles totales	mg/kg	<1	<1	N.E.
Hidrocarburos totales	%	<2,02	<0,02	N.E.
Níquel	mg Ni/kg	<42,3	<42,3	N.E.
Nitrógeno amoniacal	mg/kg	0,914	0,746	N.E.
Porosidad	%	12,5	8,83	N.E.
Potencial REDOX	mV	7,53	5,23	N.E.
Sulfuro de carbono	mg/kg	<0,1	<0,1	N.E.
Sulfatos	mg S-/kg	<37,5	<37,5	N.E.
Granulometría	N.A.	Ar l	A F	N.E.
Arena	%	18,25	86,16	N.E.

Parámetro	Unidades	Río Sucio	Quebrada La Caimana	Protocolo de Louisiana 29B
Limo	%	41,62	8,45	N.E.
Arcilla	%	40,13	5,39	N.E.
Zinc	mg Zn/kg	176	62,8	500

Fuente: C.I.M.A.,2016

Caracterización del Vertimiento

La composición típica de aguas residuales procedentes de actividades industriales de perforación de túneles del proyecto Bucaramanga - Barrancabermeja - Yondó, se recibirán y tratarán en la planta de tratamiento de agua residual industrial; sólo podrá ser vertida con previo análisis fisicoquímico de la misma y verificación de parámetros.

Los reportes de calidad de agua industrial, empleados para la modelación de calidad sobre las fuentes receptoras se hacen con base en muestreos realizados para proyectos similares de perforación de túneles como los presentados en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto vial Ruta del Sol - Sector I Villeta - El Koran del 2011 (CV Helios).

La caracterización de las aguas residuales industriales resultantes del proceso de perforación de túneles se presentan en la **Tabla 7-12**

Tabla 7-12 Caracterización fisicoquímica de las aguas resultantes del proceso de perforación de túneles

Parámetro	Unidades	Características
		Sin tratamiento
Acidez total	mg/l	2,4
Alcalinidad HCO_3	mg/l	108,2
Cloruros	mg Cl /l	14,1
Conductividad	uS/cm	248
Cromo Hexavalente	mg/l	0,013
Dureza Total	mg CaCO3/l	48
Fenoles	mg/l	0,001
Fosfatos(PO4)	mg/l	0,06
Fósforo	mg/l	0,030
Grasas y aceites	mg/l	0,5
Hierro	mg/l	0,1
Manganeso	mg Mn /l	0,02
Nitratos(NO3)	mg N /l	0,05
Nitritos(NO2)	mg N /l	0,01

Parámetro	Unidades	Características Sin tratamiento
Oxígeno Disuelto	mg O2/l	5,48
pH	0-14	8,4
Plomo	mg/l	<0,01
Sodio	mg Na /l	7,3
Sólidos Suspendidos	mg/l	33
Sólidos totales	mg/l	195
Sulfatos(SO4)	mg SO4/l	23,5
Temperatura	°C	24,5
Turbiedad	UNT	4
Zinc	mg/l	0,04
Coliformes totales	UFC/100 ml	50
E.coli	NMP/100ml	<1
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	<1

Fuente: Resolución 0631 de 17 de marzo de 2015

- **Caracterización teórica esperada de las aguas residuales después del tratamiento**

Las características esperadas del agua después del tratamiento dependerán de las alternativas elegidas para la disposición. De acuerdo con la legislación vigente resolución 0631 de 2015 en la Tabla 7-13 se relaciona las características de acuerdo con la alternativa de disposición en cuerpos de agua. En conformidad con la Resolución 631 de 2015 la actividad de perforación de túneles no aparece específicamente por tal razón se acude al Capítulo VII Actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial.

Tabla 7-13 Aguas residuales industriales – Parámetros de cumplimiento Resolución 0631 de 2015 Art. 15 para vertimiento en aguas superficiales

Parámetros	Unidades	Vertimiento con tratamiento (Resolución 0631 de 2015 Art. 15)
pH	unidades	6 a 9
DQO	mg/l	150
DBO5	mg/l	50
Sólidos suspendidos totales	mg/l	50
Sólidos	mg/l	1

Parámetros	Unidades	Vertimiento con tratamiento (Resolución 0631 de 2015 Art. 15)
sedimentables		
Grasas y aceites	mg/l	10
Fenoles totales	mg/l	0,20
Hidrocarburos totales	mg/l	10
Cianuro total	mg/l	0,1
Cloruros	mg/l	250
Fluoruros	mg/l	5
Sulfatos	mg/l	250
Sulfuros	mg/l	1
Antimonio	mg/l	0,3
Arsénico	mg/l	0,1
Bario	mg/l	1
Cadmio	mg/l	0,01
Cinc	mg/l	3
Cobalto	mg/l	0,1
Cobre	mg/l	1
Cromo	mg/l	0,1
Estaño	mg/l	2
Hierro	mg/l	1
Mercurio	mg/l	0,002
Niquel	mg/l	0,1
Plata	mg/l	0,2
Plomo	mg/l	0,1
Selenio	mg/l	0,2
Vanadio	mg/l	1
Temperatura	ºC	<40

Fuente: Estudio de impacto Ambiental del Proyecto vial Ruta del Sol – Sector I:Villeta-El Coran. 2011. CV Helios

La concentración esperada aguas abajo c_{est} será el valor máximo entre la condición medida sobre la corriente a la entrada del tramo y el límite permisible por la normativa. El valor de c_{est} representa la concentración mínima a la cual debe llegar el determinante aguas abajo, es decir hasta donde el vertimiento tiene influencia sobre el cuerpo receptor.

- **Tratamiento para aguas de infiltración y de escorrentía**

Con base en Informe final de estudios y diseños estructuración corredor vial

Bucaramanga - Barrancabermeja - Yondó de 2013, el sistema de tratamiento de aguas industriales las cuales son producto de la mezcla de las aguas de infiltración y aguas asociadas a los procesos de construcción de los túneles; dada la experiencia, el agua que se espera tiene altos contenidos de material granular (áreas, gravas) pero también coloides, que no es más que el talco que se genera por la perforación, pulida y voladura de la roca. El sistema de tratamiento consta de un desarenador, dos sedimentadores para que trabajen alternadamente durante los mantenimientos rutinarios, una cámara de rebose, una de aquietamiento, sistema de extracción de lodos y almacenamiento de lodos. Adicionalmente se requiere un sistema de floculación mecánico y aplicación de floculante el cual puede ser hidróxido de aluminio, sulfato de aluminio, cloruro férrico, el químico empleado dependerá de la mineralogía, química y carga electromagnética de la roca. De tal manera que el agua que es entregada a los cuerpos de agua donde se realizará el vertimiento no reciban carga de sólidos o grasas mayores a los permitidos por la normatividad ambiental vigente (Resolución 0631 de 2015).

- ✓ **Cálculo de factores de asimilación y de la longitud de influencia directa**

El valor del factor de asimilación correspondiente a cada determinante de calidad del agua se calcula como el cociente entre la carga contaminante a la entrada del tramo W y el valor de la concentración esperada aguas abajo c_{est}.

$$a_i = \frac{W_i}{c_{esti}}$$

Donde el subíndice i corresponde a cada determinante de calidad del agua. La concentración esperada aguas abajo c_{est} será el valor máximo entre la condición medida sobre la corriente a la entrada del tramo y el estándar de calidad ambiental dado por la autoridad ambiental competente p sobre las metas y objetivos de calidad correspondientes de acuerdo con los usos actuales y prospectivos del agua en la cuenca hidrográfica.

Contemplando dispersión longitudinal, reacción de primer orden y estado estable, utilizando como marco el modelo ADZ - QUASAR (Lees, 1998), se tiene la siguiente ecuación general de balance de masa para un determinante de calidad de agua:

$$0 = \frac{1}{T_r} \times \left(\frac{W}{Q} \times e^{-(k*t)} - c\right) - (k \times c)$$

La concentración aguas abajo sobre el cuerpo receptor (a la salida del tramo), en función de la carga a la entrada del tramo W, se puede despejar y calcular:

$$c = \frac{e^{-k*t}}{(1 + k \times T_r) \times Q} \times W$$

Donde Q es el caudal a la entrada del tramo, es decir la suma entre el caudal ambiental y

el caudal del vertimiento, k es la tasa de reacción, la cual se calcula para cada determinante. Por otra parte, reemplazando el tiempo de residencia T_r se obtiene la siguiente expresión:

$$a = [(1 + DF \times k \times t) \times e^{(1+DF)*(k*t)}] \times Q$$

Como única incógnita de la ecuación, el tiempo medio de viaje t, se resuelve iterativamente con el método de Newton - Raphson:

$$\bar{t}_{t+1} = \bar{t}_t - \frac{(1 + DF * (k * \bar{t}_t)) * Q * e^{(1-DF)*k*\bar{t}_t} - a}{k * [1 + DF + (1 - DF) + k * \bar{t}_t] * Q * e^{(1-DF)*k*\bar{t}_t}}$$

Conocido el tiempo medio de viaje, la longitud aguas abajo para la cual se alcanza el factor de asimilación definido, es decir, la longitud de influencia directa del vertimiento, se calcula utilizando la velocidad media $\bar{v}$ correspondiente a Q_{amb} como:

$$L_{iv} = \bar{t} \times \bar{v}$$

Esta longitud fue calculada para cada uno de los determinantes y se reporta más adelante. En la **Tabla 7-14** se reporta los factores de asimilación para cada determinante para cada cuerpo de agua.

Tabla 7-14 Factor de asimilación para cada contaminante

Parámetro	Concentración aguas arriba - Río Sucio	Concentración aguas arriba - Q. La Caimana	DECRETO 1594 DE 1984					Río Sucio			Quebrada La Caimana		
			ART. 38	ART. 40	ART. 41	ART. 42	ART. 43	$C_{estimada}$	a_i (L/s)	a_i (m^3/s)	$C_{estimada}$	a_i (L/s)	a_i (m^3/s)
Temperatura del agua (°C)	28,29	24,46	-	-	-	-	-	28,29	-	-	24,46	-	-
Oxígeno disuelto (mg/L O_2)	7,18	6,7	-	-	-	5,06	5,06	7,18	77,13	0,077	6,70	43,83	0,044
DBO_5 (mg/L O_2)	2	4	-	-	-	-	-	2	54,24	0,054	4	2,94	0,003
NTK (mg/L N)	0,54	0,54	-	-	-	-	-	0,54	54,24	0,05424	0,54	2,94	0,002
Fósforo Total (mg/L P)	0,02	0,02	-	-	-	-	-	0,02	99,24	0,09924	0,02	77,94	0,077
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	79	220	2000	1000	-	200	-	2000	2,15748	0,00215748	2000	0,3484	0,0003
SST (mg/L)	20	20	-	-	-	-	-	20	103,74	0,10374	20	85,44	0,0854
Fenoles totales (mg/L)	0,2	0,2	-	-	-	0,002	-	0,2	54,39	0,05439	0,2	3,19	0,0032
Arsénico (mg/L)	0,00059	0,00044	0,05	0,1	0,2	-	-	0,2	0,160008	0,00016	0,2	0,00647	6E-06
Bario (mg/L)	1	1	1	-	-	-	-	1	54,24	0,05424	1	2,94	0,0029
Cadmio	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	-	-	0,05	10,848	0,010848	0,05	0,0588	6E-05

Parámetro	Concentración aguas arriba - Río Sucio	Concentración aguas arriba - Q. La Caimana	DECRETO 1594 DE 1984					Río Sucio			Quebrada La Caimana		
			ART. 38	ART. 40	ART. 41	ART. 42	ART. 43	$C_{estimada}$	a_i (L/s)	a_i (m^3/s)	$C_{estimada}$	a_i (L/s)	a_i (m^3/s)
(mg/L)													
Plomo (mg/L)	0,1	0,1	0,05	-	0.1	-	-	0,1	57,24	0,05724	0,1	7,94	0,0079
Mercurio (mg/L)	0,0019	0,0019	0,002	-	-	-	-	0,002	51,528	0,051528	0,002	2,793	0,0028
Selenio (mg/L)	0,005	0,005	0,01	0,02	-	-	-	0,02	13,56	0,01356	0,02	0,735	0,0007
cromo total (mg/l)	0,2	0,2	0,05	-	-	-	-	0,2	56,19	0,05619	0,2	6,19	0,0062
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	870,4	6893	-	5000	-	1000	5000	5000	9,74	0,009	6893	3,30269	0,0033
Cobre (mg/L)	0,1	0,1	1	0,2	-	-	-	1	5,424	0,005	1	0,294	0,0003
DQO (mg/L)	32	32	-	-	-	-	-	32	54,24	0,054	32	2,94	0,0029

- Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

- **Factor de asimilación por determinante**

Cada determinante tiene un factor de asimilación diferente, el cual está en función del caudal, parámetros de transporte y concentraciones asociadas al determinante. A continuación, se explica cómo se puede estimar cada una de las tasas de reacción las cuales representan los procesos de advección y dispersión, descomposición de la materia orgánica, sedimentación de la materia orgánica, nitrificación, hidrólisis del fósforo, decaimiento por muerte de patógenos, velocidad de sedimentación de sólidos, y reaireación.

- **Estimación de tasas de reacción de determinantes convencionales de la calidad del agua**

Tasa de reaireación k_a

Para la estimación de la tasa de reaireación, se tuvo en cuenta el tipo de corriente y sus condiciones hidrodinámicas. Para el caso de ríos de montaña, como es el caso de las corrientes de estudio, k_a se calcula de acuerdo con la expresión formulada por Tsivoglou y Neal (1976):

$$k_a = c\frac{\Delta H}{\bar{t}}$$

Donde,
∆H es cambio en la elevación del tramo de la superficie del agua en metros en un subtramos seleccionado y t el tiempo medio de viaje en días en el elemento, calculando como el cociente entre la longitud y la velocidad media del agua en el subtramos. La constante c depende del caudal y se define de la siguiente forma:

c=0,36 para 0,028 ≤ Q ≤ 0,28 m^3/s
c=0,177 para 0,708 ≤ Q ≤ 85 m^3/s

Para el caso del río Sucio y la quebrada La Caimana se estimo los k_a reportados en la Tabla 7-15.

Tabla 7-15 Tasa de reaireación

Parámetro	Unidades	Valor
Río Sucio		
Ka	1/d	190
t	d	0.001
∆H	m	0,53
V media	m/s	0,6
Quebrada La Caimana		
Ka	1/d	226.,68
t	d	0.00158
∆H	m	1
V media	m/s	0,395

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Tasa de desoxigenación o descomposición de la DBO k_d

La tasa de descomposición de la materia orgánica k_d, al igual que la tasa de reaireación, se estima de acuerdo a las condiciones hidrodinámicas de la corriente. En la Tabla 7-16 se muestra las expresiones y condiciones de la corriente para su implementación.

Tabla 7-16 Criterios para la estimación de k_d

Parámetro	ANLA
Caudal (m^3/s)	<0,3
K_d (d^{-1})	3,5

Fuente: (ANLA, 2013)

Para el caso de estudio para caudales de 0,05424 m^3/s (río Sucio) y 0,00294 m^3/s (quebrada La Caimana) se encuentra muy por debajo del rango, por tal razón se tomó el valor máximo reportado por la ANLA como 3,5 (d^{-1}). Por otra parte, se estimo el efecto de la sedimentación en el decaimiento de la concentración de DBO, una fracción importante de la materia orgánica se encuentra en los sólidos orgánicos suspendidos, para estimar la remoción total se combina la sedimentación y la descomposición, obteniendo como resultado la siguiente ecuación:

$$k_r = k_d + \frac{v_s}{H}$$

Donde k_r es la tasa de remoción total de DBO (1/d), k_d la tasa de descomposición de la materia orgánica (1/d), v_s la velocidad de sedimentación (m/d) y H la profundidad promedio (m). En la **Tabla 7-17** se muestra los resultados y valores de parámetros para estimar la tasa total de remoción de materia orgánica.

Tabla 7-17 Estimación de k_r

Parámetro	Unidades	Valor - Río Sucio	Valor - Quebrada La Caimana
k_r	1/d	16,74	53,5
k_d	1/d	3,5	3,5
H	m	0,1	0,03
v_s	m/d	1,5	1,5

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2015

Tasas de nitrificación k_n y perdida de fósforo k_p

La estimación de la tasa de nitrificación k_n se realizó a partir de parámetros hidráulicos

con la implementación de la ecuación propuesta por (Bansal1976), la cual está en función del número de Reynolds y el número de Froude.

$$Log\left(\frac{k_n * H^2}{v}\right) = -3.421 + 1.36 \times \text{Log}(\frac{\sqrt{g * H^3}}{v})$$

Donde H es la profundidad media del agua (m), g es la aceleración de la gravedad, k_n la tasa de nitrificación y v es la viscosidad cinemática del agua en (m^2/s). En la Tabla 7-18 se presenta los valores de parámetros y resultados de la tasa de nitrificación.

Tabla 7-18 Estimación de k_n

Parámetro	Bansal - Río Sucio	Bansal - Quebrada La Caimana
Viscosidad cinemática del agua (m^2/s)	0.000000811	0.000000811
Profundidad	0,1	0,03
Aceleración de la gravedad (m^2/s)	9,81	9,81
K_n (d^{-1})	0,25	0,23

Fuente: (ANLA, 2013)

Según Vollenweider (1976) (Chapra, 1997) la tasa de pérdida de fósforo total se calcula con la siguiente ecuación, tomando un valor de 109,608 1/d.

$$k_p = \frac{10}{H}$$

Velocidades de sedimentación v_s y v_{ss}

La velocidad de sedimentación de la materia orgánica particulada v_s y de los sedimentos suspendidos v_{ss}, tiene valores asociados al diámetro de las partículas como se presenta en la **Tabla 7-19**.

Tabla 7-19 Velocidades de sedimentación medidas para diferentes tipos y tamaños de partículas

Tipo de partícula	Diámetro (µm)	Velocidad de sedimentación (m/d)
Carbono orgánico particulado	1 - 10	0.2
	10 - 64	1.5
	> 64	2.3
Arcilla	2 - 4	0.3 - 1
○ Limo	○ 10 - 20	○ 3 - 30

Fuente: (ANLA, 2013), tomado de Chapra, 1997)

La velocidad de sedimentación de un partícula puede ser estimada usando la ley de

Stokes, (Chapra, 1997)

$$v_{ss} = \alpha \times \frac{g}{18} \times (\frac{\rho_s - \rho_w}{\mu})d^2$$

donde v_{ss} es la velocidad de sedimentación (m/s), α factor de forma el cual refleja l efecto de la forma de la partícula en la velocidad de sedimentación (para una esfera se asuma 1), para este caso se asume 1,5, g es la aceleración de la gravedad (m^2/s), ρ_s es la densidad de la partícula sedimentable y ρ_w la densidad del agua, ambas en kg/m^3, μ es la viscosidad dinámica del agua (kg/m*s) y d es el diámetro de la partícula sedimentable (m).

El resultado de la velocidad de sedimentación se reporta en la **Tabla 7-20**,

Tabla 7-20 Velocidad de sedimentación

Parámetro	Unidades	Valor - Río Sucio	Valor - Quebrada La Caimana
v_{ss}	m/s	0,027	0,0272
α	-	0,5	0,5
g	m2/s	9,81	9,81
ρ_w	kg/m3	1000	1000
ρ_s	kg/m3	1020	1020
μ	kg/m*s	0.000807591	0.000807591

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Tasa de decaimiento por muerte de patógenos k'$_b$

La tasa de pérdida total de patógenos en corrientes superficiales se calcula con la siguiente ecuación (Chapra, 1997):

$$k'_b = 0.8 \times 1.07^{T-20} + \frac{I_0}{0.55 \times SST \times H} \times (1 - e^{-0.55*SST*H}) + F_p \times \frac{v_{ss}}{H}$$

Siendo T la temperatura del agua (°C), I_0 la radiación solar (ly/hr), SST la concentración de sólidos suspendidos totales promedio en el tramo (mg/l), H la profundidad media del agua (m), F_p es la fracción adsorbida de bacterias a las partículas sólidas y v_{ss} la velocidad de sedimentación de las partículas (m/d). Se supone un valor de 0.7 para F_p. Para el cálculo de la radiación solar se implementó la ecuación de Masson (1966):

$$I_0 = \frac{60 + \sqrt{(1406.2 * n^2 + 7426.6 * n)}}{24}$$

Donde n es el número de hora de brillo solar, el cual se toma de datos de registros climatológico del IDEAM (estación Hda Trigueros). En la Tabla 7-21 se presenta el resumen de resultados de parámetros para el cálculo de la tasa de decaimiento por

muerte de patógenos y su valor calculado.

Tabla 7-21 Tasa de decaimiento por muerte de patógenos

Parámetro	Unidades	Valor - Río Sucio	Valor - Quebrada La Caimana
k'b	1/d	2131,31	54948,08
T	K	301,44	297,61
I_o	Ly/hr	13,21	13,21
SST	mg/L	0.2	20
H	m	0,1	0,03
Fp	-	0,7	0,7
Vss	m/s	0,0032	0,027

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2015

Tasas de reacción de sustancias tóxicas y metales pesados

A diferencia de los determinantes convencionales de la calidad del agua, para modelar las sustancias tóxicas hay que distinguir sus fracciones disueltas y particuladas, debido a que cada una está sometida a mecanismos que actúan selectivamente. Por ejemplo, la volatilización ocurre únicamente en la fracción disuelta mientras que la sedimentación lo hace solo sobre la fracción particulada (Chapra, 1997). Para propósitos de esta metodología, los principales mecanismos de depuración de sustancias tóxicas en la columna de agua que serán contemplados son los de advección-dispersión, adsorción y volatilización. No se tendrán en cuenta las interacciones en la interface agua-sedimento más allá de la sedimentación de las partículas sólidas.

- Fracción y coeficiente de partición

Matemáticamente, la concentración total de una sustancia tóxica c está separada en dos componentes:

$$c = c_d + c_p$$

Siendo c_p el componente particulado y c_d el componente disuelto del contaminante. Se supone que estos componentes representan fracciones fijas de la concentración total:

$$c_d = F_d \times c$$

$$c_p = F_p \times c$$

Las fracciones disuelta F_d y particulada F_p dependen del coeficiente de partición del contaminante K_d (m^3/g) y de la concentración de SST (g/m^3) en el río. El coeficiente de partición cuantifica la tendencia que tiene el contaminante de asociarse con la materia

sólida. Las fracciones se pueden calcular de la siguiente forma:

$$F_d = \frac{1}{1 + K_d \times SST}$$

$$F_p = \frac{K_d \times SST}{1 + K_D \times SST}$$

$$F_d + F_p = 1$$

Para las sustancias tóxicas orgánicas y metales pesados, el coeficiente de partición y la velocidad de volatilización se estimó a partir de información disponible en la literatura.

Siguiendo a Chapra (1997), el coeficiente de partición para contaminantes orgánicos se puede suponer como una función del contenido orgánico de los sólidos:

$$K_d = f_{oc} \times K_{oc}$$

Donde K_{oc} es el coeficiente de partición del carbón orgánico y f_{oc} es la fracción en peso del carbono total en la materia sólida. El coeficiente de partición K_{oc} puede ser estimado en términos del coeficiente de partición agua-octanol K_{ow}:

$$K_{oc} = 6.17 \times 10^{-7} \times K_{ow}$$

Finalmente se obtiene la siguiente ecuación, para la estimación el coeficiente de partición de contaminantes:

$$K_d = 3.085 \times 10^{-8} \times K_{ow}$$

En las **Tabla 7-22** y **Tabla 7-23** se presenta el resumen de coeficientes de partición de materia suspendida y coeficientes de partición Octano - Agua de metales pesados y compuestos orgánicos:

Tabla 7-22 Coeficientes de partición de metales pesados y fenoles

Parámetro	Coeficiente de partición materia suspendida/agua	
	Log K_d (L/Kg) - U.S. EPA	K_d (m^3/g)
Arsénico	4	0,0100
Bario	4	0.0100
Cadmio	4.7	0.0501
Cobre	4.7	0.0501
cromo total	5.1	0.1259
Mercurio	5.3	0.1995

Parámetro	Coeficiente de partición materia suspendida/agua	
	Log K_d (L/Kg) - U.S. EPA	K_d (m^3/g)
Arsénico	4	0,0100
Plomo	5.6	0.3981
Selenio	3.8	0.0063

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Tabla 7-23 Coeficientes de partición de compuestos orgánicos

Parámetro	K_{ow} promedio	K_d
Fenoles	29.51991612	9,1069 E-07

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Velocidad de volatilización v_v

Para el cálculo de la velocidad de volatilización de los contaminantes orgánicos, se determinó los valores de la constante de Henry H_e y los coeficientes de transferencia de lámina-líquido y lámina-gas. Los coeficientes de transferencia son convencionalmente estimados correlacionándolos con los procesos de transferencia comúnmente estudiados. El coeficiente de transferencia en la interfaz líquido-gas K_L está típicamente correlacionado con el transporte del vapor de agua. El coeficiente de transferencia de masa en la lámina-líquido (m yr-1) puede estar relacionado con el coeficiente de transferencia de oxígeno por:

$$K_L = K_{L,O_2} \times (\frac{32}{M})^{0.25}$$

Donde M es el peso molecular (g*/mol) del componente y $K_{L,O2}$ es el coeficiente de transferencia de oxígeno. Se estimó el coeficiente de transferencia de la siguiente:

$$K_{L,O_2} = k_a \times H$$

Donde H es la profundidad media del agua (m) y k_a la tasa de reaireación, previamente estimada. La tasa de transferencia lámina-gas K_g se estimó con la siguiente ecuación:

$$K_g = 168 \times (\frac{18}{M})^{0.25}$$

Donde W es la velocidad del viento (m/s). Finalmente, la velocidad de volatilización se calcula como:

$$v_v = K_L \times \frac{H_e}{H_e + R \times T_a \times (\frac{K_L}{K_g})}$$

Donde v_v es la velocidad de volatilización (m/yr), R la contante de gas universal (K/mol) y T_a la temperatura absoluta del agua (K). Los reporte de los coeficientes de transferencia y velocidades de volatilización para cada determinante se reportan en la Tabla 7-24.

Tabla 7-24 Coeficientes de transferencia y velocidades de volatilización para fenoles

Parámetro	M (g/mol)	K_L (m/año)	K_g (m/d)	K_g (m/año)	Vv (m/año)
Fenoles	94,11	22,1260	303,1485	110649,2084	1,860

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2015

Resumen de factores de asimilación

A partir de la ecuación general de balance de masa del modelo ADZ-QUASAR (Lees, 1998) y de los mecanismos de transformación considerados en el desarrollo de la metodología para la estimación de la LIV, se presenta la **Tabla 7-25** el resumen de ecuaciones para los factores de asimilación de cada determinante de la calidad del agua considerado.

Tabla 7-25 Factores de asimilación para los determinantes de calidad del agua considerados en la metodología

Determinante	Factor de asimilación
Oxígeno disuelto (mg/L O)	$a_{OD} = \left\lfloor \frac{1 + DF \times k_a \times \bar{t}_{OD}}{e^{-k_a \times (1-DF) \times \bar{t}_{OD}} + \varepsilon \times DF \times \bar{t}_{OD}} \right\rfloor \times Q$ $\varepsilon = k_a \times \frac{O_s}{OD_u} - 4.57 \times k_n \times \frac{NTK}{OD_u} - k_d \times \frac{DBO}{OD_u}$ $O_s = [14.652 - 0.41022 \times T + 0.0079910 \times T^2 - 0.000077774 \times T^3] \times (1 - 0.1148 \times Alt)$ T es la temperatura del agua (°C), *Alt* la altitud promedio del tramo (km), OD_u la concentración de oxígeno disuelto calculada a la entrada del tramo (aguas abajo del vertimiento). Las concentraciones de NTK y DBO son las definidas a la salida del tramo.
DBO (mg/L O)	$a_{DBO} = \left\lfloor (1 + DF \times k_r \times \bar{t}_{DBO}) \times e^{k_r \times (1-DF) \times \bar{t}_{DBO}} \right\rfloor \times Q$
NTK (mg/L N)	$a_{NTK} = \left\lfloor (1 + DF \times k_n \times \bar{t}_{NTK}) \times e^{k_n \times (1-DF) \times \bar{t}_{NTK}} \right\rfloor \times Q$
Fósforo Total (mg/L P)	$a_{PT} = \left\lfloor (1 + DF \times k_p \times \bar{t}_{TP}) \times e^{k_p \times (1-DF) \times \bar{t}_{TP}} \right\rfloor \times Q$
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	$a_{CF} = \left\lfloor (1 + DF \times k'_b \times \bar{t}_{CF}) \times e^{k'_b \times (1-DF) \times \bar{t}_{CF}} \right\rfloor \times Q$
STT (mg/L)	$a_{SST} = \left\lfloor (1 + DF \times k_s \times \bar{t}_{SST}) \times e^{k_s \times (1-DF) \times \bar{t}_{SST}} \right\rfloor \times Q$

Determinante	Factor de asimilación
	$k_s = \frac{v_{ss}}{H}$
Fenoles (mg/L)	$a_F = \left[(1 + DF \times k_F \times \bar{t}_F) \times e^{k_F \times (1-DF) \times \bar{t}_F}\right] \times Q$ $k_F = \frac{v_{VF}}{H} \times F_{dF}$
Cadmio (mg/L)	$a_{Cd} = \left[(1 + DF \times k_{Cd} \times \bar{t}_{Cd}) \times e^{k_{Cd} \times (1-DF) \times \bar{t}_{Cd}}\right] \times Q$ $k_{Cd} = \frac{v_{SCd}}{H} \times F_{pCd}$
Plomo (mg/L)	$a_{Pb} = \left[(1 + DF \times k_{Pb} \times \bar{t}_{Pb}) \times e^{k_{Pb} \times (1-DF) \times \bar{t}_{Pb}}\right] \times Q$ $k_{Pb} = \frac{v_{SPb}}{H} \times F_{pPb}$
Cromo (mg/L)	$a_{Cr} = \left[(1 + DF \times k_{Cr} \times \bar{t}_{Cr}) \times e^{k_{Cr} \times (1-DF) \times \bar{t}_{Cr}}\right] \times Q$ $k_{Cr} = \frac{v_{SCr}}{H} \times F_{pCr}$
Cobre (mg/L)	$a_{Cu} = \left[(1 + DF \times k_{Cu} \times \bar{t}_{Cu}) \times e^{k_{Cu} \times (1-DF) \times \bar{t}_{Cu}}\right] \times Q$ $k_{Cu} = \frac{v_{SCu}}{H} \times F_{pCu}$

Fuente: (ANLA, 2013)

La determinación del tiempo medio de viaje para cada determinante se realiza reemplazando el valor de la tasa de reacción, el factor de asimilación, el caudal ambiental y la fracción dispersiva. A través del método de Newton Raphson, se obtuvo el tiempo y con la velocidad media de la corriente, encontrar la longitud de influencia del vertimiento (LIV). Sin embargo, la ecuación antes descrita para la solución iterativa no aplica para el Oxígeno Disuelto por tanto se presentan a continuación la expresión utilizada para la estimación del tiempo medio de viaje.

$$\bar{t}_{t+1} = \bar{t}_t - \frac{\left(1 + DF * (k_a * \bar{t}_t)\right) * Q * \left(e^{(1-DF)*k_a*\bar{t}_t} + \varepsilon * DF * \bar{t}_t\right) - a * (e^{(1-DF)*k_a*\bar{t}_t} + \varepsilon * DF * \bar{t}_t)^2}{\left[\left(e^{(1-DF)*k_a*\bar{t}_t} + \varepsilon * DF * \bar{t}_t\right) * DF * k_a - (1 + DF * k_a * \bar{t}_t) * (\varepsilon * DF - k_a * (1 - DF) * e^{(1-DF)*k_a*\bar{t}_t})\right] * Q}$$

Los resultados de los tiempos medios de viaje, las tasas de reacción, los factores de asimilación y por último la longitud de influencia de cada determinante se presentan en las **Tabla 7-26** y **Tabla 7-27**.

Tabla 7-26 Tasas de reacción, factores de asimilación, tiempos de viaje y longitud de influencia estimada por cada determinante - río Sucio

PARÁMETRO	TASA DE REACCIÓN (d^{-1})	FACTORES DE ASIMILACIÓN CALCULADOS (m^3/s)	TIEMPOS DE VIAJE (d)	LONGITUD DE INFLUENCIA (m)
Oxígeno disuelto	190	0,07714	0	0
DBO	16,74127	0,05424	0	0
NTK	0,25164	0,05424	0	0
Fósforo Total	109,60846	0,09924	0,00162	84,47
Coliformes Fecales	2131,31114	0,00216	0	0
Coliformes Totales	2131,31114	0,00974	0	0
SST	3030,81793	0,10374	0,00008	3,97
Fenoles	0,05904	0,05439	0	0
METALES				
Arsénico	2,74021	0,00016	0	0
Bario	2,74021	0,05424	0	0
Cadmio	8,23038	0,01085	0	0
Cobre	8,23038	0,00542	0	0
cromo total	11,76760	0,05619	0	0
Mercurio	13,14677	0,05153	0	0
Plomo	14,60674	0,05724	0	0
Selenio	1,84227	0,01356	0	0

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2015

La longitud de influencia del vertimiento (LIV) definitiva en el río Sucio, entendida como aquella sobre la cual existe influencia directa por parte del vertimiento, es la máxima entre todas las calculadas, lo que significa que la LIV tiene un valor de 84,47 m correspondiente al parámetro fósforo. Los demás determinantes debido a que se encuentran a concentraciones mayores en el cuerpo de agua con respecto al vertimiento, reportan longitudes de influencia de 0, sumado al hecho que los procesos como la difusión, sedimentación, reacción y decaimiento por muerte tiene una importante participación en los cuerpos de agua de montaña frente a la asimilación de fuentes externas.

Tabla 7-27 Tasas de reacción, factores de asimilación, tiempos de viaje y longitud de influencia estimada por cada determinante - quebrada La Caimana

PARÁMETRO	TASA DE REACCIÓN (d^{-1})	FACTORES DE ASIMILACIÓN CALCULADOS (m^3/s)	TIEMPOS DE VIAJE (d)	LONGITUD DE INFLUENCIA (m)
Oxígeno disuelto	1874,81	0,04384	0	0
DBO	53,5	0,00294	-0	-0

PARÁMETRO	TASA DE REACCIÓN (d^{-1})	FACTORES DE ASIMILACIÓN CALCULADOS (m^3/s)	TIEMPOS DE VIAJE (d)	LONGITUD DE INFLUENCIA (m)
NTK	0,23	0,00294	0	-0
Fósforo Total	333,3	0,07794	0,00142	48,34907
Coliformes Fecales	54948,071	0,00035	0	0
Coliformes Totales	54948,07	0,00330	0	0
SST	78479,6	0,08544	0,00001	0,26696
Fenoles	0,22	0,00319	0	0
METALES				
Arsénico	8,3	0,00001	0	0
Bario	8,3	0,00294	0	0
Cadmio	25,02	0,00006	0	0
Cobre	25,02965	0,00029	0	0
cromo total	35,78	0,00619	0	0
Mercurio	39,9	0,00279	0	0
Plomo	44,420	0,00794	0	0
Selenio	5,602	0,00074	0	0

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2015

La longitud de influencia del vertimiento (LIV) definitiva en la quebrada La Caimana, entendida como aquella sobre la cual existe influencia directa por parte del vertimiento, es la máxima entre todas las calculadas, lo que significa que la LIV tiene un valor de 49,35 m correspondiente al parámetro fósforo. Los demás determinantes debido a que se encuentran a concentraciones mayores en el cuerpo de agua con respecto al vertimiento, reportan longitudes de influencia de 0, sumado al hecho que los procesos como la difusión, sedimentación, reacción y decaimiento por muerte tiene una importante participación en los cuerpos de agua de montaña frente a la asimilación de fuentes externas.

- **Coeficiente de dispersión lateral y longitud de mezcla**

En ríos se estudia dos tipos de regímenes de mezcla, la primera aplica para modelos unidimensionales donde la mezcla que se presenta únicamente en la dirección del flujo o también conocida como mezcla longitudinal. Este proceso se representa a través del coeficiente de dispersión *E*. En segundo lugar, se considera la mezcla transversal de la corriente o también conocida como mezcla lateral. Suponiendo mezcla completa, es decir una mezcla instantánea en ambas direcciones y teniendo como objetivo estimar la longitud de la corriente necesaria para alcanzar mezcla lateral, se presenta a continuación la estimación de los coeficiente de dispersión longitudinal, coeficiente de de dispersión lateral o transversal y la longitud de mezcla. (Chapra, 1997)

- **Dispersión longitudinal**

Una importante cantidad de fórmulas se encuentran disponibles para estimar el coeficiente de dispersión longitudinal para corrientes de agua superficial. La ecuación utilizada para el cálculo de coeficiente de dispersión longitudinal es la de Fischer (1979), quien desarrollo la siguiente ecuación:

$$E = 0.011 \times \frac{U^2 \times B^2}{H \times U^*}$$

Donde E es el coeficiente de dispersión longitudinal (m^2/s), U es la velocidad (m/s), B es el ancho (m), H profundidad promedio (m) y U^* es la velocidad de corte (m/s), la cual está relacionada con características fundamentales a través de la siguiente ecuación:

$$U^* = \sqrt{gHS}$$

Donde g es la aceleración de la gravedad (m/s^2) y S es la pendiente del canal (adimensional).

- **Dispersión lateral**

La mezcla lateral de una fuente puntual es el segundo aspecto relevante en la modelación de calidad de agua en una dimensión. Fischer (1979) desarrolló la fórmula para estimar el coeficiente de dispersión lateral o transversal E_{lat} para una corriente.

$$E_{lat} = 0.6 \times H \times U^*$$

Por otra parte, Fischer (1979) desarrollo una expresión para el cálculo de la longitud de mezcla para una descarga desde el centro del canal:

$$L_m = 0.4 \times U \times \frac{B^2}{E_{lat}}$$

Para los caudales mínimos y medios estimados sobre el río Sucio y quebrada La Caimana, se estimó el coeficiente de dispersión lateral y la longitud de mezcla para una descarga central en las corrientes de estudio. Obteniendo los resultados de las **Tabla 7-28** y **Tabla 7-29**.

Tabla 7-28 Resultado de coeficientes de dispersión y longitud de mezcla para diferentes condiciones de caudal - Rio Sucio

Condición	Caudal (m^3/s)	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Profundidad (m)	U* (m/s)	D (m^2/s)	D_{lat} (m^2/s)	Lm (m)
Mínimo	0,05	0,60	2,06	0,10	0,07	2,32	0,0044	58,48
Medio	0,85	1,24	4,71	0,28	0,12	11,25	0,02	137,15

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Tabla 7-29 Resultado de coeficientes de dispersión y longitud de mezcla para diferentes condiciones de caudal - Quebrada La Caimana

Condición	Caudal (m^3/s)	Velocidad (m/s)	Ancho (m)	Profundidad (m)	U* (m/s)	D (m^2/s)	D_{lat} (m^2/s)	Lm (m)
Mínimo	0,0029	0,40	0,50	0,03	0,04	0,44	0,0006	16,88
Medio	0,0460	0,83	0,91	0,10	0,07	0,85	0,0044	15,51

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

- **Modelo de calidad de agua QUAL2K**

El presente numeral contiene el modelo de simulación que permiten conocer la capacidad de asimilación del río Sucio y la quebrada La Caimana, frente al vertimiento proyectado por las actividades planteadas en el proyecto vial Bucaramanga - Barrancabermeja - Yondó.

El modelo implementado es el QUAL2K, el cual corresponde a un modelo de estado estático avalado por la EPA. Siguiendo los protocolos para la corrida del modelo en el presente documento se encuentra una descripción general de la fundamentación teórica del modelo, los principales criterios y variables de entrada y la calibración hidráulica del mismo. Finalmente, se presenta la corrida de los escenarios a diferentes condiciones del vertimientos con el fin de verificar los posibles efectos generados sobre las corrientes receptoras ante las descargas propuestas.

✓ **Metodología**

La modelación matemática es una herramienta útil que permite realizar la evaluación de los impactos ambientales producidos en los ríos por la descarga de aguas residuales o industriales. Los modelos son representaciones matemáticas de una realidad idealizada y representan la respuesta de un sistema físico ante un estímulo externo (Chapra, 1997). En un modelo de calidad del agua el cuerpo receptor se constituye como el sistema físico, el estímulo externo son las descargas que recibe y su respuesta es la calidad del agua.

El modelo seleccionado para este caso de estudio es el QUAL2K; el cual es un modelo de calidad de agua de estado estable en ríos, de uso libre, desarrollado bajo una aplicación de Visual Basic. Aunque sus algoritmos no incluyen la modelación de metales pesados y otros compuestos, si permiten la modelación de un constituyente diferente a los definidos internamente en el QUAL2K, que el usuario puede modelar como parámetros

conservativos o con degradación de primer orden en la medida en que se especifique o no la tasa de reacción. La anterior es una de las razones por las cuales el QUAL2K fue seleccionado para el análisis de la capacidad de asimilación de vertimientos en el APE Santa Isabel. A continuación se presenta una breve descripción de dicho modelo.

- ✓ **Modelo stream water quality model (QUAL2K)**

El modelo de transporte utilizado por el QUAL2K es la ecuación de Advección Dispersión (ADE) en una dimensión (Orlob (1983) en Young y Wallis (1993)):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \underbrace{D_L \times \frac{\Delta y}{\Delta x} \times C}_{\text{Dispersión}} - \underbrace{\frac{\partial (A_x \times u \times C)}{\partial x^2}}_{\text{Advección}} \underbrace{- k \times C}_{\text{Transformación física, química y Biológica}}$$

donde A_x es el área de la sección transversal [m^2], D_L es el coeficiente de dispersión turbulenta [m^2/s], u es la velocidad media [m/s], C es la concentración del determinante [mg/l] y *k* es la tasa de reacción debida a los procesos químicos, físicos y biológicos que ocurren en la corriente en [s^{-1}], normalmente representados por decaimiento de primer orden (Cox, 2003).

La ecuación de Advección-Dispersión (ADE) es válida bajo las siguientes suposiciones (Young, 1993):

- Mezcla completa en la sección transversal.
- La turbulencia es homogénea y estacionaria en el tiempo, condición bajo la cual la Ley de Fick es una buena aproximación de la difusión turbulenta.
- El área de la sección transversal es constante.
- El campo de velocidades es estadísticamente estable.

Chapra (2001), desarrolló el modelo QUAL2K después de modificar el QUAL2E. Entre las mejoras se encuentran la conversión de la muerte de las algas en DBO carbonacea, la desnitrificación y la interacción de las plantas fijas con el oxígeno disuelto.

Los determinantes de calidad del agua que modela el QUAL2K incluyen, conductividad, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, DBO lenta, DBO rápida, nitrógeno orgánico, nitratos, amonio, fósforo orgánico, fósforo inorgánico, fitoplancton, materia orgánica particulada, patógenos, alcalinidad, algas fijas y un constituyente a definir por el usuario. El modelo incorpora, entre otros, variables de calidad del agua, variables hidráulicas, elevación, ubicación geográfica, meteorología y reaireación.

En el manual de usuario del modelo QUAL2K se encuentra información detallada de cómo se desarrolla el término k*C de la ecuación Advección-Dispersión (ADE), para cada uno de los determinantes de calidad modelados. En el QUAL2K el procedimiento general para la solución de la ecuación ADE consiste en primero dividir el río en tramos que a su vez

son divididos en subtramos o elementos computacionales de igual longitud (Δx), Figura 7-11.

Uno de los criterios de estabilidad del modelo tiene que ver con la longitud de los tramos a modelar y el paso del tiempo (Δt), en otra palabras, que intervalo de tiempo se requiere de tal forma que la solución siempre permanezca acotada. El número de Courant sirve como criterio de estabilidad para el modelo (Chapra, 1997).

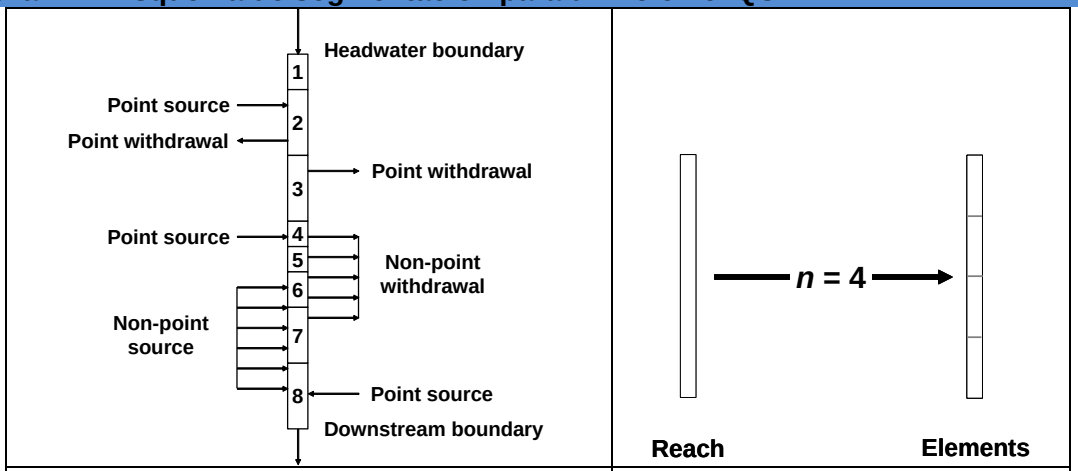
$$Cr \leq 1$$

$$\frac{u \times \Delta t}{\Delta x} \leq 1$$

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{u_{max}}$$

En cada elemento computacional se realiza un balance de los caudales que entran y salen de cada elemento computacional. Una vez se calcula el caudal en el elemento computacional, se estima la velocidad media y la profundidad a través de relaciones empíricas como las curvas de calibración de velocidad vs caudal y profundidad vs. caudal. La velocidad y la profundidad son empleadas luego para solucionar de forma secuencial el modelo de transporte ADE en cada celda, utilizando un método de diferencia finitas implícitas hacia atrás (Cox, 2003).

Figura 7-11 Esquema de segmentación para un río en el QUAL2K.



a. Tramos del río | b. Elementos computaciones

Fuente: (Steve Chapra, 2008)

Este tipo de soluciones produce dispersión numérica pero no genera en la solución problemas de estabilidad, como si lo haría una solución de diferencias centradas. Mientras los modelos aproximados por diferencias centradas deben controlar los problemas de la estabilidad condicionando la longitud del tramo hasta cumplir el criterio

Peclet, el QUAL2K no debe controlar la longitud del tramo sino corregir la dispersión total del modelo, la cual es calculada como,

$$E_P = E_m + E_n$$

donde E_p es la dispersión total, E_n es la dispersión numérica y E_m es la dispersión del modelo y representa la dispersión que sufren los solutos. La dispersión numérica es calculada como:

$$E_n = \frac{1}{2} \times U \times \Delta x$$

donde E_n es la dispersión numérica, U es la velocidad media en la corriente en (m/s) y Δx es la longitud del tramo (m). Si la dispersión numérica es mayor a la del modelo, así la del modelo se haga cero, QUAL2K sobreestimará la dispersión real, sin embargo para ríos muy advectivos el error introducido es despreciable.

En la Tabla 7-30 se presenta un resumen de los parámetros de entrada del modelo.

Tabla 7-30 Datos de entrada del modelo QUAL2K

Parámetros	Descripción
Generales	- Título, Tipo de simulación, unidades, tiempo - Número de tramos
Descripción de la corriente	- Nombre de cada tramo, longitud, identificación de la cabeza del sistema (*Correspondiente al punto más agua arriba del sistema)*, longitud del elemento computacional (*Longitud más pequeña en que son divididos los tramos)*
Variables Globales	- Identificación de parámetros a modelar - Localización geográfica del sistema - Coeficientes de evaporación - Factores de corrección de constituyentes básicos y no conservativos por temperatura
Variables funcionales	- Caudal de la corriente - Parámetros hidráulicos (relación Velocidad vs Caudal, Profundidad vs Caudal, rugosidad de Manning) - Flujo incremental (ΔQ/ΔX) - Coeficientes o tasa de reacción para los parámetros a modelar - Calidad del agua en la cabeza del sistema - Calidad de agua de los puntos de entrada y salida al sistema
Climatología	- Climatología (Radiación solar, cobertura de nubes, velocidad del viento, temperatura bulbo húmedo, temperatura bulbo seco)

Fuente: (Steve Chapra, 2008)

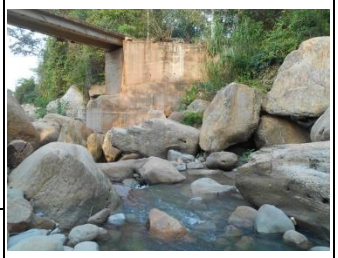
- **Protocolo de modelación**

Un ejercicio de modelación de un sistema requiere como mínimo de una recopilación de información de campo con inspecciones detalladas, caracterización hidráulica, ejecución de campañas de calidad del agua, la implementación del modelo, calibración del modelo, y por último estimación de la capacidad asimilativa de la corriente. Todos estos pasos generan los insumos requeridos por el modelo y serán llevados a cabo para definir el impacto de los vertimientos analizados, objetivo principal de la construcción del modelo calibrado. A continuación se detallan la información recolectada o generada en cada uno ellos.

- **Recopilación de información de campo con inspecciones detalladas**

A través de las inspecciones de campo se obtuvo información referente a los usos del agua, la ubicación de descargas puntuales de aguas residuales, afluentes y/o captaciones sobre la corriente, sitios de cambio en las características geométricas y morfológicas del río, entre otros, que permitieron definir los tramos de modelación y las estaciones de monitoreo de la calidad del agua donde se tomaron los datos para calibrar el modelo.

Tabla 7-31 Descripción del punto de vertimiento - Río Sucio

<table>
<tr><th>Puntos de monitoreo</th><th colspan="2">Coordenadas: Gauss Krüger, Datum Magna Sirgas - Origen Bogotá</th><th colspan="2">Aspectos</th><th>Registro fotográfico</th></tr>
<tr><td rowspan="3">A. UF 7 Rio Sucio</td><td>N:</td><td>7°11'13.8"</td><td>Climático</td><td>Día despejado, sin evidencia de lluvias recientes.</td><td rowspan="3">  </td></tr>
<tr><td rowspan="2">E:</td><td rowspan="2">73°19'25.9"</td><td>Paisajístico</td><td>Geomorfología: montañosa
Cobertura: Bosque secundario ligeramente perturbado, cuya continuidad se ve poco interrumpida.</td></tr>
<tr><td>Del Cuerpo de agua</td><td>COLOR: Transparente.

SUSTRATO: Rocoso-arenoso
OLOR: No se perciben olores</td></tr>
</table>

Puntos de monitoreo	Coordenadas: Gauss Krüger, Datum Magna Sirgas - Origen Bogotá	Aspectos	Registro fotográfico
Observaciones: Cuerpo de agua de aproximadamente 4 metros de ancho, y un una profundidad 0,5 metros aproximadamente, de tipología sinuosa. Como coriotopos presentes se encuentra piedra en corriente rápida y arena. El punto se encuentra en una zona rural, donde se encuentran como actividades antrópicas la ganadería y la agricultura; corriente media.			

Fuente: C.I.M.A., 2016

Tabla 7-32 Descripción del punto de vertimiento - quebrada La Caimana

Puntos de monitoreo	Coordenadas: Gauss Krüger, Datum Magna Sirgas - Origen Bogotá		Aspectos		Registro fotográfico
Quebrada Caimana	N:	7°12'12.69"	Climático	Día parcialmente nublado, sin evidencia de lluvias recientes.	
	E:	73°21'24.6"	Paisajístico	Geomorfología: montañosa Cobertura: Bosque secundario ligeramente perturbado, cuya continuidad se ve poco interrumpida.	
			Del Cuerpo de agua	COLOR: Transparente. SUSTRATO: Rocoso-arenoso OLOR: No se perciben olores	
Observaciones: Cuerpo de agua de aproximadamente 4 metros de ancho, y un una profundidad 0,3 metros aproximadamente, de tipología sinuosa. Como coriotopos presentes se encuentra hojarasca piedra en corriente rápida y piedra en corriente lenta. El punto se encuentra en una zona rural, donde se encuentran como actividades antrópicas la ganadería y la agricultura; corriente media.					

Fuente: C.I.M.A., 2016

Dentro del tramo de modelación, no se identificó ningún usuario sobre los cuerpos de agua, captaciones o vertimientos domésticos o industriales. La campaña de monitoreo se

definió sobre el punto proyectado para el vertimiento. El punto de vertimiento sobre el río Sucio se ubica sobre un puente vehicular la corriente se encuentra bien encauzada, posee un lecho rocoso lo que permite una importante reaireación y mezcla de la corriente. Por otra parte,

- Parámetros climatológicos y cobertura vegetación asociada a los cuerpos receptores

Los parámetros climatológicos se reportan sobre las condiciones presentes al momento de la campaña de monitoreo e información climatológica de estaciones del IDEAM cerca de los puntos de interés. En la Tabla 7-33 se presenta un resumen de las condiciones climatológicas y cobertura vegetal, la información climatológica fue tomada de las estaciones Apto Palonegro (23195130) y Hda Trigueros (24065030) en el mes de marzo.

Tabla 7-33 Resumen de condiciones climatológicas

Parámetro	Unidades	Río Sucio	Quebrada La Caimana
Temperatura	°C	26,603	27,065
Punto de rocío	°C	27.,57	28,03
Velocidad del viento	m/s	2,8	2,8
Cobertura de nubes al momento del monitoreo	(%)	100%	50
Cobertura vegetal	(%)	40	100
Brillo solar	Horas	147,1	147,1

Fuente: IDEAM, modificado por Consultoría S.A. 2016

- Calculo del punto de Rocío

Teniendo en cuenta que las estaciones climatológicas de la zona de estudio no miden este parámetro, se procedió a calcular su valor a través de la siguiente fórmula:

$$PR = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} * (112 + 0.9 * T) + (0.1 * T) - 112$$

En donde

Pr = Punto de rocío.
T = Temperatura en grados Celsius
H = Humedad relativa

- **Modelo Hidráulico**

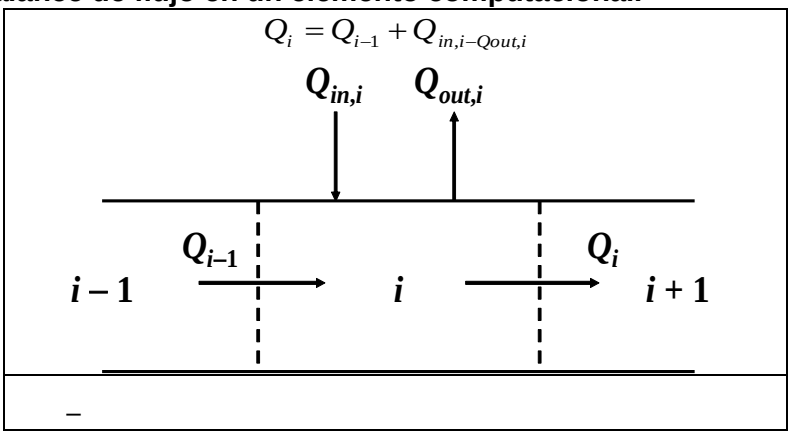
El modelo hidráulico incluido en QUAL2K representa el tramo del río que se va estudiar como una serie de tramos de diferentes longitudes con características hidráulicas

similares. Los tramos son numerados en orden ascendente iniciando desde la cabecera del cuerpo de agua. A su vez, cada tramo puede ser subdividido en series de elementos igualmente espaciados, que corresponden a las unidades fundamentales de cómputo.

La caracterización hidráulica de la corriente consiste en la recopilación o el levantamiento de información de geometría e hidráulica del canal, y la implementación de un modelo hidráulico. Las ecuaciones potenciales se implementen para relacionar la velocidad media, el ancho superficial y la profundidad del flujo, en el caso de estudio, los parámetros requeridos por el modelo son los coeficientes de las ecuaciones empíricas que relacionan estas variables con los caudales a partir de curvas de calibración. Para obtener esta información se tomó secciones transversales sobre los cuerpos de agua a partir de la imagen LIDAR.

En cada elemento se lleva a cabo un balance de flujo de estado estable de la siguiente manera (Figura 7-12):

Figura 7-12 Balance de flujo en un elemento computacional.



Fuente: (Steve Chapra, 2008)

Donde,

Q_i= es el caudal que sale del elemento i y entra al elemento i + 1 [m^3/d]
Q_{i-1} = corresponde al caudal que ingresa desde el elemento anterior i – 1 [m^3/d]
$Q_{in,i}$= es el caudal total que ingresa al elemento desde fuentes puntuales (vertimientos) o no puntuales (escorrentía) [m^3/d]
$Q_{out,i}$ = indica el caudal total que sale del elemento debido a captaciones puntuales (bocatomas) y no puntuales (desbordamientos) [m^3/d].

Los coeficientes (a, b, c, α, β y *f*) de las ecuaciones empíricas se obtiene a partir de las curvas de calibración presentadas en la caracterización hidráulica de la corriente.

$$U = a \times Q^b$$

$$H = \alpha \times Q^\beta$$

$$B = c \times Q^{f}$$

Donde, U es la velocidad media de la corriente (m/s), H es la profundidad media de la corriente (m), Q es el caudal de la corriente (m^3/s) y a, b, c, α, β y *f* son los coeficientes (adimensionales).

Los resultados de los coeficientes obtenidos con las curvas de calibración (ver Tabla 7-34 y Tabla 7-35), se presentan en la siguientes para los canales modelados con las secciones transversales sobre el río Sucio (13 secciones transversales) y quebrada La Caimana (16 secciones transversales).

Tabla 7-34 Coeficientes de correlaciones hidrogeométricas - Río Sucio

Sección	Velocidad		Profundidad		Ancho superficial		b + β + f
	a	*b*	*α*	*β*	*c*	*f*	
1	1,299	0,264	0,297	0,405	4,953	0,3	0,969
2	1,410	0,231	0,369	0,406	3,748	0,337	0,974
3	1,226	0,264	0,257	0,450	5,603	0,256	0,97
4	1,128	0,287	0,152	0,551	7,159	0,198	1,036
5	1,169	0,241	0,106	0,489	6,193	0,276	1,006
6	0,851	0,290	0,106	0,489	16,61	0,211	0,99
7	0,945	0,248	0,122	0,503	11,65	0,254	1,005
8	0,906	0,248	0,122	0,503	13,32	0,255	1,006
9	0,838	0,259	0,124	0,452	16,60	0,265	0,976
10	0,897	0,245	0,139	0,469	13,61	0,270	0,984
11	0,926	0,254	0,144	0,468	12,5	0,260	0,982
12	1,006	0,286	0,128	0,489	11,01	0,242	1,017
13	0,834	0,282	0,108	0,458	18,14	0,230	0,97

Fuente: Consultoría Colombiana S,A,, 2016

Tabla 7-35 Coeficientes de correlaciones hidrogeométricas - Quebrada La Caimana

Sección	Velocidad		Profundidad		Ancho superficial		b + β + f
	a	*b*	*α*	*β*	*c*	*f*	
1	1,868	0,261	0,456	0,498	1,75	0,23	0,989
2	2,736	0,345	0,348	0,428	1,521	0,186	0,959
3	1,88	0,267	0,448	0,4869	1,767	0,217	0,9709
4	2,655	0,343	0,339	0,464	1,56	0,177	0,984
5	1,889	0,268	0,428	0,512	1,783	0,207	0,987
6	1,768	0,264	0,451	0,505	1,841	0,215	0,984
7	1,766	0,264	0,444	0,536	1,841	0,215	1,015
8	1,767	0,266	0,446	0,519	1,841	0,215	1

Sección	Velocidad		Profundidad		Ancho superficial		b + β + f
	a	*b*	*α*	*β*	*c*	*f*	
9	1,769	0,267	0,45	0,511	1,841	0,214	0,992
10	1,769	0,268	0,453	0,503	1,841	0,214	0,985
11	1,769	0,265	0,444	0,526	1,84	0,215	1,006
12	1,769	0,266	0,447	0,515	1,841	0,214	0,995
13	1,77	0,267	0,45	0,507	1,84	0,214	0,988
14	1,77	0,267	0,442	0,535	1,84	0,214	1,016
15	1,769	0,265	0,445	0,524	1,841	0,215	1,004
16	1,77	0,266	0,448	0,514	1,84	0,215	0,995

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Como los parámetros están interrelacionados, los coeficientes no son independiente, Como $Q = U \times A_c$ y $A_c = B \times H$, la suma de los exponentes debería ser igual a la unidad, es decir b + β + f = 1, como se muestra en las Tabla 7-34 y Tabla 7-35, la suma de exponentes para todas las secciones son aproximadamente 1.

- **Calidad de agua**

Tanto para definir las condiciones de borde del modelo como para realizar la calibración del mismo se realizó una campaña de monitoreo, Los puntos de muestreo corresponden al sitio de en ambos cuerpos receptores. Los parámetros monitoreados y resultados, que fueron empleados para la calibración del modelo de calidad del agua se listan a continuación en la Tabla 7-36.

Tabla 7-36 Parámetros monitoreados

Parámetro	UNIDAD	Río Sucio	Quebrada La Caimana
Alcalinidad Total	mg/L $CaCO_3$	66,21	<4
Coliformes Totales	NMP/100 mL	870,4	6893
DBO_5	mg/L	<2	4
Fósforo Total	mg/L	<0,02	<0,02
Fenoles	mg/L	<0,2	<0,2
In Situ Conductividad	µS/cm	266	18
In situ Oxígeno Disuelto	mg/L	7,28	6,7
In situ pH	Unidades	8,2	5,52
In situ Temperatura	°C	28,29	24,11

Parámetro	UNIDAD	Río Sucio	Quebrada La Caimana
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	<0,54	<0,54
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<20	<20

Fuente: C.I.M.A., 2016

- **Tipo de Descarga**

La descarga en una corriente de agua se puede considerar de dos tipos: descarga puntual y descarga difusa; para efectos del tipo de descarga que se puede originar para el caso actual, se puede considerar como puntual, ya que realiza el vertimiento a través de una sola línea directamente sobre los cuerpos de agua,

- **Tipo de Contaminante**

Dependiendo del parámetro a considerar, estos pueden ser de tipo conservativo (su concentración solo se ve afectada por dilución), o de tipo no conservativo (su concentración se ve influenciada por reacción de tipo biológico, químico, físico, etc,), ver ejemplos en Tabla 7-37.

Tabla 7-37 Ejemplos de tipo de contaminante

Conservativo	No conservativo
- Sólidos Suspendidos, - Sólidos Disueltos, - Iones Cl^- SO_4 - Materiales Radiactivos - Metales Pesados	- Materia Orgánica - Organismos Patógenos - Temperatura, - Nitritos, nitratos, amonio y fósforo

- **Estructuración del sistema en el modelo**

Para efectos de modelación, el sistema está compuesto por una corriente receptora y una descarga, El área de análisis comprendió el trayecto de las corrientes desde aguas arriba del sitio de vertimiento hasta una distancia aproximada de 500m agua abajo (ver Figura 7-5 y Figura 7-8), cumpliendo con una longitud modelada mayor a la estimada con la metodología ANLA para el cálculo de la longitud de influencia.

- **Implementación del modelo QUAL2K**

En este caso de estudio, y como se ha explicado anteriormente, se seleccionó el QUAL2K como modelo a implementar. Toda la información requerida por el modelo fue suministrada a partir de los datos recolectados en la campaña de monitoreo y la

caracterización hidráulica.

La información de calidad del agua en la cabecera de los tramos fue ingresada al modelo y se corrió el modelo y las tasas de reacción de los diferentes determinantes fueron asignadas a partir de la literatura, este ejercicio se realizó siguiendo el protocolo propuesto por Camacho y Díaz-Granados (2003). Las tasas de reacción para los diferentes determinantes criterio, se presentan en la Tabla 7-38, dichas tasas representan la capacidad del cuerpo de agua para asimilar la descarga de contaminantes propuestos en el vertimiento.

Tabla 7-38 Tasas de reacción para diferentes determinantes

Parámetro	Valor - Río Sucio	Valor - Quebrada La Caimana	Unidades	Símbolo
Sólidos suspendidos				
Velocidad de sedimentación	1,5	1,5	m/d	v_i
Oxígeno				
Modelo de reaireación	44,87 - 190	190	/d	k_a
DBO rápida				
Tasa de oxidación	1	2	/d	k_{dc}
DBO lenta				
Hidrolisis	0,1	0,3	/d	K_{hc}
Tasa de oxidación	1	0,7	/d	k_{dcs}
Coliformes totales				
Tasa de decaimiento	20	25	/d	k_{dx}
Velocidad de sedimentación	30	30	m/d	v_x

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

- **Escenarios de simulación**

A continuación se presentan los escenarios de simulación los cuales cumplen con las siguientes condiciones,

- Escenario 1: Este corresponde al escenario sin vertimiento. El caudal utilizado para este escenario fue el valor medio del mes de marzo, debido a que en este mes se realizaron los monitoreos sobre las fuentes de agua.
- Carga máxima en el vertimiento tratado y caudal mínimo sobre la corriente receptora. Estas cargas se estimaron a partir los límites máximos reportados en el artículo 15 de la Resolución 631 de 2015.
- Carga máxima en el vertimiento antes del tratamiento y caudal mínimo sobre la corriente: Corresponde al escenario más crítico donde el vertimiento es descargado sin ningún tratamiento y la corriente se encuentra en el nivel más bajo,

En la **Tabla 7-39** se presentan las concentraciones para los escenarios mencionados y los caudales correspondientes, Los caudales mínimo y máximo utilizados fueron tomados a la serie de caudales generados para la modelación hidráulica.

Tabla 7-39 Escenarios de modelación

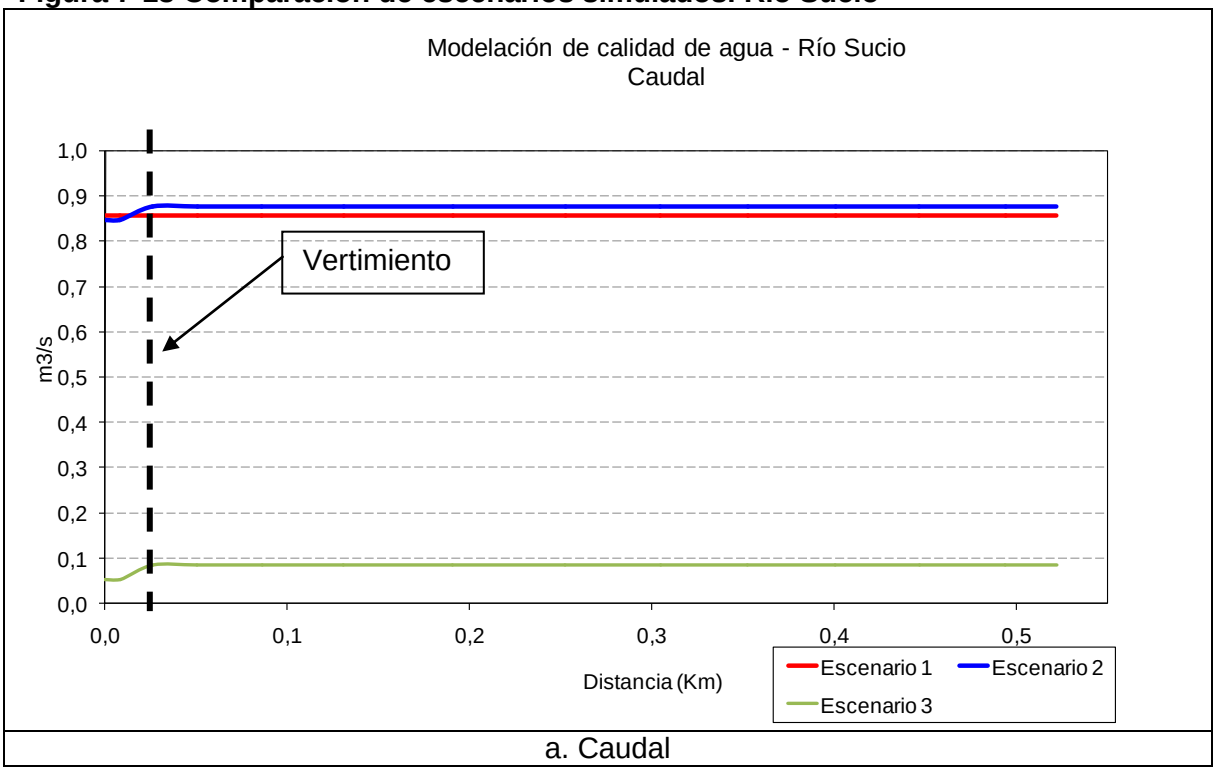
Parámetro	Unidades	Escenarios de simulación		
		Escenario 1 - Sin proyecto	Escenarios 2 - Carga máxima vertimiento tratado - condición media de caudal	Escenario 3 - Carga sin tratamiento - condición mínima de caudal
Caudal a verter - río Sucio	m^3/s	Sin vertimiento	0.003	0.003
Caudal a verter - río Sucio	m3/s		0.005	0.005
Alcalinidad Total	mg/L		108,2	108,2
Coliformes Totales	NMP/100 mL		50	50
DBO_5	mg/L		50	-
Fósforo Total	mg/L		0,030	0,030
Fenoles	mg/L		0,2	0,001
In Situ Conductividad	µS/cm		248	248
In situ Oxígeno Disuelto	mg/L		5,48	5,48
In situ pH	Unidades		6 - 9	8,4
In situ Temperatura	°C		40	24,5
Nitratos	mg/L		0,05	0,05
Nitritos	mg/L		0,01	0,01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L		50	33
Caudales - río Sucio	m3/s	0,8573	0,8478	0,05424
Caudales - quebrada La Caimana	m3/s	0,0464	0,046	0,00284

- Fuente: Resolución 0631 de 17 de marzo de 2015 y (CV Helios, 2011)

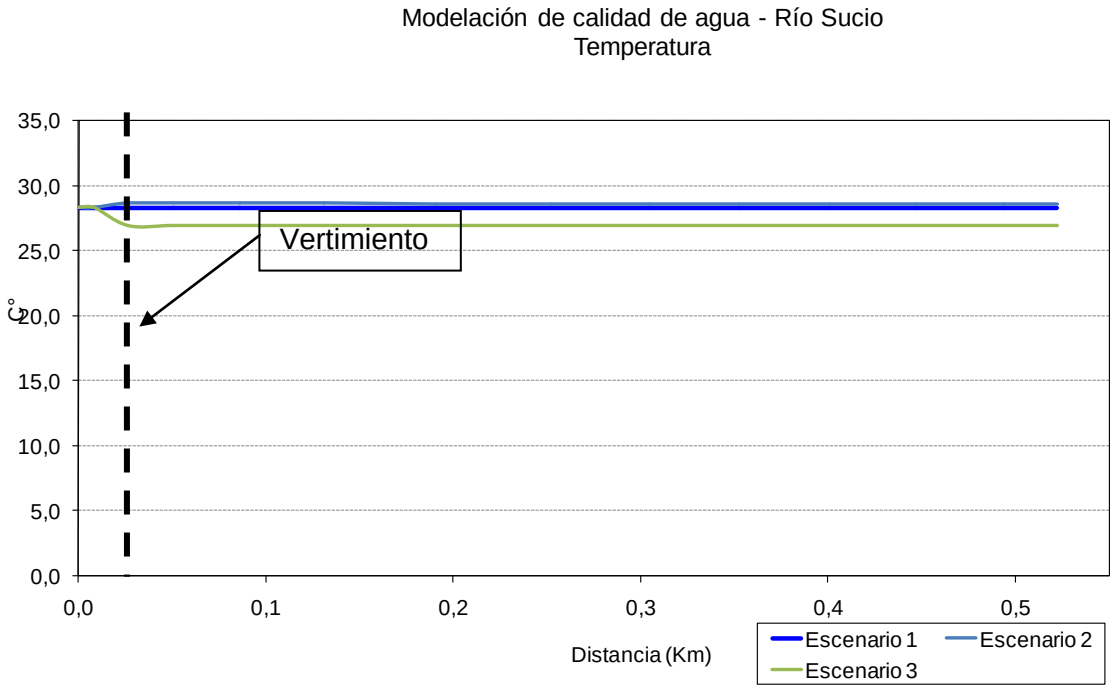
En las **Figura 7-13** y **Figura 7-14** se presenta los perfiles del río para los parámetros de caudal, oxígeno disuelto, temperatura, pH, DBO_5, DQO y coliformes totales, respondiendo a los requerimientos del Decreto 3930 de 2010, para los tres escenarios de simulación

propuestos. Los datos iniciales (en la cabecera. previo al vertimiento) fueron lo correspondientes al monitoreo realizado sobre el río Sucio y la quebrada La Caimana.

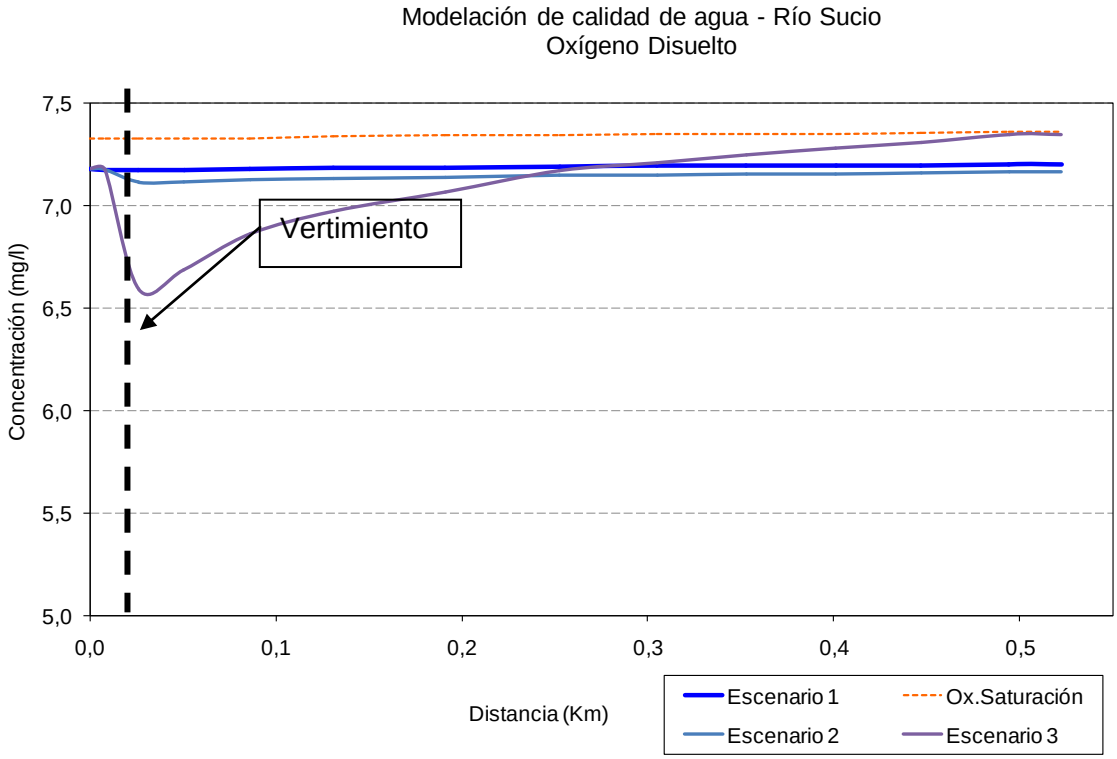
Figura 7-13 Comparación de escenarios simulados. Río Sucio



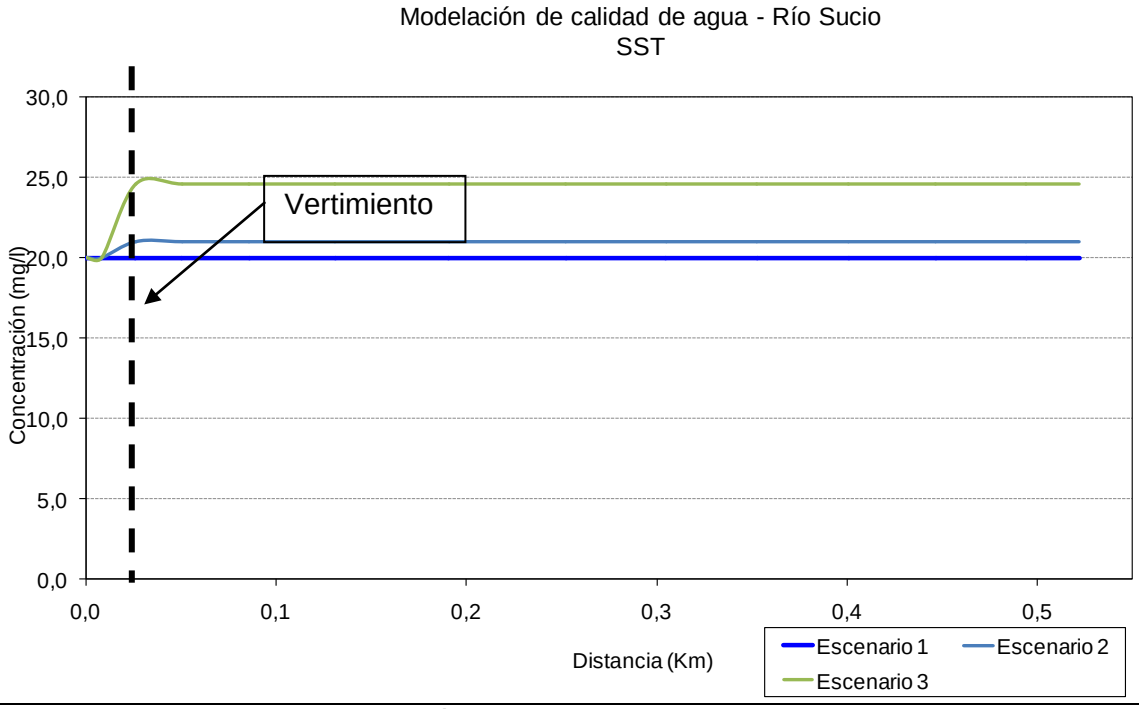
a. Caudal



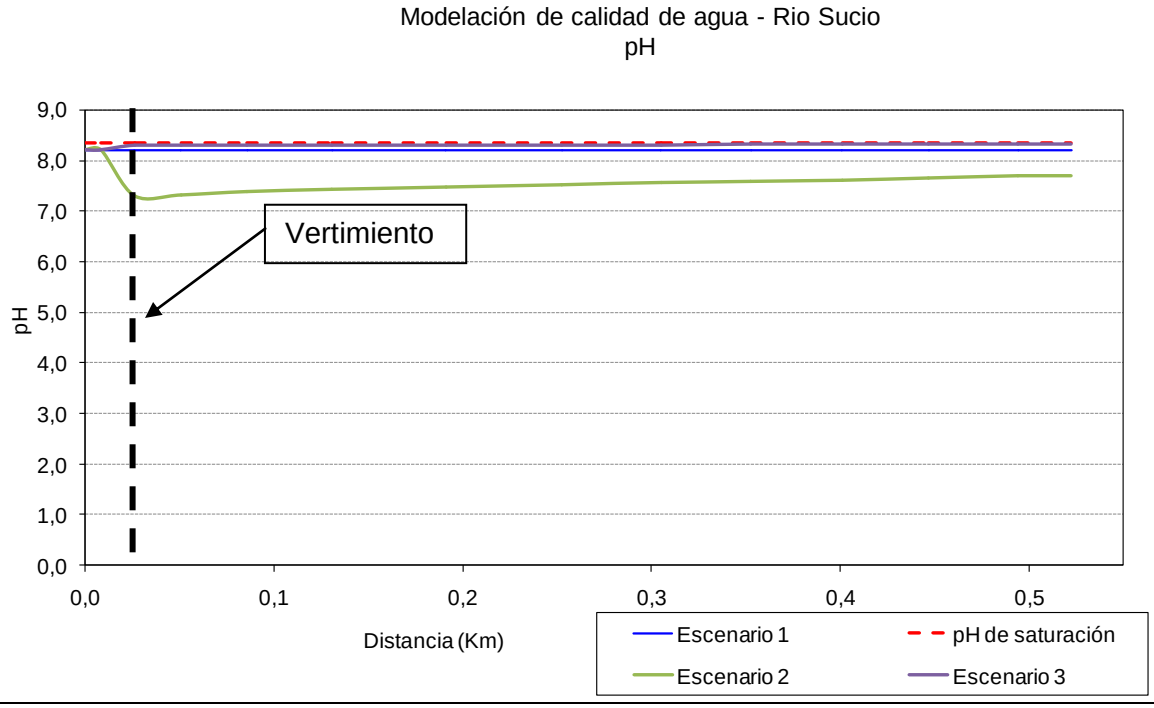
b. Temperatura



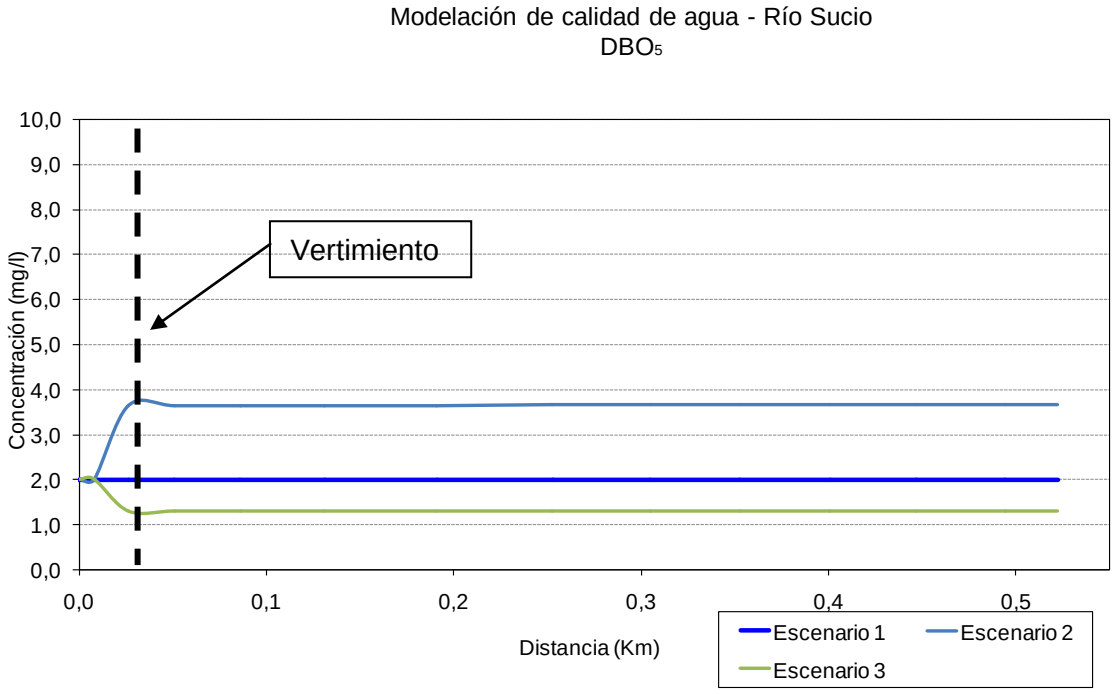
c. Oxígeno disuelto



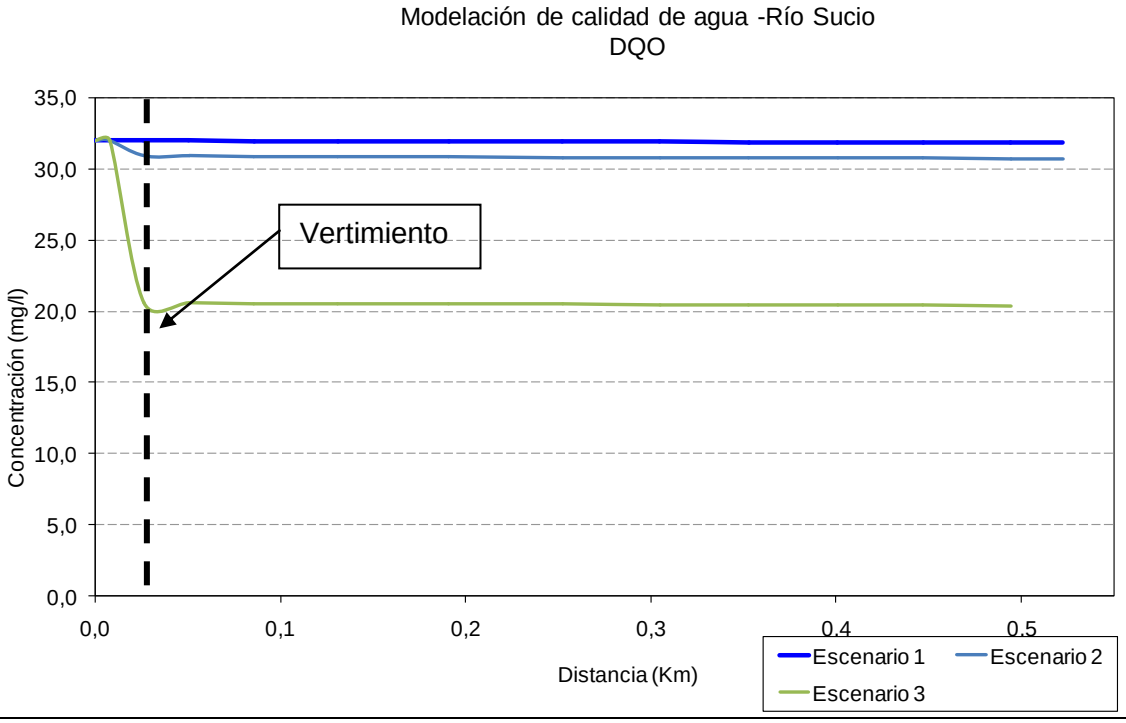
d. Sólidos suspendidos totales



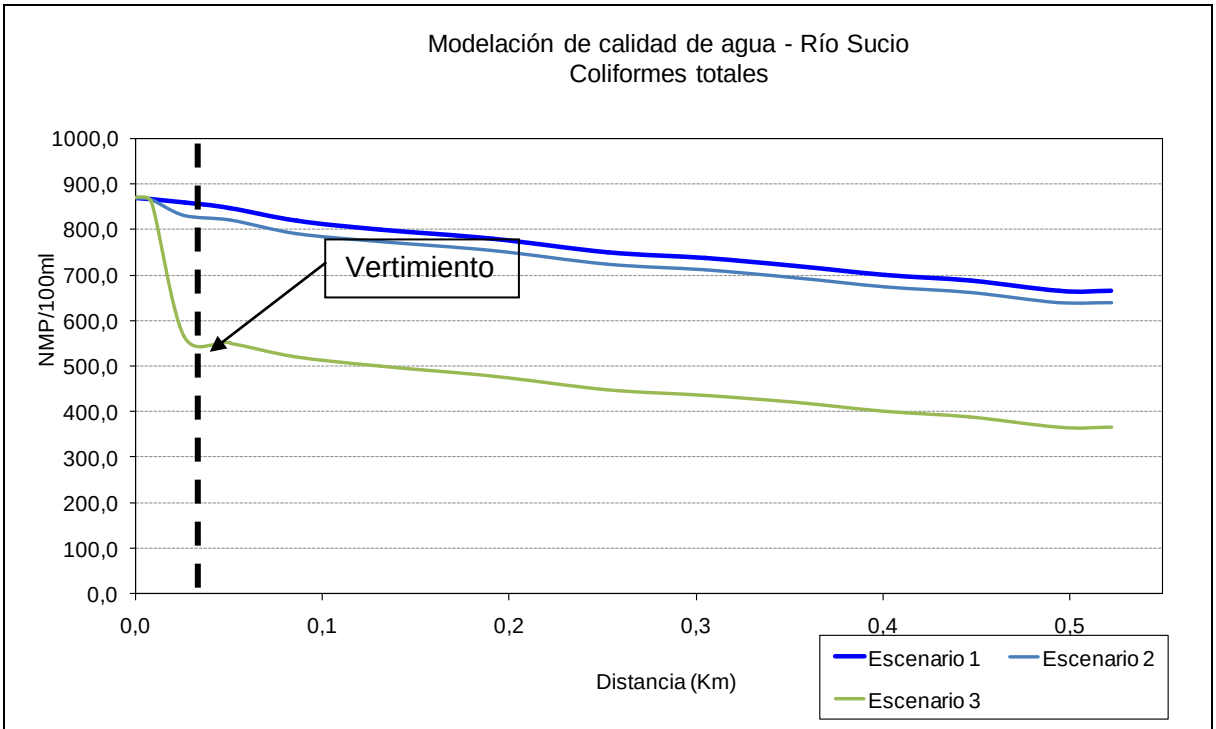
e. pH


Modelación de calidad de agua - Río Sucio
DBO5
Concentración (mg/l)
Distancia (Km)
Vertimiento
Escenario 1
Escenario 2
Escenario 3

f. DBO_5


Modelación de calidad de agua -Río Sucio
DQO
Concentración (mg/l)
Distancia (Km)
Vertimiento
Escenario 1
Escenario 2
Escenario 3

g. DQO



h. Coliformes totales

Fuente: Consultoría Colombiana S,A,, 2016

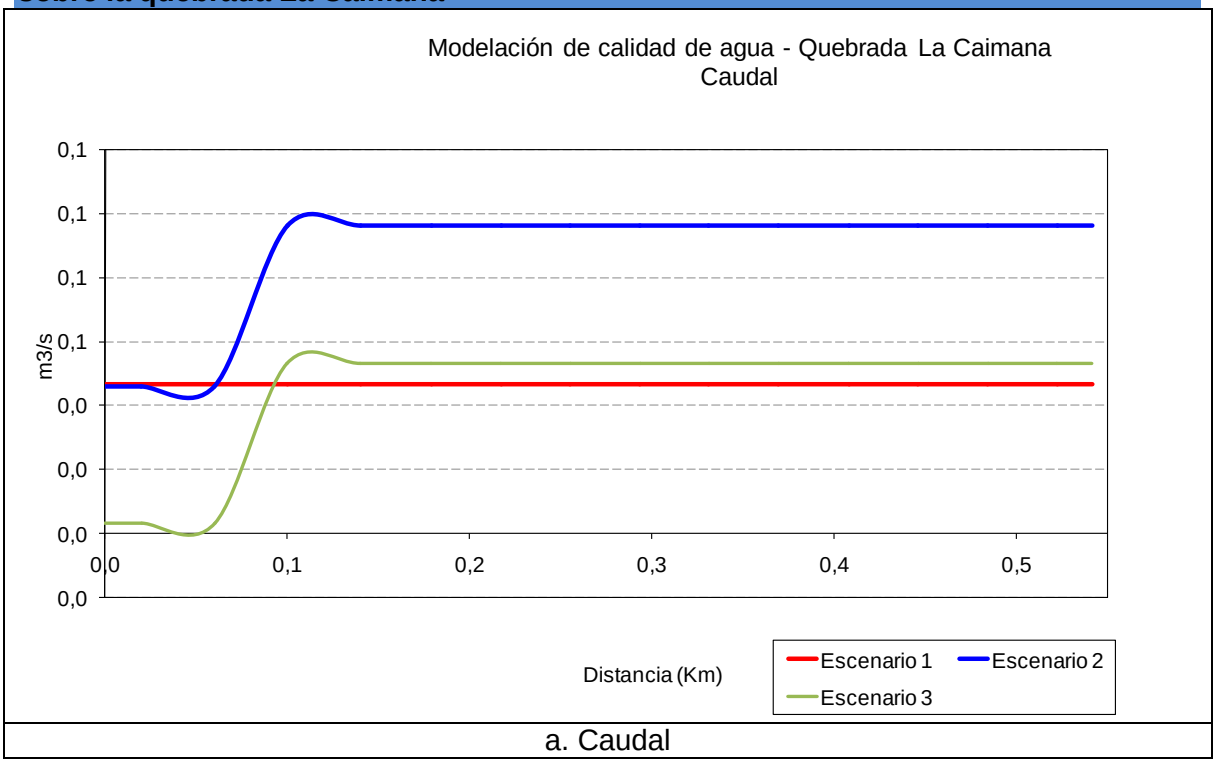
Como se muestra en las curvas del escenario 1 (sin proyecto), los parámetros más relevantes en este tipo de corrientes son el oxígeno disuelto, debido a que este corresponde a una corriente de montaña con una reaireación constante por las importante pendiente y el movimiento del aguas, esto hace que parámetros como la materia orgánica se asimile, en este caso observando las gráficas de DBO y DQO las concentraciones baja lentamente debido a que son muy bajas y el cuerpo de agua no posee contaminación por materia orgánica importante. El parámetro con mayor decaimiento es el de Coliformes Totales esto se debe a que el cuerpo de agua tiene baja profundidad y un ancho superficial amplio que permite que la luz, estos son los parámetros más importante es la determinación de la tasa de decaimiento por muerte de patógenos.

Con respecto al escenario 2, como se muestra como las concentraciones de la mayoría de los parámetros aumenta, sin embargo el cuerpo de agua se recupera rápidamente. Por otra parte, el parámetro de sólidos suspendidos totales, debido a que es conservativo no disminuye a menos de que se realice un vertimiento o entrada con mejores condiciones (menor concentración a la presentada en el cuerpo de agua). Por tal razón a ingresar los 50 mg/l propuestas para el vertimiento con tratamiento este aumenta y no disminuye con la distancia.

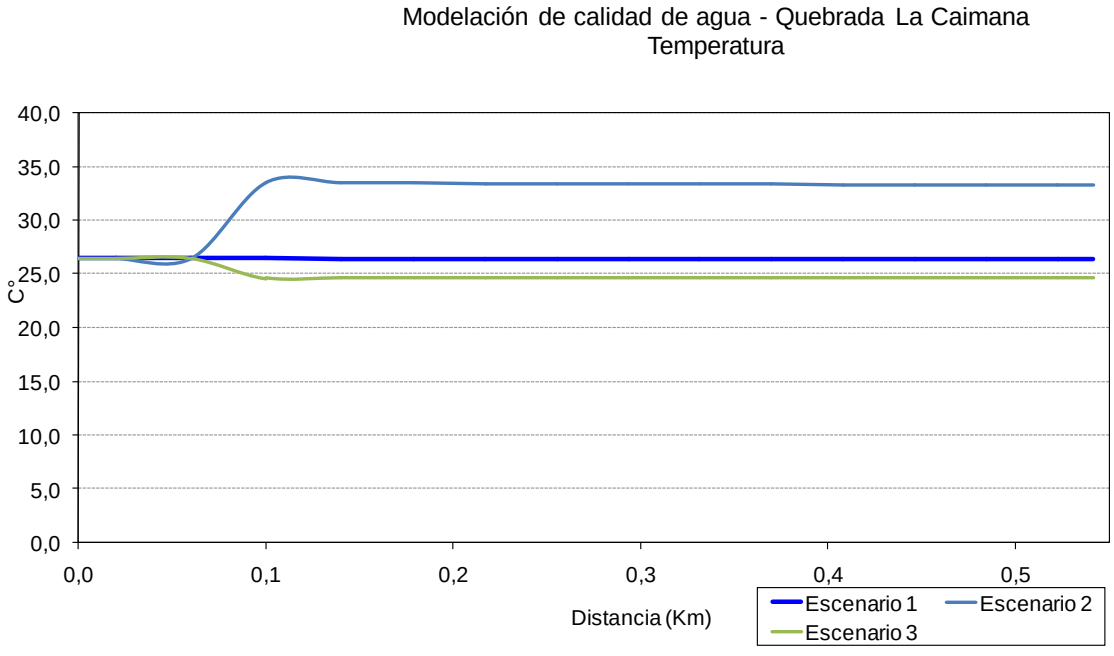
Por último, en el escenario 3 las concentraciones típicas de un vertimiento de excavación de túneles reporta concentraciones menores a las requeridas por la norma, este es el

caso del pH, temperatura, DBO_5, DQO y coliformes totales. Por otra parte, debido al bajo caudal que se presenta en la corriente parámetros como el pH, sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto, alcanzan a impactar el cuerpo de agua, sin embargo, gracias a la importante reaireación y alta pendiente longitudinal el cuerpo de agua se recupera rápidamente.

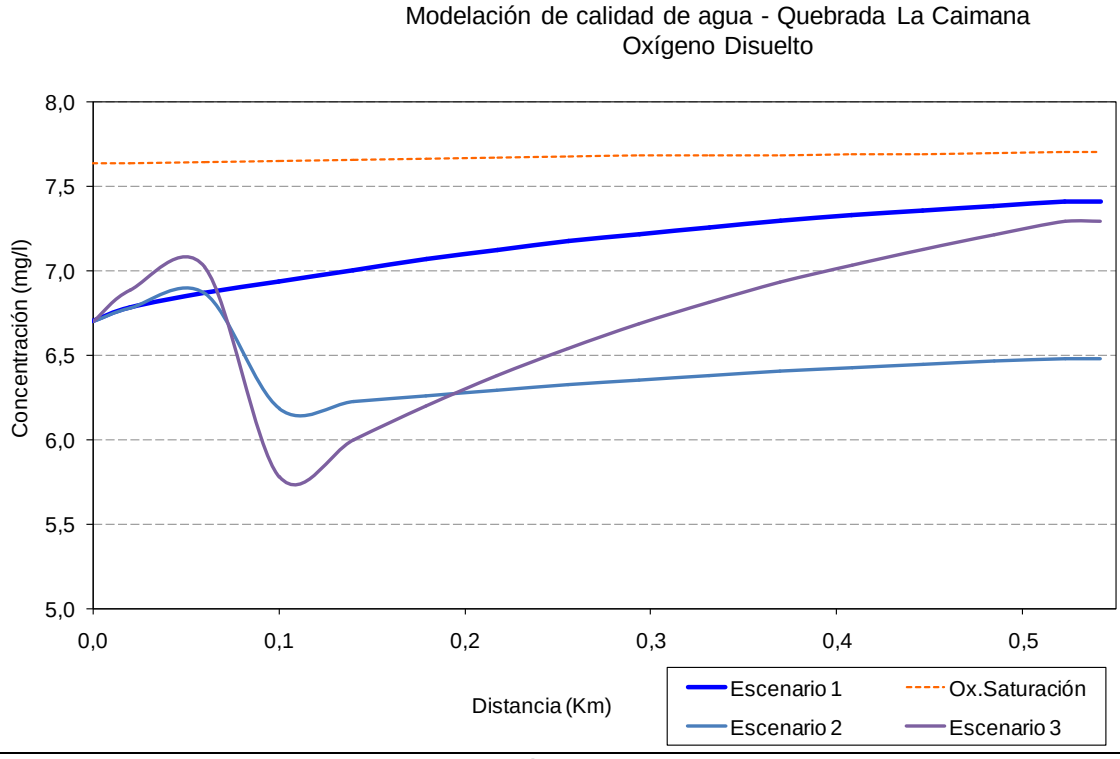
Figura 7-14 Perfiles calibrados de calidad de agua y características hidráulicas sobre la quebrada La Caimana



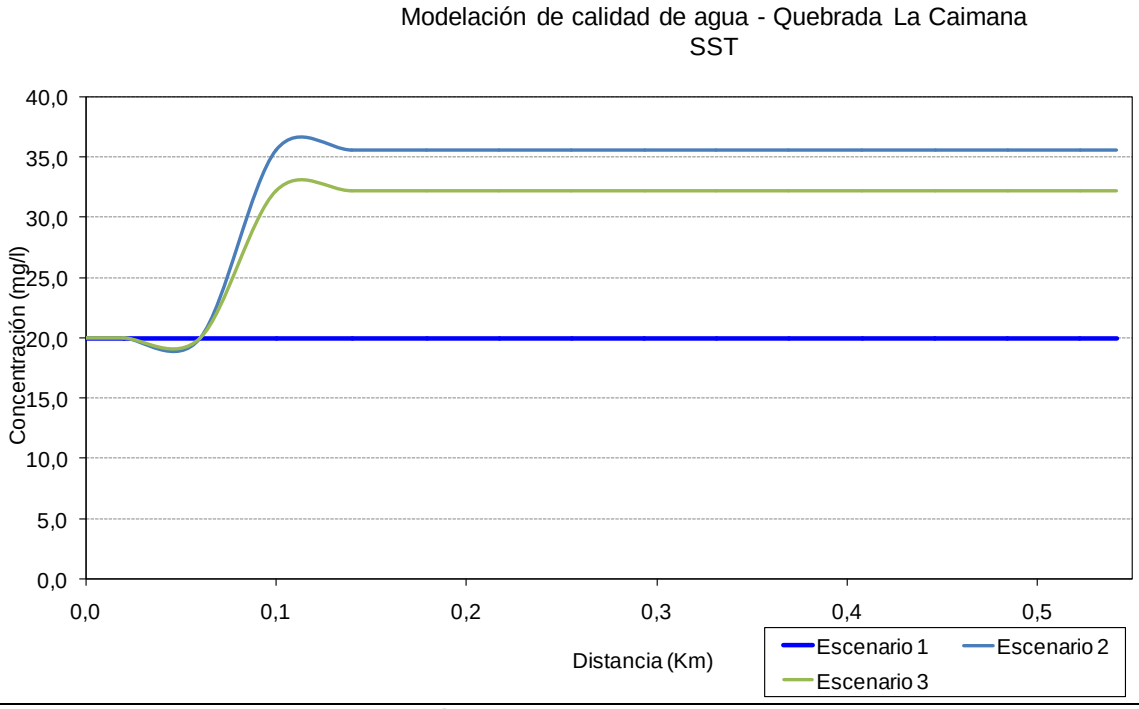
a. Caudal



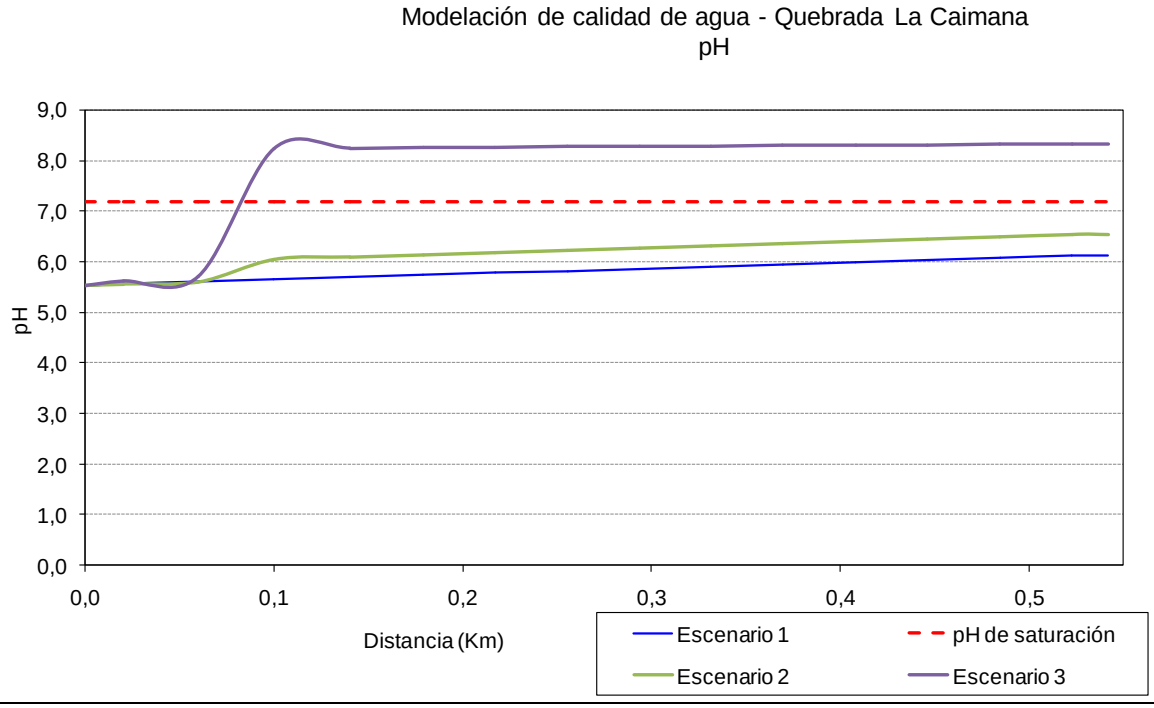
b. Temperatura



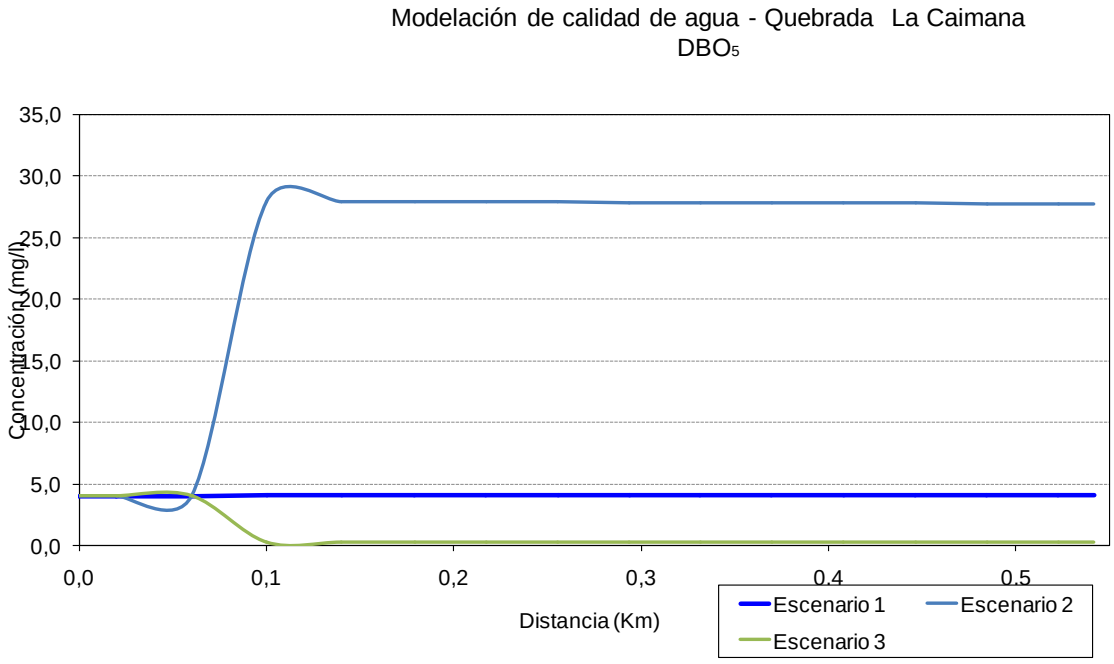
c. Oxígeno disuelto



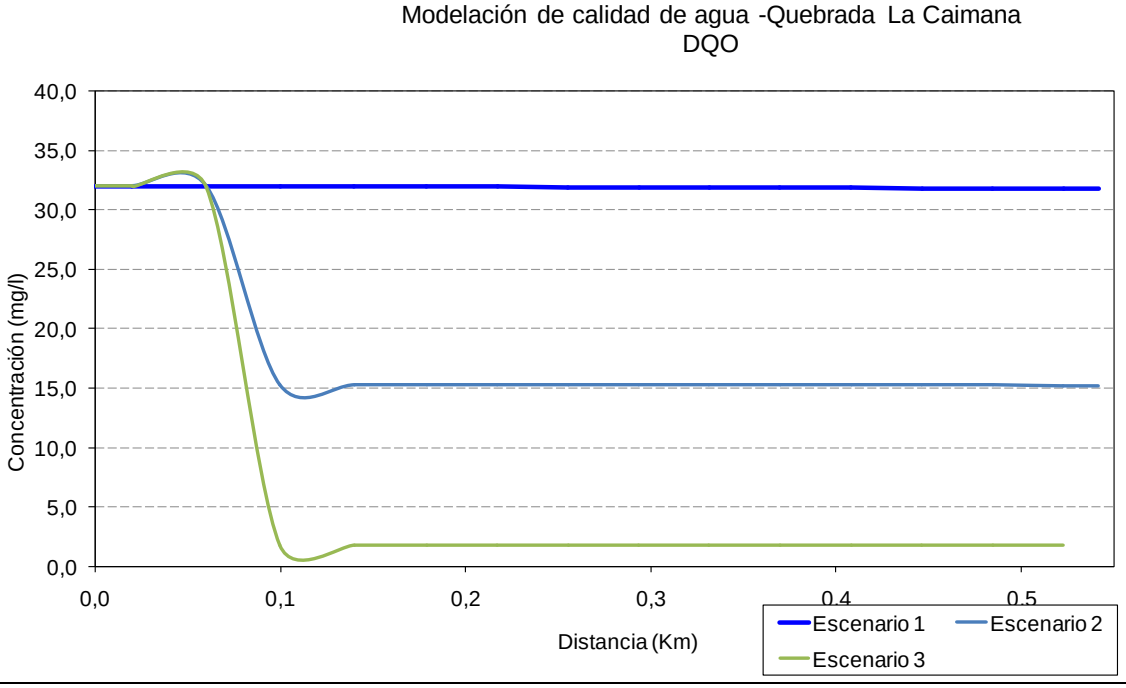
d. Sólidos suspendidos totales



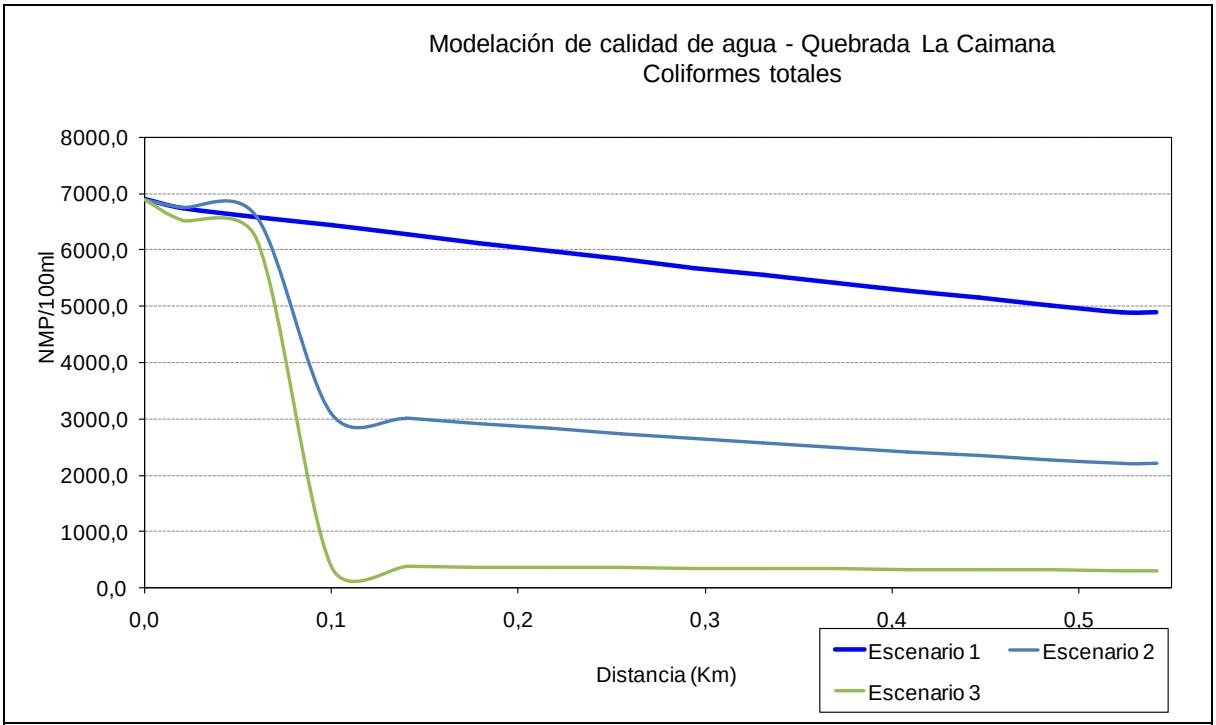
e. pH


Modelación de calidad de agua - Quebrada La Caimana
DBO5
Concentración (mg/l)
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
Distancia (Km)
Escenario 1
Escenario 2
Escenario 3

f. DBO_5


Modelación de calidad de agua -Quebrada La Caimana
DQO
Concentración (mg/l)
40,0
35,0
30,0
25,0
20,0
15,0
10,0
5,0
0,0
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
Distancia (Km)
Escenario 1
Escenario 2
Escenario 3

g. DQO



h. Coliformes totales

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

Como se observa en las curvas de la Figura 7-14 los cambios en los parámetros son significativos ante cambios en el caudal, entradas de materia orgánica, aumentos en la temperatura, pH, sólidos suspendidos, entre otros. Lo anterior se debe a que la corriente de agua posee caudales bajos con relación al caudal que se vierte, esto hace que el tratamiento que se le debe realizar al vertimiento sea estricto en parámetros como los sólidos suspendidos totales. Es importante aclarar que, el vertimiento para que no genere impactos significativos sobre la fuente debe cumplir con la normativa y tener condiciones de calidad mejores que los reportados en la fuente de agua.

Como se observa el escenario 1, revela una característica única de los cuerpos de agua de montaña y es su rápida recuperación en las concentraciones de oxígeno disuelto en tramos cortos, esto implica que la corriente tiene alta capacidad de asimilación de nutrientes, materia orgánica y contaminación biológica. Por otra parte debido a su baja profundidad y ancho superficial amplio facilita procesos como la entrada de luz (acelerado decaimiento de patógenos). Se resalta el comportamiento del pH, debido que la fuente tiene a ser ácida, su recuperación es relativamente rápida. Se presenta temperatura, sólidos suspendidos totales, DBO_5 y caudal constantes.

En el escenario 2 (cumplimiento normativo) se reporta cambios significativos en el oxígeno disuelto, DBO_5 y sólidos suspendidos totales, los cuales representan variables a monitorear, debido a que la fuente se ve afectada por la entrada de un cauda aproximadamente igual al que transporta. Sin embargo, parámetros como coliformes totales y DQO, generan cambios positivos sobre las fuentes debido a que el vertimiento

entra a la fuente con concentraciones inferiores.

Por último, en el escenario 3 (sin tratamiento) se observa una recuperación importante en el oxígeno disuelto, debido a que la baja profundidad por el caudal pequeño, permite que el cuerpo de agua alcance sus condiciones iniciales dentro del tramo modelado. Con respecto a la DQO, DBO_5, temperatura y coliformes totales, permite que la fuente presente mejores condiciones de calidad a las iniciales, gracias a sus bajas concentraciones. El único parámetro que debe garantizar una concentración inferior para evitar cambios negativos en la corriente son los sólidos suspendidos totales, debido a su característica de persistencia en el medio.

Conclusiones

El vertimiento de las aguas residuales industriales asociadas al proyecto se prevé no causará una alteración fisicoquímica, ni alteración temporal del equilibrio en el cuerpo de agua receptor, debido a que el vertimiento no presenta contaminación significativa en parámetros criterio para garantizar una calidad igual o mejor sobre los cuerpos receptores. De acuerdo con los resultados de la modelación, el cuerpo de agua cuenta con una capacidad de asimilación de contaminante alta, debido a que son corrientes de montaña con importante entrada de oxígeno.

Con el fin de evitar y mitigar posibles impactos, los vertimientos se realizarán siempre y cuando cumplan con los criterios de calidad exigidos por la ley, a través del tratamiento permanente de todas las aguas residuales efluentes. Garantizando una concentración, específicamente de sólidos suspendidos totales, en todo caso, inferiores a los normativos y a los reportados en las corrientes de agua.

Finalmente se concluye que bajo las condiciones de operación esperadas para el proyecto con vertimientos de 30 L/s en el río Sucio y 50 l/s en la quebrada La Caimana que serán tratados a los niveles reportados no existe ningún riesgo de impactar de forma negativa los cuerpos de agua, ni afectar los usos y usuarios actuales aguas abajo del tramo de modelación.

Se enmarca todo el tema de vertimientos en la normatividad ambiental vigente Resolución 0631 de 2015 y Decreto 3930 de 2010.

En consecuencias, para los vertimientos, se solicita durante la etapa de construcción del proyecto el permiso respectivo en los puntos mostrados en . Se solicita una franja de vertimiento de 100 m (50 m aguas arriba y 50 m aguas abajo de la coordenada mostradas.

Tabla 7-40 Permiso de vertimiento solicitados etapa de construcción.

ACTIVIDAD O INSTALACIÓN	UBICACIÓN			CAUDAL MINIMO DEL CUERP	FLUJO DEL VERTIMIENTO	CAUDAL A VERTER (l/s)	
	NOMBRE	ESTE	NORTE			Industrial	Doméstico

				O DE AGUA (l/s)			
Túnel La Paz	Quebrada La Caimana	1.083.243,09	1.286.594	2,94	continuo	50	No se planea vertimiento de aguas residual doméstica
Túnel La Sorda	Río Sucio	1.079.598,15	1.288.397	54,24	continuo	30	No se planea vertimiento de aguas residual doméstica

Fuente: Consultoría Colombiana S.A., 2016

7.4 OCUPACIONES DE CAUCE

Para la intersección de todos los drenajes identificados que cruza el diseño de la vía, se ha planteado obras hidráulicas que permita su normal transcurso sin ser alterada por la configuración final del proyecto. Todas las secciones han sido determinadas desde el punto de vista hidrológico e hidráulico, para garantizar su correcto funcionamiento y ubicación a lo largo del trazado.

En la Tabla 7-41 se presentan la ubicación de los puentes que se construirán a lo largo de la vía, y se especifica el ancho y la longitud para cada uno, además se muestran los datos de los viaductos a construir.

Tabla 7-41 Ubicación de puentes y viaductos a construir

Nº	UF	PK	Denominación Estructura	Ancho (m)	Longitud (m)	Tipología
1	2	13+284	Puente Quebrada El Zarzal	11.00	80.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
2	4	0+725	Puente Quebrada La Lizama I	11.00	25.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
3	4	1+905	Puente Quebrada La Lizama II	11.00	35.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
4	4	2+787	Puente Quebrada La Lizama III	11.00	35.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
5	4	4+982	Puente Quebrada La Putana	11.00	75.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
6	4	7+943	Puente Quebrada Santa Helena	11.00	40.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
7	4	16+216	Puente Quebrada La Cabezonera	11.00	15.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
8	4	17+676	Puente La Paz Sobre Río Sogamoso	11.00	180.00	Metálico
9	5	-	Puente Intersección La Paz (Nueva)	7.35	50.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
10	5	74+134	Viaducto I	11.60	160.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
11	5	75+898	Viaducto II	11.60	240.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
12	5	79+803	Puente Quebrada San Silvestre	11.60	280.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
13	5	82+664	Puente Quebrada La Peligrosa	11.60	430.00	Cajón Postesado Por Voladizos
14	5	87+321	Puente Río Santa Rosa	11.60	110.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
15	7	92+128	Puente Río Sucio	11.60	683.00	Cajón Postesado Por Voladizos

Nº	UF	PK	Denominación Estructura	Ancho (m)	Longitud (m)	Tipología
16	7	96+418	Puente Quebrada La Sorda	11.60	130.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
17	7	98+336	Puente Quebrada N.N.	11.60	240.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
18	7	-	Puente Intersección Lisboa (Nueva)	7.35	53.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
19	8	102+172	Viaducto I (Calzada Izquierda)	11.00	87.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
20	8	102+270	Viaducto II (Calzada Derecha)	11.00	40.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
21	8	102+700	Viaducto III (Calzada Derecha)	11.00	156.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
22	8	102+709	Viaducto IV (Calzada Izquierda)	11.00	174.00	Vigas Prefabricadas Hormigón
23	9	115+720	Puente Quebrada La Angula (Calzada Derecha)	11.00	49.50	Vigas Prefabricadas Hormigón
24	9	116+750	Puente Quebrada K116+750 (Calzada Izquierda)	11.00	25.00	Vigas Prefabricadas Hormigón

Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

En la Tabla 7-42 se presenta la cantidad de las obras de drenaje que se construirán a lo largo de la vía por Unidad funcional. El listado detallado de cada una de las obras se encuentra relacionado en el Anexo F4. .

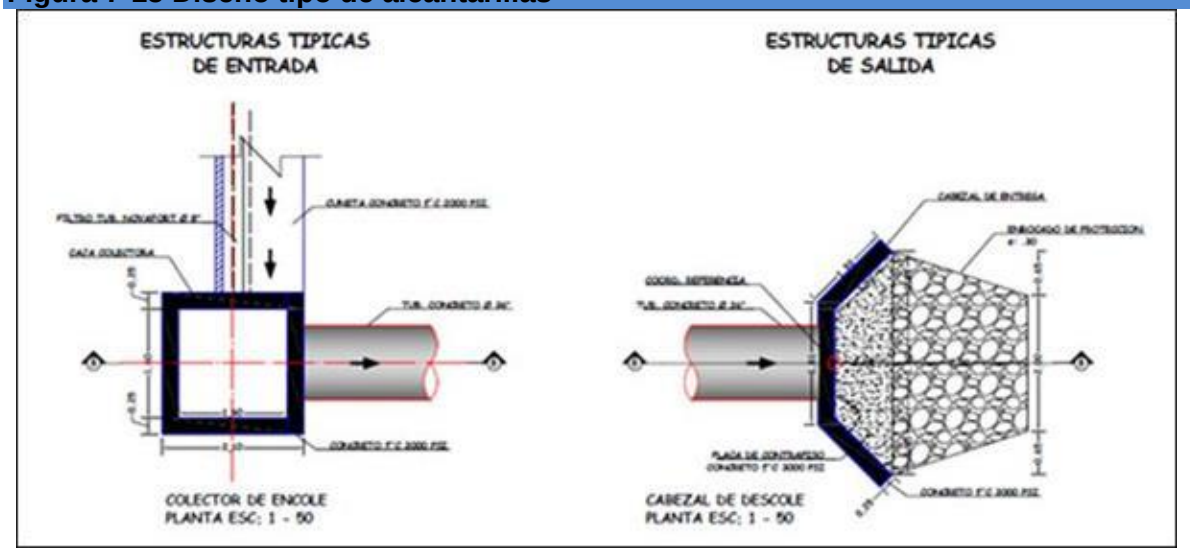
Tabla 7-42 Obras de drenajes menores

Unidad Funcional	Número de Obras
UF 2	84
UF 3 y 4	49
UF 5	78
UF 6	Zona de Túneles
UF 7	8
UF 8	72
UF 9	136
Total Obras	**427**

Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

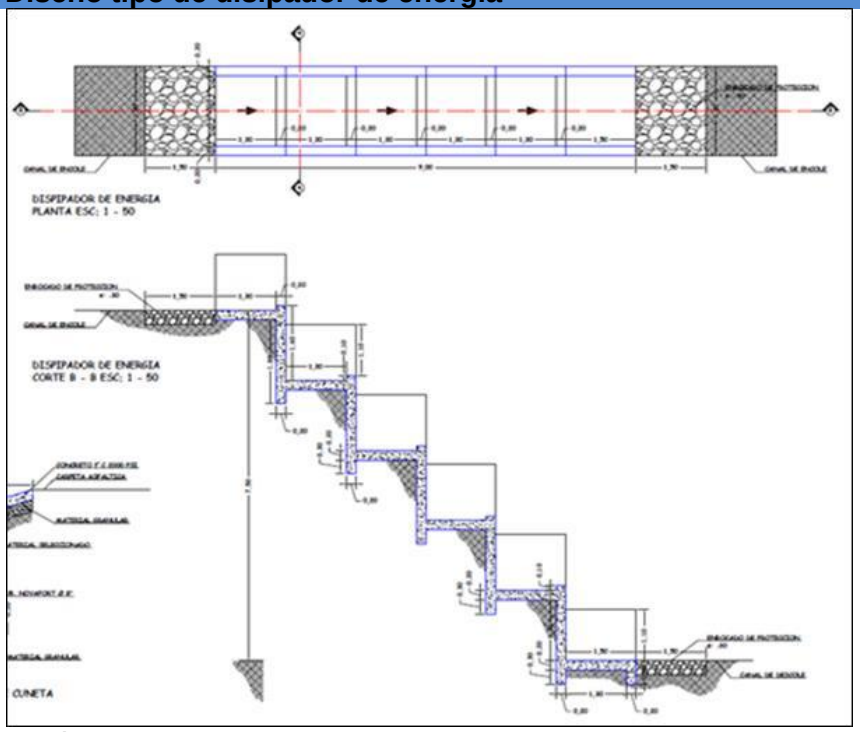
A continuación se presenta los diseños tipo ara la construcción de las obras menores.

Figura 7-15 Diseño tipo de alcantarillas



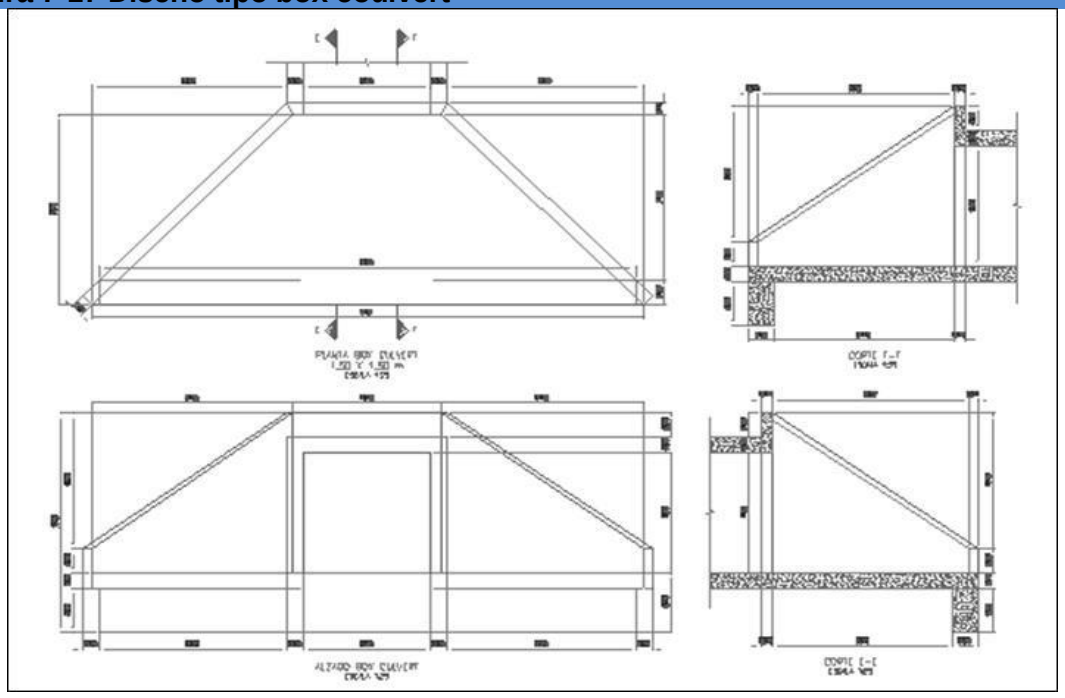
Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

Figura 7-16 Diseño tipo de disipador de energía



Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

Figura 7-17 Diseño tipo box coulvert

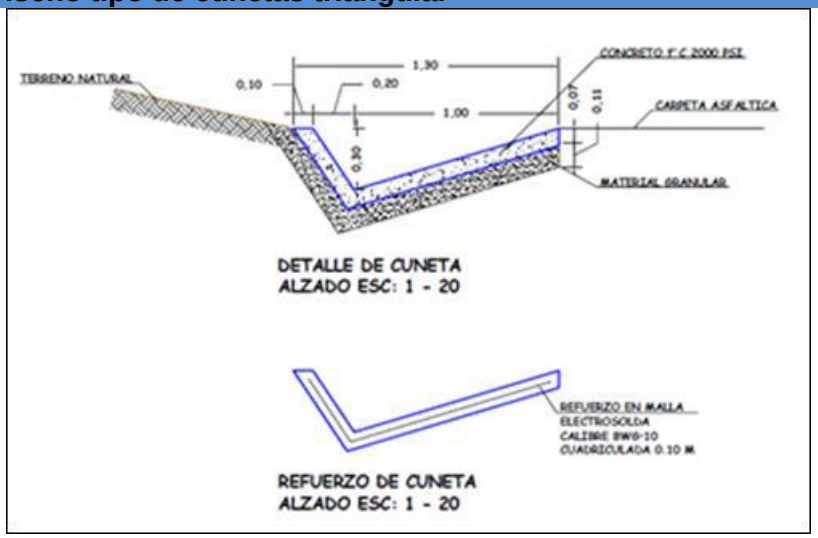


Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

- **Drenaje Longitudinal**

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. Ver Figura 7-18

Figura 7-18 Diseño tipo de cunetas triangular



Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

De acuerdo con el Manual de Drenaje de Invías, como se muestra en la Tabla 7-43 se han adoptado los siguientes periodos de retorno para el dimensionamiento de las obras:

Tabla 7-43 Periodos de retorno de diseño obras de drenaje vial

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)[1]
Cunetas	5
Zanjas de Coronación[2]	10
Estructuras de Caída[2]	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

Adicionalmente, en anexo C2 Hidrología se incluye el Estudio de Hidrología, hidráulica y socavación donde se presenta un análisis detallado de las metodologías, dimensiones y capacidad de las estructuras hidráulicas planteadas para el proyecto.

En los anexos F4 se presenta el Formulario Único Nacional de Permiso de Vertimientos.

7.5 APROVECHAMIENTO FORESTAL

De acuerdo con la Resolución 0751 del 26 de marzo de 2015 (MADS) en lo correspondiente al aprovechamiento Forestal, define que se debe realizar: "*inventario forestal de los individuos presentes en las unidades de ecosistema vegetal de cada ecosistema donde se prevé realizar el aprovechamiento forestales (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%...".*

Dadas las condiciones propias del proyecto, gran parte de las actividades constructivas se realizarán sobre ecosistemas artificializados o transformados 273.4 ha, correspondiente al 69% del total de área a intervenir (Ver Tabla 7-44); por tal motivo se desarrolló sobre este tipo de ecosistemas censo forestal de todos los individuos arbóreos presentes mayores a 10 cm. de DAP (diámetro a la altura del pecho), dicha actividad se adelantó del 9 al 20 de marzo de 2016 (Ver Anexos F1.1 y F1.2)

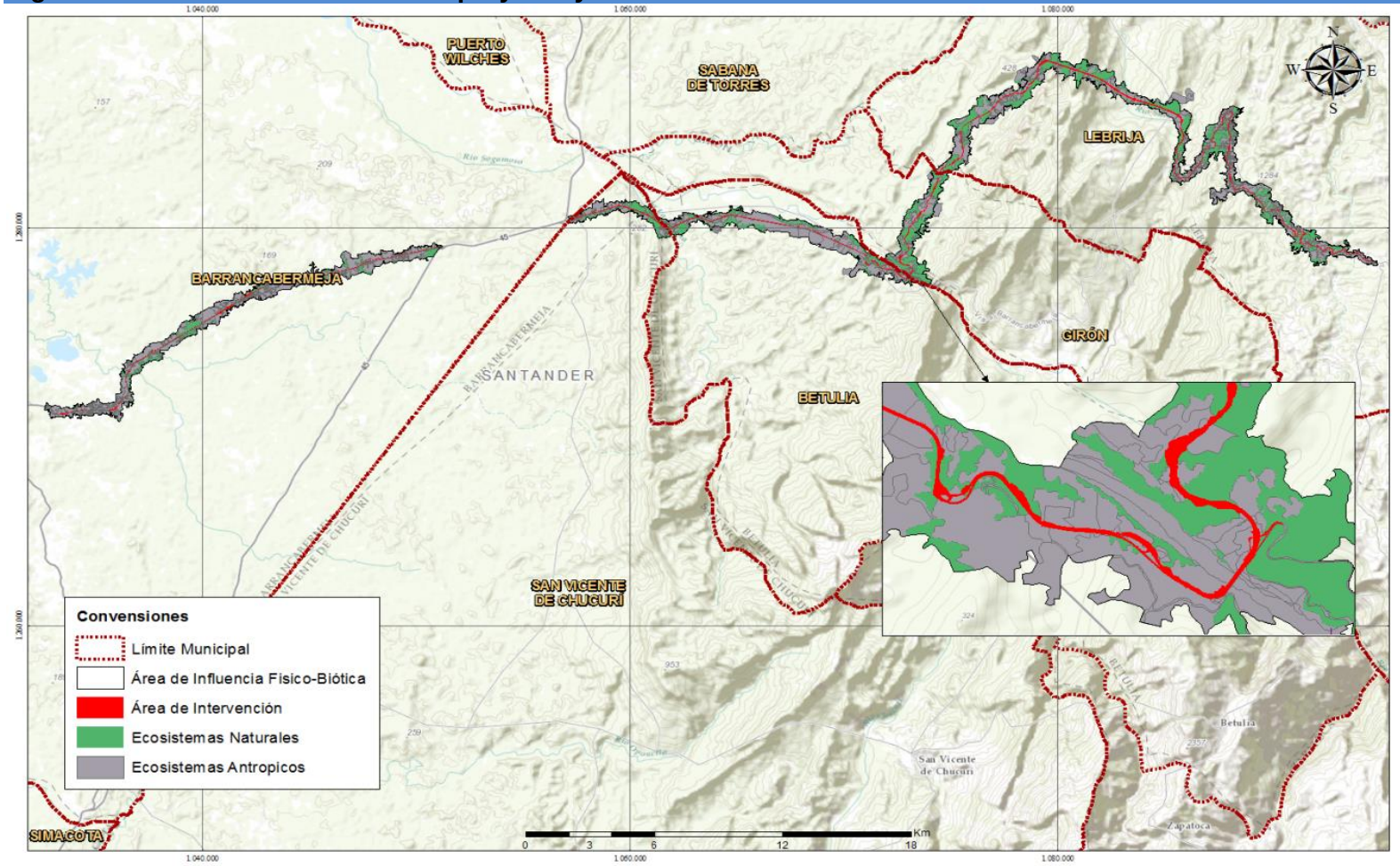
Tabla 7-44 Obras y actividades constructivas del proyecto, susceptibles de aprovechamiento forestal

Obras y/o actividades constructivas del proyecto	Área de intervención		ZODMES		Total intervención	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	**Área (ha)**	**Área (%)**
Ecosistemas transformados	182.4	60.8	91.0	94.5	**273.4**	**69.0**
Ecosistemas naturales	117.4	39.2	5.3	5.5	**122.7**	**31.0**
Total	**299.8**	**100.0**	**96.3**	**100.0**	**396.1**	**100.0**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

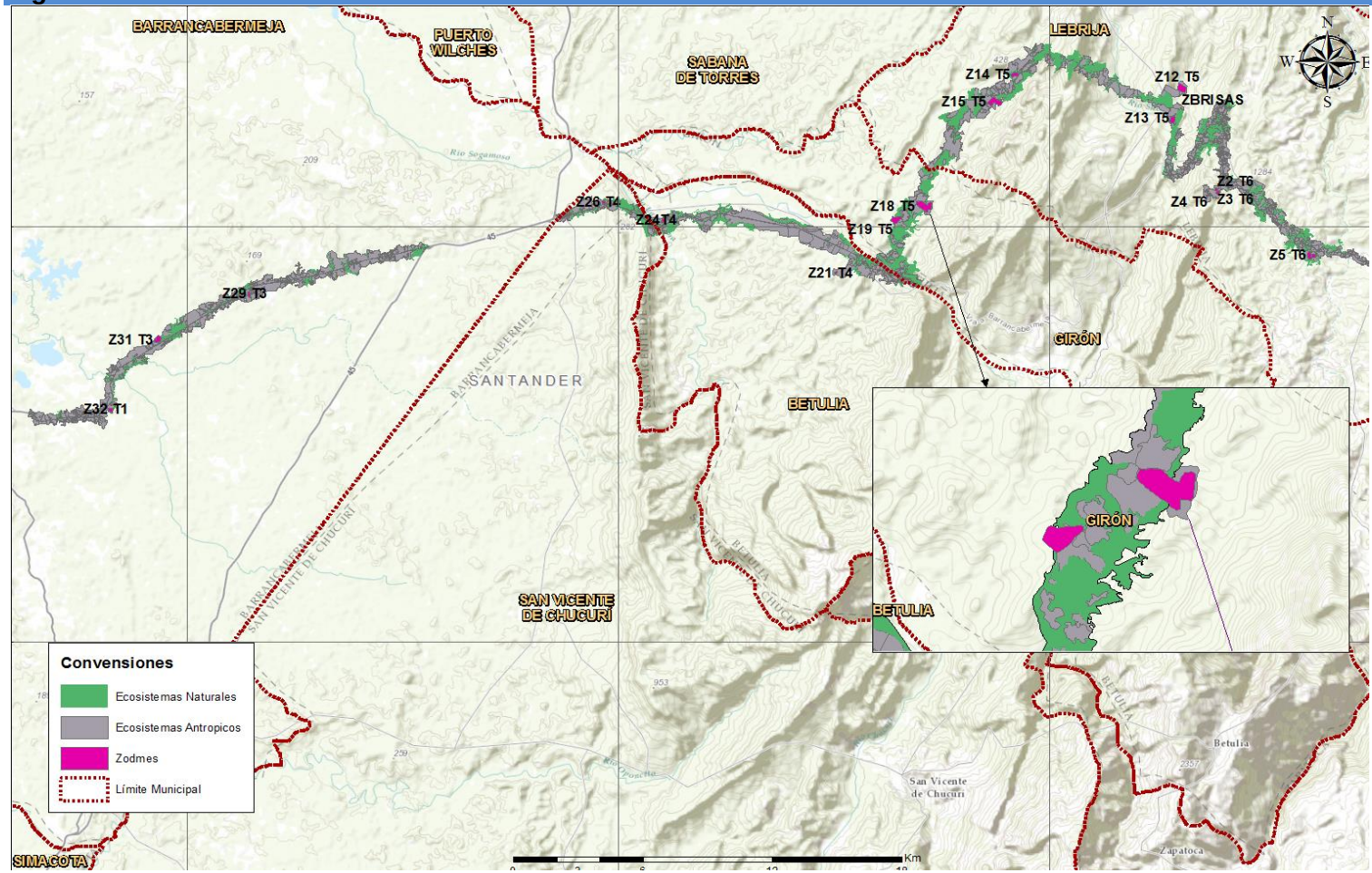
La Figura 7-19, muestra el área de intervención del proyecto, donde además se observan las coberturas naturales y transformadas por donde pasará el proyecto; y la Figura 7-20 muestra la localización de los ZODMES.

Figura 7-19Área de intervención del proyecto y Ecosistemas



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Figura 7-20 Localización de los ZODMES



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:

- ✓ **Inventario forestal sobre ecosistemas naturales**

Se realizó 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 inventario forestal se encuentran en la Tabla 7-45.

Tabla 7-45 Ecosistemas naturales en el área de intervención del proyecto

Ecosistema	Área (ha)	Área (%)
Bosque de galería con predominio de árboles del Helobiomas del Magdalena y Caribe	2.20	1.87
Bosque de galería con predominio de árboles del Orobiomas bajos de los Andes	8.68	7.39
Bosque de galería con predominio de árboles del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.36	0.30
Bosque de galería Mixtos del Helobiomas del Magdalena y Caribe	0.37	0.32
Bosque de galería Mixtos del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.80	0.68
Bosque fragmentado con vegetación secundaria del Orobiomas bajos de los Andes	21.03	17.91
Vegetación secundaria alta del Helobiomas del Magdalena y Caribe	1.03	0.88
Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	41.66	35.47
Vegetación secundaria alta del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	9.42	8.02
Vegetación secundaria baja del Helobiomas del Magdalena y Caribe	0.10	0.08
Vegetación secundaria baja del Orobiomas bajos de los Andes	29.75	25.33
Vegetación secundaria baja del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	2.06	1.75
Total general	**117.44**	**100.00**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Con la información de las áreas de los ecosistemas (Tabla 7-45), se hizo el cálculo de los parámetros estadísticos (Tabla 7-46), Previamente se hizo el cálculo de 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.

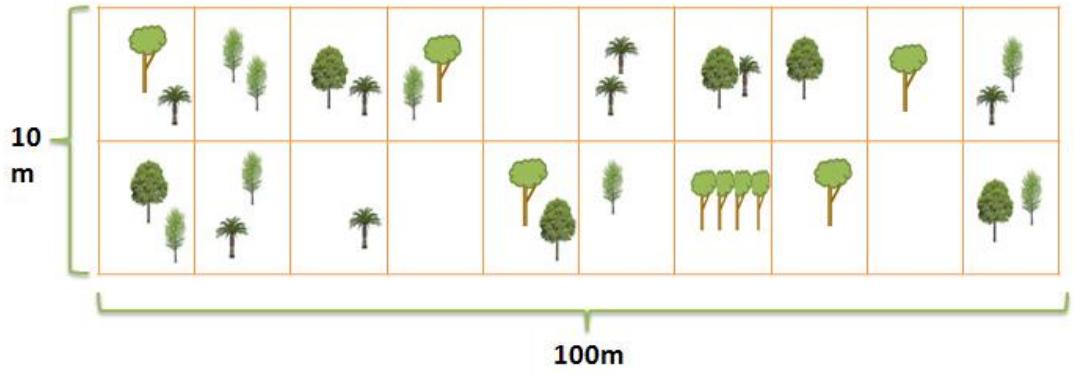
Tabla 7-46 Parámetros estadísticos

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)
Desviación estándar (S)	$S = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \sum \frac{Xi^2}{n}}{n-1}}$
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 los 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 m2 (0.1 ha.) de extensión, correspondiente a un rectángulo de 100 m. de longitud por 10 m. de ancho.

Figura 7-21 Forma y tamaño de las parcelas de muestreo



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Tabla 7-47 Unidades de parcelas de muestreo

ID	ECOSISTEMA	CODIGO ECOSISTEMA	COMISION	No. PARCELA	MAGNA SIRGAS ORIGEN CENTRAL	
					COORDENADAS X	COORDENADAS Y
17	Bosque de galería con predominio de árboles del Helobiomas del Magdalena y Caribe	163141	2	9	1070616,83	1279340,61
26	Bosque de galería con predominio de árboles del Helobiomas del Magdalena y Caribe	163141	2	11	1062917,38	1280626,13
59	Bosque de galería con predominio de árboles del Helobiomas del Magdalena y Caribe	163141	3	19	1037974,75	1273463,71
58	Bosque de galería con predominio de árboles del Orobiomas bajos de los Andes	193141	2	26	1083231,99	1286971,47
18	Bosque de galería con predominio de árboles del Orobiomas bajos de los Andes	193141	3	7	1071577,46	1278219,41
41	Bosque de galería con predominio de árboles del Orobiomas bajos de los Andes	193141	3	17	1058996,72	1280909,89
73	Bosque de galería con predominio de árboles del Orobiomas bajos de los Andes	193141	4	13	1075708,29	1284928,8
16	Bosque de galería con predominio de árboles del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153141	2	8	1070523,78	1278563,19
42	Bosque de galería con predominio de árboles del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153141	3	18	1036366,66	1272972,88
48	Bosque de galería con predominio de árboles del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153141	4	7	1039474,05	1274721,54
33	Bosque de galería Mixtos del Helobiomas del Magdalena y Caribe	163144	2	15	1036588,74	1272046,8
37	Bosque de galería Mixtos del Helobiomas	163144	2	16	1036631,71	1272507,02

ID	ECOSISTEMA	CODIGO ECOSISTEMA	COMISION	No. PARCELA	MAGNA SIRGAS ORIGEN CENTRAL	
					COORDENADAS X	COORDENADAS Y
	del Magdalena y Caribe					
38	Bosque de galería Mixtos del Helobiomas del Magdalena y Caribe	163144	2	17	1036177,12	1272649,78
32	Bosque de galería Mixtos del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153144	2	14	1047408,38	1277932,35
36	Bosque de galería Mixtos del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153144	3	15	1046755,05	1277967,78
47	Bosque de galería Mixtos del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153144	4	6	1047429,35	1278515,98
1	Bosque fragmentado con vegetación secundaria del Orobiomas bajos de los Andes	193132	1	1	1091088,72	1279107,43
8	Bosque fragmentado con vegetación secundaria del Orobiomas bajos de los Andes	193132	2	3	1091873,47	1279696,93
55	Bosque fragmentado con vegetación secundaria del Orobiomas bajos de los Andes	193132	2	23	1081215,87	1287657,38
56	Bosque fragmentado con vegetación secundaria del Orobiomas bajos de los Andes	193132	2	24	1081247,44	1288292,27
13	Bosque fragmentado con vegetación secundaria del Orobiomas bajos de los Andes	193132	3	5	1089773,7	1280521,4
61	Bosque fragmentado con vegetación secundaria del Orobiomas bajos de los Andes	193132	3	21	1081078,99	1287498,66
69	Bosque fragmentado con vegetación secundaria del	193132	3	25	1075677,2	1284236,44

ID	ECOSISTEMA	CODIGO ECOSISTEMA	COMISION	No. PARCELA	MAGNA SIRGAS ORIGEN CENTRAL	
					COORDENADAS X	COORDENADAS Y
	Orobiomas bajos de los Andes					
65	Bosque fragmentado con vegetación secundaria del Orobiomas bajos de los Andes	193132	4	10	1081201,94	1288368,99
25	Vegetación secundaria alta del Helobiomas del Magdalena y Caribe	163231	2	10	1062783,65	1280518,38
28	Vegetación secundaria alta del Helobiomas del Magdalena y Caribe	163231	3	11	1062611,93	1280077,32
63	Vegetación secundaria alta del Helobiomas del Magdalena y Caribe	163231	3	23	1072910,88	1278037,71
21	Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	193231	2	5	1087824,46	1283821,4
57	Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	193231	2	25	1073015,56	1278467,88
68	Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	193231	2	27	1074099,53	1282012,26
34	Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	193231	3	13	1060952,71	1280566,04
43	Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	193231	4	2	1061327,54	1280088,2
53	Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	193231	4	8	1071463,75	1278248,98
66	Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	193231	4	11	1072532,39	1278739,91
31	Vegetación secundaria alta del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153231	2	13	1050645,6	1278667,6
40	Vegetación secundaria alta del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153231	3	16	1039364,03	1274858,62
46	Vegetación secundaria alta del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153231	4	5	1045797,19	1277798,72

ID	ECOSISTEMA	CODIGO ECOSISTEMA	COMISION	No. PARCELA	MAGNA SIRGAS ORIGEN CENTRAL	
					COORDENADAS X	COORDENADAS Y
54	Vegetación secundaria baja del Helobiomas del Magdalena y Caribe	163232	4	9	1071868,59	1277738,63
5	Vegetación secundaria baja del Orobiomas bajos de los Andes	193232	1	3	1092591,52	1278771,8
9	Vegetación secundaria baja del Orobiomas bajos de los Andes	193232	3	1	1092508,97	1278736,84
70	Vegetación secundaria baja del Orobiomas bajos de los Andes	193232	3	26	1075279,54	1284060,48
72	Vegetación secundaria baja del Orobiomas bajos de los Andes	193232	3	27	1073237,18	1280454,65
52	Vegetación secundaria baja del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153232	2	22	1042693,75	1276597,73
60	Vegetación secundaria baja del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	153232	3	20	104669,52	1276565,22

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 (centímetros 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.

- **Volumen por ecosistema**

✓ **Bosque de galería con predominio de árboles del Helobiomas del Magdalena y Caribe (163141)**

Para la determinación del volumen de este ecosistema, se establecieron en campo tres (3) parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por hectárea, en un área de 0,3 ha para cumplir con el error de muestreo, la base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos.

Tabla 7-48Volumen por parcela para el Bosque de galería con predominio de árboles del Helobioma del Magdalena y Caribe

Id.	Área	Volumen	Volumen	No. de

Parcela	basal (m^2)	Total (m^3)	comercial (m^3)	Individuos
17	2.25	17.47	6.80	83
26	1.98	15.43	4.64	58
59	2.04	13.78	6.28	55
Total	**6.27**	**46.69**	**17.71**	**196**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para este ecosistema, el volumen promedio es de 155.63 m^3/ha, en la Tabla 7-49 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 11.84%.

Tabla 7-49 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para el Bosque de galería con predominio de árboles del Helobioma del Magdalena y Caribe

Bosque de galería con predominio de arboles del Helobioma del Magdalena y el Caribe (163141)	
Parámetros	
Area Ecosistema = ha	2.20
Tamaño de parcela	0.1
Tamaño de la muestra (n)	3
Tamaño de la población (N)	651.60
Fración de muestreo (f)	0.0046
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	18.46
CV	11.86
Sy	10.66
Em	18.43
Volumen promedio/ha	155.63
Intervalo de confianza (+)	174.06
Intervalos de confianza (-)	137.20
Em %	**11.84**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Bosque de galería con predominio de árboles del Orobioma Bajo de los Andes (193141)**

Para la determinación del volumen de este ecosistema, se establecieron en campo cuatro parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por hectárea, en un área de 0.4 ha para cumplir con el error de muestreo, la base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos.

Tabla 7-50 Volumen por parcela para el Bosque de galería con predominio de

árboles del Orobioma Bajo de los Andes

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
18	2.37	21.73	8.82	30
41	3.62	25.84	10.34	37
58	2.85	25.99	12.14	58
73	2.91	32.11	15.17	44
Total	**11.75**	**105.67**	**46.47**	**169**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

La Tabla 7-51 muestra el consolidado de volumen promedio de aprovechamiento forestal por hectárea para el ecosistema, de acuerdo con los cálculos de error de muestreo inferior al 15% y una probabilidad superior al 95%.

Tabla 7-51 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para el Bosque de galería con predominio de árboles del Orobioma bajo de los andes

Bosque de galería con predominio de arboles del Orobioma bajo de los andes (193141)	
Parámetros	
Area Ecosistema = ha	8.68
Tamaño de parcela	0.1
Tamaño de la muestra (n)	4
Tamaño de la población (N)	1908.00
Fración de muestreo (f)	0.0021
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	42.75
CV	16.18
Sy	21.38
Em	36.96
Volumen promedio/ha	264.16
Intervalo de confianza (+)	301.12
Intervalos de confianza (-)	227.19
Em %	**13.99**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Bosque de galería con predominio de árboles del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe (153141)**

El cálculo del volumen de este ecosistema, se determinó a partir del levantamiento en campo de tres (3) parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por hectárea, en un área de 0,3 ha, la base de datos de este ecosistema se

muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos

Tabla 7-52 Volumen por parcela para el Bosque de galería con predominio de árboles del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
16	2.28	14.27	2.72	59
42	1.98	12.64	7.97	44
48	1.26	16.72	10.37	34
Total	**5.52**	**43.63**	**21.07**	**137.00**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para este ecosistema, el volumen promedio es de 145.44m^3/ha, en la Tabla 7-49 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 14.08%.

Tabla 7-53 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para el Bosque de galería con predominio de árboles del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe

Bosque de galería con predominio de arboles del Zonobioma húmedo Tropical del Magdalena y Caribe (153141)	
Parámetros	
Area Ecosistema = ha	0.36
Tamaño de parcela	0.1
Tamaño de la muestra (n)	3
Tamaño de la población (N)	600.90
Fración de muestreo (f)	0.0050
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	20.52
CV	14.11
Sy	11.85
Em	20.48
Volumen promedio/ha	145.44
Intervalo de confianza (+)	165.92
Intervalos de confianza (-)	124.96
Em %	**14.08**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Bosque de galería Mixtos del Helobiomas del Magdalena y Caribe (163144)**

Para la determinación del volumen de este ecosistema, se establecieron en campo tres (3) parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por

hectárea, en un área de 0,3 ha para cumplir con el error de muestreo, como se muestra en la Tabla 7-54. La base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos.

Tabla 7-54 Volumen por parcela para el Bosque de galería mixto del Helobioma del Magdalena y Caribe

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
33	3.16	32.21	14.94	46
37	4.31	25.70	6.97	36
38	3.36	24.06	7.76	27
Total	**10.83**	**81.96**	**29.67**	**109.00**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para este ecosistema, el volumen promedio es de 269.86m^3/ha, en la Tabla 7-55 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 13.85%.

Tabla 7-55 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para el Bosque de galería mixto del Helobioma del Magdalena y Caribe

Bosque de galeria con predominio mixto del Helobioma del Magdalena y el Caribe (163144)	
Parámetros	
Area Ecosistema = ha	0.37
Tamaño de parcela	0.1
Tamaño de la muestra (n)	3
Tamaño de la población (N)	210.70
Fración de muestreo (f)	0.0142
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	37.45
CV	13.88
Sy	21.62
Em	37.39
Volumen promedio/ha	269.86
Intervalo de confianza (+)	307.25
Intervalos de confianza (-)	232.47
Em %	**13.85**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Bosque de galería Mixto del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe (153144)**

Para la determinación del volumen de este ecosistema, se establecieron en campo tres (3) parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por hectárea, en un área de 0,3 ha para cumplir con el error de muestreo, como se muestra en la Tabla 7-56. La base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos.

Tabla 7-56 Volumen por parcela para el Bosque de galería Mixto del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
32	2.44	25.38	12.99	26
36	2.42	20.47	9.25	24
47	2.36	22.24	8.53	44
Total	**7.22**	**68.09**	**30.76**	**94**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para este ecosistema, el volumen promedio es de 226.96m^3/ha, en la Tabla 7-57 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 10.94%.

Tabla 7-57 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para el Bosque de galería mixto del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Carbe

Bosque de galeria mixto del Zonobioma húmedo Tropical del Magdalena y Caribe (153144)	
Parámetros	
Area Ecosistema = ha	0.80
Tamaño de parcela	0.1
Tamaño de la muestra (n)	3
Tamaño de la población (N)	379.30
Fración de muestreo (f)	0.0079
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	24.88
CV	10.96
Sy	14.36
Em	24.84
Volumen promedio/ha	226.96
Intervalo de confianza (+)	251.80

Bosque de galeria mixto del Zonobioma húmedo Tropical del Magdalena y Caribe (153144)	
Intervalos de confianza (-)	202.13
Em %	**10.94**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Bosque fragmentado con vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes (193132)**

Para la determinación del volumen de este ecosistema, se establecieron en campo ocho (8) parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por hectárea, en un área de 0,8 ha para cumplir con el error de muestreo, como se muestra en la Tabla 7-58. La base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos.

Tabla 7-58 Volumen por parcela para el Bosque fragmentado con vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
1	2.56	30.40	18.49	50
8	2.13	24.75	12.72	50
13	1.98	17.96	10.70	55
55	2.90	28.03	13.75	47
56	2.53	25.03	10.00	63
61	2.02	14.28	8.03	56
65	2.15	27.81	17.61	60
69	2.73	21.77	10.80	46
Total	19.00	190.04	102.10	427.00

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para este ecosistema, el volumen promedio es de 237.55m^3/ha, en la Tabla 7-59 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 14.06%.

Tabla 7-59 Estadígrafos para el cálculo de volumen promedio para el Bosque fragmentado con vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes

Bosque fragmentado con vegetacion secundaria alta del Orobioma bajo de los andes (193132)	
Parámetros	
Area Ecosistema = ha	21.03
Tamaño de parcela	0.1
Tamaño de la muestra (n)	8

Bosque fragmentado con vegetacion secundaria alta del Orobioma bajo de los andes (193132)	
Tamaño de la población (N)	3284.60
Fración de muestreo (f)	0.0024
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	54.62
CV	22.99
Sy	19.31
Em	33.39
Volumen promedio/ha	237.55
Intervalo de confianza (+)	270.93
Intervalos de confianza (-)	204.16
Em %	**14.06**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Vegetación secundaria alta del Helobioma del Magdalena y Caribe (163231)**

Para la determinación del volumen de este ecosistema, se establecieron en campo tres (3) parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por hectárea, en un área de 0,3 ha para cumplir con el error de muestreo, como se muestra en la Tabla 7-60. La base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos

Tabla 7-60 Volumen por parcela para la vegetación secundaria alta del Helobioma del Magdalena y Caribe

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
25	2.88	22.83	7.84	69
28	2.49	20.53	8.98	37
63	2.76	17.67	6.87	34
Total	**8.13**	**61.03**	**23.69**	**140**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para este ecosistema, el volumen promedio es de 203.44 m^3/ha, en la Tabla **7-61** se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 12.67%.

Tabla 7-61 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para la vegetación secundaria alta del Helobioma del Magdalena y el Caribe

Vegetacion secundaria alta del Helobioma del Magdalena y el Caribe (163231)	
Parámetros	
Area Ecosistema = ha	1.03
Tamaño de parcela	0.1
Tamaño de la muestra (n)	3
Tamaño de la población (N)	552.50
Fración de muestreo (f)	0.0054
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	25.83
CV	12.70
Sy	14.91
Em	25.78
Volumen promedio/ha	203.44
Intervalo de confianza (+)	229.23
Intervalos de confianza (-)	177.66
Em %	**12.67**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes (193231)**

Para la determinación del volumen de este ecosistema, se establecieron en campo siete (7) parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por hectárea, en un área de 0,7 ha para cumplir con el error de muestreo, como se muestra en la Tabla 7-62. La base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos

Tabla 7-62 Volumen por parcela para la vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
21	2.54	20.67	7.64	66
34	2.87	19.41	11.66	72
43	1.87	21.91	13.53	44
53	1.38	15.37	7.92	40
57	2.31	20.13	7.49	45
66	1.48	14.56	4.58	45
68	2.07	20.60	7.76	36

Total	**14.52**	**132.65**	**60.58**	**348**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para este ecosistema, el volumen promedio es de 189.50m^3/ha, en la Tabla **7-63**, se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 9.76%.

Tabla 7-63 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para la vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los Andes

Vegetacion secundaria alta del Orobioma bajo de los andes (193231)	
Parámetros	
Area Ecosistema = ha	41.66
Tamaño de parcela	0.1
Tamaño de la muestra (n)	7
Tamaño de la población (N)	7493.00
Fración de muestreo (f)	0.0009
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	28.30
CV	14.93
Sy	10.70
Em	18.49
Volumen promedio/ha	189.50
Intervalo de confianza (+)	208.00
Intervalos de confianza (-)	171.01
Em %	**9.76**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Vegetación secundaria alta del Zonobioma húmedo tropiaca del del Magadalena y Caribe (193231)**

Para la determinación del volumen de este ecosistema, se establecieron en campo tres (3) parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por hectárea, en un área de 0,3 ha para cumplir con el error de muestreo, como se muestra en la Tabla 7-64. La base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos

Tabla 7-64 Volumen por parcela para la vegetación secundaria alta del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
31	2.42	20.46	6.56	58
40	2.62	21.78	6.51	46
46	2.20	26.85	13.12	44
Total	**7.24**	**69.08**	**26.19**	**148**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para este ecosistema, el volumen promedio es de 230.28m^3/ha, en la Tabla 7-65, se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 14.61%.

Tabla 7-65 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para la vegetación secundaria alta del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe

Vegetacion secundaria alta del Zonobioma húmedo Tropical del Magdalena y Caribe (153231)	
Parámetros	
Area Ecosistema = ha	9.42
Tamaño de parcela	0.1
Tamaño de la muestra (n)	3
Tamaño de la población (N)	964.30
Fración de muestreo (f)	0.0031
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	33.71
CV	14.64
Sy	19.46
Em	33.65
Volumen promedio/ha	230.28
Intervalo de confianza (+)	263.93
Intervalos de confianza (-)	196.63
Em %	**14.61**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Vegetación secundaria baja del Orobioma alto de los Andes (193232)**

Para la determinación del volumen de este ecosistema se establecieron en campo cuatro (4) parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por hectárea, en un área de 0,4 ha para cumplir con el error de muestreo, como se muestra

en la Tabla 7-66. La base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos

Tabla 7-66 Volumen por parcela para la vegetación secundaria baja del Orobioma bajo de los Andes

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
5	0.18	0.99	0.44	12
9	0.14	0.95	0.42	7
70	0.24	0.84	0.36	15
72	0.22	0.95	0.48	8
Total	**0.78**	**3.73**	**1.7**	**42**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para este ecosistema, el volumen promedio es de 9.34m^3/ha, en la Tabla 7-67 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 5.86%.

Tabla 7-67 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para la vegetación secundaria baja del Orobioma bajo de los Andes

Vegetacion secundaria baja del Orobioma bajo de los andes (193232)	
Parámetros	
Area Ecosistema = ha	29.75
Tamaño de parcela	0.10
Tamaño de la muestra (n)	4.00
Tamaño de la población (N)	3874.90
Fración de muestreo (f)	0.00
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	0.63
CV	6.78
Sy	0.32
Em	0.55
Volumen promedio/ha	9.34
Intervalo de confianza (+)	9.89
Intervalos de confianza (-)	8.79
Em %	**5.86**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- ✓ **Vegetación secundaria baja del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe (153232)**

Para la determinación del volumen de este ecosistema se establecieron en campo dos (2) parcelas, a partir de las cuales se calculó el volumen por parcela y volumen por hectárea, en un área de 0,2 ha para cumplir con el error de muestreo, como se muestra en la Tabla 7-68. La base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos

Tabla 7-68 Volumen por parcela para la vegetación secundaria baja del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
52	0.61	2.73	0.46	18
60	0.44	2.74	1.30	20
Total	**1.05**	**5.47**	**1.76**	**38**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Para este ecosistema, el volumen promedio es de 27.37m^3/ha, en la Tabla 7-69 se presentan los parámetros calculados para estimar el volumen promedio para este ecosistema, los cuales cumplen con un error de muestreo relativo del 0.44%.

Tabla 7-69 Estadígrafos para el cálculo del volumen promedio para la vegetación secundaria baja del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe

Vegetacion secundaria baja del Zonobioma húmedo Tropical del Magdalena y Caribe (153232)	
Parametros	
Area Ecosistema = ha	2.06
Tamaño de parcela	0.1
Tamaño de la muestra (n)	2
Tamaño de la población (N)	474.10
Fración de muestreo (f)	0.0042
Probabilidad	0.05
T Student	1.73
S	0.10
CV	0.36
Sy	0.07
Em	0.12
Volumen promedio/ha	27.37
Intervalo de confianza (+)	27.49
Intervalos de confianza (-)	27.25
Em %	**0.44**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

✓ **Vegetación secundaria baja del Helobioma del Magdalena y Caribe (163232)**

Dado que el área de intervención sobre este ecosistema es de tan solo 0.1 ha, la determinación del volumen se estableció por medio de una parcela de este mismo tamaño (0.1 ha). Para este ecosistema, el volumen promedio es de 3.16m^3/ha. (Ver Tabla 7-70)

Tabla 7-70 Volumen por parcela para la vegetación secundaria baja del Helobioma del Magdalena y Caribe

Id. Parcela	Área basal (m^2)	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)	No. de Individuos
54	0.40	3.16	1.74	11
Total	**0.40**	**3.16**	**1.74**	**11**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

La base de datos de este ecosistema se muestra en el Anexo D1.4 Bases de datos

Censo forestal sobre ecosistemas transformados

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 y que no se encuentran dentro de los ecosistemas naturales. Los ecosistemas transformados o antrópicos, sobre los cuales se desarrolla el proyecto son los siguientes (Ver Tabla 7-71).

Tabla 7-71 Ecosistemas transforamdos en el área de intervención del proyecto

Ecosistema	Área (ha)	Área (%)
Afloramientos rocosos del Orobiomas bajos de los Andes	0.51	0.28
Agroindustrial del Orobiomas bajos de los Andes	0.48	0.26
Avícola del Orobiomas bajos de los Andes	1.64	0.90
Cacao del Orobiomas bajos de los Andes	0.64	0.35
Cultivos transitorios del Orobiomas bajos de los Andes	0.61	0.33
Cultivos transitorios del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.34	0.19
Explotación de hidrocarburos del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.29	0.16
Explotación de materias de construcción del Orobiomas bajos de los Andes	0.45	0.25
Explotación de materias de construcción del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.31	0.17
Lagunas, lagos y ciénagas naturales del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.14	0.08
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos del Orobiomas bajos de los Andes	0.04	0.02

Ecosistema	Área (ha)	Área (%)
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.37	0.20
Mosaico de cultivos del Orobiomas bajos de los Andes	1.62	0.89
Mosaico de cultivos del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.13	0.07
Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos del Orobiomas bajos de los Andes	0.00	0.00
Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.04	0.02
Mosaico de pastos y cultivos del Orobiomas bajos de los Andes	3.95	2.17
Mosaico de pastos y cultivos del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.04	0.02
Palma de aceite del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	4.10	2.25
Parques cementerios del Orobiomas bajos de los Andes	0.14	0.08
Pastos arbolados del Helobiomas del Magdalena y Caribe	0.57	0.31
Pastos arbolados del Orobiomas bajos de los Andes	25.53	14.00
Pastos arbolados del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	4.94	2.71
Pastos enmalezados del Helobiomas del Magdalena y Caribe	0.73	0.40
Pastos enmalezados del Orobiomas bajos de los Andes	8.19	4.49
Pastos enmalezados del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	4.82	2.65
Pastos limpios del Helobiomas del Magdalena y Caribe	4.43	2.43
Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	36.75	20.15
Pastos limpios del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	31.71	17.39
Plantación de coníferas del Orobiomas bajos de los Andes	0.28	0.16
Plantación de latifoliadas del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.00	0.00
Plátano del Orobiomas bajos de los Andes	0.16	0.09
Relleno sanitario del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.11	0.06
Ríos del Helobiomas del Magdalena y Caribe	0.07	0.04
Ríos del Orobiomas bajos de los Andes	0.07	0.04
Tejido urbano continuo del Orobiomas bajos de los Andes	0.57	0.31
Tejido urbano continuo del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.02	0.01
Tejido urbano discontinuo del Helobiomas del Magdalena y Caribe	0.23	0.12
Tejido urbano discontinuo del Orobiomas bajos de los Andes	1.20	0.66
Tejido urbano discontinuo del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	1.25	0.69
Terrenos en preparación del Orobiomas bajos de los Andes	0.20	0.11

Ecosistema	Área (ha)	Área (%)
Tierras desnudas y degradadas del Orobiomas bajos de los Andes	0.03	0.02
Tierras desnudas y degradadas del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	1.15	0.63
Vía pavimentada del Helobiomas del Magdalena y Caribe	2.06	1.13
Vía pavimentada del Orobiomas bajos de los Andes	22.57	12.38
Vía pavimentada del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	13.66	7.49
Vía sin pavimentar del Orobiomas bajos de los Andes	0.12	0.07
Vivienda rural dispersa del Orobiomas bajos de los Andes	0.41	0.22
Vivienda rural dispersa del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.00	0.00
Yuca del Orobiomas bajos de los Andes	0.87	0.47
Zonas comerciales del Helobiomas del Magdalena y Caribe	0.21	0.11
Zonas comerciales del Orobiomas bajos de los Andes	0.72	0.39
Zonas comerciales del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	0.01	0.01
Zonas industriales del Orobiomas bajos de los Andes	1.05	0.57
Zonas industriales del Zonobioma humedo tropical del Magdalena y Caribe	1.88	1.03
Total general	**182.41**	**100**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Los resultados del censo forestal de todos los individuos arbóreos que se encuentran en los ecosistemas transformados dentro área de intervención del proyecto, se observan en la Tabla 7-72 y la información detallada por especie se encuentra en el Anexo F1.2 Resultados del censo Forestal.

Tabla 7-72 Resultados del censo forestal en los ecosistemas transformados

Ecosistema	No. de Individuos	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)
Agroindustrial del Orobiomas bajos de los Andes	57	58.92	14.88
Avícola del Orobiomas bajos de los Andes	158	72.07	24.73
Cacao del Orobiomas bajos de los Andes	196	62.71	18.96
Cultivos transitorios del Orobiomas bajos de los Andes	54	19.78	8.37
Cultivos transitorios del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	50	52.19	5.01
Explotación de hidrocarburos del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	53	25.54	8.34
Explotación de materias de construcción del Orobiomas bajos de los Andes	25	0.68	0.19
Explotación de materias de construcción del	1	0.20	0.12

Ecosistema	No. de Individuos	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)
Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe			
Lagunas, lagos y ciénagas naturales del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	9	2.01	0.94
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos del Orobiomas bajos de los Andes	6	1.49	0.39
Mosaico de cultivos con espacios naturales arbóreos del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	34	40.29	2.72
Mosaico de cultivos del Orobiomas bajos de los Andes	157	56.75	20.77
Mosaico de cultivos del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	4	0.14	0.06
Mosaico de pastos con espacios naturales arbóreos del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	2	0.91	0.63
Mosaico de pastos y cultivos del Orobiomas bajos de los Andes	286	126.30	35.28
Palma de aceite del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	371	245.11	69.09
Parques cementerios del Orobiomas bajos de los Andes	1	0.07	0.02
Pastos arbolados del Helobiomas del Magdalena y Caribe	36	42.01	11.08
Pastos arbolados del Orobiomas bajos de los Andes	1145	645.77	200.42
Pastos arbolados del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	292	201.76	77.23
Pastos enmalezados del Helobiomas del Magdalena y Caribe	15	12.56	4.71
Pastos enmalezados del Orobiomas bajos de los Andes	348	162.72	62.18
Pastos enmalezados del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	280	127.91	33.15
Pastos limpios del Helobiomas del Magdalena y Caribe	113	102.64	19.04
Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	1294	626.43	205.31
Pastos limpios del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	1168	682.64	199.08
Plantación de coníferas del Orobiomas bajos de los Andes	13	3.50	1.48
Plátano del Orobiomas bajos de los Andes	4	2.73	0.72
Tejido urbano continuo del Orobiomas bajos de los	10	5.09	1.87

Ecosistema	No. de Individuos	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)
Andes			
Tejido urbano discontinuo del Helobiomas del Magdalena y Caribe	32	10.93	3.24
Tejido urbano discontinuo del Orobiomas bajos de los Andes	107	724.13	99.45
Tejido urbano discontinuo del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	45	23.74	8.00
Terrenos en preparación del Orobiomas bajos de los Andes	10	2.29	0.57
Tierras desnudas y degradadas del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	40	29.89	9.70
Vía pavimentada del Helobiomas del Magdalena y Caribe	14	16.69	4.67
Vía pavimentada del Orobiomas bajos de los Andes	370	193.92	64.79
Vía pavimentada del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	198	126.74	34.26
Vía sin pavimentar del Orobiomas bajos de los Andes	1	0.21	0.00
Vivienda rural dispersa del Orobiomas bajos de los Andes	24	4.43	1.47
Yuca del Orobiomas bajos de los Andes	2	0.21	0.08
Zonas comerciales del Orobiomas bajos de los Andes	10	2.66	0.92
Zonas industriales del Orobiomas bajos de los Andes	71	30.58	7.94
Zonas industriales del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	69	53.25	7.25
Total	**7175**	**4600.61**	**1269.11**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Dentro de los ecosistemas transformados fueron censados 7175 individuos, con un volumen total de 46006.61 m^3 y comercial de 1269.11m^3 En la Tabla 7-73 se observan los resultados del censo forestal en ecosistemas transformados por municipios y autoridad ambiental: Corporacion Autonoma Regional de Santander (CAS) y Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

Tabla 7-73 Resultados del censo forestal por Autoridad ambiental y municipios

Autoridad ambiental	Municipio	No. de Individuos	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)
CAS	BARRANCABERMEJA	1590	927.79	305.66
	BETULIA	1126	853.38	178.73
	SAN VICENTE DE CHUCURÍ	724	378.92	133.78
Total CAS		**3440**	**2160.10**	**618.17**
CDMB	GIRÓN	113	80.19	24.37
	LEBRIJA	3622	2360.32	626.58
Total CDMB		**3735**	**2440.51**	**650.95**
Total		**7175**	**4600.61**	**1269.11**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Aprovechamiento forestal en ZODMES

En caso de ser necesario, se considera el uso de zonas de manejo de escombros debidamente licenciadas por parte del Consecionario Ruta del Cacao, caso en el cual se deberán presentar los registros de autorización correspondientes. La propuesta de los sitios es la siguiente:

Tabla 7-74 Identificación de sitios de ZODME

ID	UF	Abscisa	Zodme	Vereda	Municipio	Norte	Este	Area Ha	Capacidad m3
1	2	K10+500	ZK10+550	Zarzal la Y	Barrancabermeja	1270819.88	1034444.75	2.78	126,800
2	2	K11+500	ZK11+500	Zarzal la Y	Barrancabermeja	1270665.68	1035412.43	5.49	371,400
3	2	K16+500	Z31T3	Zarzal 40	Barrancabermeja	1274551.26	1038590.15	6.39	1,242,300
4	2	K21+500	Z29T3	Zarzal La Gloria	Barrancabermeja	1276745.73	1042839.01	4.50	724,700
5	3-4	K2+000	Z26T4	La Lizama II	San Vicente de Chucurí	1281147.25	1059291.25	2.46	299,100
6	3-4	K5+000	Z24T4	Casa de Barro (La Putana)	Betulia	1280298.38	1062069.92	1.89	202,700
7	3-4	K14+000	Z21T4	La Putana Sector Tienda Nueva	Betulia	1277812.91	1070072.88	1.28	122,200
8	5	K77+000	Z19T5	Marta	Girón	1280331.56	1072863.50	5.14	778,400
9	5	K78+000	Z18T5	Marta	Girón	1280955.47	1074368.37	12.71	1,824,800
10	5	K85+000	Z15T5	San Silvestre	Lebrija	1286008.02	1077534.69	12.80	1,103,800
11	5	K86+500	Z14T5	La Girona	Lebrija	1287262.89	1078407.45	3.48	301,000
12	7	K96+000	Z13T5	El Líbano	Lebrija	1285149.59	1085722.03	4.03	639,900
13	7	K95+000	Z12T5	El Líbano	Lebrija	1286796.83	1086229.06	9.41	1,937,900
14	8	K104+000	ZBrisas	Angelinos	Lebrija	1286328.66	1088592.94	2.75	192,600

				Bajo					
15	9	k107+000	Z4T6	La Cuchilla	Lebrija	1281503.21	1087363.04	0.83	62,300
16	9	k107+000	Z3T6	La Cuchilla	Lebrija	1281623.70	1087834.87	2.60	291,200
17	9	k107+000	Z2T6	La Cuchilla	Lebrija	1281800.89	1087769.83	1.00	62,400
18	9	k113+500	Z5T6 (1)	Santo Domingo	Lebrija	1278615.07	1092061.31	3.60	517,100
19	9	k113+500	Z5T6 (2)	Santo Domingo	Lebrija	1278594.26	1092275.58	1.79	223,800
TOTAL								**84.93**	**11,024,400**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la siguiente tabla se muestran los resultados del censo forestal para los ZODMES y su relación por municipio y autoridad ambiental. La información detallada por especie se encuentra en el Anexo F1.2 Resultados del censo Forestal.

Tabla 7-75 Censo forestal en ZODMES

ZODME	AUTORIDAD AMBIENTAL	MUNICIPIO	Ecosistema	No. de Individuos	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)
Zodme Z12 T5	**CDMB**	LEBRIJA	Pastos arbolados del Orobiomas bajos de los Andes	70	26.59	14.25
			Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	6	2.73	1.40
Total Zodme Z12 T5				**76**	**29.33**	**15.65**
Zodme Z13 T5	**CDMB**	LEBRIJA	Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	66	47.29	25.15
Total Zodme Z13 T5				**66**	**47.29**	**25.15**
Zodme Z14 T5	**CDMB**	LEBRIJA	Bosque de galeria con predominio de árboles del Orobiomas bajos de los Andes	3	0.26	0.12
			Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	10	1.99	1.10
Total Zodme Z14 T5				**13**	**2.25**	**1.23**
Zodme Z15 T5	**CDMB**	LEBRIJA	Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	50	11.91	6.34
Total Zodme Z15 T5				**50**	**11.91**	**6.34**
Zodme Z18 T5	**CDMB**	GIRÓN	Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	216	1448.47	269.17
Total Zodme Z18 T5				**216**	**1448.47**	**269.17**
Zodme Z19 T5	**CDMB**	GIRÓN	Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	173	157.70	107.68
			Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	47	59.29	42.91
Total Zodme Z19 T5				**220**	**216.99**	**150.59**
Zodme Z2 T6	**CDMB**	LEBRIJA	Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	11	3.20	0.70
Total Zodme Z2 T6				**11**	**3.20**	**0.70**
Zodme Z21 T4	**CAS**	BETULIA	Pastos arbolados del Orobiomas bajos de los Andes	8	1.83	0.97
Total Zodme Z21 T4				**8**	**1.83**	**0.97**

ZODME	AUTORIDAD AMBIENTAL	MUNICIPIO	Ecosistema	No. de Individuos	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)
Zodme Z24T4	**CAS**	BETULIA	Pastos arbolados del Orobiomas bajos de los Andes	35	7.38	3.28
Total Zodme Z24T4				**35**	**7.38**	**3.28**
Zodme Z26 T4	**CAS**	SAN VICENTE DE CHUCURÍ	Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	14	9.58	3.42
			Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	9	3.02	1.46
Total Zodme Z26 T4				**23**	**12.60**	**4.87**
Zodme Z29 T3	**CAS**	BARRANCABERMEJA	Pastos limpios del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	4	0.63	0.34
Total Zodme Z29 T3				**4**	**0.63**	**0.34**
Zodme Z3 T6	**CDMB**	LEBRIJA	Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	16	7.16	2.09
Total Zodme Z3 T6				**16**	**7.16**	**2.09**
Zodme Z31 T3	**CAS**	BARRANCABERMEJA	Pastos enmalezados del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	43	21.20	6.58
			Pastos limpios del Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe	24	24.31	2.29
Total Zodme Z31 T3				**67**	**45.51**	**8.87**
Zodme Z4 T6	**CDMB**	LEBRIJA	Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	14	1.55	0.42
Total Zodme Z4 T6				**14**	**1.55**	**0.42**
Zodme Z5 T6	**CDMB**	LEBRIJA	Bosque de galeria con predominio de árboles del Orobiomas bajos de los Andes	11	1.89	0.96
			Mosaico de cultivos del Orobiomas bajos de los Andes	7	1.07	0.58
Total Zodme Z5 T6				**18**	**2.97**	**1.54**
Zodme Brisas	**CDMB**	LEBRIJA	Pastos limpios del Orobiomas bajos de los Andes	**0**	**0**	**0**
			**Vegetación secundaria alta del Orobiomas bajos de los Andes	**0**	**189.50**	**0**
Total general				**849**	**2036.2**	**493.97**

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

** Para el Zodme Brisas, se presenta la estimación del volumen total en m^3, calculada para el ecositema vegetación secundaria alta del Orobioma bajo de los andes con los requisitos estadísticos por medio del error de muestreo (probabilidad del 95% y error de muestreo inferior al 15%. (Ver Tabla 7-62 y Tabla **7-63**).

Dentro de los ZODMES fueron censados 849 individuos, con un volumen total de 2036.2 m^3 y comercial de 493.97m^3. (Tabla 7-75).

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

Durante el censo forestal en las áreas de intervención y los ZODMES, se registraron especies en categoría de veda, amenaza, peligro y/o vulnerables.

La Tabla 7-76 muestra las especies amenazadas de acuerdo con la consulta realizada en los libros rojos de plantas de Colombia, categoría CITES, UICN y Resolución 192 de 2014. La información detallada por especie y su georeferenciación se encuentra en el Anexo F1.2 Resultados del censo Forestal

Tabla 7-76 Especies en amenaza, en peligro y/o vulnerables dentro registradas en el censo forestal y censo en ZODMES

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	CITES 2014	UICN 2014.3	Resolución 192/2014	áreas de intervención (antrópicos)	ZODMES	Total Individuos
ARECACEAE	*Acrocomia aculeata (Jacq.) Mart.*	LC		LC	6	0	6
ARECACEAE	*Bactris gasipaes var. chichagui*			VU	4	1	5
LECYTHIDACEAE	*Cariniana pyriformis*			CR	1	1	2
URTICACEAE	*Cecropia peltata L.*		LC		610	61	671
MELIACEAE	*Cedrela odorata*			EN	152	9	161
FABACEAE	*Clathrotropis brunnea Amshoff*		EN	EN	5	0	5
ARECACEAE	*Elaeis oleifera*			EN	45	0	45
LECYTHIDACEAE	*Lecythis tuyrana Pittier*		VU	VU	2	17	19
MALVACEAE	*Pachira quinata*			EN	6	0	6
LAURACEAE	*Ocotea sp.*				53	13	66
LAURACEAE	*Nectandra sp.*				30	9	39
ANNONACEAE	*Guatteria sp.*				38	0	38
BURSERACEA	*Protium apiculatum*				1	0	1
BIGNONIACEAE	*Tabebuia sp.*				251	21	272
BIGNONIACEAE	*Jacaranda sp.*				25	40	65

FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	CITES 2014	UICN 2014.3	Resolución 192/2014	áreas de intervención (antrópicos)	ZODMES	Total Individuos
NT	(NEAR THREATENED)Casi amenazada						
LC	(LEAST CONCERT)Preocupación menor						
EN	(ENDANGERED) En peligro						
NT (VU)	(VULNERABLE)Vulnerable						

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

En la tabla Tabla 7-77, se encuentran los registros de las especies en categoría de veda regional según las correspondientes Corporaciones Ambientales Regionales, de acuerdo con las resoluciones Vigentes. Se solicitará el respectivo levantamiento de veda, ante las autoridades ambientales competentes. La información detallada por especie y su georeferenciación se encuentra en el Anexo F1.2 Resultados del censo Forestal.

Es importante señalar que en el censo forestal de los ecosistemas antrópicos y censo en los ZODMES, no se registraron especies en veda de Orden Nacional, Resolución 0316 de 1974 (INDERENA), Resolución 0801 de 1977 (INDERENA), Resolución 1408 de 1975 (IDERENA), Resolución 1132 de 1975 (INDERENA) y Resolución 096 de 2006.

Tabla 7-77 Especies en Veda Regional por Corporación

Corporación y Resolución	Familia	Especie	Cantidad de individuos
CDMB_Resolución 1986 de Diciembre 1 de 1994 (en revisión)	LECYTHIDACEAE	*Cariniana pyriformis*	1
	MELIACEAE	*Cedrela odorata*	79
	LECYTHIDACEAE	*Grias haughtii*	2
		Gustavia sp.	7
		Lecythis tuyrana Pittier	18
	LAURACEAE	*Ocotea sp.*	35
	LAURACEAE	*Nectandra sp.*	22
	ANNONACEAE	*Guatteria sp.*	27
	BIGNONIACEAE	*Tabebuia sp.*	88
	BIGNONIACEAE	*Jacaranda sp.*	47
CAS- Resolución 469 del 13 de abril de 2012	LECYTHIDACEAE	*Cariniana pyriformis*	1

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

- **Justificación del 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.

En la tabla Tabla 7-78, se presenta el resultado obtenido del censo en los ecosistemas trasnformados y ZODMES, no se incluyen las estimaciones de los volúmenes en los ecosistemas naturales.

Tabla 7-78 Resultados del censo forestal en los ecositemas transformados y

Tipo de área	No. de Individuos	Volumen Total (m^3)	Volumen comercial (m^3)
Total Censo (ecosistemas Transformados)	7175	4600.61	1269.11
Total ZODMES	849	2036.2	493.97
Total	**8024**	**6636.8**	**1763.08**

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.

- **Destinación de los productos forestales**

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 se recomienda ser picada en trozos pequeños (chipiado del material), esta actividad puede llevarse a cabo en el mismo lugar de las talas o en los sitios de disposición temporal ZODMES.
- Por ningún motivo se realizarán quemas de los residuos de las podas.

7.6 EMISIONES ATMOSFÉRICAS

La construcción del proyecto permitirá mejorar el tránsito en la zona. En este sentido es de esperarse que el proyecto genere emisiones atmosféricas en la fase de construcción.

No obstante si bien el corredor vial tiene como objeto fundamental el tránsito de vehículos, en Colombia el transporte es considerada como una actividad privada la cual está ligada a

la libertad de movimiento y circulación (Constitución Política -CP[1]- 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[2] establece las condiciones Tecno 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 cálculo 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.

7.6.1 Identificación de las Fuentes de Emisión

Durante los días 8 y 12 de Febrero de 2016, se realizó el inventario de fuentes que estuvieran generando contaminación atmosférica en el área de estudio del corredor vial de los tramos Lebrija – La Fortuna y La Lizama – Barrancabermeja, en él se identificaron algunos puntos que ejercen presión sobre el medio, posteriormente se clasificaron las fuentes fijas, móviles y de área.

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

Fuentes fijas

[1] 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.

[2] Modificado Artículo 8º Ley 1383 de 2010.)

Hace referencia a las fuentes que se sitúan en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca de forma dispersa (Decreto 948 de 1995). De acuerdo a lo anterior se identificaron en el área de estudio del corredor vial de los tramos Lebrija – La Fortuna y La Lizama – Barrancabermeja, las siguientes fuentes fijas asociadas a las actividades productivas de la zona son:

Fuentes dispersas o de área

Las fuentes de área identificadas en el área de estudio, se asocian a zonas de estacionamiento y parqueaderos de maquinaria pesada, las cuales generan emisiones a la atmosfera en la descarga del combustible desde los carro-tanques hasta los tanques de almacenamiento subterráneos, por la expansión y contracción del líquido debido a los cambios de temperatura y presión, las emisiones de combustible escapan directamente a la atmosfera.

Las actividades industriales y comerciales son asociadas a las estaciones de suministro de combustible, parqueaderos de vehículos de maquinaria pesada, identificados en el área de estudio del corredor vial corredor vial de los tramos Lebrija – La Fortuna y La Lizama – Barrancabermeja, las cuales generan impactos atmosféricos asociados a la calidad del aire

Fotografía 7-1 Zona de estacionamiento de maquinaria pesada

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Centros Urbanos

Los poblamientos y asentamientos humanos identificados en el área de estudio, pueden versen afectados por la contaminación atmosférica, pero también son generadores de ella, debido a la concentración urbana se incrementan las emisiones a la atmosfera y por consiguiente también son generadoras de ruido debido al desarrollo de espacios urbanizados y viviendas. En el corredor vial entre los municipio de Yondo-Barrancabermeja y Lebrija, los centros urbanos identificados que representan mayor población y actividades comerciales es el centro urbano del municipio de Barrancabermeja, el centro poblado La Fortuna, Betulia en el cual se identificaron cuatro centros poblados, seguido de los municipios de Girón y Lebrija que cuenta con 4 cuatro barrios identificados en el área de estudio.

Fuente móvil

Las fuentes móviles son aquellas fuentes de emisión que por razón de uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza (Decreto 948 de 1995).

Debido a que en el área de estudio del corredor vial de los tramos Lebrija – La Fortuna y La Lizama – Barrancabermeja , se presentan actividades comerciales, se cuenta con la presencia continua de automotores, camiones, tracto mulas, buses de transporte público, motocicletas y en general toda clase de vehículos los cuales transitan por la vía existente. En consecuencia a lo anterior, el tráfico vehicular representa una fuente de emisión constante de Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NOx) y Óxidos de azufre (SOx) como resultado de la combustión de la gasolina y el diesel. El tránsito vehicular se considera que es frecuente y permanente, esto conlleva a que se incrementen los cambios en la calidad del aire por las emisiones que generan los diferentes vehículos que transitan por la vía existente.

Fotografía 7-2 Zona de estacionamiento de maquinaria pesada

Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016.

En la Tabla 7-79 se presenta un resumen de las concentraciones promedio y máximas diarias en cada una de las seis (6) estaciones para partículas sólidas totales (PST), dióxido de nitrógeno (NO2), dióxido de azufre (SO2) y monóxido de carbono (CO); y su comparación con la normatividad aplicable teniendo en cuenta las condiciones del área de estudio (Rs 610 del 24 de Marzo de 2010 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

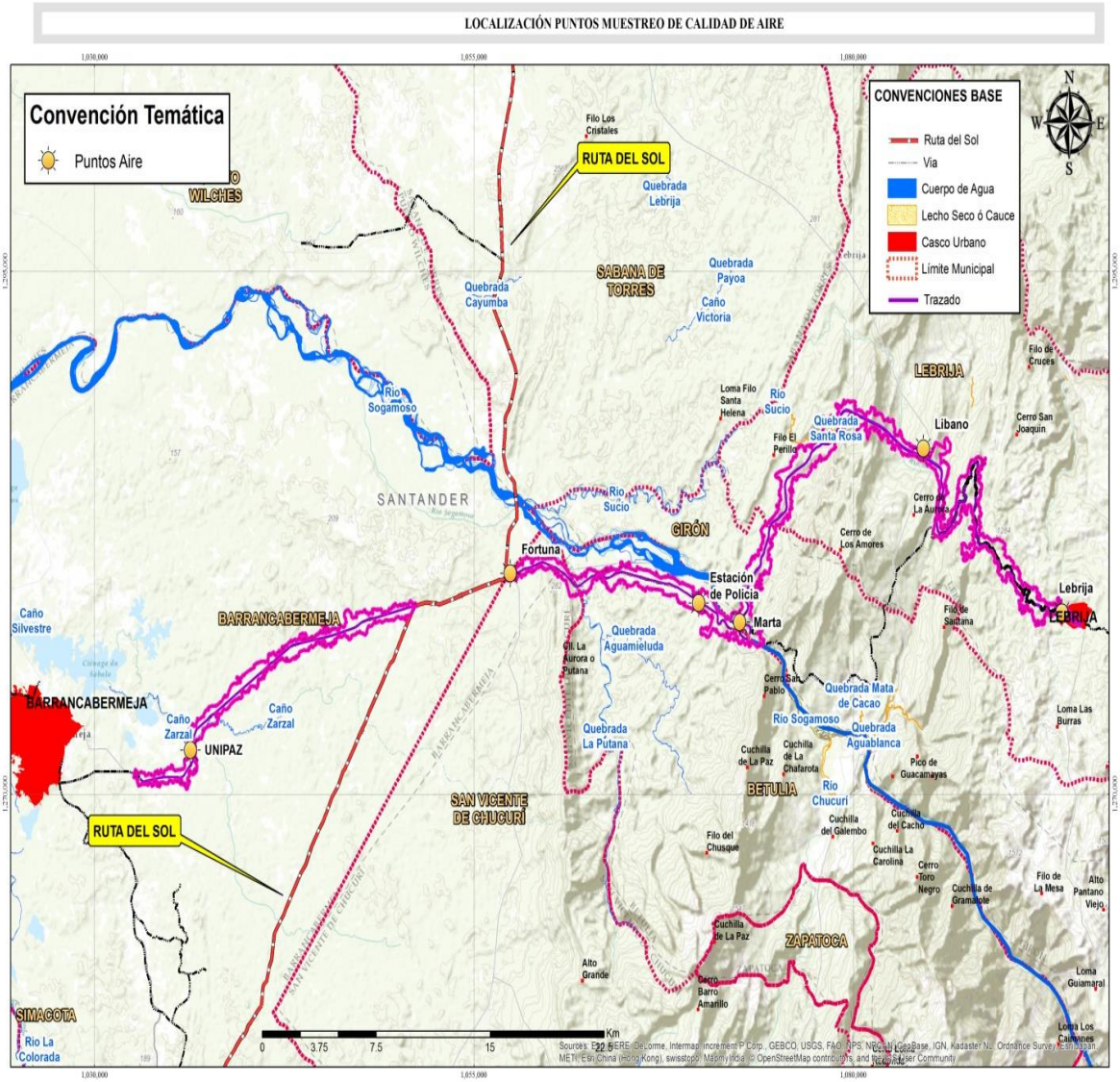
Muestreo de calidad de Aire

En el Anexo C8 se presenta el informe de los análisis del monitoreo de calidad de aire realizado en (6) estaciones ubicadas estratégicamente a lo largo del trazado, en las cuales se determinaron las concentraciones de los siguientes compuestos: partículas sólidas totales (PST), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2) y (CO), con muestreos de 24 horas durante 18 días simultáneos de monitoreo (26 de febrero al 14 de marzo de 2016).

El estudio de la calidad de aire en el área de estudio, permite verificar el cumplimiento de la normatividad vigente y establecer la existencia o no de factores de riesgo para la salud humana o del medio ambiente.

En la Figura 7-22 se presenta la localización georreferenciada de las estaciones de monitoreo emplazada durante 18 días del mes de Marzo de 2016 en el marco de la mediciones de seguimiento de los niveles de calidad del aire en el área del proyecto vial Rutas del Cacao. En la figura se aprecia que las estaciones de monitoreo se ubicaron de forma equidistante, con el fin de cubrir todo el área de estudio y facilitar la estimación de tendencia del comportamiento de la calidad de aire a lo largo del eje vial proyectado.

Figura 7-22 Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de aire



Fuente: C.I.M.A.2016. Adaptado Consultoría Colombiana SAS 2016.

Tabla 7-79 Concentraciones de los principales criterio en el área de estudio – monitoreo de calidad de aire Marzo de 2016.

DESCRIPCIÓN		PST (µg /m^3)	PM_{10} (µg /m^3)	SO_2 (mg/m^3)	NO_2 (µg /m^3)	CO (µg /m^3)
Estación 1	Promedio	128,12	70,45	4,38	24,33	*ND
	Máximo	184,5	110,95	9.93	36,38	*ND
Estación 2	Promedio	88,1	59,76	5,61	20,25	*ND
	Máximo	131,5	96,32	10.78	27,73	*ND
Estación 3	Promedio	99,8	65,59	2,88	18,2	*ND
	Máximo	206,9	103,47	5.29	25,78	*ND
Estación 4	Promedio	65,3	45,76	3,88	19,64	*ND
	Máximo	116,5	81,43	6.36	26,27	*ND
Estación 5	Promedio	79,7	44,46	0,47	8,41	*ND
	Máximo	149,06	74,53	0.93	10,01	*ND
Estación 6	Promedio	84,5	52,95	3,24	16,87	*ND
	Máximo	172,7	94,79	5.53	22,25	*ND
Norma Nacional	**Promedio anual**	**100**	**50**	**80**	**100**	**-**
	Máxima Diaria	**300**	**100**	**250**	**150**	**-**
	Para 8 horas	**-**	**-**	**-**	**-**	**10**
	Para 1hora	**-**	**-**	**-**	**-**	**40**
-Índice de Calidad del Aire	**Color**					
	Descriptor	**Bueno**	**Bueno**	**Bueno**	**Bueno**	**Bueno**

Fuente: C.I.M.A.2015
*ND: No detectable con el equipo de medición, lo que equivale a concentraciones menores <1ppm.

En términos generales los resultados de la campaña de monitoreo en las seis (6) estaciones para cada uno de los contaminantes analizado concluyen que: Las concentraciones promedio y máximas (comparadas con la norma diaria y anual respectivamente) de los contaminantes criterio objeto de estudio fueron inferiores a la norma local, aunque en la estación 1 y 3 se presentan excedencias en PM_{10} lo que se asocia a los incendios forestales que se han presentado en cercanías a la zona producidos por el fenómeno del niño en la época en la que se realizaron los muestreos. Pero en conclusión se puede decir que el área de influencia del proyecto presenta condiciones de calidad de aire óptimas respecto al cumplimiento de los estándares máximos permitidos en la norma de inmisión o de calidad de aire.

De acuerdo a los resultados es posible concluir que las condiciones del entorno facilitan la dispersión de los contaminantes. Este comportamiento se ve reflejado al comparar los resultados con los límites de referencia anual definidos en la Resolución 610 de 2010 del MADS, los cuales son más restrictivos, subrayando que límite anual se toma como un valor de referencia o indicativo puesto que el monitoreo se realizó durante 18 días y no un año, según lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la calidad del aire, el cual expresa que los resultados provenientes de estaciones indicativas en caso de no tener una duración en tiempo suficiente (mayor o igual a un año) no pueden compararse con normas anuales, sin embargo pueden utilizarse para indicar el comportamiento de la variable evaluada.

7.6.2 Análisis fuentes generadoras permiso de emisión

Las fuentes de contaminación de aire y ruido durante el horizonte temporal del proyecto de construcción de la Ruta del Cacao 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 del asfalto y material particulado generado con la trituración. En Tabla 7-80 se listan las potenciales fuentes de emisión del proyecto.

Tabla 7-80 Potenciales fuentes de contaminación atmosférica asociadas al proyecto de construcción

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	Fijas	X	X	Partículas en suspensión
Plantas de asfalto	Fijas		X	Gases y partículas de combustión
Zodmes	Área		X	Partículas en suspensión (PST)

Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 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 puede afectarse, dado que en el proceso de combustión se generan emisiones a la atmósfera de gases como CO, CO_2 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.

Con relación a las fuentes objeto de permiso de emisión se toma como referencia los casos establecidos en el Articulo 73 del Decreto 948 de 1995 expedido por el Ministerio de Medio Ambiente y reglamentado en el Artículo 1 de la Resolución 619 de 1997 del mismo Ministerio.

En este contexto estamos solicitando a la Autoridad Ambiental – ANLA - permiso de emisiones atmosféricas para la construcción del proyecto vial Ruta del Cacao, particularmente para las fuentes fijas como las plantas trituración, concreto y plantas dosificadoras de asfaltos a lo largo del corredor de vial, en los sitios que se presentan en la tabla 7-8. En las Figura 7-23, y **Figura** 7-8 se presenta la localización sobre el plano general de las instalaciones, señalando la posible ubicación de las fuentes de emisión dentro del área de influencia directa o directa puntual. Todas ubicadas en el Departamento de Santander.

Cabe aclarar, que las especificaciones técnicas se encuentran en el anexo F5 adjunto del presente EIA.

Tabla 7-81 Ubicación sitios solicitud permiso de emisiones atmosféricas

Id	Nombre	Predio	vereda	Municipio	CAR´s	Este	Norte
1	Planta trituración, concreto y asfalto puente la paz	BBY-UF_05_002	Marta	Giron	CDMB	1073114.28	1277727.70
2	Planta trituración, concreto y asfalto tienda nueva 1	BBY-UF_04_068	La Putana Sector Tienda Nueva	Betulia	CAS	1070641.68	1278958.74
3	Planta trituración, concreto y asfalto tienda nueva 2	BBY-UF_03_021	La Putana Sector Tienda Nueva	Betulia	CAS	1070405.25	1278787.83
4	Planta trituración, concreto y asfalto tienda nueva 3	BBY-UF_04_064	La Putana Sector Tienda Nueva	Betulia	CAS	1069276.53	1279587.29
5	Planta trituración, concreto y asfalto GRODCO	BBY-UF_07_001	El Cristal	Lebrija	CDMB	1092397.45	1278971.09
6	Planta trituración,	BBY-UF_09_115	El Cristal	Lebrija	CDMB	1083060.80	1286639.70

	concreto y asfalto túneles						
7	Planta trituración, concreto y asfalto túneles	BBY-UF_09_106/ BBY-UF_09_115/ BBY-UF_09_106	Santo Domingo/ San Nicolás Bajo	Lebrija	CDMB	1083110.10	1286697.40

Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

Figura 7-23 Localización de Plantas y Zodmes del proyecto

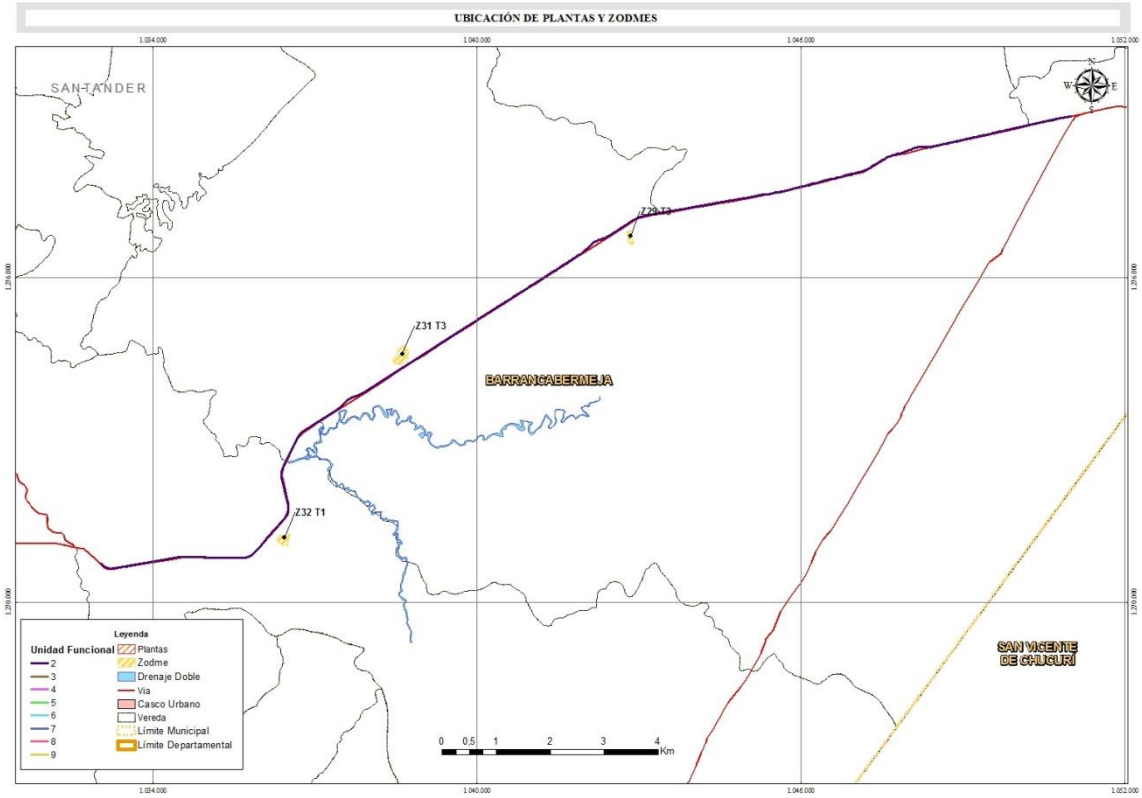


Figura 7-24 Localización de Plantas y Zodmes del proyecto

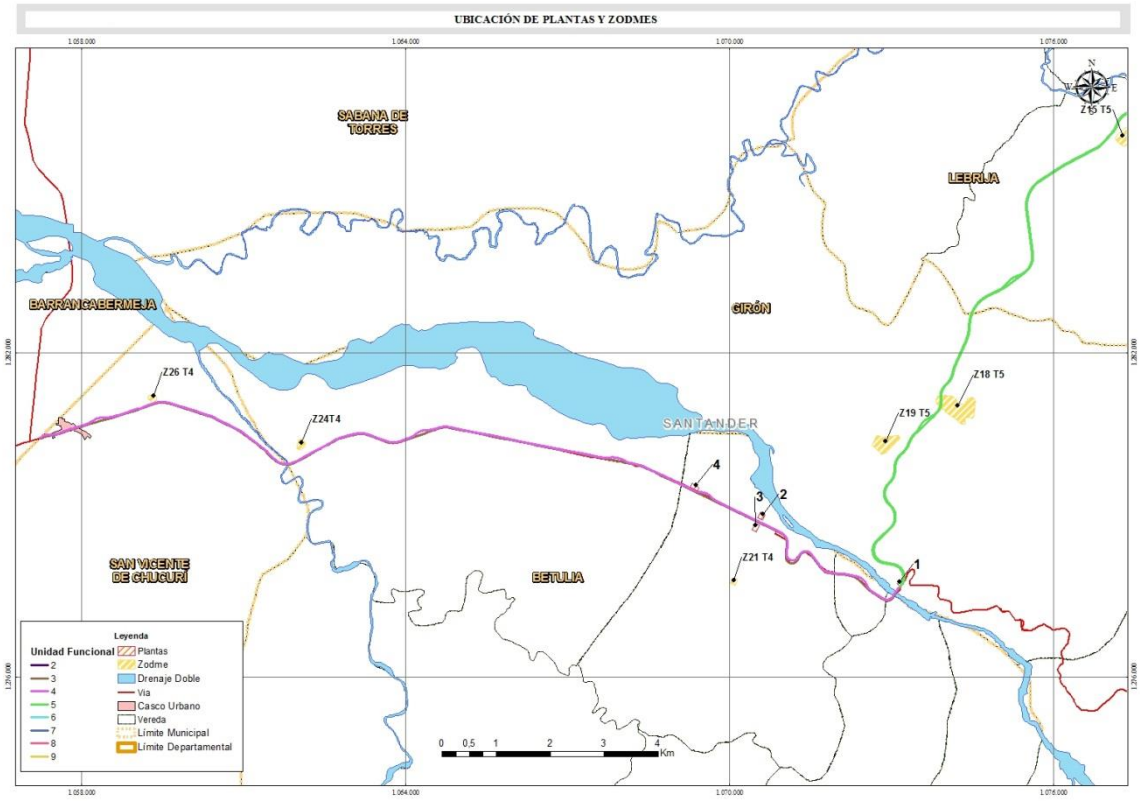
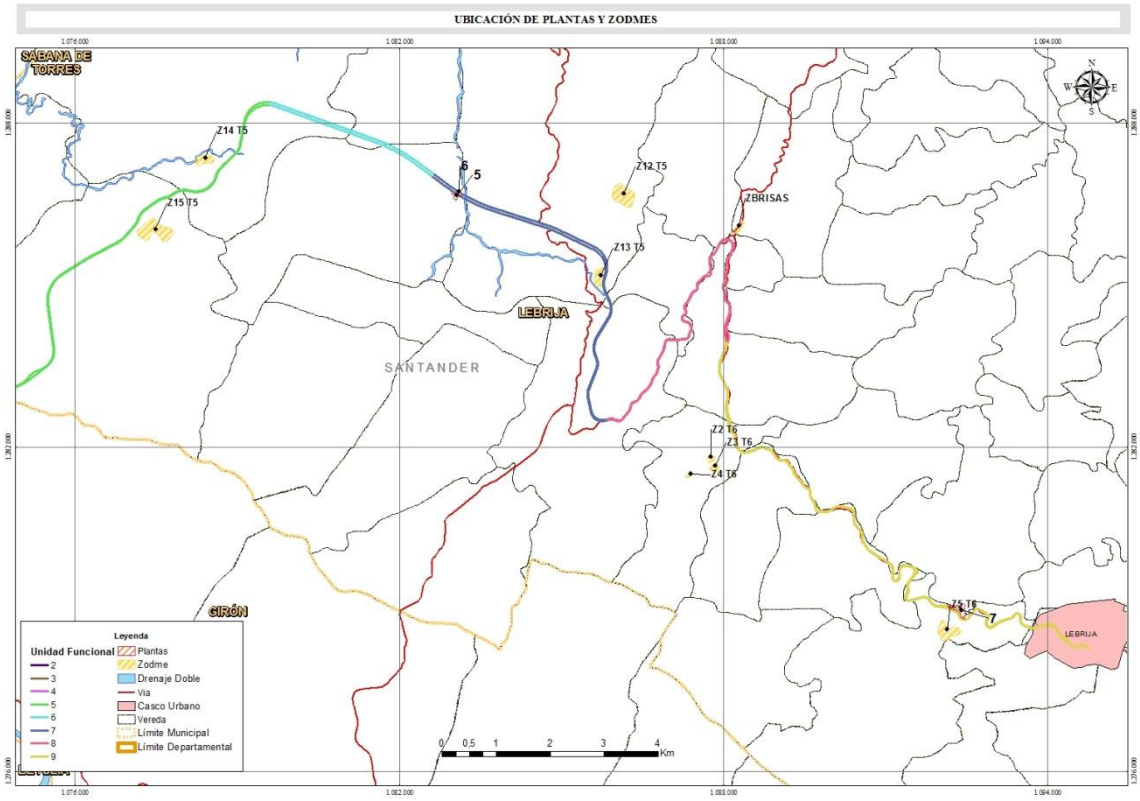


Figura 7-25 Localización de Plantas y Zodmes del proyecto



7.6.3 Modelo de dispersión

eQual Consultoría y Servicios Ambientales S.A.S. desarrolló el modelo de dispersión de contaminantes, donde se predice la influencia de la actividad del transporte de contaminantes producto de las emisiones de las fuentes de contaminantes objeto de solicitud de permiso de emisión. El modelo se desarrolla con el fin de realizar una predicción a nivel de inmisión de los aportes de las fuentes a la calidad del aire para los contaminantes PST, PM10, NO_2 y SO_2, como resultado de las emisiones que se generan por el movimiento de materiales, cargue y descargue, trituración y producción de asfalto. En el Anexo F5 se presenta el modelo de dispersión de contaminantes presentando para el proyecto.

Los cálculos de dispersión de contaminantes fueron efectuados aplicando el modelo de dispersión de contaminantes AERMOD de la Agencia de Protección Ambiental de Estados de Unidos (EPA). La INTERFASE interna de AERMOD usa estos parámetros calculados para generar perfiles de viento, temperatura y turbulencia (US EPA, 1998). La profundidad de la capa límite y la dispersión de los contaminantes dentro de ésta, están influenciadas a escala local por las características superficiales: rugosidad, albedo y radio de Bowen. Estas variables de superficie, junto con observaciones meteorológicas básicas (velocidad de viento, dirección de viento, temperatura y cobertura de nubes) son datos requeridos por AERMET para calcular los siguientes parámetros de la capa límite planetaria (PBL, por sus siglas en inglés) (US EPA, 2004):

1) Velocidad de fricción, u*
2) Longitud de Monin-Obukhov, L
3) Escala de velocidad convectiva, w*
4) Escala de temperatura, θ*
5) Altura de la capa de mezcla convectiva (zic) y mecánica (zim)
6) Flujo de calor superficial, H

- **Inventario de fuentes y Estimación de Emisiones**

Las siguientes son las suposiciones realizadas y hechos tomados de la descripción del proyecto para realizar la estimación de emisiones del proyecto.

- La fuente fija presenta condiciones de operación similares a otras fuentes de su categoría, los datos ingresados para esta no corresponden a valores tomados en campo, la fuente fija cuenta con un filtro de mangas.
- Para las fuentes de área y la vía no se incluyeron controles en las emisiones de material particulado tales como humectación, o cubrimiento de pilas.
- Se aproxima que un buldócer puede mover 152,39 m^3 de material en una hora para el cálculo de las emisiones por movimiento de materiales tomando como referencia el manual caterpilar.
- Para todos los materiales se supuso una humedad baja y típica del 3%.
- Para todos los materiales se supuso un contenido de finos medio y típico de 10%.
- Para efectos de cálculo se supuso que la obra tenía una duración de 5 años por lo cual los volúmenes totales manejados en las ZODME se ajustaron a volúmenes anuales.
- Se planteó un horario de trabajo de 8 horas diarias de lunes a sábado, por lo cual el modelo no presenta emisiones durante el domingo ni durante las noches.
- En la vía se tuvo en cuenta la resuspensión por vehículos propios de la construcción, volquetas de 20m^3, y basados en esta capacidad se aforó el número de viajes a realizar durante un año para el transporte de material.
- Para el cálculo de las emisiones de exosto (MP, NO_2 y SO_2) se usó el modelo IVE V2.0.2.

A continuación se presentan las emisiones estimadas de PST y PM10 y en la Tabla 7-82 se presentan las emisiones estimadas para para NO_2 y SO_2.

Tabla 7-82 Fuentes actividades y emisiones calculadas para PST y PM10

Fuente	Subfuente	Actividad	Emisión PST (kg/año)	Emisión PM10 (kg/año)
Planta Asfalto	FUENTE FIJA	Mezcla caliente	3.662,20	3.662,20
	pila4	Cargue	229,16	108,38
		Descargue	229,16	108,38
		Erosión Eólica	0,00	0,00

Fuente	Subfuente	Actividad	Emisión PST (kg/año)	Emisión PM10 (kg/año)
	pila5	Cargue	229,16	108,38
		Descargue	229,16	108,38
		Erosión Eólica	0,00	0,00
	pila6	Cargue	229,16	108,38
		Descargue	229,16	108,38
		Erosión Eólica	0,00	0,00
	tolvas	Descargue	687,47	325,15
	banda	Transferencia	687,47	325,15
		Total	**6,412.06**	**4,962.81**
Plantas de trituración	pila1	Cargue	1.532,93	725,03
		Descargue	1.532,93	725,03
		Erosión Eólica	0,00	0,00
	pila2	Cargue	1.532,93	725,03
		Descargue	1.532,93	725,03
		Erosión Eólica	0,00	0.00
	pila3	Cargue	1.532,93	725.03
		Descargue	1.532,93	725.03
		Erosión Eólica	0,00	0.00
	banda	Transferencia	1.532,93	725.03
	trituradora	Trituración	156.788,31	15;678.83
	cribadora	Cribado	8.166,06	2;809.12
		Total	**175,684.86**	**23.563,19**
Puentes	PTEUF2_1	Obra civil	2.463,00	2,463.00
	UF4PT_1	Obra civil	877,71	877.71
	UF4PT_2	Obra civil	734,42	734.42
	UF4PT_3	Obra civil	827,90	827.90
	UF4PT_4	Obra civil	991,67	991.67
	UF4PT_5	Obra civil	667,46	667.46
	UF4PT_6	Obra civil	1.107,36	1,107.36
	UF4PT_9	Obra civil	687,69	687.69
	UF4PT_10	Obra civil	487,39	487.39
	UF4PT_13	Obra civil	6.612,56	6,612.56
	UF4PT_14	Obra civil	6.713,50	6,713.50
	UF5PT_1	Obra civil	719,24	719.24
	UF6TN_1	Obra civil	2.290,98	2,290.98
	UF6TN_2	Obra civil	2.290,98	2,290.98
	UF7TN_1	Obra civil	2.290,98	2,290.98
	UF7TN_2	Obra civil	2.290,98	2,290.98
	UF7PT_2	Obra civil	4.342,33	4,342.33
	UF8PT_1	Obra civil	3.456,11	3,456.11
	UF8PT_2	Obra civil	1.484,56	1,484.56
	UF9PT_1	Obra civil	1.743,96	1,743.96
	UF9PT_2	Obra civil	173,59	173.59
	UF9PT_3	Obra civil	517,11	517.11

Fuente	Subfuente	Actividad	Emisión PST (kg/año)	Emisión PM10 (kg/año)
	UF9PT_4	Obra civil	826,39	826.39
	UF4PT_7	Obra civil	2.534,45	2,534.45
	UF4PT_8	Obra civil	1.817,68	1,817.68
	UF4PT_11	Obra civil	1.515,94	1,515.94
	UF4PT_12	Obra civil	1.149,56	1,149.56
	UF5PT_2	Obra civil	9.261,17	9,261.17
	UF5PT_3	Obra civil	12.484,86	12,484.86
	UF5PT_4	Obra civil	19.074,38	19,074.38
	UF5PT_5	Obra civil	4.016,40	4,016.40
	UF7PT_1	Obra civil	26.244,93	26,244.93
	UF7PT_3	Obra civil	8.646,75	8,646.75
	UF8PT_3	Obra civil	5.921,88	5,921.88
	UF8PT_4	Obra civil	5.183,09	5,183.09
		Total	**142.448,98**	**142.448,98**
ZODMES	ZODME42	Cargue	153,78	72.73
		Descargue	153,78	72.73
		Movimiento	2.405,75	312.28
		Erosión Eólica	0,02	0.01
	ZODME10	Cargue	201,83	95.46
		Descargue	201,83	95.46
		Movimiento	3.157,50	409.87
		Erosión Eólica	0,02	0.01
	ZODME13	Cargue	89,05	42.12
		Descargue	89,05	42.12
		Movimiento	1.393,10	180.84
		Erosión Eólica	0,01	0.00
	ZODME41	Cargue	8,64	4.09
		Descargue	8,64	4.09
		Movimiento	135,22	17.55
		Erosión Eólica	0,00	0.00
	ZODME40	Cargue	245,03	115.89
		Descargue	245,03	115.89
		Movimiento	3.833,26	497.59
		Erosión Eólica	0,03	0.01
	ZODME17	Cargue	383,79	181.52
		Descargue	383,79	181.52
		Movimiento	6.004,09	779.38
		Erosión Eólica	0,04	0.02
	ZODME22	Cargue	122,57	57.97
		Descargue	122,57	57.97
		Movimiento	1.917,44	248.90
		Erosión Eólica	0,01	0.01
	ZODME19	Cargue	69,08	32.67
		Descargue	69,08	32.67

Fuente	Subfuente	Actividad	Emisión PST (kg/año)	Emisión PM10 (kg/año)
		Movimiento	1.080,75	140.29
		Erosión Eólica	0,01	0.00
	ZODME16	Cargue	139,30	65.89
		Descargue	139,30	65.89
		Movimiento	2.179,30	282.89
		Erosión Eólica	0,01	0.01
	ZODME24	Cargue	2.308,70	1,091.95
		Descargue	2.308,70	1,091.95
		Movimiento	36.117,84	4,688.37
		Erosión Eólica	0,24	0.12
	ZODME21	Cargue	1.632,77	772.26
		Descargue	1.632,77	772.26
		Movimiento	25.543,50	3,315.74
		Erosión Eólica	0,17	0.08
	ZODME27	Cargue	5.256,80	2,486.33
		Descargue	5.256,80	2,486.33
		Movimiento	82.238,72	10,675.22
		Erosión Eólica	0,54	0.27
	ZODME28	Cargue	1.578,44	746.56
		Descargue	1.578,44	746.56
		Movimiento	24.693,50	3,205.41
		Erosión Eólica	0,16	0.08
	ZODME37	Cargue	650,07	307.47
		Descargue	650,07	307.47
		Movimiento	10.169,86	1,320.13
		Erosión Eólica	0,07	0.03
	ZODME31	Cargue	43,56	20.60
		Descargue	43,56	20.60
		Movimiento	681,40	88.45
		Erosión Eólica	0,00	0.00
	ZODME30	Cargue	20,44	9.67
		Descargue	20,44	9.67
		Movimiento	319,79	41.51
		Erosión Eólica	0,00	0.00
	ZODME32	Cargue	84,66	40.04
		Descargue	84,66	40.04
		Movimiento	1.324,45	171.92
		Erosión Eólica	0,01	0.00
	ZDME35	Cargue	95,35	45.10
		Descargue	95,35	45.10
		Movimiento	1.491,71	193.63
		Erosión Eólica	0,01	0.00
	ZODME39	Cargue	25,00	11.82
		Descargue	25,00	11.82

Fuente	Subfuente	Actividad	Emisión PST (kg/año)	Emisión PM10 (kg/año)
		Movimiento	391,12	50.77
		Erosión Eólica	0,00	0.00
	ZODME33	Cargue	83,89	39.68
		Descargue	83,89	39.68
		Movimiento	1.312,34	170.35
		Erosión Eólica	0,01	0.00
	ZODME36	Cargue	44,38	20.99
		Descargue	44,38	20.99
		Movimiento	694,24	90.12
		Erosión Eólica	0,00	0.00
		Total	**233.560,48**	**39.403,50**
Vía	Construcción	Descargue	18.523,38	8,761.06
		Movimiento	903.766,56	117,315.85
	Resuspensión	Sin pavimentar	9.895.717,77	2,265,744.28
	Exosto	Emisión	177.037,53	17,703.75
		Total	**10.995.045,25**	**2.409.524,94**

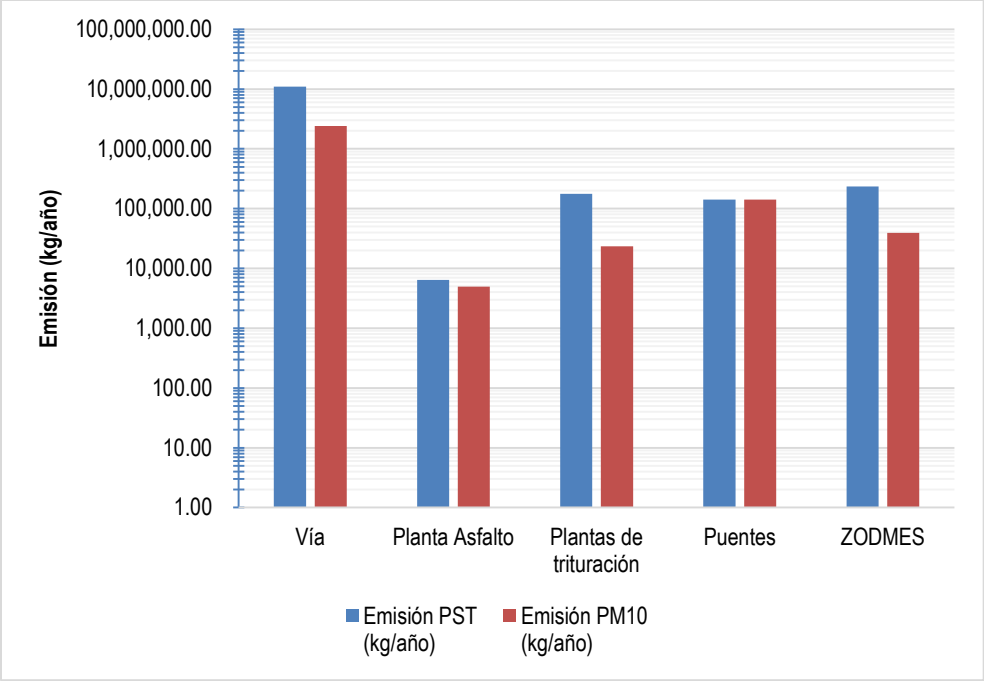
Tabla 7-83 Fuentes actividades y emisiones calculadas para NO_2 y SO_2

Fuente	Actividad	Emisión NO_2 (kg/año)	Emisión SO_2 (kg/año)
Planta asfalto	Fuente fija	84,096.00	61,670.40
Vía	Emisión Exosto	1,607,500.81	63,733.51

Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

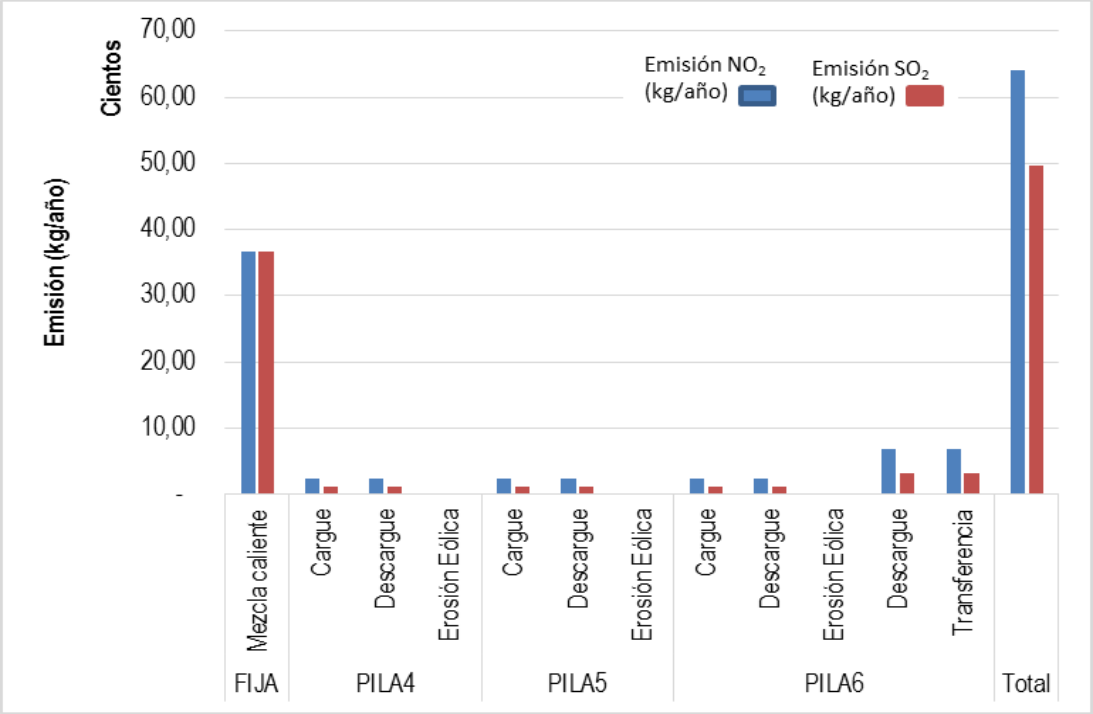
La Figura 7-26 presenta de forma gráfica los resultadas de las emisiones de PST y PM10 con el eje “y” en escala logarítmica, mientras que la Figura 7-27 presenta los resultados de NO_2 y SO_2 en escala lineal.

Figura 7-26 Fuentes actividades y emisiones calculadas para PST y PM10



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

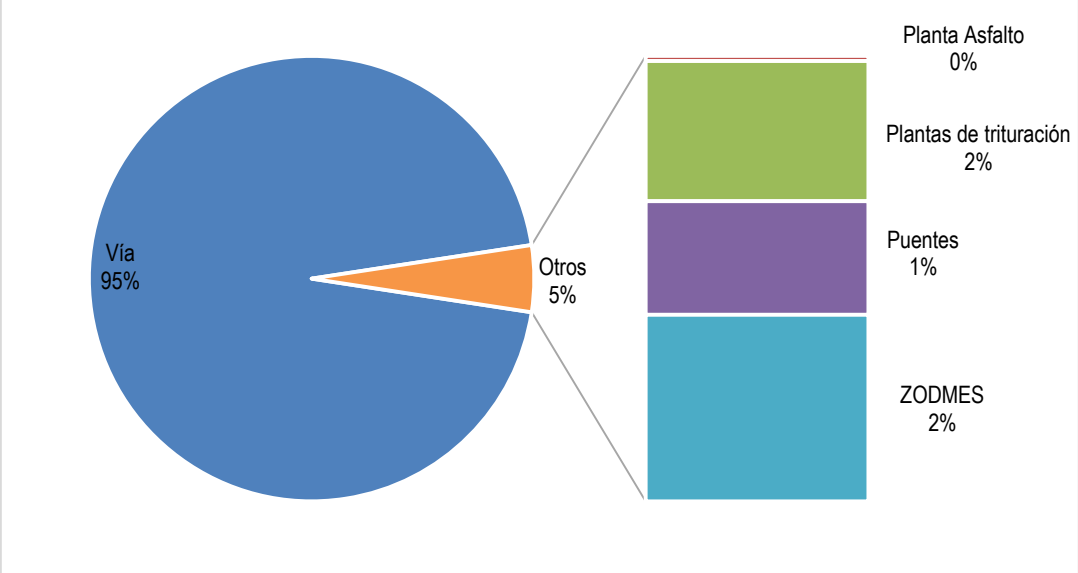
Figura 7-27 Fuentes actividades y emisiones calculadas para NO_2 y SO_2



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

Adicional en la Figura 7-27 presenta el porcentaje de aporte de cada una de las fuentes al total de la emisión de PST, se puede observar que la construcción de la vía generará el 95% del total de las emisiones, que las Zonas de Manejos de Sobrantes de Construcción representan el 2%, la construcción de los puentes tan solo el 1%, la planta de trituración el 2% y la planta de asfalto es casi despreciable.

Figura 7-28 Aporte de las emisiones de PST por fuente

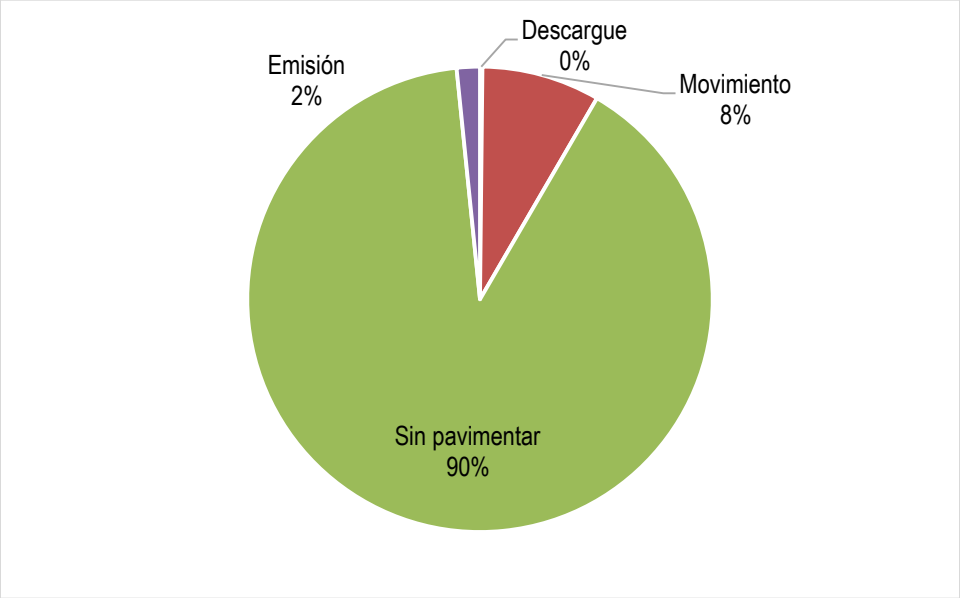


Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

Los resultados anteriores se ven altamente influenciados por la longitud de la vía a construir, la cual es de más de 100 km, por tanto si bien estas emisiones representan un gran aporte se distribuyen geográficamente en toda el área, cosa que no sucede con fuentes como la trituradora y la planta de asfalto.

La Figura 7-28 presenta el aporte de las actividades en la construcción de la vía a las emisiones de PST, en esta se evidencia que es el proceso de resuspensión el que presenta la mayor contribución.

Figura 7-29 Aporte de las actividades en la construcción de la vía a las emisiones de PST



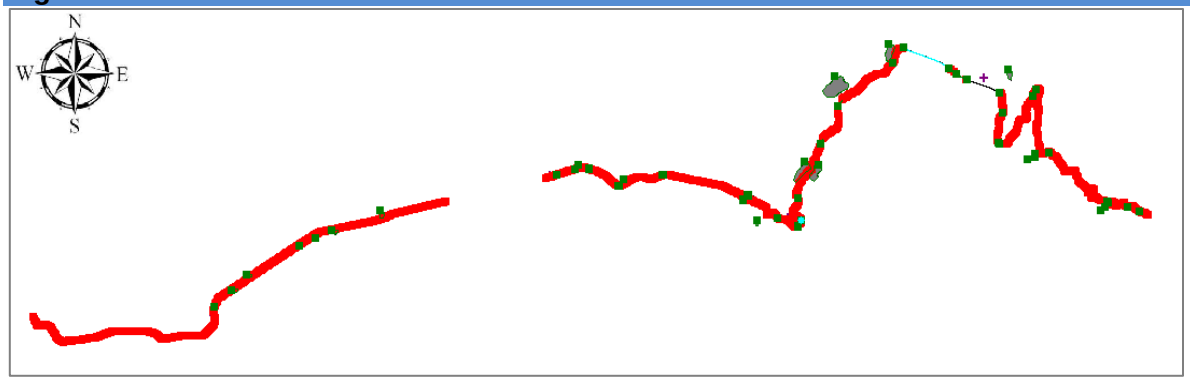
Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

La Figura 7-29 muestra la idealización de las fuentes de emisión según la ubicación de las mismas, los datos básicos que deben ser suministrados a AERMOD para las fuentes incluyen:

- Localización de la fuente a través de sus coordenadas X (Este), Y (Norte)
- Alturas sobre el nivel del mar de la base de la fuente
- Altura de la fuente sobre el nivel del terreno
- Características geométricas de cada fuente
- Factor de emisión en g/m^2*s para lo cual las emisiones anuales son transformadas a segundos y divididas por el área de la fuente calculada por el Software.

En la Figura 7-29 los polígonos verdes representan las fuentes de área, las líneas rojas las fuentes de volumen (vías) y los puntos azules las fuentes fijas y las cruces los receptores discretos.

Figura 7-30 Idealización de fuentes



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

En el anexo F 5 se presenta el modelo de dispersión de contaminantes realizado para el proyecto vial rutas del Cacao, allí se muestran las figuras de la dispersión anual y el peor escenario en 24 horas; además se presentan las isopletas de PST, PM10, NO_2 y SO_2.

- **resultados del modelo**

El modelo estima concentraciones a partir de los datos de emisiones calculados, sus resultados presentan valores de concentración máximos estimados para periodos de 24 horas y promedios anuales.

Con la finalidad de obtener una mejor precisión en los resultados se tuvieron en cuenta actividades propias de la pavimentación, meteorología de la zona y la topografía pública. El modelo presenta de manera confiable los sitios en los que se encontrarán las mayores concentraciones a nivel de calidad del aire y su distribución más no los valores absolutos de concentración.

El modelo se ejecutó para los siguientes resultados:

- Promedio anual: Resultado de promediar los valores de concentración de cada uno de los receptores del escenario para todo el año.
- Máximo 24 horas: Arroja los datos máximos de concentración promedio 24 horas para cada receptor que se obtuvieron durante todo el período modelado.

Debe tenerse en cuenta que el modelo presenta mayor precisión para el periodo anual que para los demás datos, aunque para cualquiera de los dos periodos AERMOD presenta una sobreestimación de las concentraciones sobre todo a bajas velocidades inferiores a 2 m/s (Paine, Connors, & Szembek, 2012) que son las que caracterizan el presente estudio.
La modelación configurada se compone de los siguientes archivos en sus respectivas ubicaciones:

- Nombre archivo de entrada: Comprende un archivo de cada extensión para cada uno de los contaminantes PST, PM10, NO_2 y SO_2, en cada una de las Zonas ZN1, ZN 2 y ZN3. Se compone de los siguientes archivos:

– PEQ92_PST_ZN1.ami
– PEQ92_PST_ZN1.aml

– Nombre archivos de salida:
– PEQ92_PST_ZN1.amz

- Nombre archivos topográficos:
- PEQ92.dem

- **Nombre archivos meteorológicos:**

– 1.LEBRIJA.pfl y 1.LEBRIJA.sfc
– 2.ESMERALDA.pfl y 2.ESMERALDA.sfc
– 3.FORTUNA.pfl y 3.FORTUNA.sfc

- **Nombre archivos geográficos:**

– TRAZADO_20160229.shp: Eje del trazado de la vía a construir.
– Planta_Asfalto.shp Localización de la planta de asfalto
– Trituradoras.shp: Localización de las plantas de trituración
– Puentes y túneles.dxf: Localización de los puentes y túneles
– ZODMES.shp: Localización de las Zonas de Manejos de Escombros

Todos los archivos de entrada y salida del modelo se encuentran en los Anexos Digitales del estudio (ver Anexo F5).

7.6.4 Resultados de modelación

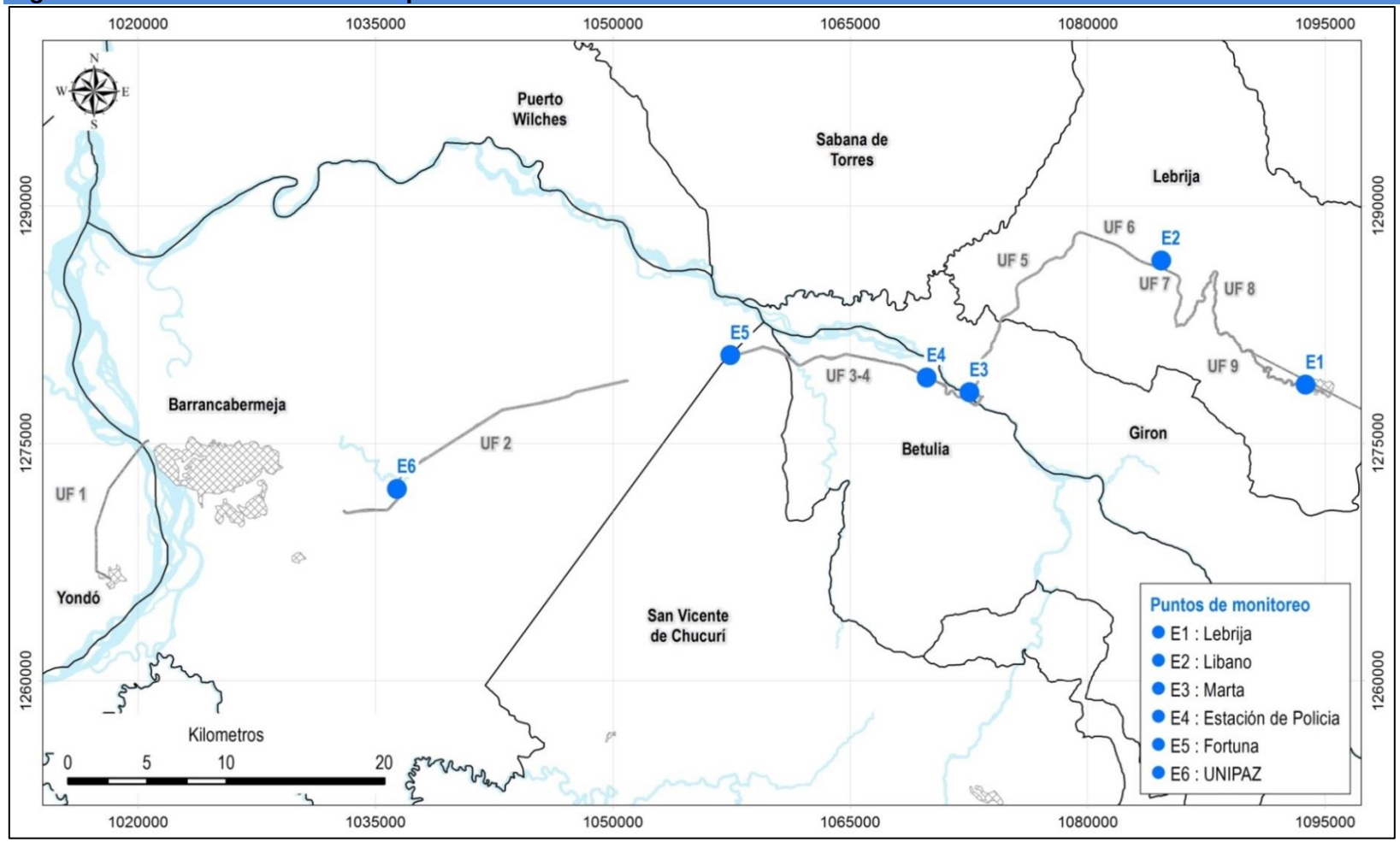
Esta sección muestra los resultados de concentración predichos por el modelo para PST, PM10, NO_2 y SO_2.
En los receptores discretos evaluados todas las concentraciones mostradas se encuentran en µg/m^3, durante la sección se usan palabras claves para grupos de fuentes con objeto de identificar de donde provendrán los aportes a cada uno de los receptores que sirvieron para identificar la línea base; los grupos de fuentes usados fueron:

- **All**: Incluye todas las fuentes del modelo
- **ASFLT**: Incluye las fuentes de la planta de asfalto
- **CONST**: Incluye todas las fuentes de volumen que involucran las actividades de construcción de la vía como: resuspensión, emisiones de exosto, descargue de material y movimiento de los mismos.
- **PUENTES**: Incluye la construcción de todos los puentes.

- **TRITU**: Incluye todas las fuentes de las plantas de trituración las cuales están una al lado de la otra separadas solo por la vía.
- **TUNELES:** Incluye la construcción de los dos túneles.
- **ZODMES**: Incluye todas las zonas de manejo de escombros.

Antes de entrar en el detalle de los resultados, en la Figura 7-36 se presenta la ubicación de los receptores discretos usados en el modelo, los cuales corresponden a los puntos de monitoreo de calidad del aire.

Figura 7-31 Ubicación de los receptores discretos

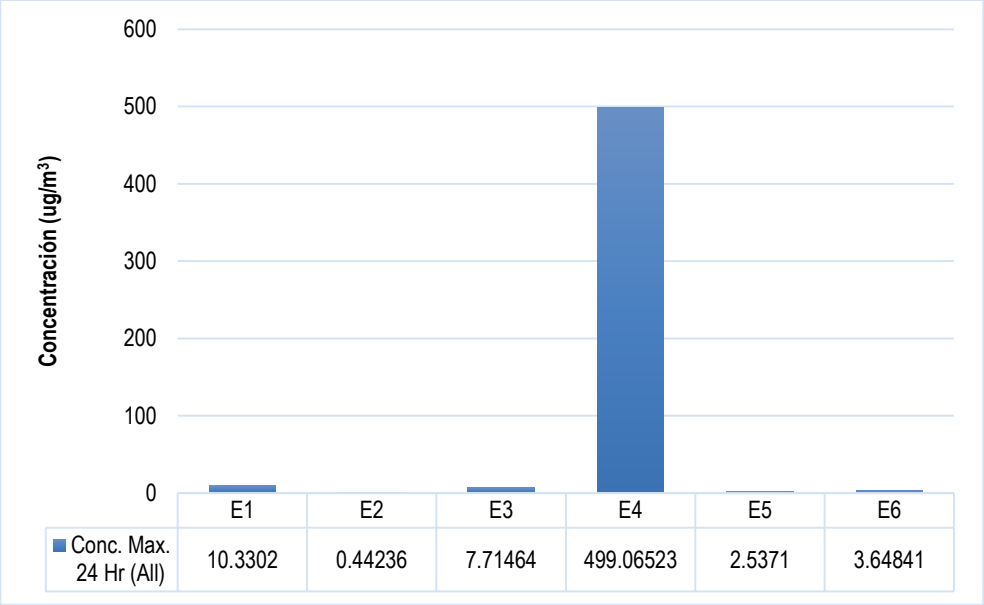


Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

7.6.5 Material particulado PST y PM10

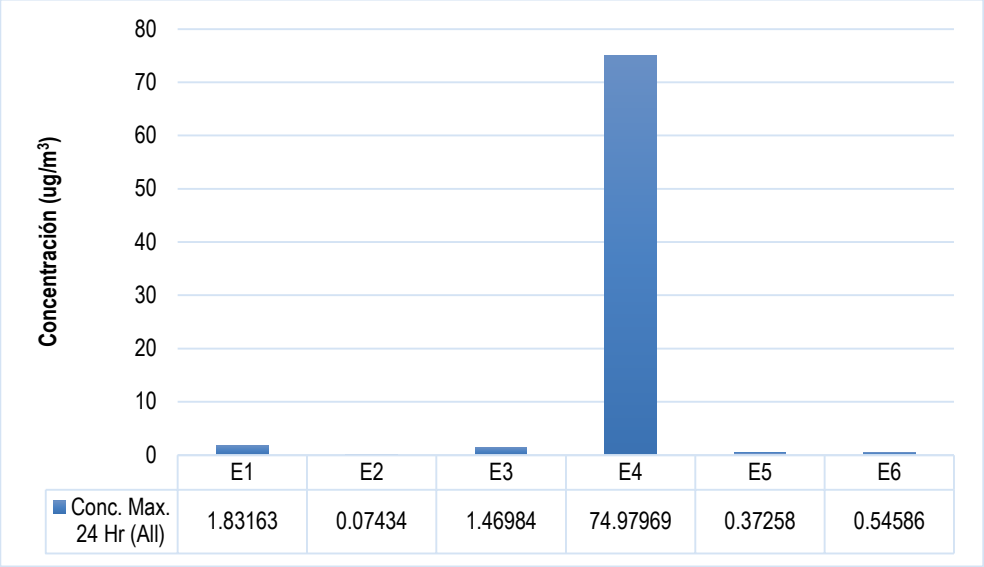
La Figura 7-32 y **Figura 7-33** presentan los resultados de concentración máxima 24 horas predichos por el modelo para PST y PM10. En esta se evidencia que en general los resultados predichos en los receptores discretos son bajos, exceptuando el punto E4, el cual se encuentra ubicado entre las dos plantas de trituración, el valor obtenido en el modelo para el contaminante PST en el punto E4 debe leerse con precaución, para el cual su interpretación debe enfocarse en una probabilidad de sobrepasar la norma diaria debido a las condiciones atmosféricas de baja altura de capa de mezcla en la zona del valle del rio magdalena.

Figura 7-32 Concentración máxima 24 horas PST receptores discretos



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

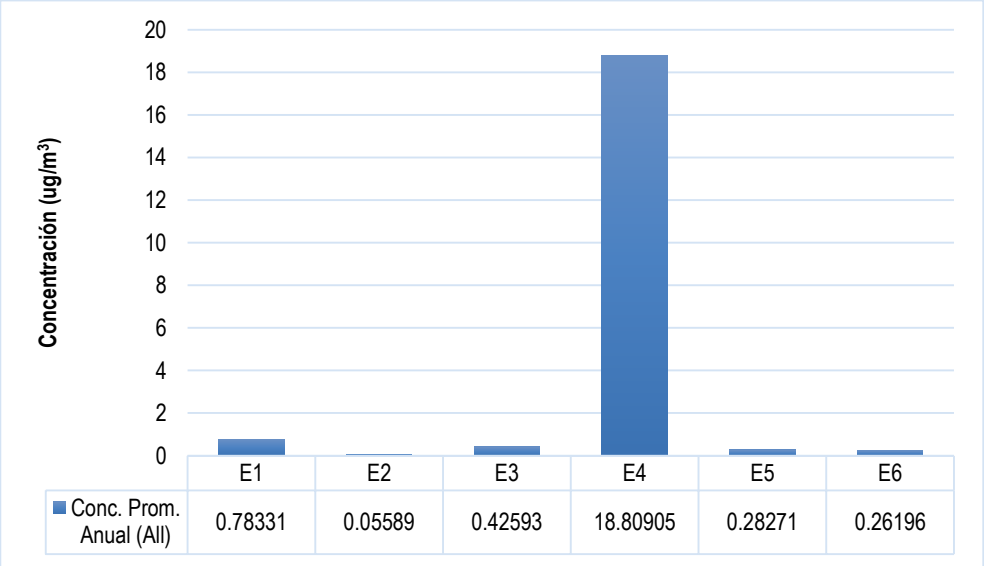
Figura 7-33 Concentración máxima 24 horas PM10 receptores discretos



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

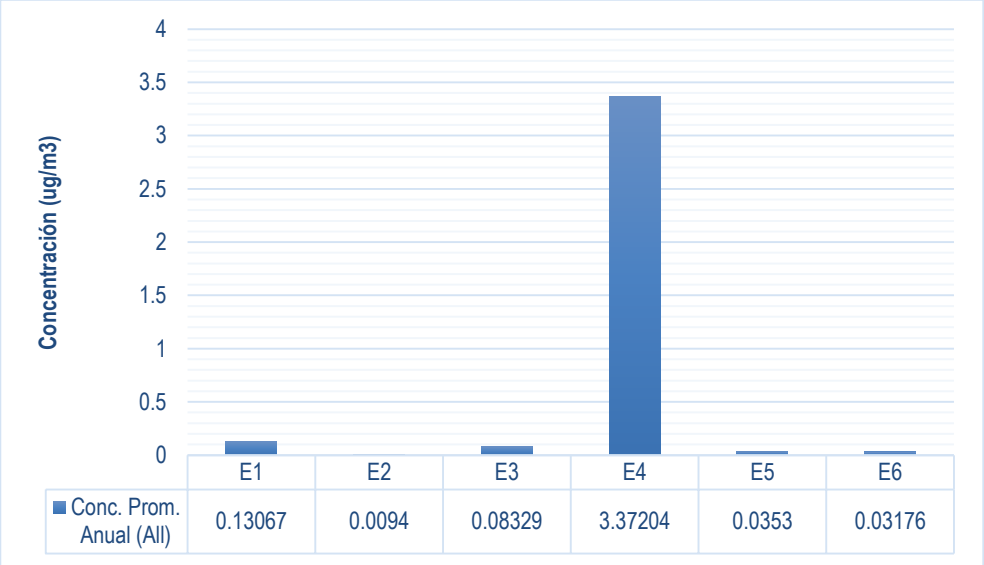
La **Figura 7-34**y Figura 7-35 presentan los resultados de concentración promedio anual predichos por el modelo para PST y PM10 comparados con la norma respectiva para el periodo de exposición, en esta se evidencia que en general los resultados predichos en los receptores discretos son bajos.

Figura 7-34 Concentración promedio anual PST receptores discretos



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

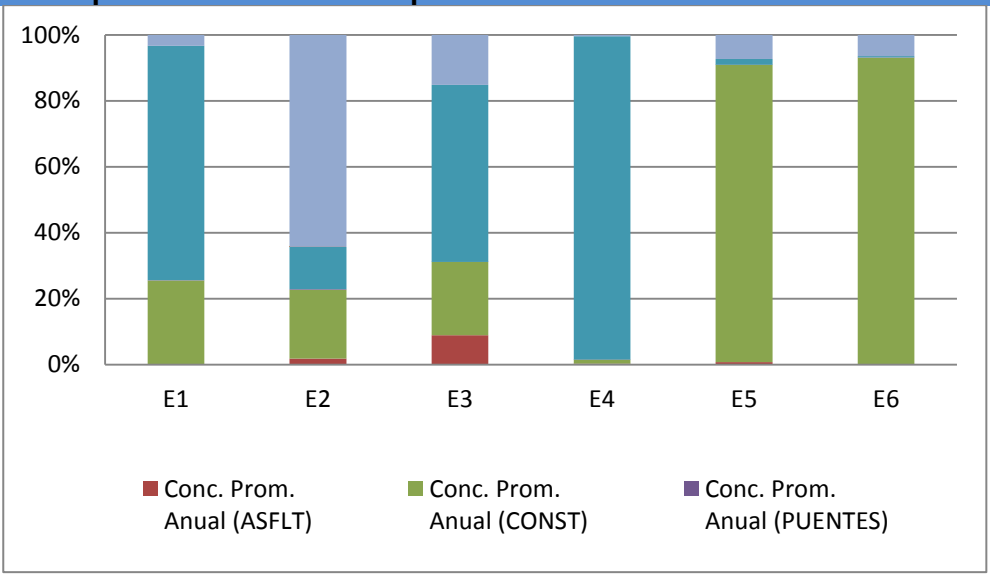
Figura 7-35 Concentración promedio anual PM10 receptores discretos



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

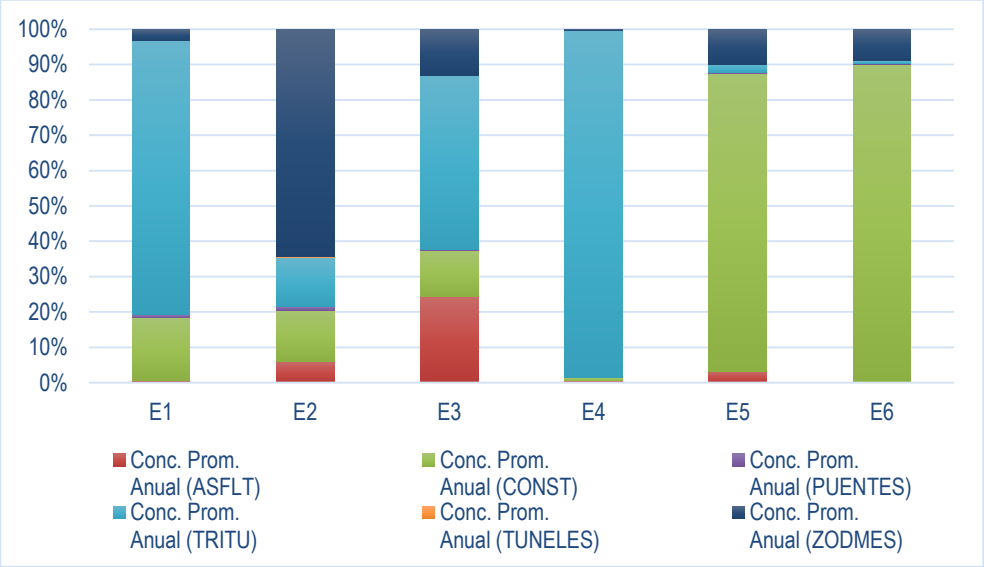
La Figura 7-36 y Figura 7-37 presentan los aportes a la contracción de PST y PM10 de los diferentes grupos de fuentes analizados.

Figura 7-36 Aporte de las fuentes al promedio anual de PST



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

Figura 7-37 Aporte de las fuentes al promedio anual de PM10



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

El anexo F5 presenta los resultados de contracción máxima 24 Horas predichos por el modelo para PST y PM10 en los receptores discretos para los diferentes grupos de fuentes ya explicados, adicional a los resultados de concentración se ha reportado la fecha (En formato AAMMDD24, donde el 24 indica las horas promediadas) en que estos eventos suceden. Las celdas de color verde se han usado para indicar cuando el evento en el que se presentó un máximo de concentración para un grupo coincide con la fecha en que se produjo la máxima concentración del grupo ALL, por ejemplo: en el receptor E1, el valor máximo de concentración de PST se presentó el 15100424 el cual coincide con el evento de máxima concentración del grupo TRITU, el cual contienen todas las fuentes de las trituradoras, para los demás grupos estos generan máximos, o presentan el evento, en una fecha diferente al grupo ALL, y por tanto no están marcados en verde.

De los resultados de estas dos fracciones de material particulado se puede evidenciar que:

- La trituradora contribuye en más del 99,9% a las concentraciones tanto máxima diaria como promedio anual de PST y PM10 en el Receptor E4, esto indica que en este punto es probable que se presenten valores altos de concentración del orden de cientos, que sumados a las fuentes que ya existen podrían presentar sobrepasos a la norma tanto diaria como anual, por lo cual es un indicativo que en dicha fuente se deben aumentar los esfuerzos de control de emisiones atmosféricas de estos contaminantes.
- En general se observa que los puntos E1, E3 y E4 se encuentran altamente influenciados por las emisiones de las plantadas de triturados. El punto E2 se encuentra altamente influenciado por las ZODMES, y el punto E5 y E6 se

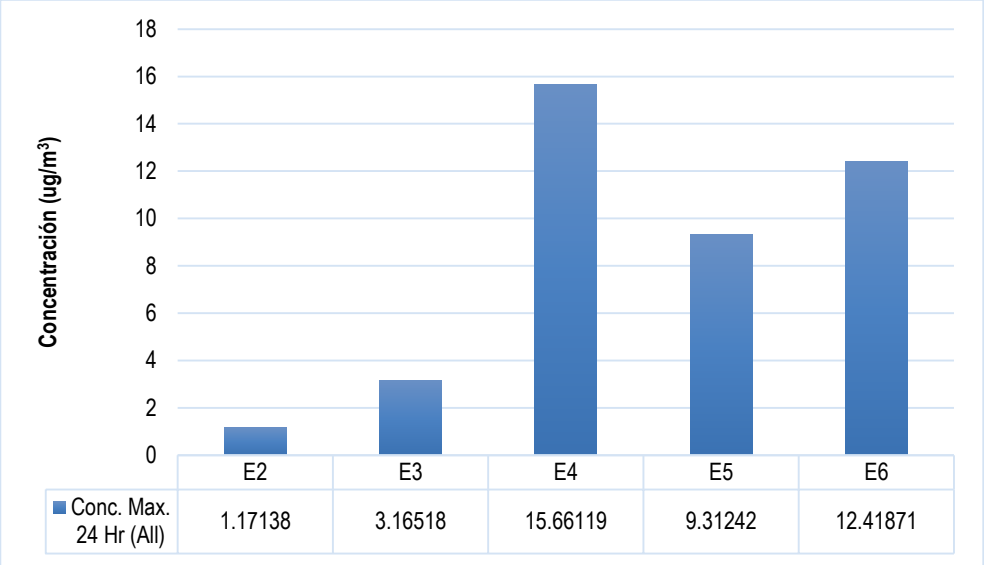
encontraran altamente influenciados por las actividades relacionadas con la construcción de la vía. En corolario, las posiciones elegidas para ubicar las estaciones de calidad del aire podrán captar los efectos de diferentes tipos de actividades y se deberá centrar la atención en los futuros resultados del punto E4.

- Según las fechas de coincidencia de los valores máximos de concentración 24 horas por grupo de fuentes se evidencia que los grupos de fuentes contribuyen a dichos máximos. En general se observan similitudes y diferencias en como los grupos de fuentes explican los valores de concentración máximos hallados, el valor máximo 24 horas de PST en los receptores E1, E3 y E4 se encuentra altamente influenciado por las plantas de trituración, pero para PM10 el valor máximo de concentración del punto E3 se explica por las emisiones de la planta de asfalto. En concordancia con este análisis en los receptores E2, E5 y E6 los valores máximos de concentración de PST y PM10 se explican por las emisiones principalmente de las ZODMES.
- La diferencia entre las fuentes que explican los máximos 24 horas en el material particulado y las fuentes que contribuyen a los valores de concentración promedio anual presentados, sugieren la importancia de controles diarios a futuro y los efectos que se lograrían si se implementasen, es decir futuros controles aplicados continuamente sobre las ZODMES producirán disminuciones en los valores máximos 24 horas de concentración en los receptores E2, E5 y E6 pero solo tendrán gran incidencia en la disminución de los promedios de concentración anuales en el receptor E2 dado que esta fuente contribuye en una gran proporción al promedio de dicho punto.

7.6.6 Gases NO_2 y SO_2

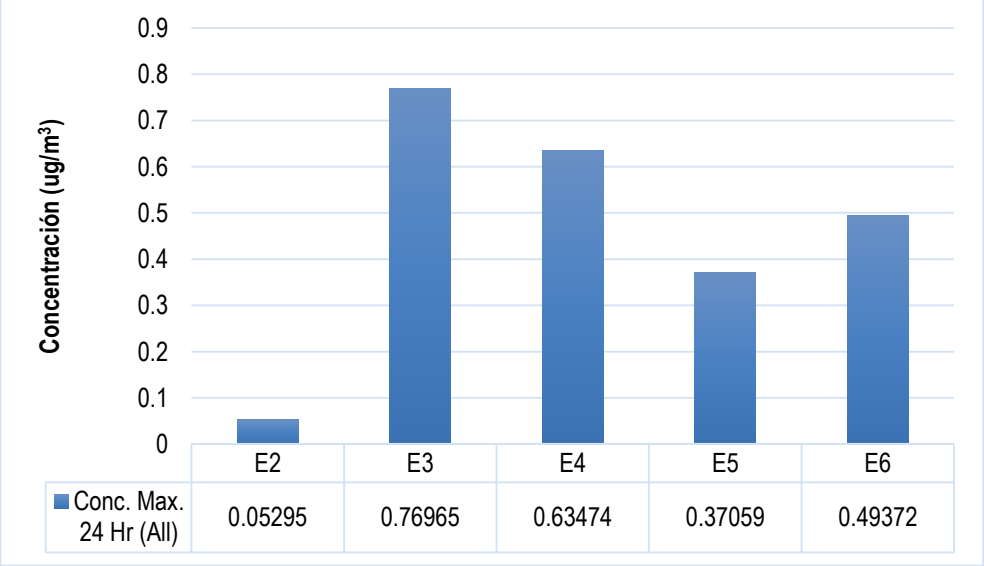
La Figura 7-38 y Figura 7-39 presentan los resultados de concentración máxima 24 horas predichas por el modelo para los contaminantes NO_2 y SO_2 respectivamente. En cada uno de los receptores discretos, los resultados presentados muestran que los valores predichos son bajos.

Figura 7-38 Concentración máxima 24 horas NO_2 receptores discretos



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

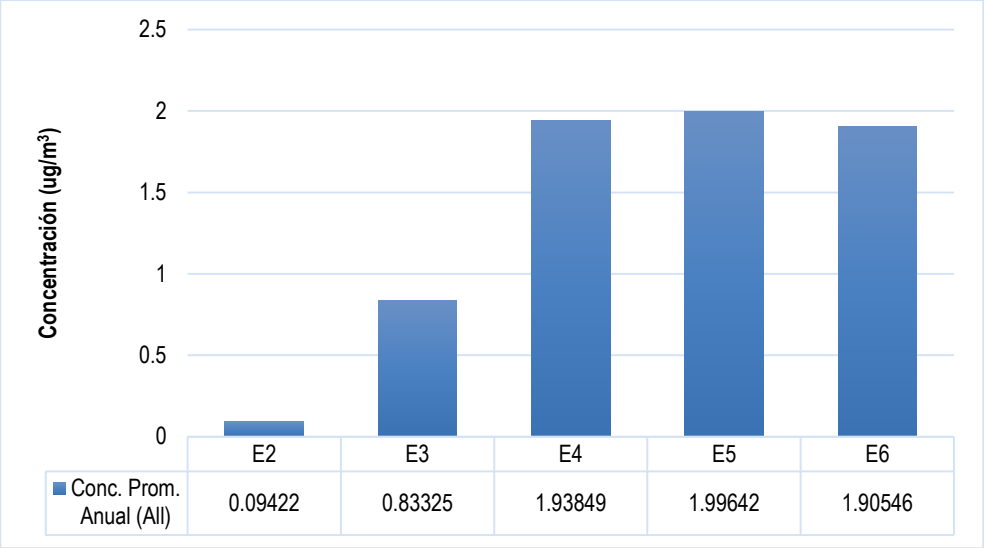
Figura 7-39 Concentración máxima 24 horas SO_2 receptores discretos



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

La

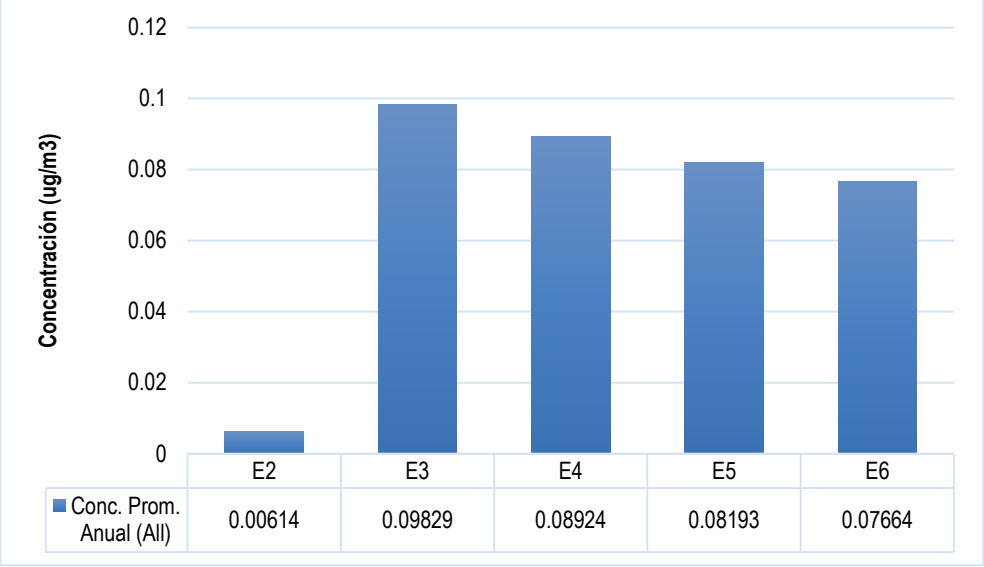
Figura 7-40 Concentración promedio anual NO2 receptores discretos



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

y

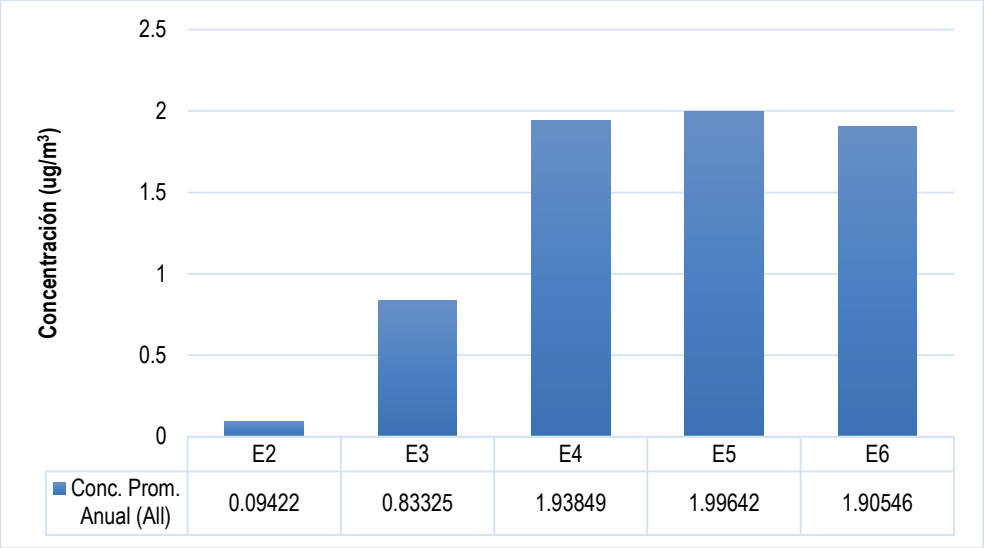
Figura 7-41 Concentración promedio anual SO2 receptores discretos



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

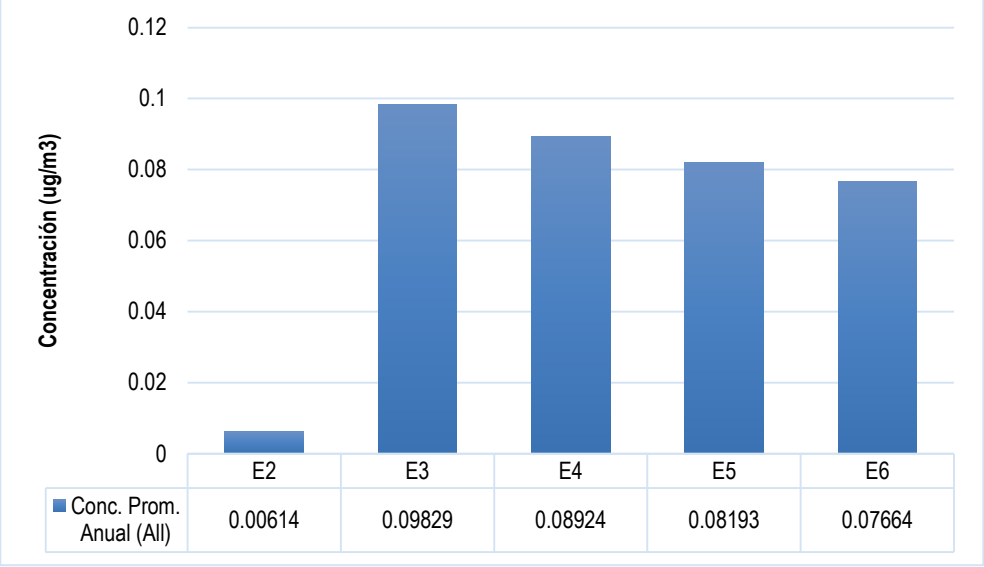
presentan los resultados de concentración promedio anual predichas por el modelo para los contaminantes NO_2 y SO_2 respectivamente, en cada uno de los receptores discretos, los resultados presentados muestran que los valores predichos para las fuentes consideradas son muy bajos.

Figura 7-40 Concentración promedio anual NO_2 receptores discretos



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

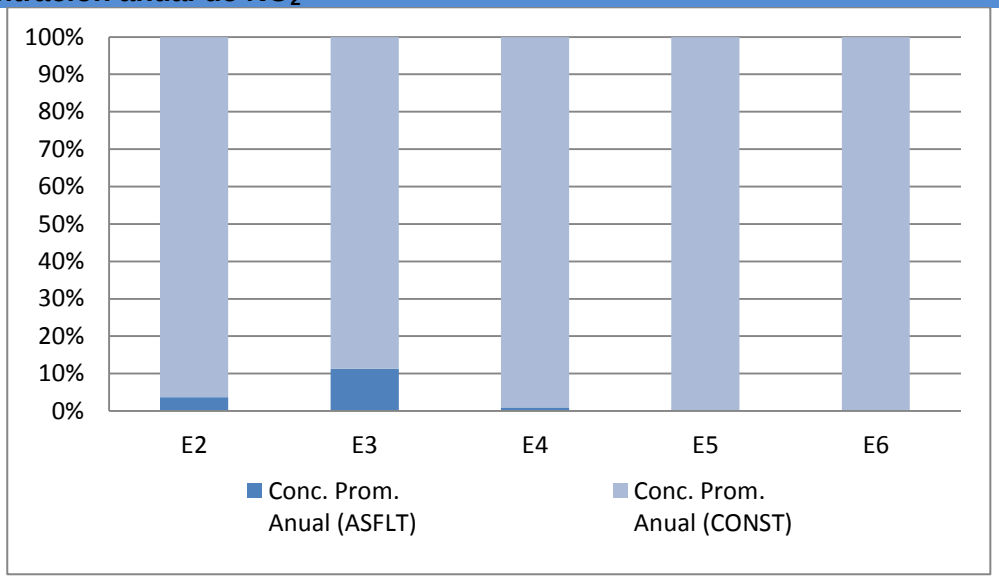
Figura 7-41 Concentración promedio anual SO_2 receptores discretos



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

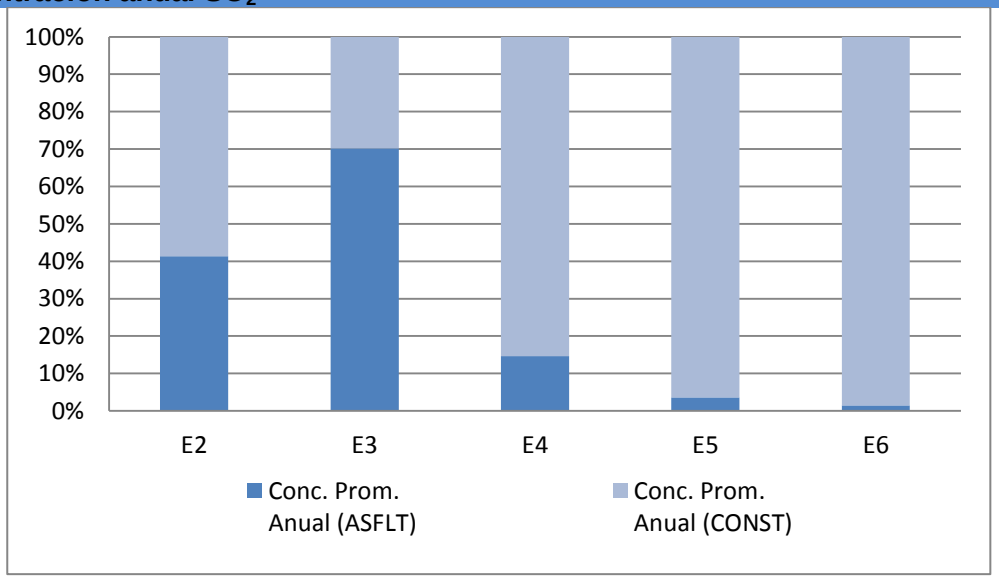
LaFigura 7-42 y Figura 7-43 presentan los porcentajes de contribución de los grupos de fuentes a las valores de concentración predichos por el modelo a la concentración anual para NO_2 y SO_2 respectivamente.

Figura 7-42 Porcentaje de contribución de los grupos a los resultados de concentración anual de NO_2



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

Figura 7-43 Porcentaje de contribución de los grupos a los resultados de concentración anual SO_2



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

En el anexo F5 se presentan los resultados de contracción máxima 24 horas predichos por el modelo para NO_2 y SO_2 en los receptores discretos para los diferentes grupos de fuentes ya explicados. En el caso de los gases solo se tienen dos grupos presentes dado

que las emisiones que se consideraron fueron las del horno rotatorio y las del exosto.

Adicional a los resultados de concentración se ha reportado la fecha (En formato AAMMDD24, donde el 24 indica las horas promediadas) en que estos eventos suceden, las celdas verdes indican que la fecha del evento reportada para un grupo de fuentes coincide con la fecha del evento reportada para el total de las fuentes.

De los resultados de estos dos gases contaminantes se puede evidenciar que:

- Los porcentajes de contribución muestran que la planta de asfalto presenta mayor contribución a las concentraciones de SO_2 que las de NO_2 y que los receptores E1, E2 y E3 reciben mayor influencia de dicha fuente.
- Para el NO_2 las actividades de construcción de la vía explican todos los valores de concentración máximos 24 horas presentados en los diferentes receptores, lo anterior no sucede con el SO_2 ya que en los receptores E3 y E4 es la planta de asfalto la que explica el valor máximo 24 horas presentado, lo anterior muestra la diferencia en cómo estas dos fuentes inciden en los diferentes contaminantes.

- **Adición de resultados a valores de calidad del aire**

En las Tabla 7-84 a la Tabla 7-87 presentan la adición de los valores de concentración predichos por el modelo a los valores de contracción de calidad del aire en los receptores discretos para los contaminantes PST, PM10, NO_2 y SO_2, respectivamente; para su correcta interpretación se debe tener en cuenta la siguiente nomenclatura:

Conc. Max 24 Hr:	Concentración máxima 24 horas para cada uno de los contaminantes
Conc. Prom. Anual:	Concentración promedio anual para cada uno de los contaminantes
CA:	Valor de concentración dada en el monitoreo de calidad del aire
MD:	Valor de concentración predicho por el modelo de dispersión
Conc. Esperada:	Suma de los resultados del modelo y los resultados en el monitoreo de calidad del aire.
% norma diaria:	Corresponde al valor máximo 24 horas esperado sobre el valor de la norma 24 horas
% norma anual:	Corresponde al valor promedio esperado sobre el valor de la norma anual

Tabla 7-84 Aumentos de PST esperados en los receptores discretos

Estación	Conc. PST Max. 24 Hr				Conc. PST Prom. Anual			
	CA	MD	Conc. Esperada	% Norma diaria	CA	MD	Conc. Esperada	% Norma anual
E1	184,50	10,33	194,83	64,94%	128,12	0,78	128,91	128,91%
E2	131,52	0,44	131,96	43,99%	88,14	0,06	88,20	88,20%
E3	206,94	7,71	214,65	71,55%	99,81	0,43	100,24	100,24%
E4	116,56	499,07	615,63	205,21%	65,30	18,81	84,11	84,11%
E5	149,06	2,54	151,60	50,53%	79,73	0,28	80,02	80,02%
E6	172,73	3,65	176,38	58,79%	84,54	0,26	84,80	84,80%

Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

Tabla 7-85 Aumentos de PM10 esperados en los receptores discretos

Estación	Conc. PM10 Max. 24 Hr				Conc. PM10 Prom. Anual			
	CA	MD	Conc. Esperada	% Norma diaria	CA	MD	Conc. Esperada	% Norma anual
E1	110,95	1,83	112,78	112,78%	70,45	0,13	70,58	70,58%
E2	96,32	0,07	96,39	96,39%	59,76	0,01	59,76	59,76%
E3	103,47	1,47	104,94	104,94%	65,59	0,08	65,68	65,68%
E4	81,43	74,98	156,41	156,41%	45,76	3,37	49,13	49,13%
E5	74,53	0,37	74,90	74,90%	44,46	0,04	44,49	44,49%
E6	74,53	0,55	75,08	75,08%	52,95	0,03	52,98	52,98%

Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

Tabla 7-86 Aumentos de NO_2 esperados en los receptores discretos

Estación	Conc. NO_2 Max. 24 Hr				Conc. NO_2 Prom. Anual			
	CA	MD	Conc. Esperada	% Norma diaria	CA	MD	Conc. Esperada	% Norma anual
E1	15,77	5,18	20,95	13,97%	24,33	1,55	25,88	25,88%
E2	11,47	1,17	12,64	8,43%	20,25	0,09	20,34	20,34%
E3	8,28	3,17	11,45	7,63%	18,20	0,83	19,03	19,03%
E4	15,09	15,66	30,75	20,50%	19,64	1,94	21,58	21,58%
E5	7,07	9,31	16,38	10,92%	8,41	2,00	10,41	10,41%
E6	7,07	12,42	19,49	12,99%	16,87	1,91	18,78	18,78%

Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

Tabla 7-87 Aumentos de SO_2 esperados en los receptores discretos

Estación	Conc. SO_2 Max. 24 Hr				Conc. SO_2 Prom. Anual			
	CA	MD	Conc. Esperada	% Norma diaria	CA	MD	Conc. Esperada	% Norma anual
E1	9,93	5,18	15,11	6,04%	4,38	1,55	5,93	7,41%
E2	10,78	1,17	11,95	4,78%	5,61	0,09	5,71	7,13%
E3	5,29	3,17	8,46	3,38%	2,88	0,83	3,71	4,64%
E4	6,36	15,66	22,02	8,81%	3,88	1,94	5,82	7,28%
E5	0,93	9,31	10,24	4,10%	0,47	2,00	2,47	3,09%
E6	5,53	12,42	17,95	7,18%	3,24	1,91	5,14	6,43%

Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2016.

Según los resultados dados para el PST se podrían esperar contracciones de PST que superen el valor de la norma diaria en la estación E4, pero en este lugar no se esperan sobrepasos a la norma anual, mientras que en los receptores E1 y E3 no se esperan eventos de alta contracción pero sería probable encontrar contracciones promedios anuales altas, debido a que las plantas de trituración aportan en gran medida a la concentración anual de estos puntos el enfoque para disminuir dichas concentraciones se debe basar en el control de las emisiones de dichas fuentes.
Los datos de concentración esperados para PM10 presentan similitudes al análisis anterior de PST, sin embargo solo se esperan valores altos de concentración que probablemente sobrepasen la norma diaria, pero no sería probable encontrar valores de concentración promedio anual que sobrepasen la norma anual en los receptores E1, E3 y E4.

Los valores predichos por el modelo evidencian que en la zona no se esperan aumentos significativos de concentración de gases contamines NO_2 y SO_2, por tanto el enfoque de la gestión sobre estos contaminantes se basaría más en el seguimiento que en el control.

7.7 MATERIALES DE CONSTRUCCION

Para la construcción del proyecto ruta del cacao, no se tiene contemplado las siguientes explotaciones:

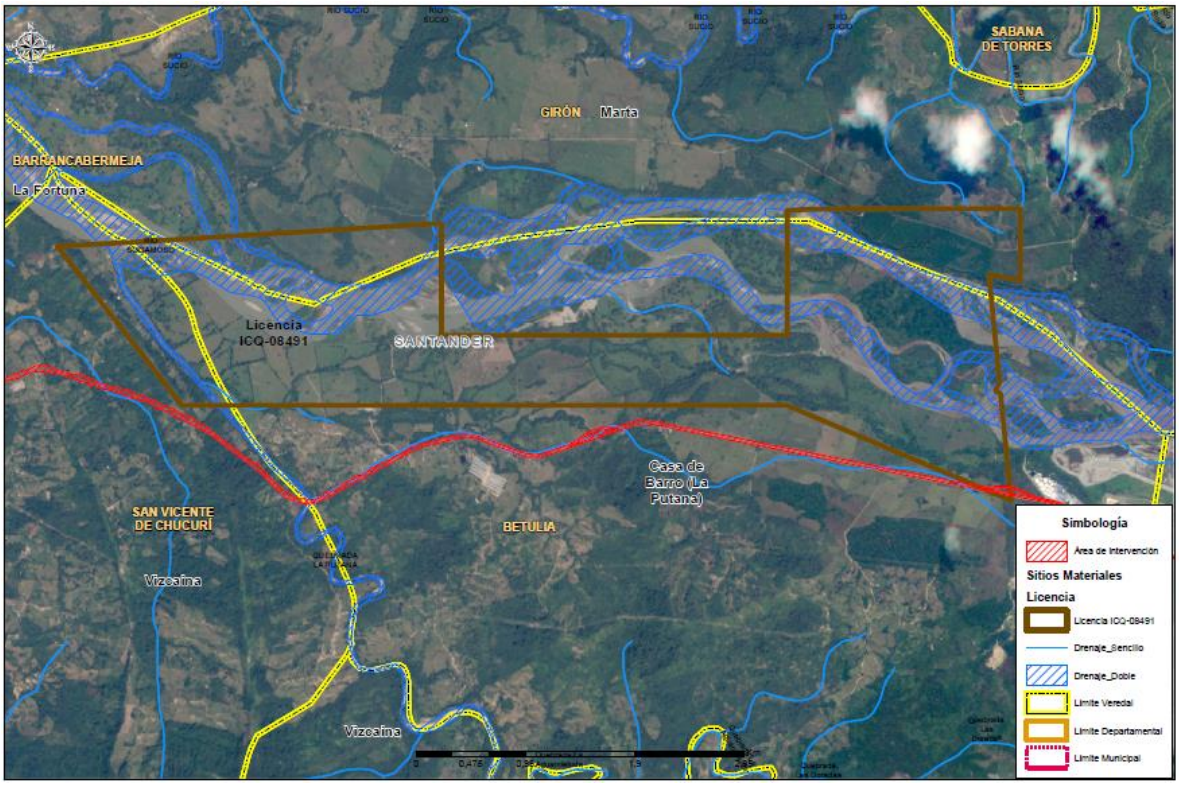
- Explotación de materiales de arrastre de cauces o lechos de corrientes o depósitos de agua
- Extracción de materiales sobre títulos mineros en el derecho de vía.

En cuanto a los materiales de construcción, para conformación de base y sub-base granular para la estructura del pavimento la concesión no realizara explotación directa en fuentes de material, por tal razón estos materiales granulares serán adquiridos de forma directa a proveedores que cuentan con los respectivos permisos ambientales y se localizan en inmediaciones del área de estudio.

Contrato de concesión para la explotación (Yacimiento de carbón mineral y demás minerales) concesibles No ICQ-08491 celebrado entre INGEOMINAS y el señor Arcenio

Gelvez García. Ver Figura 7.44. La vigencia del contrato de concesión de explotación es de 30 años a partir de 27 de enero de 2012.

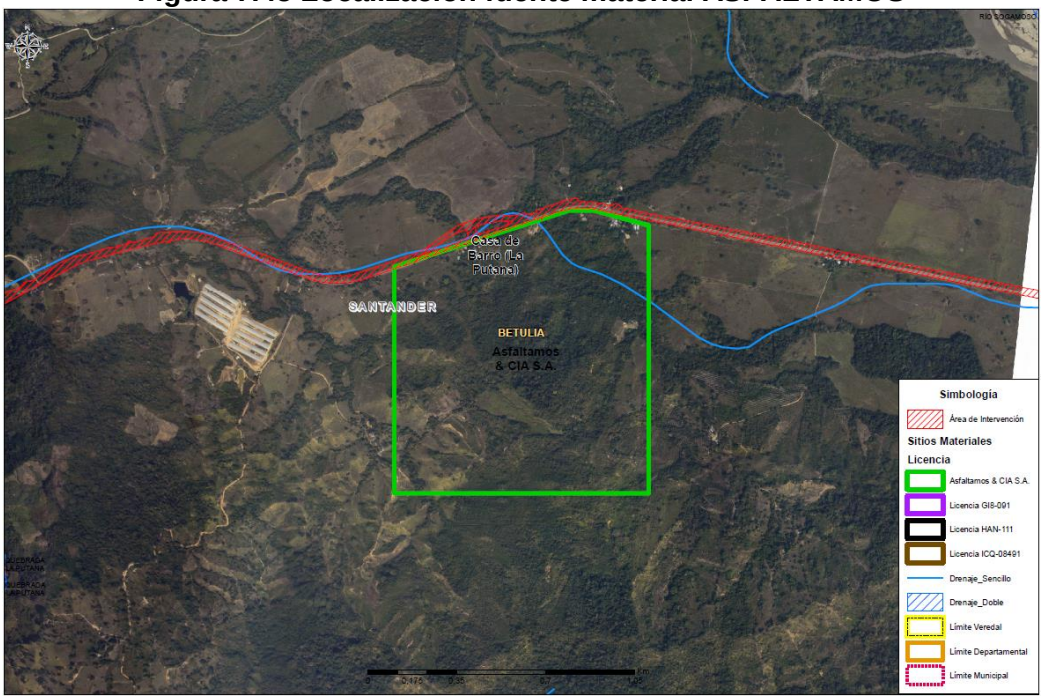
Figura 7.44 Localización fuente material Licencia No ICQ-08491



Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

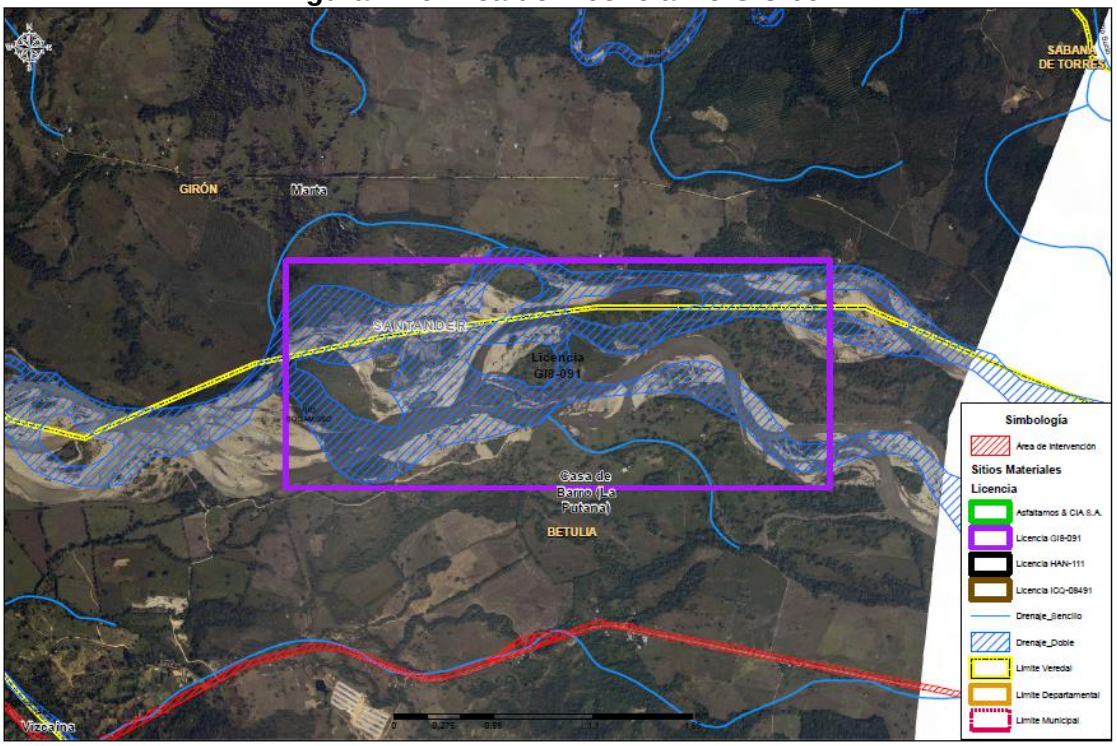
Mediante el contrato de concesión minera Nº GI8-091 concedida al representante legal de la empresa ASFALTAMOS Y CIA LTDA (señor Albenis José Guevara Jaimes), quien suministrara materiales granulares y asfalto para al Proyecto. Ver Figura 7.45 y Figura 7.46. Cuenta con la Licencia Ambiental No 01216 aprobada por parte de CAS el 29 de Octubre de 2010 y la vigencia de la licencia es de 22 años.

Figura 7.45 Localización fuente material ASFALTAMOS



Fuente: Google Earth. 2015

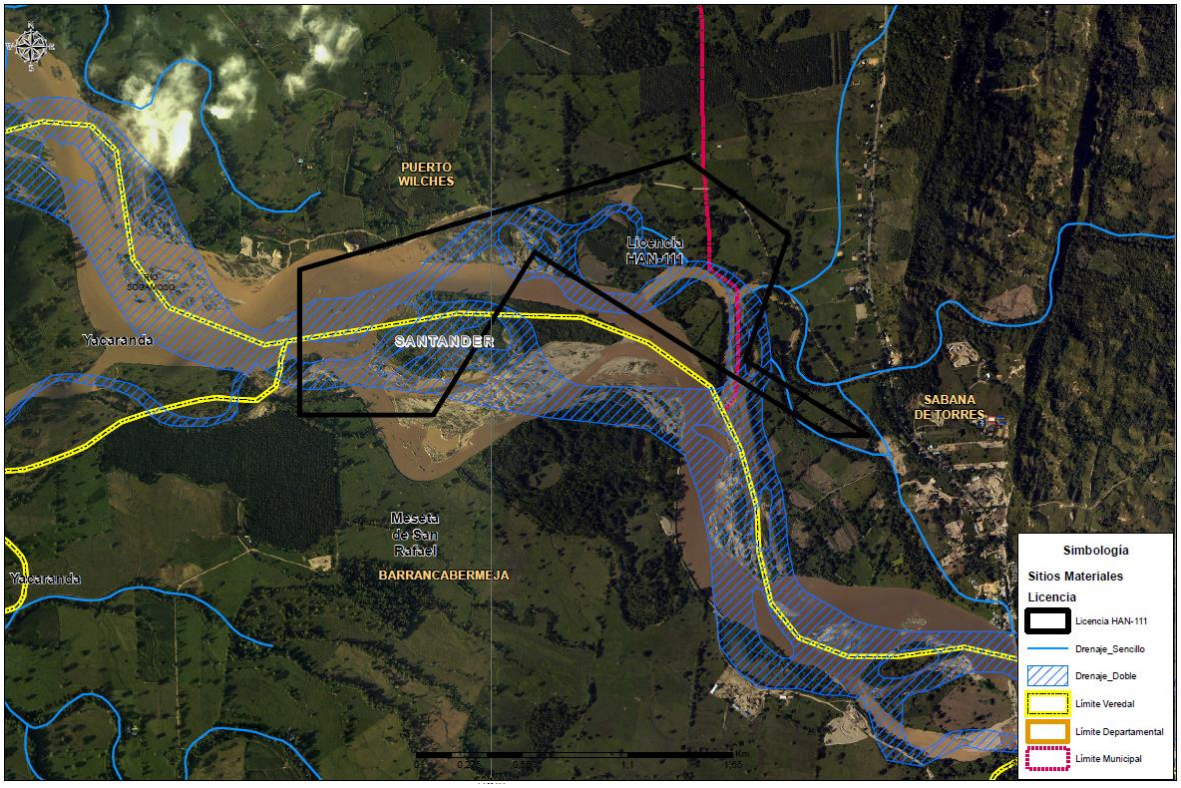
Figura 7.46 Área de Licencia No GI8-091



Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

El contrato de concesión Nº HAN-111 concede la licencia ambiental a la señora Claudia Patricia Sáenz Bueno, para la explotación de materiales de construcción. Este proveedor suministrara dichos materiales para el Proyecto. Ver Figura 7.47 . La vigencia del contrato de concesión minera es de 30 años contados a partir de 14 de febrero de 2008.

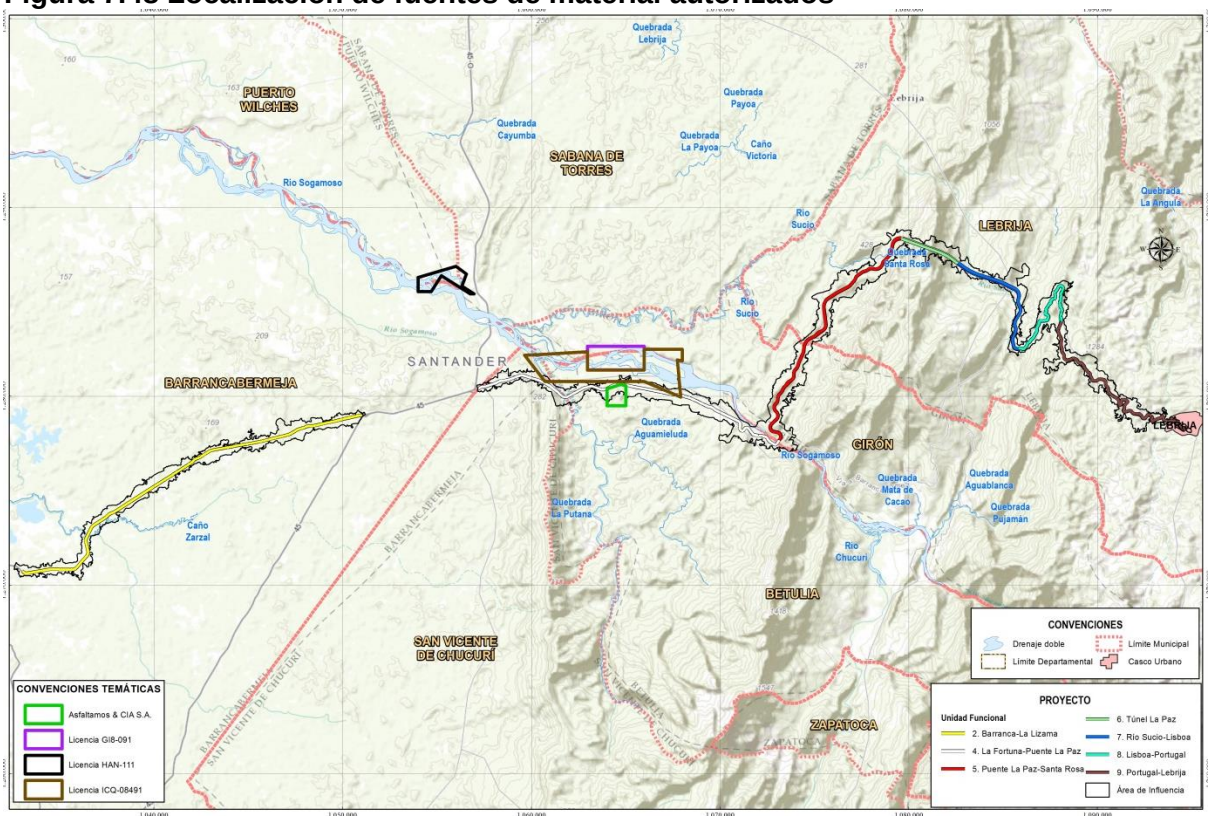
Figura 7.47 Localización fuente material Licencia No HAN-111



Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

En la Figura 7.48 se muestran los sitios propuestos como sitios para la obtención de materiales de construcción a terceros autorizados.

Figura 7.48 Localización de fuentes de material autorizados



Fuente: Consultoría Colombiana S.A. 2016

Adicional a lo anterior, se identifican otros proveedores de materiales de construcción ubicados en el área de influencia del Proyecto. Ver Tabla 7.88.

Tabla 7.88 Identificación de proveedores de materiales de construcción

FUENTE DE MATERIAL	COORDENADAS		NOMBRE DEL PREDIO / CANTERA	NOMBRE DEL PROPIETARIO Y CONTACTO
	ESTE	NORTE		
1	1,057,630	1,285,714	Finca Rivera GYM Construcciones S.A.	Armando Gómez: 3146153576 / Alfredo Fuentes: 3146153576 / Eduardo Molano: 3146153576
2	1,057,080	1,285,307	Trituradora y Agregados J.J. S.A.S.	José Israel Castro Gelvez Contacto: 3164750205
3	1,029,765	1,271,147	Estylo Construcciones Fuente de material Olga Lucía	Luis Enrique Plata Contacto: (7) 6200049 / (7) 6111007
4	1,031,155	1,272,313	Mina La Cascajera	Álvaro Guerrero Contacto: (7) 6457982 Cel.: 3187348316
5	1,028,811	1,272,693	Fuente de material El Pentágono Ltda.	Ruiz Alfonso Iliana / Ingrid Ruiz: 3156103604 - 3208998033 Tel: (7) 6027008
6	1,033,799	1,270,759	Cantera P.L. Construcciones y Pavimentos SAS	Jimena Paola Lemus: 3182063923
7	1,050,290	1,278,916	Cantera ASA Construcciones	Néstor Quintero Correa: 3204906168 / Manuel Castrillo: 3204906180

FUENTE DE MATERIAL	COORDENADAS		NOMBRE DEL PREDIO / CANTERA	NOMBRE DEL PROPIETARIO Y CONTACTO
	ESTE	NORTE		
8	1,072,235	1,277,955	Esgamo Ingenieros Constructores S.A.S Cantera en Sogamoso	Yolanda Moreno - Miguel Ángel Rodríguez Contacto: (7) 6375707 Cel.: 3183514143
9	1,053,908	1,279,505	Transagregados Leon Asociados S.A.S	Robinson Santos Cel.: 3132718794 / Oficina: 3503219162
10			Avensa S.A.S	Olga Gómez Cel.: 3202115357
11	1,283,807	1,057,963	Jose Luis Avella Santos	José Luis Avella Santos Contacto: 3186083625
12			Construcción y explotación Minera Sava S.A.S	Juan Guillermo Criado Cel.: 3172478844

Fuente: Concesión Rutas del Cacao. 2016

De igual forma, se realizó la consulta a la Corporación Autónoma Regional de Santander – CAS, solicitando la identificación de los títulos mineros de materiales de construcción concedidos en esta región por dicha autoridad. En la Tabla 7.89 se presenta la relación de los títulos mineros vigentes a la fecha del presente estudio.

Tabla 7.89 Títulos mineros en la zona del proyecto

EXPEDIENTE CAS	TITULO MINERO	MODALIDAD DEL TÍTULO MINERO	MUNICIPIO DEL PROYECTO	MATERIAL EXPLOTADO	RESOLUCIÓN OTORGAMIENTO
0137-2003	GJS-141	Contrato de concesión (D 2655)	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución DGL 03786 de 10 de Noviembre DE 2003
0003-2009	HGQ-15391	Contrato de concesión (L 685)	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución DGL No. 00000730 del 23 de Junio de 2010
0358-2004	FFO-081	Contrato de concesión (L 685)	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución DGL No. 00000951 del 27 de Septiembre de2005 y modificada mediante Resolución No. 0000701 del 26 de Noviembre de 2007
0277-2003 0024-2004	EE7-167	Contrato de concesión (L 685) Legalización Minería de Hecho.	Barrancabermeja		Resolución DGL 0647 del 08 de Junio de 2010
0002-2007	GJS-141	Contrato de concesión (L 685)	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución No. 0000729 del 05 de Diciembre de 2007
0012-2012	GIU-103	Contrato de concesión (L 685)	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución DGL 0948 del 24 de Octubre de 2014
0094-2013	ODA-09081	Autorización temporal	San Vicente de chucuri	Materiales de construcción	Resolución DGL No. 00001050 del 19 de Noviembre de 2013
0037-2012	JGO-11351	Contrato de concesión (L 685)	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución DGL 01225 08 de Octubre del 2012
0045-2006	0343-68	Contrato de concesión (D 2655)	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución DGL 0315 29 de Abril del 2008
0010-2013	IKG-15551X no aparece en CMC	Contrato de concesión	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución DGL 0453 21 de Mayo del 2013
0156-2011	ICQ-08491	Contrato de concesión (L 685)	Betulia	Materiales de construcción	Resolución DGL 0058 de Enero 27 de 2012

EXPEDIENTE CAS	TITULO MINERO	MODALIDAD DEL TÍTULO MINERO	MUNICIPIO DEL PROYECTO	MATERIAL EXPLOTADO	RESOLUCIÓN OTORGAMIENTO
0005-2007	HIM-13301	Contrato de concesión (L 685)	Barrancabermeja	Materiales de Arrastre- Materiales de construcción	Resolución DGL 0768 09 de Septiembre del 2008
0083-2010	II5-08001X	Contrato de concesión (L 685)	San Vicente de Chucuri	Materiales de construcción	Resolución 0376 de Abril 30 de 2015
0038-2012	KAT-09121	Contrato de Concesión (L 685)	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución DGL 01354 del 28 de Noviembre del 2012
0015-2011	IHM-14251	Contrato de Concesión (L 685)	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución DGL 00000060 del 27 de Enero de 2012
0018-2004	EE7-164 Legalización Minería de Hecho	Contrato de concesión (L 685)	Barrancabermeja	Materiales de arrastre- Materiales de construcción	Resolución DGL 0570 del 08 de Junio del 2010
0021-2007	HHF-12541	Contrato de concesión (L 685)	Barrancabermeja	Materiales de construcción	Resolución DGL 0000460 del 14 de Agosto de 2007
0013-2004	EJU-111 Legalización Minería de Hecho	Contrato de concesión (L 685)	Barrancabermeja y Yondó	Material de arrastre - Materiales de construcción	Resolución DGL 0000868 del 30 de Septiembre de 2014

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Santander – CAS. 2016