



Agencia Nacional de
Infraestructura



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

CONTRATO DE CONCESIÓN APP 013 DE 2015

CONSULTOR

CAPITULO 5.1.5 HIDROLOGIA

BOGOTÁ

Agosto 2016

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CAPITULO 5.1.5 HIDROLOGIA

**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		
A P R O B A C I Ó N	Número de Revisión			
	Responsables por elaboración	NOMBRE	Liliana Bolívar	Ingeniera en Recursos Hídricos
		FIRMA		
		MAT: FECHA		
	Responsable por revisión y aprobación	NOMBRE	Nicolas Suescun	Coordinador de Proyecto
		FIRMA		
		MAT: FECHA		

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CAPITULO 5.1.5 HIDROLOGIA

**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

CAPITULO 5.1.5 HIDROLOGIA

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

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....	1
5.1 MEDIO ABIÓTICO.....	1
5.1.5 Hidrología	1

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CAPITULO 5.1.5 HIDROLOGIA

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

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 5-1 Relación de las estaciones utilizadas en el análisis hidrológico.	2
Tabla 5-2 Relación de las estaciones utilizadas en el análisis climatológico.	4
Tabla 5-3 Cuerpos loticos identificados en el corredor vial	8
Tabla 5-4 Cuerpos lénticos identificados en el corredor vial.....	23
Tabla 5-5 Clasificación cuencas hidrográficas según IDEAM – Zona de estudio	30
Tabla 5-6 Clasificación cuencas menores según IDEAM – Zona de estudio.....	32
Tabla 5-7. Datos obtenidos para Caudales Medios Estación San Rafael – Río Lebrija....	41
Tabla 5-8. Análisis de frecuencia para caudales máximos Estación San Rafael – Río Lebrija.....	42
Tabla 5-9. Caudales obtenidos a través de la curva de duración	43
Tabla 5-10. Datos Obtenidos para caudales medios Estación Puente Sogamoso – Río Sogamoso.....	47
Tabla 5-11. Análisis de frecuencia para caudales máximos estación Puente Sogamoso – Río Sogamoso	47
Tabla 5-12. Caudales obtenidos a través de la curva de duración	49
Tabla 5-13. Balance Hídrico a nivel mensual de largo plazo – estación Llano Grande....	51
Tabla 5-14. Caudales medios estimados en cuencas de sitio de cruce (m ³ /s).....	53
Tabla 5-15. Caudales mínimos estimados en cuencas de sitio de cruce (m ³ /s)	55
Tabla 5-16. Características morfométricas de las principales cuencas menores.....	59
Tabla 5-17. Principales parámetros morfométricos de las cuencas menores.....	60
Tabla 5-18 Red hidrográfica sector Túnel la Paz y Túnel La sorda	61
Tabla 5-19 Cuerpos de agua lóticos identificados en el sector Túnel la Paz y Túnel La Sorda	63
Tabla 5-20 Cuerpos lénticos identificados en el sector Túnel la Paz y Túnel La Sorda....	68

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CAPITULO 5.1.5 HIDROLOGIA

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

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 5-1 Localización estaciones hidrométricas - zona de estudio.....	3
Figura 5-2 Localización estaciones climatológicas zona de estudio.....	5
Figura 5-3 Red de Drenaje en el área de Estudio.....	7
Figura 5-4 Sistemas lénticos – Embalse del río Sogamoso.....	26
Figura 5-5 Esquema general del Proyecto Hidrosogamoso.....	27
Figura 5-6 Localización cuencas hidrográficas en la zona de estudio.....	31
Figura 5-7 Localización cuencas menores en sitios de cruce de la zona de estudio.....	33
Figura 5-8 Perfil hipsométrico del Río Magdalena.....	35
Figura 5-9 Ubicación general cuenca Río Lebrija.....	36
Figura 5-10 Patrón de drenaje cuenca alta río Lebrija.....	39
Figura 5-11 Serie de Caudales Medios – Estación San Rafael Sobre El Río Lebrija.....	40
Figura 5-12 Histograma Vs Boxplot Caudales Medios Estación San Rafael - Río Lebrija	40
Figura 5-13 Análisis de frecuencia de caudales máximos Río Lebrija – Estación San Rafael.....	42
Figura 5-14 Caudales Característicos Río Lebrija – Estación San Rafael.....	43
Figura 5-15 Curva de duración para Caudales Medios – Estación San Rafael.....	44
Figura 5-16 Serie de Caudales Medios – Estación Puente Sogamoso (Río Sogamoso). 46	46
Figura 5-17 Boxplot caudales medios estación Puente Sogamoso - Río Sogamoso.....	46
Figura 5-18 Análisis de frecuencia de caudales máximos Río Sogamoso – Estación Puente Sogamoso.....	48
Figura 5-19 Caudales característicos Río Sogamoso – Estación Puente Sogamoso.....	49
Figura 5-20 Curva de duración para caudales medios – estación Puente Sogamoso (Río Sogamoso).....	50
Figura 5-21 Balance Hídrico mensual – estación Llano Grande.....	51
Figura 5-22 Mapa de zonas susceptibles a la inundación (IDEAM, 2012).....	57
Figura 5-23 Localización túneles La Paz y La Sorda.....	61
Figura 5-24 Cuencas sitios Túnel la Paz y Túnel La Sorda.....	69
Figura 5-25 Caudales medios mensuales – Quebrada La Caimana – sitio túneles.....	70
Figura 5-26 Caudales medios mensuales – Río Sucio – sitio túneles.....	71
Figura 5-27 Niveles medios mensuales – Quebrada La Caimana – sitio túneles.....	72

Figura 5-28 Niveles medios mensuales – Río Sucio – sitio túneles.....	72
Figura 5-29 Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S.....	76
Figura 5-30 Niveles máximos – Quebrada La Caimana – sitio túneles	79
Figura 5-31 Niveles máximos – Río Sucio – sitio túneles.....	79
Figura 5-32 Nivel mínimo anual – quebrada La Caimana – sitio túneles.....	81
Figura 5-33 Nivel mínimo anual – Río Sucio – sitio túneles.....	82
Figura 5-34 Localización red hidrográfica Túnel la Paz y Túnel La Sorda.....	83

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA

CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE ASOCIACIÓN PÚBLICO

CAPITULO 5.1.5 HIDROLOGIA

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

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 5-1 Vista aerea sobre la zona Hidrográfica Magdalena Medio (Valle Medio del Magdalena Cerca a Barrancabermeja).....	28
Fotografía 5-2 Vista aerea Río Lebrija	28
Fotografía 5-3 Vista aerea Valle Bajo del Río Sogamoso.....	29
Fotografía 5-4 Río Lebrija	37
Fotografía 5-5 Río Lebrija	38

5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIÓTICO

5.1.5 Hidrología

La variada orografía de los corredores de los trazados viales, constituye el escenario de una gran red hídrica, cuya abundancia se sustenta en la existencia de gran vegetación, conformada por recursos lóticos especialmente; donde se presenta una topografía, montañosa con colinas (cordillera oriental) y zonas de valles y planicies (valle medio del Magdalena). La red de drenajes de dicha área pertenece al área hidrográfica Magdalena - Cauca, Zona hidrográfica Medio Magdalena y Sogamoso, subzonas Río Sogamoso y Río Lebrija, las cuales se describen de manera general en el presente documento.

– Alcance de los estudios

El alcance técnico de los análisis hidrológicos, teniendo en cuenta la información y disponible y el cronograma de tiempo programado para la realización de los mismos incluye:

- Revisión de la documentación disponible suministrada por el cliente.
- Complementación de la información hidrológica y cartográfica.
- Realización de visitas técnicas de inspección de reconocimiento y detallada en campo a cada uno de los sitios de posible intervención (cauces), con el fin de definir y establecer aspectos técnicos tales como: condiciones de los sitios, estimación de los parámetros de cobertura vegetal, evaluación de la incidencia de las estructuras de control hidráulico cercanas al sitio de emplazamiento, establecer los coeficientes de rugosidad del lecho y orillas de los cauces.
- Análisis hidrológico para determinar los caudales medios, máximos y mínimos esperados para determinados períodos de retorno, en las subcuencas hidrográficas aferentes a los sitios previstos para las estructuras de control proyectadas.

– Fuentes de información

Los objetivos que cumplen los estudios hidrológicos en proyectos que impactan los recursos hidráulicos de una cuenca son los mismos en un desarrollo pequeño que en uno de tamaño considerable. En ambos casos se debe utilizar al máximo la información disponible y aplicar las técnicas más apropiadas para obtener los mejores resultados posibles.

Por regla general muchos proyectos relacionados con recursos hídricos están localizados en zonas donde el cubrimiento de la red hidrometeorológica es deficiente, o donde la cartografía no existe a la escala adecuada. Por esta razón, los proyectos que se desarrollan en esas zonas están casi siempre asociados con el problema de la información escasa.

En cuanto a la información importante que se requiere para iniciar el estudio hidrológico se consultó en las entidades oficiales y particulares que tienen relación con la zona de influencia del proyecto. Así se obtiene información referente a cartografía y aerofotogrametría, hidrometeorología, uso de la tierra, monografías y estudios regionales.

Dentro de los insumos para determinar los patrones de drenaje a nivel regional, se empleó la siguiente información:

- **Cartografía:**

La información cartográfica para los análisis de hidrología empleó información en escala 1:25.000 y específicamente la que se lista a continuación:

- Carta Topográfica Nacional - Escala 1: 25.000 Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC
- Información hidrológica con base en los planes de ordenamiento territorial de los municipios del Corredor.

✓ *Información Hidrológica:*

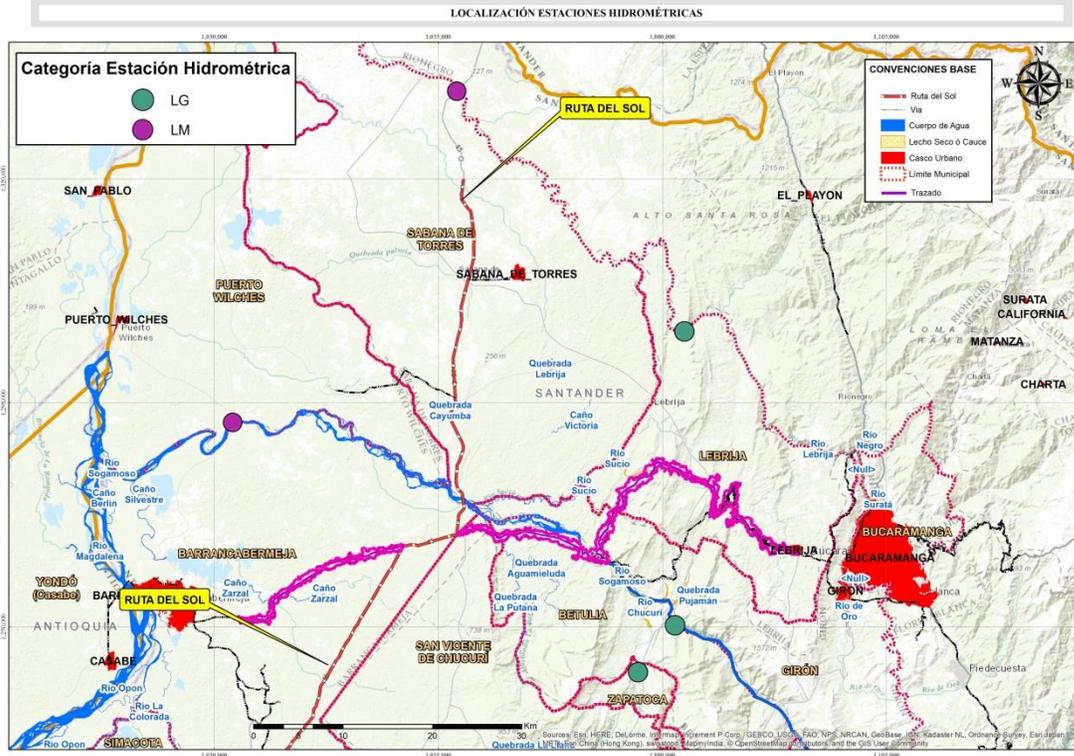
A fin de realizar la descripción hidrológica del área de influencia del corredor, se utilizó información hidrométrica actualizada suministrada por el IDEAM, entre los años de 1970 a 2014. Los registros de estaciones de corrientes principales en la zona de estudio se presentan en la Tabla 5-1 y su localización se muestra en la **Figura 5-1**.

Tabla 5-1 Relación de las estaciones utilizadas en el análisis hidrológico.

CÓDIGO	ESTACIÓN	TIPO	CORRIENTE	DEPTO	MUNICIPIO	ELEV.	LOCALIZACIÓN	
							LATITUD	LONGITUD
24067020	PTE SOGAMOSO	LM	Sogamoso	Santander	Puerto Wilches	90	7.244167	-73.7875
24067010	TABLAZO EL	LG	Sogamoso	Santander	Betulia	192	7.038889	-73.340833
24057050	PTE COMUNA	LG	Chucuri	Santander	Zapatoca	300	6.991667	-73.378056
23197400	ANGOSTURAS	LG	Lebrija	Santander	Lebrija	331	7.335278	-73.330833
23197370	SAN RAFAEL	LM	Lebrija	Santander	Sabana de Torres	70	7.578056	-73.560556

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-1 Localización estaciones hidrométricas - zona de estudio.



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Debido a la poca información hidrométrica disponible de las corrientes del corredor vial, se debe recurrir a métodos indirectos de lluvia escorrentía, por lo que es necesario contar con información de estaciones climatológicas de la zona, las cuales se muestran en la Tabla 5-2 y Figura 5-2.

Adicionalmente, como fuente de información se identificaron y consultaron las siguientes entidades:

- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga
- Corporación Autónoma Cormagdalena
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.
- Planes y esquemas de Ordenamiento territorial (POTs y EOTs) de los municipios del área de influencia.

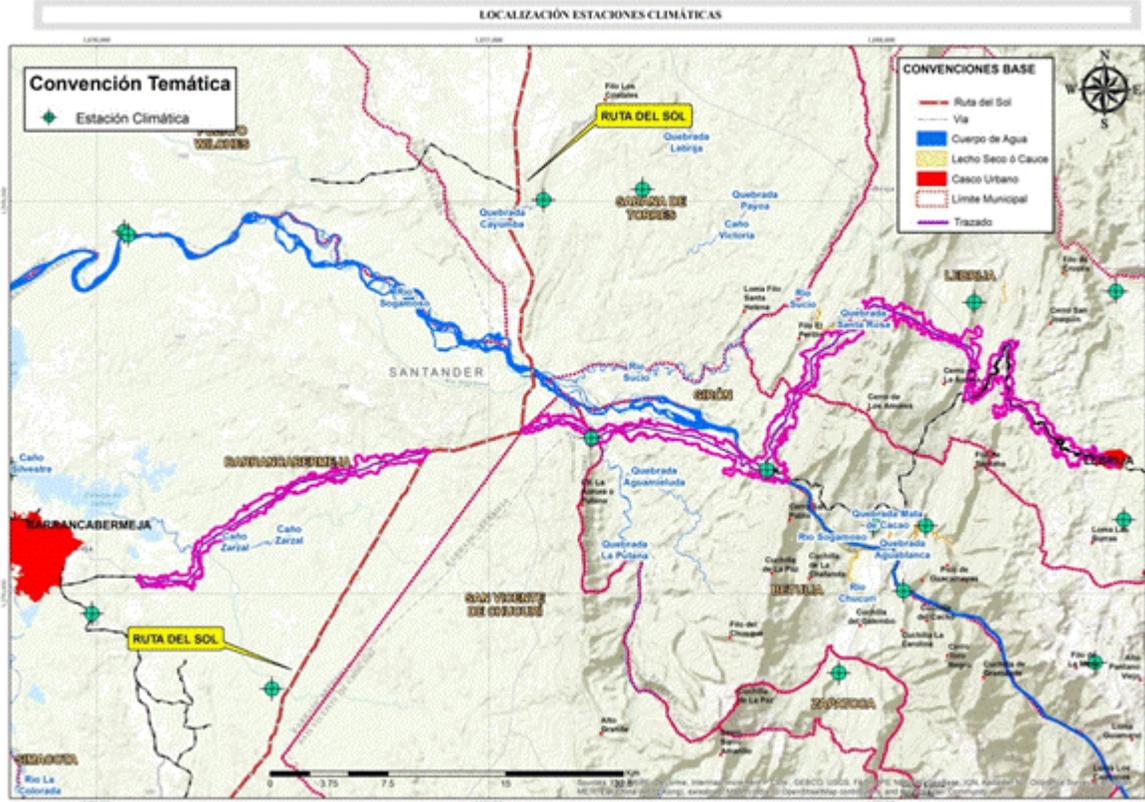
Tabla 5-2 Relación de las estaciones utilizadas en el análisis climatológico.

CÓDIGO	NOMBRE	Municipio	TIPO	ALTITUD	COORDENADAS	
					ESTE	NORTE
24065010	Hda Las	Puerto Wilches	CO	138	1,031,751.45	1,293,053.83
23195110	Llano Grande	Girón	CO	777	1,100,580.88	1,268,749.97
24065030	Hda	Girón	CP	400	1,079,485.04	1,274,366.15
24060070	La Parroquia	Girón	PG	267	1,082,830.36	1,274,340.71
24060040	Aguas claras	Sabana de Torres	PM	188	1,058,469.25	1,295,074.75
24050110	Albania	San Vicente de Chucuri	PM	300	1,049,211.60	1,256,110.92
23180120	La Coquera	Puerto Wilches	PM	170	1,017,487.54	1,290,466.35
23190260	La Laguna	Lebrija	PM	1050	1,095,443.71	1,274,731.27
23190350	Llano de	Río Negro	PM	778	1,097,426.08	1,292,477.83
23190440	El Naranjo	Lebrija	PM	825	1,085,906.13	1,288,570.36
23190380	Palmas	Lebrija	PM	855	1,094,943.95	1,289,259.40
23190600	El Pantano	Giron	PM	1280	1,093,618.71	1,265,633.88
24060080	Payoa 5	Sabana de Torres	PM		1,064,787.83	1,295,758.40
24060060	Pte La Paz	Betulia	PM	180	1,072,697.49	1,277,889.10
24050070	La Putana	San Vicente de	PM	150	1,061,524.71	1,279,926.63
23160010	Yondó	Yondó	PM	140	1,014,730.76	1,275,719.88
23195130	Apto	Lebrija	SP	1189	1,098,648.20	1,279,355.07
23155030	Apto	Lebrija	SP	126	1,029,710.25	1,268,752.92

PM: Pluviométrica, , CO: Climatológicas Ordinarias, SP: Sinóptica Principal,

Fuente: IDEAM, Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-2 Localización estaciones climatológicas zona de estudio



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

5.1.5.1 Sistemas Lóticos y Lénticos

– Sistemas Lóticos

Los sistemas loticos corresponden a aquellos cuerpos hídricos que presentan un flujo de agua permanente o intermitente en una dirección definida, y adicionalmente un estado de cambio físico continuo, como los ríos, caños y quebradas.

La identificación de la red hidrográfica del área del proyecto, se realizó a partir de la cartografía IGAC escala 1:25000 y 1:100.000, encontrándose que está constituida esencialmente por una red de drenajes de tipo lotico, que de acuerdo a la clasificación de Horton se clasifica entre el orden 1 a 4.

El área de estudio se encuentra, según la ordenación de cuencas del IDEAM, dentro del área hidrográfica Magdalena – Cauca, zona hidrográfica Medio Magdalena y Sogamoso, subzonas Río Sogamoso y Río Lebrija.

El área hidrográfica Magdalena – Cauca abarca un área aproximada de 257,440 km²,

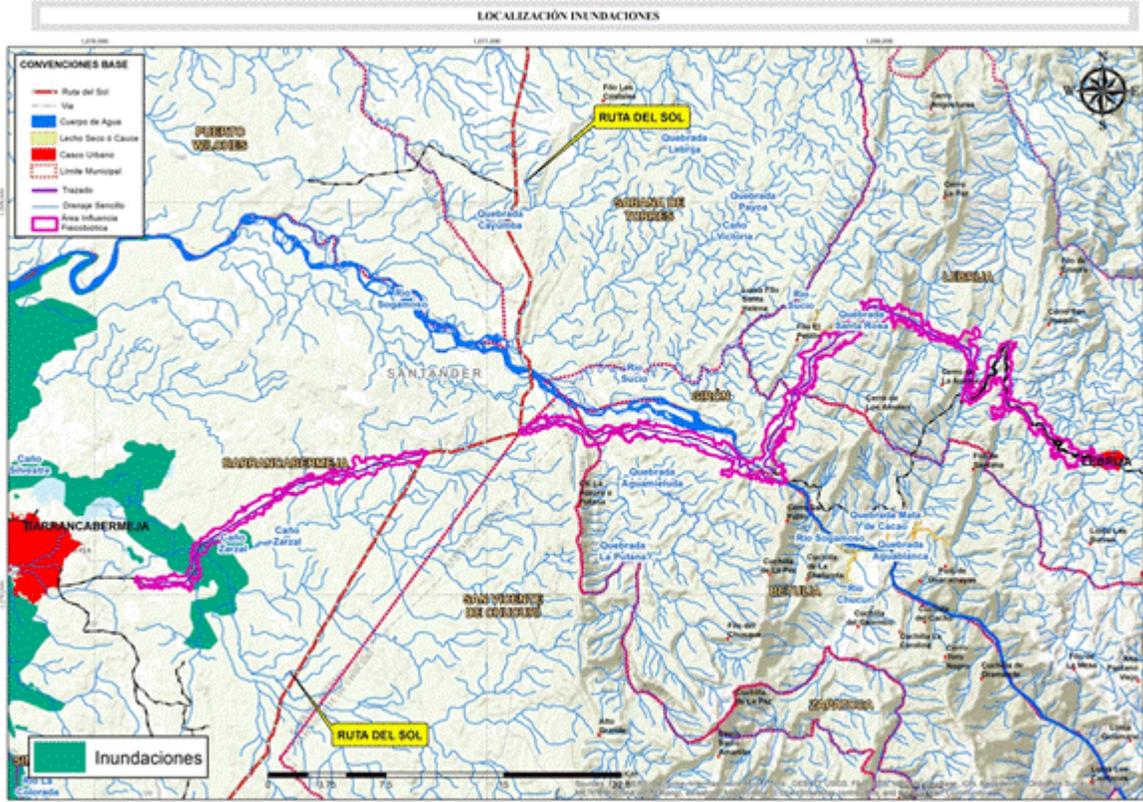
23% de la superficie total del país, contiene 722 municipios, se asienta más del 80% de la población y de las actividades productivas del país. Vierte sus aguas en el mar Caribe después de recorrer 1540 KM, con un caudal medido de 7,100 m³/s a la altura de Calamar, antes de la bifurcación con el Canal del Dique.

El río Magdalena, es la corriente de agua más importante del país, nace en la laguna de la Magdalena, en el macizo colombiano. A lo largo de su curso el río pasa de 3685 msnm en su nacimiento a 229 msnm a la altura de Honda hasta donde se considera Alto Magdalena; de ahí hasta la desembocadura del río Cesar la pendiente se suaviza apreciablemente, y se le denomina Magdalena Medio. A partir de la desembocadura del río Cesar próximo a la bifurcación del río Magdalena (Brazos de Loba y Mompós), la caída del río es de solamente 33 m para una distancia de 400 Km hasta su desembocadura, Bajo Magdalena¹.

El área de estudio se encuentra en su mayoría dentro de la cuenca de drenaje del río Sogamoso, el cual se constituye en la principal corriente de la zona de estudio; este río corresponde a un cuerpo de agua permanente. El río discurre en su parte inicial por un angosto y profundo valle en dirección noreste, entre farallones y abruptas laderas de la cordillera oriental. Después de recibir las aguas de las subcuencas Chucurí y Sucio, su valle se amplía formando una extensa zona aluvial de características inundables en épocas de crecientes. En la Figura 5-3 se observa la red de drenaje del área de estudio.

¹ Estudio Ambiental de la cuenca Magdalena – Cauca y elementos para su ordenamiento territorial. IDEAM, CORMAGDALENA, 2001)

Figura 5-3 Red de Drenaje en el área de Estudio



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

- Identificación de corrientes que interceptan el proyecto.

En la Tabla 5-3 se hace un resumen de los cuerpos de agua loticos identificados en la zona de influencia del proyecto vial. Dentro de éstos se han incluido tanto los de tipo estacional como perenne y en general se trata de cuencas con pendientes medias, de forma ovalada alargada, en el caso de las microcuencas que drenan hacia el río Lebrija y de forma oval redonda para la microcuencas que escurren hacia el Sogamoso, lo cual indica que son menos susceptibles a presentar crecientes.

Tabla 5-3 Cuerpos loticos identificados en el corredor vial

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
2	Barrancabermeja	Peroles	Quebrada El Zarzal	60	3	1036507,212	1272642,576	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	
2	Barrancabermeja	San Luis	caño	1	30	1038403,283	1274183,95	Flujo con presencia de material fino de vegetación de tipo herbáceo y pastizales	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
2	Barrancabermeja	El Zarzal	caño	12	1	1042609,371	1276856,225	Flujo con presencia de material fino de vegetación de tipo arbustivo	Plana o suave	
2	Barrancabermeja	El Zarzal	caño	6	1	1046028,043	1277677,929	Flujo con presencia de material fino de vegetación de tipo herbáceo y pastizales	Plana o suave	
2	Barrancabermeja	El Tapazón	caño	15	1,3	1047402,31	1278107,867	Flujo con presencia de material fino de vegetación de tipo arbustivo	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
2	Barrancabermeja	El Zarzal	caño	2	0,5	1048021,958	1278325,835	Flujo con presencia de material fino de vegetación de tipo herbáceo y pastizales	Plana o suave	
2	Barrancabermeja	El Zarzal	caño	5	1	1048888,097	1278514,113	Flujo con presencia de material fino de vegetación de tipo herbáceo y pastizales	Plana o suave	
3-4	Girón	La Marta	Río Sogamoso	125	15	1073054,607	1277565,97	Flujo con presencia de materia fina, arbustivo (<5m), abundante	Ondula a media	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
3-4	Betulia	La Playa	Caño	0,5	0,5	1072645,243	1277575,822	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	
3-4	Betulia	La Putana	Quebrada la cabezone ra	20	3	1071756,278	1277970,704	Flujo tranquilo, con presencia de material fino y abundante de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	
3-4	Betulia	Casa de Barro	Caño	7	0,5	1064560,935	1280597,495	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
3-4	Betulia	Casa de Barro	Quebrada Santa Helena	8	40	1063088,068	1280510,8	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	
3-4	Betulia	Casa de Barro	Quebrada La Putana	50	1	1061847,247	1279948,918	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	
3-4	San Vicente de Chucuri	Vizcaína	Quebrada La Lizama III	1,3	1	1059901,03	1280988,178	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
3-4	San Vicente de Chucuri	Vizcaína	Quebrada La Lizama II	15	0,5	1059069,171	1280976,215	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	
3-4	Barrancabermeja	Vizcaína	Quebrada La Lizama I	3	0,5	1057925,636	1280628,747	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	
3-4	San Vicente de Chucuri	Vizcaína	caño	6	30	1057772,232	1280581,572	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	-

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
3-4	Barrancabermeja	Vizcaína	Caño	1	0,5	1057307,842	1280453,656	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales	Plana o suave	
5	Lebrija	Chinigüa	Quebrada	3	40	1082018,668	1287858,93	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), abundante	Plana o suave	
5	Lebrija	Canoas	Caño	0,3	0,5	1081895,946	1288120,044	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), abundante	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
5	Lebrija	El Tesoro	Rio Sucio	50	2,3	1082623,356	1290772,023	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), abundante	Plana o suave	
5	Lebrija	La Girona	Quebrada Lobo	2	1	1079816,146	1290671,673	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), abundante	Plana o suave	
6	Lebrija	La Girona	Quebrada La Caimanera	5	40	1079274,351	1288583,704	Flujo con presencia de materia fino, arbórea (5-15m)	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
6	Lebrija	La Girona	Quebrada Santa Rosa	8	60	1078298,935	1287433,232	Flujo con presencia de materia fino, arbórea (5-15m)	Plana o suave	
6	Lebrija	La Girona	Quebrada NN	10	30	1078303,352	1287049,795	Flujo con presencia de materia fino, arbórea (5-15m)	Plana o suave	
6	Lebrija	La Marta	Quebrada La Marta	5	1,35	1073236,113	1278032,579	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), media	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
6	Lebrija	La Marta	Caño Picho	9	1,3	1071946,372	1278809,636	Flujo con presencia de materia fino, arbórea (5-15m)	Plana o suave	
6	Lebrija	La Marta	Quebrada San Silvestre	25	2	1074244,988	1282783,023	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), media	Plana o suave	
6	Lebrija	San Silvestre	Quebrada la Arenosa	23	2	1075736,321	1284865,845	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), media	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
7	Lebrija	El Cristal	Caño	2	2	1082758,245	1287034,211	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales, media	Plana o suave	
7	Lebrija	El Libano	Quebrada La Sorda	10	70	1085407,267	1285449,907	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales, media	Plana o suave	
8	Lebrija	Lisboa	Caño	-	-	1086117,778	1282510,143	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), abundante; Actualmente se encuentra seco	-	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
8	Lebrija	Lisboa	Caño	2	30	1086290,16	1282785,687	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales, media	Plana o suave	
8	Lebrija	Lisboa	Quebrada	-	-	1086242,244	1282684,119	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales, media; se encuentra actualmente seco	-	
8	Lebrija	Lisboa	Caño	1	0,5	1086438,133	1282911,999	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales, media	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
8	Lebrija	Lisboa	Caño	1	30	1086743,236	1283362,53	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales abundante	Plana o suave	
8	Lebrija	Lisboa	Caño	1,7	1	1086773,767	1283456,758	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), media	Plana o suave	
8	Lebrija	Lisboa	Caño	15	0,5	1086797,126	1283484,193	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales, escasa	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
8	Lebrija	Lisboa	Caño	-	-	1087345,926	1283996,104	Se encuentra seco, presenta escasa vegetación	-	
9	Lebrija	Centro urbano	Caño Raices	15	2	1094401,842	1278384,236	Flujo con presencia de materia fino, arbórea (5-15m), abundante	Plana o suave	
9	Lebrija	Santo Domingo	Quebrada la Angula	30	8	1093678,719	1278683,644	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales, media	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
9	Lebrija	Portugal	Caño	10	1	1087932,049	1283349,204	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales, media	Plana o suave	

Fuente: Consultoría Colombia S.A, 2016

– **Sistemas Lénticos**

Corresponden a todas las aguas interiores que no presentan corrientes continuas, sin flujos, tales como *humedales*, que corresponden a ecosistemas intermedios con ambientes permanentemente inundados y de ambiente normalmente secos; *lagunas*, las cuales representan geformas de especial importancia desde el punto de vista ecológico de la región.

En general los cuerpos lénticos que se encontraron en el área de estudio, son cuerpos lénticos menores de origen natural, de tipo laguna, humedal y jagüey. Estos cuerpos de agua son abastecidos naturalmente por lluvias. Son utilizados para suplir las necesidades de agua para riego de cultivos y en otras actividades durante las épocas de estiaje, cuando se presenta un considerable déficit del recurso hídrico; adicionalmente dichos cuerpos de agua sirven de hábitat, refugio y fuentes de alimento para el ganado y fauna silvestre del sector. En la Tabla 5-4 se listan los cuerpos lénticos identificados en campo.

Tabla 5-4 Cuerpos lénticos identificados en el corredor vial

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Coordenadas x	Coordenadas y	Origen	Fotografía
2	Barrancabermeja	Peroles	Laguna	1036228,954	1271286,61	Natural	
2	Barrancabermeja	Peroles	Bajo inundable	1036442,705	1272149,611	Natural	
2	Barrancabermeja	San Luis	Humedal	1036821,032	1273230,386	Natural	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Coordenadas x	Coordenadas y	Origen	Fotografía
2	Barrancabermeja	El Tapazón	Laguna	1044052,027	1277311,95	Natural	
2	Barrancabermeja	El Tapazón	Laguna	1044727,331	1277430,986	Natural	
2	Barrancabermeja	El Tapazón	Laguna	1044950,111	1277462,873	Natural	
2	Barrancabermeja	Comuneros	Humedal	1033490,912	1270654,188	Natural	
2	Barrancabermeja	Peroles	Laguna	1034295,658	1270722,408	Natural	
3-4	Betulia	Casa de Barro	Jagüey	1064039,695	1280415,791	Natural	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Coordenadas x	Coordenadas y	Origen	Fotografía
3-4	Barrancabermeja	Rediba	Laguna	1042027,271	1276498,165	Natural	
3-4	Barrancabermeja	Rediba	Laguna	1041367,291	1276149,339	Natural	
7	Lebrija	canoas	Jagüey	1082644,982	1287767,36	Natural	
9	Lebrija	Santo Domingo	Jagüey	1091805,401	1279188,815	Natural	
9	Lebrija	Portugal	Jagüey	1087996,403	1283715,387	Natural	-
9	Lebrija	La Cuchilla	Laguna	1088131,523	1282309,113	Natural	

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

➤ Hidrosogamoso²

El proyecto Hidroeléctrico del Río Sogamoso, se localiza en el departamento de Santander, sobre la cordillera oriental, en un cañón donde el río Sogamoso profundizó su cauce a través de la serranía de La Paz, para desembocar al valle aluvial del río Magdalena.

La presa y el embalse se ubican en jurisdicción de los municipios de Girón, Betulia, Zapatoca, Los Santos y San Vicente de Chucurí, en el departamento de Santander. El área de influencia del proyecto se extiende a la zona del bajo del río Sogamoso, hasta su confluencia con el río Magdalena.

El Objeto básico del proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso es la generación de electricidad y consiste en el aprovechamiento del caudal del río Sogamoso, mediante la construcción de una presa sobre el cauce del río, la cual forma un embalse. Aprovechando la caída generada por el embalse, las aguas son conducidas por medio de cuatro túneles presurizados hasta el sitio de una central subterránea, donde se instalaron cuatro unidades de generación de energía. Finalmente, los caudales utilizados son restituidos al mismo río Sogamoso, mediante dos túneles de descarga, inmediatamente aguas abajo del sitio de presa.

El caudal medio natural en el sitio de presa es de 471.5 m³/s y mediante la construcción de la presase crea un embalse con volumen máximo de 4 800 M m³, ocupando una extensión de 7590 Ha. En la Figura 5-4 y la Figura 5-5 se presenta una visión panorámica de la presa y el embalse de Hidrosogamoso.

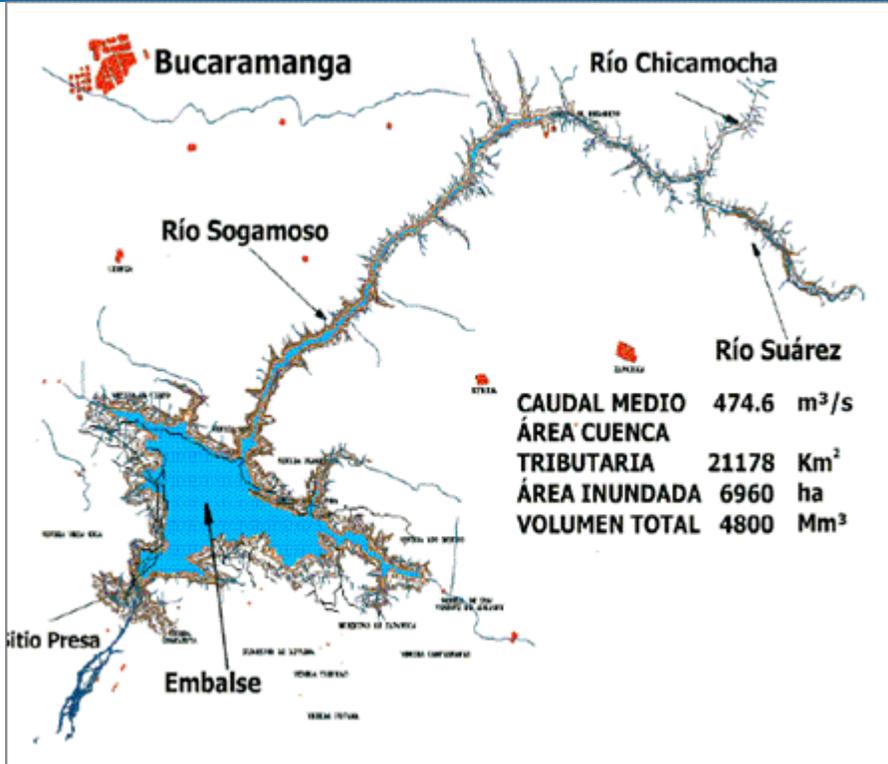
Figura 5-4 Sistemas lénticos – Embalse del río Sogamoso



Fuente, ISAGEN, 2014.

² Actualización del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Hidroeléctrico Sogamoso. INGETEC, 2011.

Figura 5-5 Esquema general del Proyecto Hidrosogamoso



Fuente, ISAGEN, 2014.

– **Cuencas Hidrográficas Clasificación IDEAM**

Según la clasificación de cuencas establecida por el IDEAM y ratificada por el Decreto 1640 de agosto de 2012 por el cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, el área de estudio se encuentra, según la clasificación de cuencas de IDEAM, dentro del área hidrográfica Magdalena – Cauca (2), zona hidrográfica Medio Magdalena (23) y Sogamoso (24), y subzonas río Lebrija (2319) y río Sogamoso (2405).

➤ **Cuenca del río Magdalena - Cauca**

El valle aluvial del río Magdalena está morfológicamente compuesto por una planicie inundable, que se encuentra en parte delimitada por colinas y lomeríos de las cordilleras y serranías circundantes, así como por terrazas fluviales y fluvio-marinas altas y bajas en las grandes depresiones, donde la llanura se hace amplia y anegadiza. Dinámicamente se caracteriza por presentar un tramo trenzado con tendencia meándrica (Fotografía 5-1). Como producto de esta dinámica se distinguen dos sectores con características bien particulares, el río ha modelado su llanura aluvial, desplazándose lateralmente en ella o cambiando de curso, en un proceso continuo de construcción y destrucción geomorfológica (Fotografía 5-2 y Fotografía 5-3)

Fotografía 5-1 Vista aerea sobre la zona Hidrográfica Magdalena Medio (Valle Medio del Magdalena Cerca a Barrancabermeja)



Fuente: No conocida

Fotografía 5-2 Vista aerea Río Lebrija



Fuente: No conocida

Fotografía 5-3 Vista aerea Valle Bajo del Río Sogamoso



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

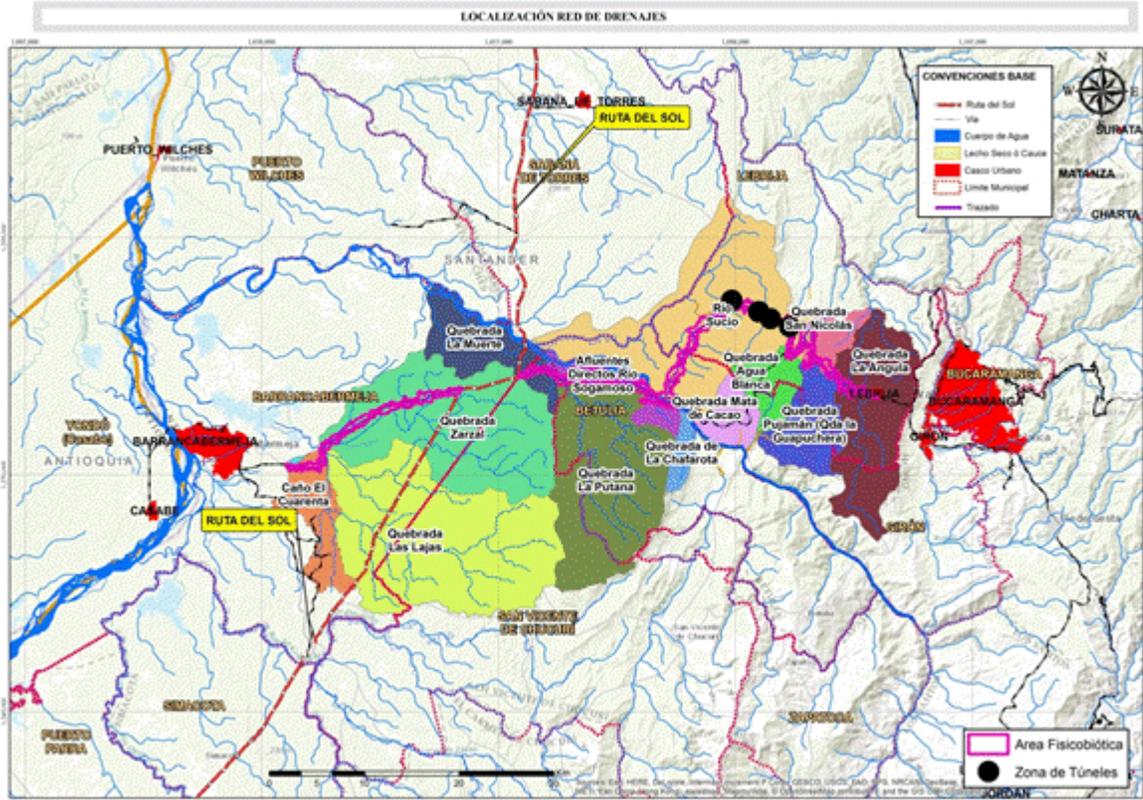
La clasificación del sistema hídrico de la zona de estudio de acuerdo con la estructura establecida por el IDEAM para la ordenación y manejo de cuencas se detalla en la Tabla 5-5 y se muestra en Figura 5-6.

Tabla 5-5 Clasificación cuencas hidrográficas según IDEAM – Zona de estudio

AH		ZH		SZH		CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA
CODIGO IDEAM/ANLA	AREA HIDROGRAFICA	CODIGO IDEAM/ANLA	ZONA HIDROGRAFICA	CODIGO IDEAM/ANLA	SUBZONA HIDROGRAFICA			
2	MAGDALENA CAUCA	23	MEDIO MAGDALENA	2319	Río Lebrija	Río de Oro	Quebrada La Ángula	Quebrada La Ángula
						Quebrada San Nicolás		
		24	SOGAMOSO	2405	Río Sogamoso	Río Sucio		
						Quebrada Agua Blanca	Quebrada Pujamán (Qda la Guapuchera)	
							Quebrada Agua Blanca	
						Quebrada Mata de Cacao		
						Quebrada de La Chafarota		
						Quebrada La Putana		
						Afluentes Directos Río Sogamoso		
						Quebrada La Muerte		
Caño Zarzal	Quebrada Zarzal							
	Quebrada Las Lajas							
	Caño El Cuarenta							

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Figura 5-6 Localización cuencas hidrográficas en la zona de estudio



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

➤ **Clasificación de corrientes que interceptan el proyecto**

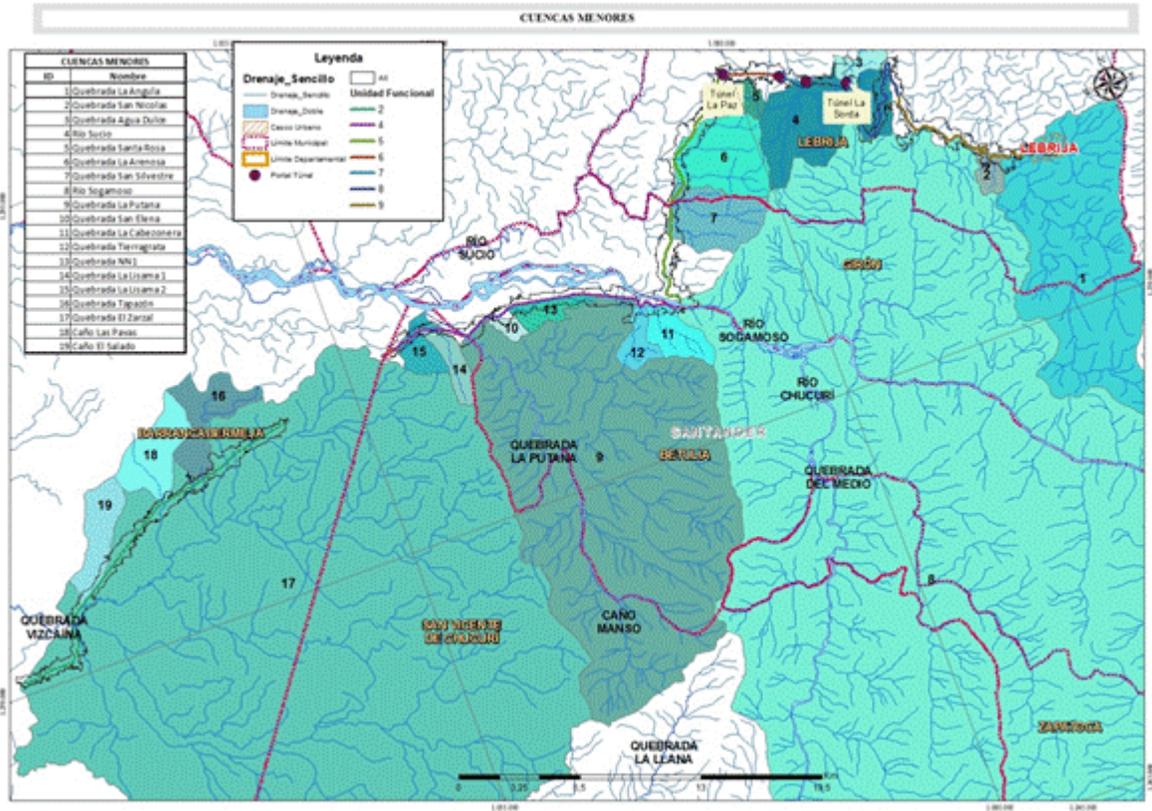
En la se muestra la clasificación de cuencas según IDEAM de las principales corrientes que cruzan el proyecto, llegando a nivel de jerarquía 6 (Ver Figura 5-7)

Tabla 5-6 Clasificación cuencas menores según IDEAM – Zona de estudio

AH		ZH		SZH		CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA	
CODIGO IDEAM/ANLA	AREA HIDROGRAFICA	CODIGO IDEAM/ANLA	ZONA HIDROGRAFICA	CODIGO IDEAM/ANLA	SUBZONA HIDROGRAFICA				
2	MAGDALENA CAUCA	23	MEDIO MAGDALENA	2319	Río Lebrija	Río de Oro	Quebrada La Ángula	Quebrada La Ángula	
								Quebrada San Nicolás	
		24	SOGAMOSO	2405	Río Sogamoso	Río Sucio	Quebrada Agua Dulce		
							Río Sucio		
							Quebrada Santa Rosa		
							Quebrada La Arenosa		
							Quebrada San Silvestre		
						Río Sogamoso	Río Sogamoso		
						Quebrada La Putana	Quebrada La Putana		
							Quebrada Santa Elena		
						Afluentes Directos Río Sogamoso	Quebrada NN_1		
							Quebrada NN_2		
							Quebrada NN_3		
						Quebrada La Muerte	Quebrada Lisama 1		
							Quebrada Lisama 1		
						Caño Zarzal	Caño Zarzal	NN1	
	Caño Zarzal								
	Caño Las Pavas								
	Caño El Salado								

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Figura 5-7 Localización cuencas menores en sitios de cruce de la zona de estudio



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

- **Patrones de Drenaje- Régimen Hidrológico - Caudales Característicos**
- **Zona Hidrográfica del Magdalena Medio (Código 2300)**

El río Magdalena nace en el extremo suroccidental del país, a 3.685 msnm, en la laguna de la Magdalena, localizada a los 01° 55' 40" de latitud norte y 76° 35' 08" de longitud oeste, ubicada en una pequeña planicie del Páramo de las Papas, correspondiente al Macizo Colombiano, en el departamento del Huila. Su longitud, según la fuente, varía de 1.528 a 1.600 km, de los cuales 886 son navegables. Desemboca en el mar Caribe, en el sitio conocido como Bocas de Ceniza, a los 11° 06' de latitud norte y 74° 51' de longitud oeste. En su trascurso recibe más de 500 ríos y numerosas quebradas. Su caudal promedio registra entre pocos metros cúbicos por segundo al comienzo de la cuenca, hasta 6.700 m³/s en su desembocadura.

Entre los tributarios más importantes, desde el punto de vista del caudal que vierte y del tamaño de la cuenca, se tiene: por la margen derecha aportan sus aguas los ríos Suaza, Neiva, Cabrera, Prado, Sumapaz, Bogotá, Negro, Carare, Opón, Sogamoso, Lebrilja y Cesar. Es importante resaltar que de los 43 tributarios de segundo orden, 28 tienen áreas

mayores a 1000 km² y dentro de éstos el río Cauca aporta aproximadamente un 32% del caudal total del río Magdalena, en Bocas de Ceniza.

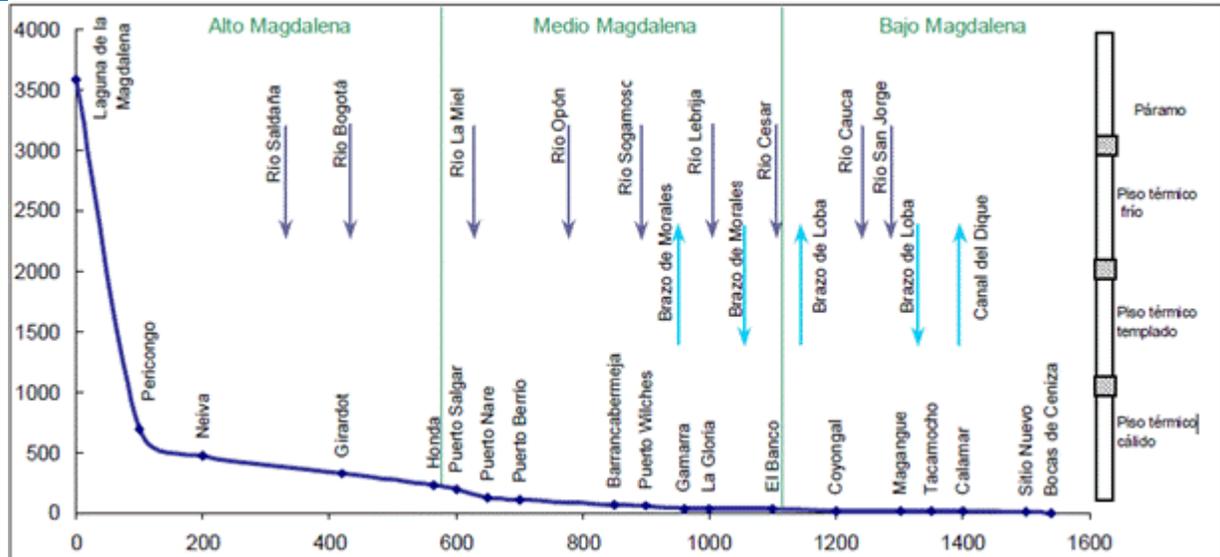
La navegación del Magdalena Medio, comprende desde La Dorada hasta el corregimiento de Bodega Central en el municipio de Morales; es navegable por embarcaciones hasta de cinco pies de calado en época de aguas altas. Los municipios más importantes en el trayecto medio del río —Puerto Salgar, La Dorada, Puerto Wilches, Barrancabermeja, Puerto Berrío y Gamarra, tuvieron una importante actividad naviera que impulsó su desarrollo. Al desaparecer la navegación entraron en un proceso de retroceso, con excepción de Barrancabermeja, cuya importancia a nivel nacional radica en que es el centro de la industria petrolera y la cabecera del transporte fluvial de derivados del petróleo hacia la refinería de Cartagena.

En la Figura 5-8 se esquematiza el perfil del río Magdalena y señala sus características principales.

La geología de la cuenca hidrográfica del río Magdalena, que se inicia en el macizo Colombiano, está limitada al oeste por el flanco oriental de la cordillera Occidental, al este por el flanco occidental de la cordillera Oriental y por el norte la planicie costera del Caribe. Su estructura geológica es de origen tectónico, de edad terciaria; el valle del Magdalena está cimentado en su mayor parte por elementos del terciario y por depósitos aluviales del cuaternario. Los estudios geológicos evidencian los cambios en la desembocadura del río, desde el terciario (período Plioceno) hasta el presente. En su orden cronológico son: 1 - Cesar - Ranchería; 2 - Fundación - Ariguani; 3 - Luruaco; 4 - Dique; 5 - Río Viejo (ésta, cerca de la actual desembocadura) y 6 - Bocas de Ceniza...”³

³ Análisis multitemporal del cauce río Magdalena en el periodo 1980-2000 sector Barrancabermeja-Bocas de ceniza, IDEAM 2002.

Figura 5-8 Perfil hipsométrico del Río Magdalena



Fuente: CORMAGDALENA-IDEAM, 2001, y datos de perfil longitudinal suministrados por CORMAGDALENA.

– **Río Lebrija (SZH - 2319)**

➤ **Generalidades**

La cuenca del río Lebrija limita al norte con los departamentos de Cesar y Norte de Santander, al sur con la cuenca del río Sogamoso, al oriente con el departamento de Norte de Santander y al occidente con el municipio de Sabana de Torres. El río Lebrija nace al noreste del municipio de Piedecuesta y desemboca en el río Magdalena a la altura del límite departamental de Santander y Cesar en los municipios de Puerto Wilches (Santander) y Aguachica (Cesar), en la Figura 5-9 se puede ver la ubicación de la cuenca.

El río Lebrija nace al noreste del municipio de Piedecuesta; en la zona alta de su nacimiento el río avanza en dirección noreste, al pasar por la meseta de Bucaramanga recibe el nombre de río de Oro. Al recibir la subcuenca del río Suratá compuesta por los ríos Frio y Toná, se forma el río Lebrija propiamente dicho. Muy cerca de su desembocadura sigue con rumbo norte y entrega sus aguas al río Magdalena a través de dos brazos principalmente.

Dentro del área de estudio, que corresponde a la cuenca alta, está conformada por los siguientes drenajes: Quebrada ángula, Quebrada La Tigra.

Esta sub-zona hidrográfica presenta cobertura de Bosque abierto, constituida por una comunidad vegetal dominada por especies arbóreas de tallo y tronco leñosos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas discontinuo. Esta cobertura no ha sido intervenida o su intervención ha sido selectiva y conserva la estructura original y características funcionales. Además, en los municipios de Lebrija y Rionegro, muestra principalmente Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, donde por el tamaño de las parcelas y su distribución, no pueden ser representados individualmente (Ver Fotografía 5-4 y Fotografía 5-5).

Fotografía 5-4 Río Lebrija



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Fotografía 5-5 Río Lebrija



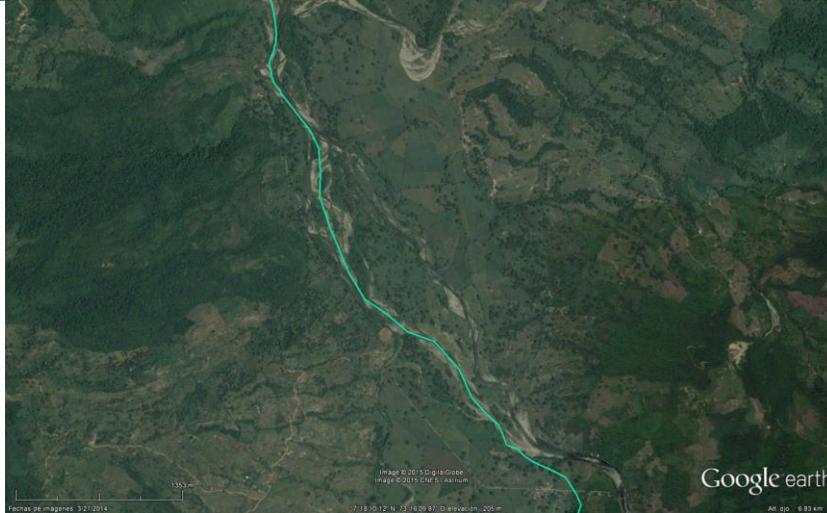
Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

➤ Patrón de drenaje

Esta cuenca se clasifica como una cuenca de primer orden en la clasificación de Gravellius, o como un río claro y blanco de las planicies basales, caracterizadas porque se forman en la parte baja, por confluencia de otros cursos de agua de montaña y de algunas aguas negras. El río en su cuenca media es navegable por embarcaciones de pequeño tamaño, todo el tramo es sinuoso de valle amplio y gradiente bajo, con una marcada dinámica fluvial (IDEA), presentando una forma meándrica y su valor de sinuosidad es menor a 1.5

En la zona intermedia de la zona de influencia el cauce tiene un patrón de tipo trenzado que va disminuyendo su incidencia a medida que se asciende en la cuenca, llegando a tornarse de tipo unicanal en la zona más alta.

Figura 5-10 Patrón de drenaje cuenca alta río Lebrija



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

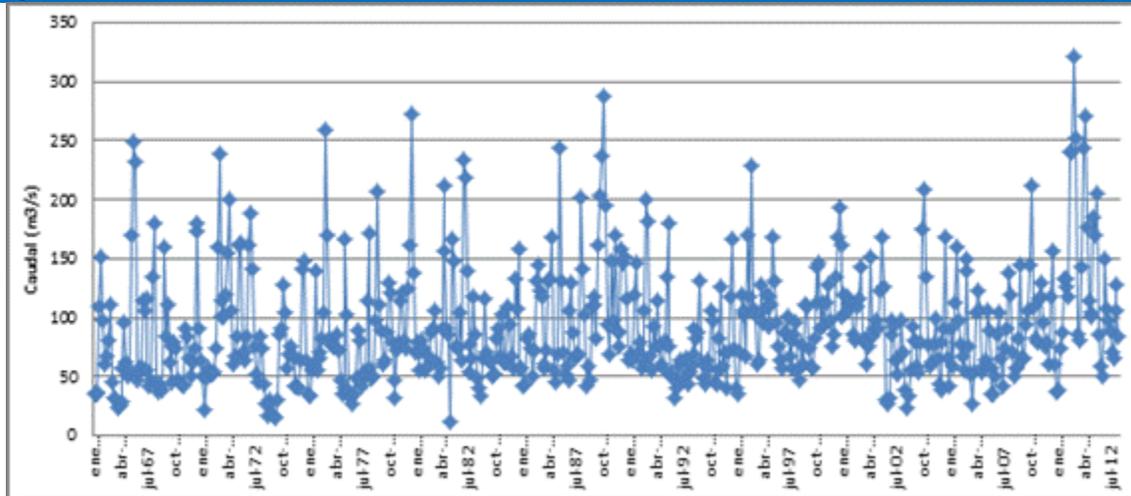
➤ Régimen hidrológico

Series de caudales

La serie de tiempo mostrada en la Figura 5-11, refleja los cambios estacionales en el río Lebrija a lo largo de los 49 años de registro a partir de las series de caudales medios mensuales de la estación San Rafael. La estación Limnimétrica San Rafael sobre el río Lebrija presenta un registro completo.

Los caudales presentan un comportamiento regular entre los años 1965 y 1988 donde los caudales medios máximos oscilan entre los 200 y 250 m³/s aproximadamente, ya para el periodo comprendido entre 1989 y 2009 éstos evidencian una disminución promedio de 100 m³/s, para los años 2010 y 2011 se evidencia un aumento significativo en los caudales superando los 300 m³/s; esto se debe principalmente al evento extremo de lluvias, conocido como Fenómeno de la Niña que durante los años 2010 y 2011 tuvo gran incidencia en los niveles y caudales del Lebrija, finalmente para el año 2012 los caudales tienen una importante disminución.

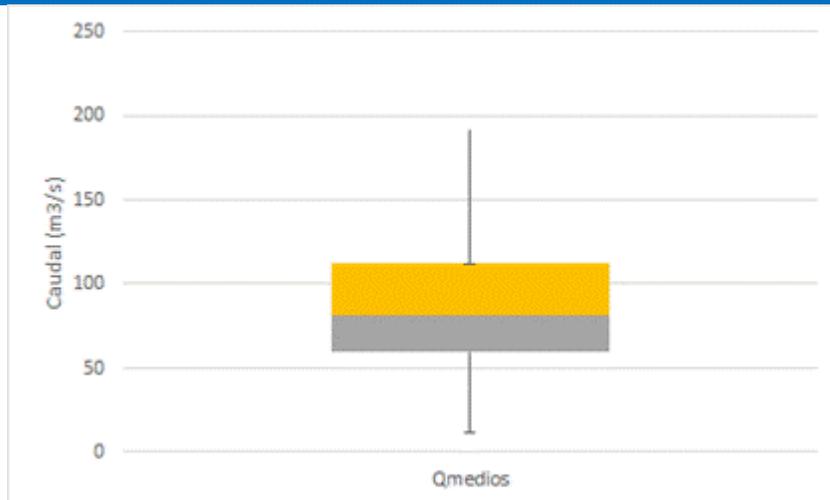
Figura 5-11 Serie de Caudales Medios – Estación San Rafael Sobre El Río Lebrija



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

A continuación se presenta el análisis de datos a partir de diagramas de boxplots o cajas y bigotes para las series de caudales medios del río Lebrija en la estación seleccionada (Ver Figura 5-12). En la Tabla 5-7 de igual manera se presentan los resultados del análisis estadístico.

Figura 5-12 Histograma Vs Boxplot Caudales Medios Estación San Rafael - Río Lebrija



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Tabla 5-7. Datos obtenidos para Caudales Medios Estación San Rafael – Río Lebrija

CAUDALES MEDIOS (m3/s)	
Límite Mínimo	11.49
1er cuartil 25%	59.435
2do cuartil 50% (Mediana)	81.06
3er cuartil 75%	112.2
Límite Máximo	320.80
Media	91.96
n	624

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Para los caudales medios del río Lebrija se evidencia que la ubicación del 2do cuartil tiene una inclinación hacia los valores mínimos de la serie, lo que demuestra que el 50% de los datos está por debajo de la mediana con un valor de 81.06 m³/s (Tabla 5-7), lo anterior y el bigote largo hacia arriba indican un sesgo importante hacia esta margen. Adicionalmente, la concentración de datos está en el rango de los 50 a 100 m³/s, así como también que hay una significativa presencia de outliers o datos atípicos leves, hacia los valores máximos, superiores al registro del tercer cuartil (112,2 m³/s).

✓ Caudales Máximos

A continuación se presenta el análisis de frecuencias de eventos máximos para el río Lebrija (estación San Rafael), el cual es un procedimiento para estimar la frecuencia o probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos hidrológicos. El análisis de frecuencia de información hidrológica relaciona los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad (CHOW, 1994); en general se realiza ajustando el comportamiento de los datos observados a una distribución teórica de probabilidad, entre las que se pueden mencionar la Normal, Gumbel, Pearson, Log-Normal, Log-Pearson o EV3.

En la Tabla 5.12, Figura 5.26 y Figura 5.27 se muestran los resultados del análisis de probabilidad para caudales mínimos y máximos, demostrando que para caudales mínimos la distribución que más se ajusta es la Gamma y para los máximos la Normal. Este resultado es la base para conocer la probabilidad de ocurrencia en el tiempo de un evento determinado.

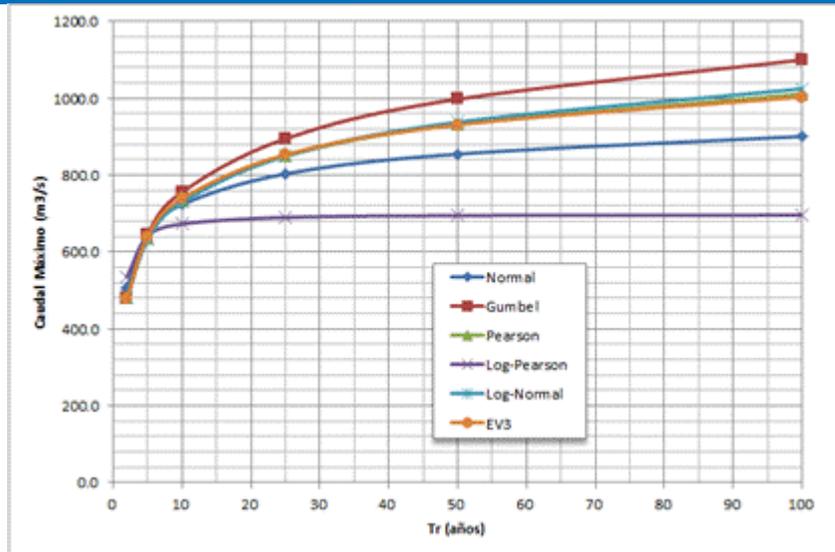
A partir de los registros de caudales máximos de la estación San Rafael en el río Lebrija, se realiza el análisis de frecuencias de eventos extremos para el río, en la Tabla 5-8 y la Figura 5-13 se muestran los resultados.

Tabla 5-8. Análisis de frecuencia para caudales máximos Estación San Rafael – Río Lebrija

PERIODO DE RETORNO (TR)	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
Años	m3/s					
2	506.6	480.0	481.2	535.6	480.4	477.9
5	649.1	646.0	635.9	642.0	631.8	640.4
10	723.7	755.8	732.7	672.9	729.2	739.1
25	803.2	894.6	848.9	689.9	849.7	853.0
50	854.6	997.6	931.5	694.5	937.8	930.8
100	900.8	1099.8	1010.9	696.0	1024.8	1003.4
Chi 2	355.2	233.6	237.5	686.2	227.7	255.1

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Figura 5-13 Análisis de frecuencia de caudales máximos Río Lebrija – Estación San Rafael

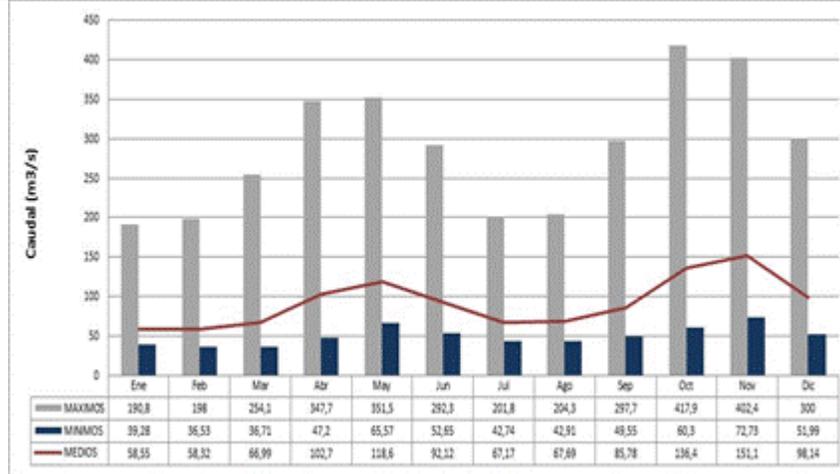


Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

✓ Caudales Medios

Para revisar el régimen hidrológico del río Lebrija, fue tomada la información de los datos medios de las series de caudales medios, máximos y mínimos mensuales de la estación San Rafael del IDEAM; con un periodo de análisis de 1966 a 2012, en la Figura 5.36 se puede apreciar la información asociada a esta estación.

Figura 5-14 Caudales Característicos Río Lebrija – Estación San Rafael



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

El régimen hidrológico para el río Lebrija en el área de estudio refleja el régimen de lluvias característico de esta región. De acuerdo a lo anterior, no se evidencia una época de lluvias y una época seca muy marcadas; se presenta entonces un período de aguas altas o de gran caudal entre los meses de abril y noviembre, el cual denota una disminución en los meses de junio, julio, agosto y septiembre; durante la época de lluvias los meses con los máximos valores son mayo, octubre y noviembre con valores máximos de 351,5, 417,9 y 402,4 m³/s respectivamente. El periodo de aguas bajas o poco caudal se da entre diciembre y marzo, teniendo que el mes con los caudales más bajos en el año es enero con un valor mínimo de 39.28 m³/s.

Curva de duración de caudales

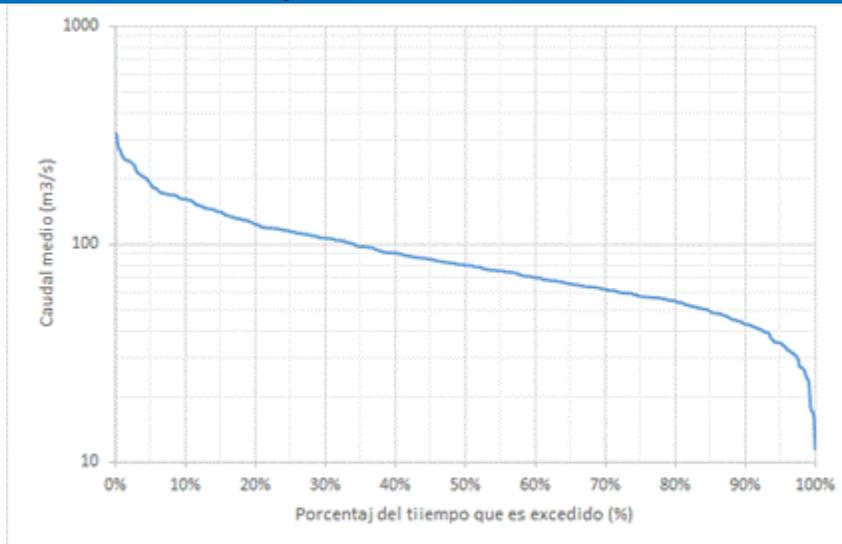
El presente análisis utilizó los datos de caudal medio anual para construir la curva; expresando el porcentaje (%) de tiempo en que un caudal es excedido o igualado. Como ya se mencionó, la curva de duración de caudales es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suplir la demanda y es uno de los criterios utilizados por los métodos hidrológicos para llegar a una primera aproximación del caudal ecológico de la cuenca, para este caso se asocia al caudal que permanece el 90% del tiempo (Proyecto Ley del Agua “Proyecto De Ley N° 365 – Cámara de 2005”). De acuerdo al análisis anterior de caudales mínimos, medios, máximos y la curva de duración (Tabla 5-9 y Figura 5-15 se evidencia que el río Lebrija en la estación San Rafael presenta unas buenas condiciones de oferta hídrica.

Tabla 5-9. Caudales obtenidos a través de la curva de duración

REGISTROS	ESTACION SAN RAFAEL
NUMERO DE AÑOS	48
NUMERO DE MESES	576
MÁXIMO REGISTRO	320,8
MENOR REGISTRO	11,49
REGISTRO 10%, O CAUDAL DE AGUAS ALTAS	161 (m3/s)
REGISTRO 50%, O CAUDAL PROMEDIO	80,19 (m3/s)
REGISTRO DEL 90%, O CAUDAL ECOLOGIO	42,97 (m3/s)

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Figura 5-15 Curva de duración para Caudales Medios – Estación San Rafael



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

– **RÍO SOGAMOSO**

Esta cuenca se forma de la confluencia de los ríos Chicamocha y Suárez y desemboca en el río Magdalena por la orilla derecha, con un caudal medio multianual de 540 m³ /s, siendo el mayor afluente del Magdalena Medio. El río discurre por un angosto y profundo valle en dirección noreste, en medio de los grandes farallones y abruptas laderas de la cordillera Oriental, tipificando un paisaje con pendientes, clima, vegetación y modelado, producto de recibir las aguas de las subcuencas de los ríos Chucurí y Sucio. Este valle se amplía formando una extensa zona aluvial de características inundables en épocas de avenidas. El cauce se extiende y transcurre con un patrón de drenaje trenzado, siendo navegable en la zona baja por embarcaciones pequeñas desde la inspección de policía de Mata hasta la inspección de policía de El Pedral, en el municipio de Puerto Wilches y siendo apto desde allí hasta la desembocadura en el río Magdalena, para la navegación

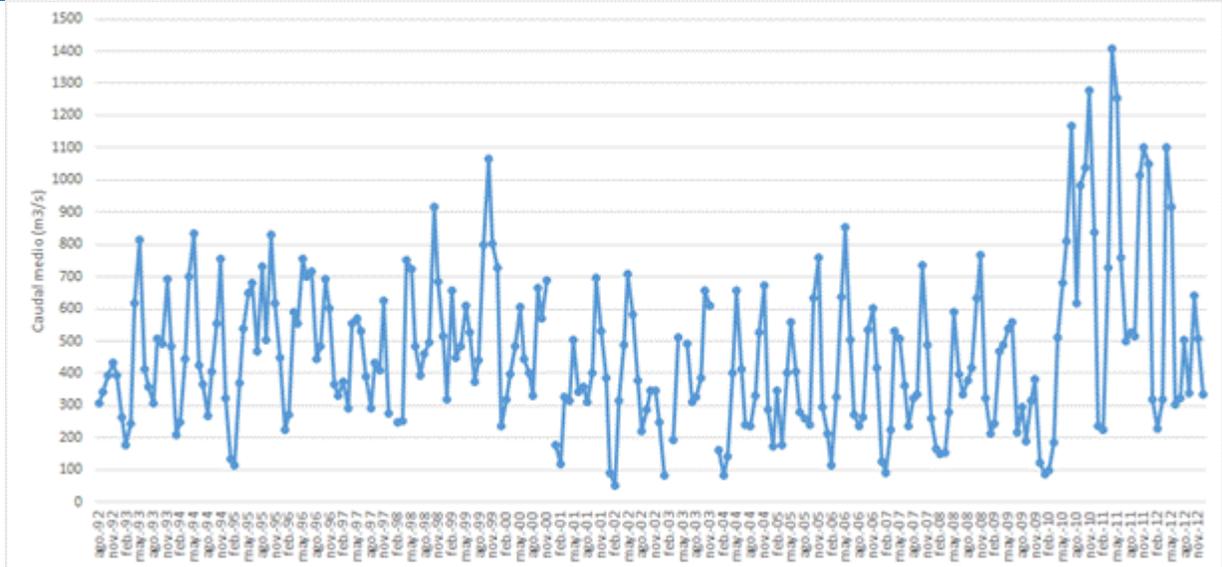
con lanchas y embarcaciones de mayor calado. La parte baja de la cuenca del río Sogamoso transcurre por una zona plana rica en yacimientos petrolíferos y tierras muy fértiles, con un gran potencial para el desarrollo de la ganadería y la agricultura mecanizada. Morfométricamente es una cuenca que tiene una superficie de 111.944 ha, correspondiente únicamente a la zona de la cuenca del río Sogamoso, que va desde la confluencia de los ríos Fonce con el Suárez y baña importantes municipios como son San Vicente de Chucurí, Betulia, Girón, Lebrija, Los Santos, El Carmen, Barichara y San Gil. Tiene una longitud de unos 116 km y la pendiente media desde el Fonce -Suárez hasta su desembocadura de unos 5 m/km. Presenta alturas del cauce que van desde los 700 msnm hasta 70 msnm, en su confluencia con el río Magdalena.

➤ Series de caudales

En la Figura 5-16 se muestra la serie original de caudales medios de la estación Puente Sogamoso, localizada aguas abajo de la presa del proyecto Hidrosogamoso. El periodo de tiempo mostrado refleja los cambios estacionales del río Sogamoso a lo largo de los 22 años de registro de las series de caudales medios mensuales de la estación, incluyendo datos desde agosto de 1992 a diciembre de 2013.

La serie presenta un comportamiento regular entre los años 1992 y 1999, donde del caudal medio es de 486 m³/s aproximadamente; para el periodo comprendido entre 1999 a 2009, cuando se inicia la construcción de la presa del río Sogamoso, se evidencia una disminución del promedio a 378 m³/s; para los años 2010 y 2011 se observa nuevamente un aumento en los caudales a un promedio de 651 m³/s debido principalmente al evento extremo de lluvias - Fenómeno de la Niña; finalmente, en el año 2012 se denota una disminución en los caudales a un promedio en el año de 486 m³/s (Ver Figura 5-16).

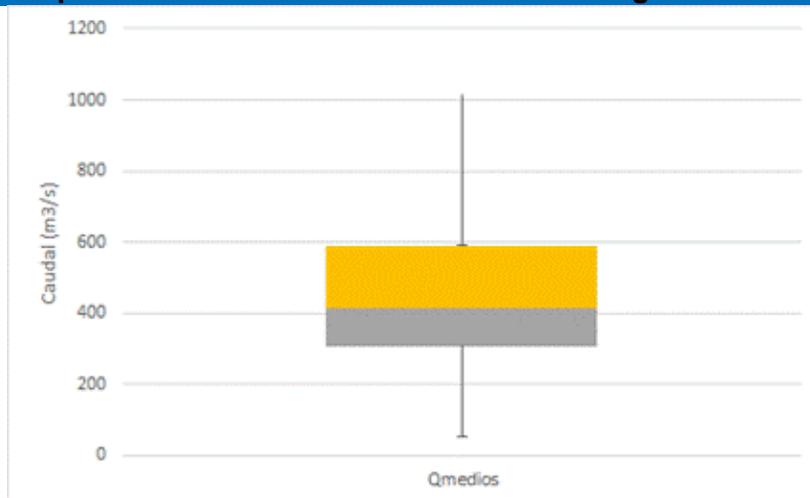
Figura 5-16 Serie de Caudales Medios – Estación Puente Sogamoso (Río Sogamoso)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

A continuación se presenta el análisis de datos a partir de diagramas de boxplots o cajas y bigotes para las series totales (sin completar datos) de caudales medios del río Sogamoso en la estación Puente Sogamoso, como se observa en la Figura 5-17.

Figura 5-17 Boxplot caudales medios estación Puente Sogamoso - Río Sogamoso



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Tabla 5-10. Datos Obtenidos para caudales medios Estación Puente Sogamoso – Río Sogamoso

CAUDALES MEDIOS (m ³ /s)	
Límite Mínimo	52.44
1er cuartil 25%	308.4
2do cuartil 50% (Mediana)	415.2
3er cuartil 75%	591.0
Límite Máximo	1406
Media	459.21
n	243

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Para los caudales medios del río Sogamoso se evidencia que, la ubicación del 2do cuartil tiene una leve inclinación hacia los valores mínimos de la serie, demuestra que el 50% de los datos está por debajo de la mediana que presenta un valor de 415.2 m³/s (Tabla 5-10), lo anterior y el bigote un poco más largo hacia la derecha indican un pequeño sesgo a la derecha. Adicionalmente, se observa que hay presencia de outliers o datos atípicos leves hacia el extremo de los valores máximos.

➤ Caudales Máximos

A partir de los registros de caudales máximos de la estación Puente Sogamoso en el río Sogamoso, el cual es un procedimiento para estimar la frecuencia o probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos hidrológicos. El análisis de frecuencia de información hidrológica relaciona los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad (CHOW, 1994); en general se realiza ajustando el comportamiento de los datos observados a una distribución teórica de probabilidad, entre las que se pueden mencionar la Normal, Gumbel, Pearson, Log-Normal, Log-Pearson o EV3.

El resultado del análisis de frecuencias de eventos extremos para el río Sogamoso, se presenta en la Tabla 5-11 y la Figura 5-18 se muestran los resultados. Los registros de análisis comprenden el período hasta antes del inicio de la construcción del proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso.

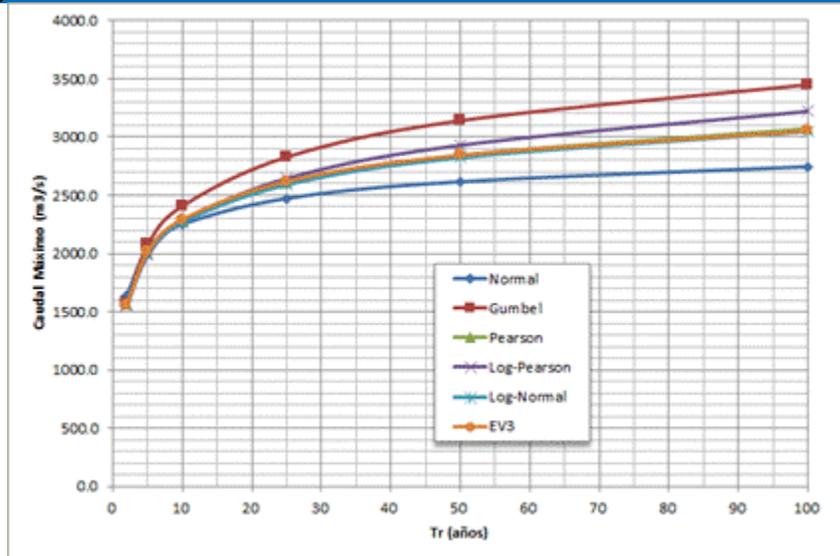
Tabla 5-11. Análisis de frecuencia para caudales máximos estación Puente Sogamoso – Río Sogamoso

PERIODO DE RETORNO (TR)	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
Años	m3/s					
2	1642.2	1571.8	1567.3	1557.2	1577.7	1557.5
5	2041.4	2074.6	2001.3	1982.2	2002.1	2013.4

PERIODO DE RETORNO (TR)	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG-NOR	EV3
Años	m3/s					
10	2250.3	2407.5	2275.6	2270.6	2267.9	2293.5
25	2472.9	2828.2	2606.9	2643.9	2590.2	2619.2
50	2616.8	3140.3	2843.4	2929.3	2822.3	2842.9
100	2746.1	3450.0	3071.8	3221.3	3048.8	3052.4
Chi 2	210.5	85.2	102.8	102.2	110.0	96.8

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Figura 5-18 Análisis de frecuencia de caudales máximos Río Sogamoso – Estación Puente Sogamoso



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

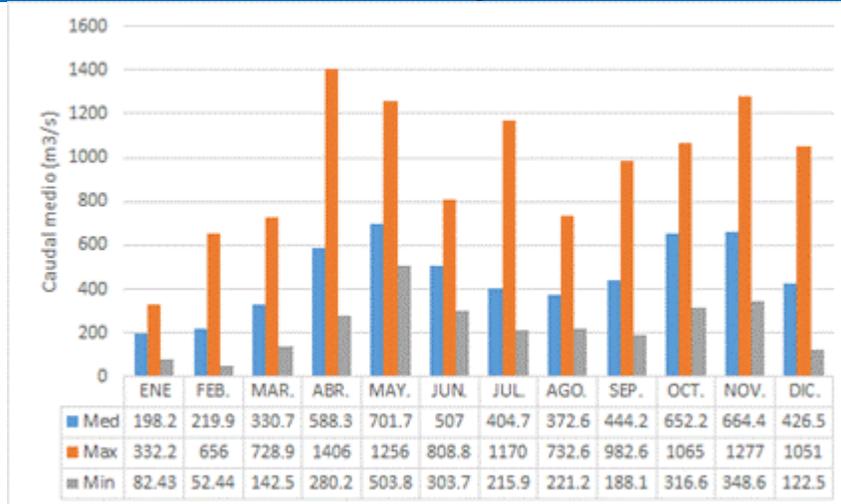
➤ Caudales medios

Para revisar el régimen hidrológico del río Sogamoso, fue tomada la información de los datos medios de las series de caudales medios, máximos y mínimos mensuales de la estación Puente Sogamoso del IDEAM; con un periodo de análisis de 1992 a 2013.

El régimen hidrológico para el río Sogamoso en la cuenca baja, refleja el régimen de lluvias característico de esta región. De acuerdo a lo anterior, no se evidencia una época de lluvias y una época seca muy marcadas; se presenta entonces un período de aguas altas o de gran caudal entre los meses de abril y noviembre, el cual denota una disminución en los meses de junio, julio, agosto y septiembre; durante la época de lluvias los meses con los máximos valores son mayo, octubre y noviembre con valores máximos

de 701.7, 652.2 y 664.4 m³/s respectivamente. El periodo de aguas bajas o poco caudal se da entre diciembre y marzo, teniendo que el mes con los caudales más bajos en el año es enero con un valor mínimo de 198.2 m³/s. En la Figura 5-19 se puede apreciar la información asociada a esta estación.

Figura 5-19 Caudales característicos Río Sogamoso – Estación Puente Sogamoso



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

➤ Curva de duración de caudales

El presente análisis utilizó los datos de caudal medio anual para construir la curva; expresando el porcentaje (%) de tiempo en que un caudal es excedido o igualado. Como ya se mencionó, la curva de duración de caudales es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suplir la demanda y es uno de los criterios utilizados por los métodos hidrológicos para llegar a una primera aproximación del caudal ecológico de la cuenca, para este caso se asocia al caudal que permanece el 90% del tiempo (Proyecto Ley del Agua “Proyecto De Ley N° 365 – Cámara de 2005”). De acuerdo al análisis anterior de caudales mínimos, medios, máximos y la curva de duración (Tabla 5-12 y Figura 5-20); se evidencia que el río Lebrija en la estación San Rafael presenta unas buenas condiciones de oferta hídrica.

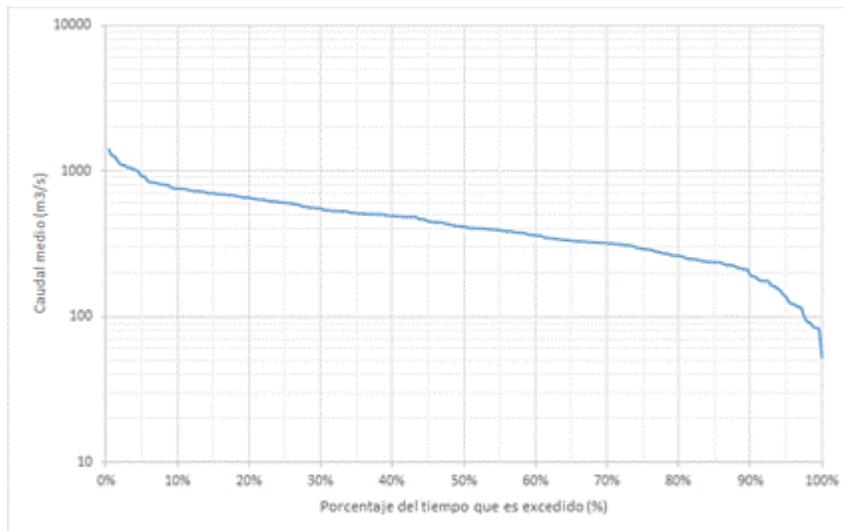
Tabla 5-12. Caudales obtenidos a través de la curva de duración

REGISTROS	ESTACIÓN PUENTE SOGAMOSO
NUMERO DE AÑOS	22
NUMERO DE MESES	252
MÁXIMO REGISTRO	1406
MENOR REGISTRO	52.44
REGISTRO 10%, O CAUDAL DE AGUAS ALTAS	758.9 m ³ /s

REGISTROS	ESTACIÓN PUENTE SOGAMOSO
REGISTRO 50%, O CAUDAL PROMEDIO	415.2 m3/s
REGISTRO DEL 90%, O CAUDAL ECOLÓGICO	193,2 m3/s

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

Figura 5-20 Curva de duración para caudales medios – estación Puente Sogamoso (Río Sogamoso)



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016

– **Cuencas Menores**

➤ **Caudales Medios**

Siguiendo la metodología del balance hídrico de Thornthwaite, 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 escurra 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:

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

Dónde:

$Escorr_{(i)}$: escorrentía del mes (i), mm

$Escorr_{(-i)}$: escorrentía del mes (i-1), mm

$Exc_{(i)}$: Es el agua que excede de la reserva máxima, mm.

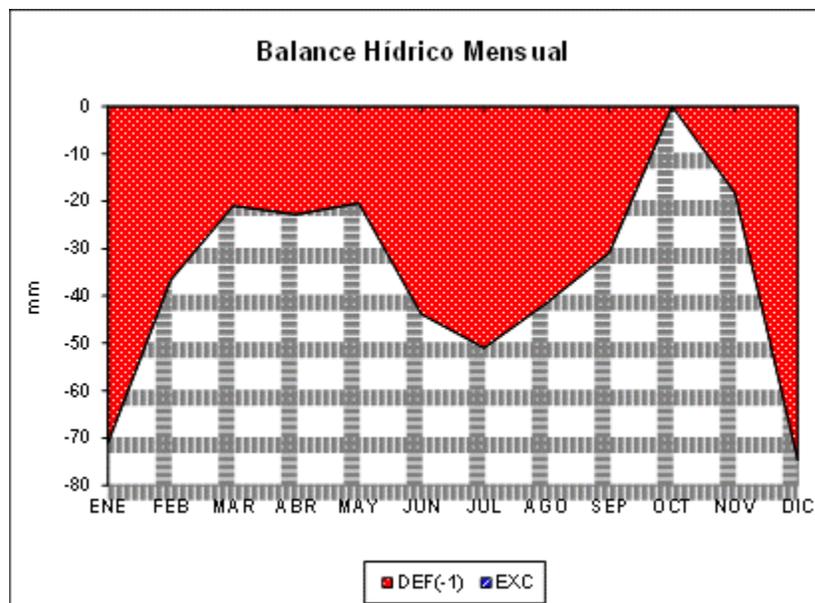
De acuerdo con el análisis climatológico, la estación con mayor influencia en la zona de estudio es la estación Llano Grande. Los resultados del balance hídrico se muestran en la Tabla 5-13 y en la Figura 5-21.

Tabla 5-13. Balance Hídrico a nivel mensual de largo plazo – estación Llano Grande

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P (mm)	40.80	69.20	99.80	94.60	101.20	75.00	70.50	79.10	84.20	124.40	86.90	30.20	955.90
T (°c)	25.10	25.30	25.40	25.30	25.20	25.20	25.10	25.10	25.10	24.90	24.80	24.80	25.11
ETP (mm)	113.77	106.43	121.00	117.57	121.75	119.07	121.63	120.66	115.08	113.95	107.10	109.52	1387.54
P - ETP (mm)	-72.97	-37.23	-21.20	-22.97	-20.55	-44.07	-51.13	-41.56	-30.88	10.45	-20.20	-79.32	-431.64
RHS (mm)	1.88	1.30	1.05	0.83	0.68	0.44	0.26	0.17	0.13	10.58	8.64	3.91	29.87
VR	-2.02	-0.59	-0.25	-0.22	-0.16	-0.24	-0.18	-0.09	-0.05	10.45	-1.93	-4.73	
ETR	42.82	69.79	100.05	94.82	101.36	75.24	70.68	79.19	84.25	113.95	88.83	34.93	955.90
Déficit (mm)	70.95	36.64	20.95	22.76	20.40	43.83	50.96	41.47	30.84	0.00	18.27	74.58	431.64
Exc. (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
Escorr. (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

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-21 Balance Hídrico mensual – estación Llano Grande



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Como se puede observar en los resultados de balance hídrico y según las características propias de las cuencas – verificadas en campo-, en general el área de estudio se trata de una zona seca con poca disponibilidad de agua. Las corrientes más representativas son

las que tienen agua permanentemente, y por tanto, en las que se puede cuantificar un caudal medio.

Así, a partir del área de la cuenca hasta el sitio de cruce, y con el dato de rendimientos hídricos calculados en la estación Pte Sogamoso sobre el río Sogamoso, se obtiene el caudal medio en cada sitio. En la Tabla 5-14 se puede observar los caudales medios estimados.

Tabla 5-14. Caudales medios estimados en cuencas de sitio de cruce (m³/s)

ID	Nombre	Área (Km ²)	Caudal Medio (m ³ /s)												
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Medio
1	Quebrada La Angula	90.508	0.796	0.908	1.362	2.371	2.873	2.034	1.612	1.510	1.813	2.647	2.701	1.736	1.864
2	Quebrada San Nicolas	3.298	0.029	0.033	0.050	0.086	0.105	0.074	0.059	0.055	0.066	0.096	0.098	0.063	0.068
3	Quebrada Agua Dulce	4.232	0.037	0.042	0.064	0.111	0.134	0.095	0.075	0.071	0.085	0.124	0.126	0.081	0.087
4	Rí Sucio	27.324	0.240	0.274	0.411	0.716	0.867	0.614	0.487	0.456	0.547	0.799	0.815	0.524	0.563
5	Quebrada Santa Rosa	3.414	0.030	0.034	0.051	0.089	0.108	0.077	0.061	0.057	0.068	0.100	0.102	0.065	0.070
6	Quebrada La Arenosa	17.976	0.158	0.180	0.270	0.471	0.571	0.404	0.320	0.300	0.360	0.526	0.536	0.345	0.370
7	Quebrada San Silvestre	14.830	0.130	0.149	0.223	0.388	0.471	0.333	0.264	0.247	0.297	0.434	0.443	0.284	0.305
8	Río Sogamoso	21,216.459	186.655	212.942	319.252	555.741	673.552	476.848	377.864	353.935	425.091	620.420	633.190	406.895	436.866
9	Quebrada La Putana	214.417	1.886	2.152	3.226	5.616	6.807	4.819	3.819	3.577	4.296	6.270	6.399	4.112	4.415
10	Quebrada San Elena	1.732	0.015	0.017	0.026	0.045	0.055	0.039	0.031	0.029	0.035	0.051	0.052	0.033	0.036
11	Quebrada La Cabezona	7.042	0.062	0.071	0.106	0.184	0.224	0.158	0.125	0.117	0.141	0.206	0.210	0.135	0.145
12	Quebrada Tierragrata	4.494	0.040	0.045	0.068	0.118	0.143	0.101	0.080	0.075	0.090	0.131	0.134	0.086	0.093
13	Quebrada NN1	4.647	0.041	0.047	0.070	0.122	0.148	0.104	0.083	0.078	0.093	0.136	0.139	0.089	0.096
14	Quebrada La Lisama 1	4.646	0.041	0.047	0.070	0.122	0.147	0.104	0.083	0.078	0.093	0.136	0.139	0.089	0.096
15	Quebrada La Lisama 2	10.063	0.089	0.101	0.151	0.264	0.319	0.226	0.179	0.168	0.202	0.294	0.300	0.193	0.207
16	Quebrada Tapazón	11.805	0.104	0.118	0.178	0.309	0.375	0.265	0.210	0.197	0.237	0.345	0.352	0.226	0.243
17	Quebrada El Zarzal	622.399	5.476	6.247	9.365	16.303	19.759	13.989	11.085	10.383	12.470	18.200	18.575	11.937	12.816
18	Caño Las Pavas	12.085	0.106	0.121	0.182	0.317	0.384	0.272	0.215	0.202	0.242	0.353	0.361	0.232	0.249
19	Caño El Salado	9.6988	0.085	0.097	0.146	0.254	0.308	0.218	0.173	0.162	0.194	0.284	0.289	0.186	0.200

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

➤ Caudales mínimos

Se calcula el caudal mínimo de las cuencas representativas a partir de rendimientos hídricos de la estación Pte Sogamoso sobre el río del mismo nombre, los resultados se muestran en la Tabla 5-15.

Tabla 5-15. Caudales mínimos estimados en cuencas de sitio de cruce (m³/s)

ID	Nombre	Área (Km ²)	Caudal Mínimo (m ³ /s)												
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Medio
1	Quebrada La Angula	90.5076	0.506	0.469	0.633	1.015	1.593	1.203	0.992	0.944	0.955	1.243	1.428	0.772	0.979
2	Quebrada San Nicolas	3.2978	0.007	0.008	0.012	0.022	0.026	0.019	0.015	0.014	0.017	0.024	0.025	0.016	0.017
3	Quebrada Agua Dulce	4.2317	0.009	0.011	0.016	0.028	0.034	0.024	0.019	0.018	0.021	0.031	0.032	0.020	0.022
4	Rí Sucio	27.3239	0.060	0.069	0.103	0.179	0.217	0.154	0.122	0.114	0.137	0.200	0.204	0.131	0.141
5	Quebrada Santa Rosa	3.4140	0.008	0.009	0.013	0.022	0.027	0.019	0.015	0.014	0.017	0.025	0.025	0.016	0.018
6	Quebrada La Arenosa	17.9763	0.040	0.045	0.068	0.118	0.143	0.101	0.080	0.075	0.090	0.131	0.134	0.086	0.093
7	Quebrada San Silvestre	14.8299	0.033	0.037	0.056	0.097	0.118	0.083	0.066	0.062	0.074	0.108	0.111	0.071	0.076
8	Río Sogamoso	21216.4591	118.599	109.941	148.312	238.000	373.533	281.909	232.532	221.325	223.793	291.347	334.812	180.949	229.588
9	Quebrada La Putana	214.4169	1.199	1.111	1.499	2.405	3.775	2.849	2.350	2.237	2.262	2.944	3.384	1.829	2.320
10	Quebrada San Elena	1.7318	0.004	0.004	0.007	0.011	0.014	0.010	0.008	0.007	0.009	0.013	0.013	0.008	0.009
11	Quebrada La Cabezona	7.0415	0.015	0.018	0.026	0.046	0.056	0.040	0.031	0.029	0.035	0.051	0.053	0.034	0.036
12	Quebrada Tierragata	4.4938	0.010	0.011	0.017	0.029	0.036	0.025	0.020	0.019	0.023	0.033	0.034	0.022	0.023
13	Quebrada NN1	4.6474	0.010	0.012	0.017	0.030	0.037	0.026	0.021	0.019	0.023	0.034	0.035	0.022	0.024
14	Quebrada La Lisama 1	4.646	0.010	0.012	0.017	0.030	0.037	0.026	0.021	0.019	0.023	0.034	0.035	0.022	0.024
15	Quebrada La Lisama 2	10.063	0.022	0.025	0.038	0.066	0.080	0.057	0.045	0.042	0.050	0.074	0.075	0.048	0.052
16	Quebrada Tapazón	11.805	0.026	0.030	0.044	0.077	0.094	0.066	0.053	0.049	0.059	0.086	0.088	0.057	0.061
17	Quebrada El Zarzal	622.399	3.479	3.225	4.351	6.982	10.958	8.270	6.821	6.493	6.565	8.547	9.822	5.308	6.735
18	Caño Las Pavas	12.085	0.027	0.030	0.045	0.079	0.096	0.068	0.054	0.050	0.061	0.088	0.090	0.058	0.062
19	Caño El Salado	9.6988	0.021	0.024	0.036	0.064	0.077	0.054	0.043	0.040	0.049	0.071	0.072	0.047	0.050

Fuente: Consultoría Colombiana, 2016.

* Caudales por rendimientos hídricos mínimos de la estación Pte Sogamoso.

Identificación Dinámica Fluvial – Relación espacial y temporal de las inundaciones

La dinámica fluvial en la mayor parte de la zona de influencia, principalmente en la zona de túnel, corresponde a ríos de montaña y de transición caracterizados por su torrencialidad.

- **Relación espacial y temporal de las inundaciones**

La definición más elemental de una inundación es aquella es el evento en el cual el agua ocupa lugares en donde normalmente no está. Dentro de lo establecido por el IDEAM dentro del Comité Nacional de Conocimiento para la Gestión del Riesgo de Desastres, inundación es la acumulación temporal de agua fuera de los cauces y áreas de reserva hídrica de las redes de drenaje (naturales y construidas). Se presentan debido a que los cauces de escorrentía superan la capacidad de retención e infiltración del suelo y/o capacidad de transporte de los canales. Las inundaciones son eventos propios y periódicos de la dinámica natural de las cuencas hidrográficas. La lluvia es el factor amenazante más importante en la generación de inundaciones. El agua de los ríos proviene en principio de la escorrentía proveniente de la parte alta de la cuenca, la cual depende del relieve, de la vegetación, del uso del suelo y en general de las condiciones en las que se encuentre la cuenca. Además, estos cuerpos de agua se mantienen con s flujos subsuperficiales que a su vez dependen de las condiciones hidrogeológicas y de los niveles freáticos de la zona (Adaptado González, 2014).

Teniendo en cuenta las características de las cuencas y la rapidez con la cual se producen los desbordamientos, las inundaciones se pueden clasificar en:

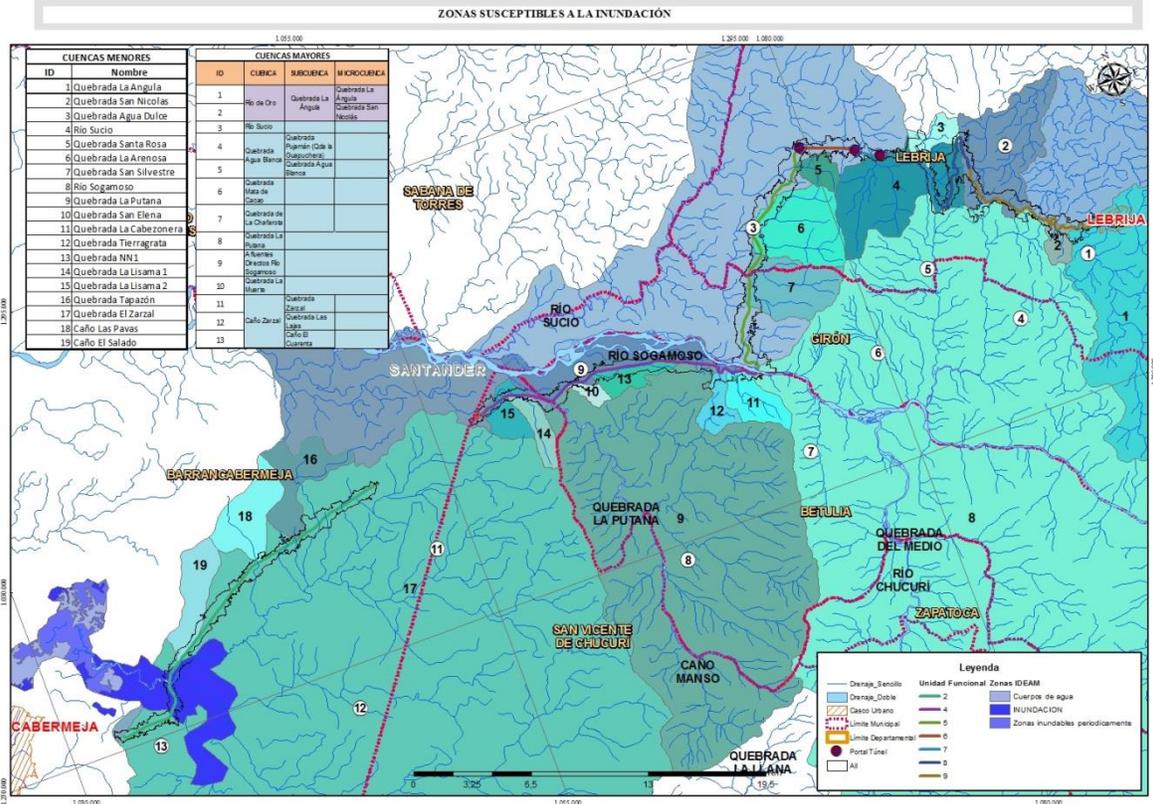
- Inundación rápida o avenida torrencial: Se refiere a crecientes que ocurren de manera repentina debido a la alta pendiente del río o de la quebrada y su cuenca. En ocasiones se produce el arrastre de una gran cantidad de material como detritos (lodos, piedras y árboles). Es característica de ríos de montaña y en transición. El tiempo de reacción ante un evento de esta naturaleza es corto.
- Inundación lenta: Se produce cuando hay un aumento gradual del nivel del río hasta superar su capacidad máxima. El río se sale de su cauce, inundando las áreas planas cercanas al mismo.

- **Inundaciones Lentas**

La susceptibilidad de inundaciones lentas está íntimamente asociada a relieves bajos con paisajes de planicie aluvial, debido a un predominio de topografía plana, e influenciada por las precipitaciones en el área y en las zonas altas de la región.

Para establecer la relación espacio temporal asociada a áreas inundables por la dinámica fluvial de las corrientes, se tuvo en cuenta la cartografía del Sistema de Información Ambiental de Colombia-SIAC-, donde se especifican las áreas susceptibles de inundación y las inundadas por el evento meteorológico extraordinario de la Niña 2010-2011. Ver Figura 5-22.

Figura 5-22 Mapa de zonas susceptibles a la inundación (IDEAM, 2012)



Fuente: IDEAM, 2012. Modificado por Consultoría Colombiana, 2016.

Así, teniendo en cuenta las características morfométricas de las cuencas, éste tipo de inundaciones se presentan en zonas bajas, en la cuenca baja del río Sogamoso.

– Inundaciones Rápidas

Las avenidas torrenciales son fenómenos naturales que poseen un gran potencial destructivo, dado que transportan volúmenes importantes de sedimentos y escombros. Aunque tienen una ocurrencia relativamente baja son de gran interés para evaluar los riesgos naturales a los que está sometida una determinada zona. Son diversos los factores que influyen en la ocurrencia de las avenidas torrenciales son: la topografía y las características de los suelos siendo los detonantes de este fenómeno: el uso del suelo, la precipitación, estabilidad del terreno y los sismos.

Este tipo de evento es tan dañino debido a su naturaleza impredecible y la rapidez con la que ocurre este fenómeno adicional a su distribución poco uniforme.

Una avenida torrencial puede ser considerada dentro de un fenómeno de erosión en masa

que incluye el desprendimiento, transporte y depositación de grandes masas de suelo, por acción del agua. Las masas en movimiento se comportan como un fluido pero su comportamiento es diferente al de los flujos de sedimentos, especialmente debido a la alta concentración de sólidos (Suárez, 2001)

De la red de drenaje identificada en la zona de estudio, se estableció que las alteraciones del régimen natural son de tipo torrencial y se presentan de acuerdo al régimen de precipitaciones bimodal, presentándose dichos fenómenos entre los meses de Abril-Junio y Septiembre-Noviembre.

La torrencialidad se ve influenciada por las características morfométricas de las cuencas asociadas, las cuales se caracterizan por ser son cuencas con áreas pequeñas, de corta longitud y tiempos de concentración pequeños que facilita la presencia de crecientes instantáneas.

- **Características Morfométricas de puntos de interés**

Las características de las principales microcuencas del área de estudio denotan cuencas con pendiente media, más alargadas que anchas.

En la Tabla 5-16 y Tabla 5-17 se presentan las principales características morfométricas de las cuencas menores que hacen parte del área de estudio del proyecto.

Tabla 5-16. Características morfométricas de las principales cuencas menores

ID	Nombre	Área	Perímetro	Lb	Lmáx	Bmáx	Lc	Li	Cota superior	Cota salida	Pendiente media
		(Km ²)	(Km)	(Km)	(Km)	(Km)	(Km)	(Km)	(m)	(m)	%
1	Quebrada La Angula	90.508	53.688	22.606	28.257	0.619	24.571	137.716	2521.85	1938.13	2.38
2	Quebrada San Nicolás	3.298	8.801	2.873	3.592	1.064	3.123	12.523	2780.85	1959.13	26.31
3	Quebrada Agua Dulce	4.232	11.195	3.234	4.043	1.187	3.516	21.294	2657.18	2025.13	17.98
4	Río Sucio	27.324	29.987	10.467	13.083	1.089	11.377	76.272	2696.18	2401.18	2.59
5	Quebrada Santa Rosa	3.414	7.812	2.304	2.880	0.544	2.505	12.252	2665.18	2025.18	25.55
6	Quebrada La Arenosa	17.976	17.496	5.935	7.419	0.538	6.451	52.074	2809.18	2007.18	12.43
7	Quebrada San Silvestre	14.830	16.284	5.770	7.212	3.105	6.271	53.664	3107.85	1859.58	19.90
8	Río Sogamoso	21,216.459	903.797	217.033	271.292	0.677	235.906	26,549.809	2003.92	1636.92	0.16
9	Quebrada La Putana	214.417	72.836	28.318	35.398	0.626	30.781	612.876	2430.31	1699.92	2.37
10	Quebrada San Elena	1.732	6.385	2.533	3.166	0.800	2.753	12.285	2307.31	1461.92	30.70
11	Quebrada La Cabezona	7.042	12.190	4.765	5.956	3.705	5.179	22.983	3116.94	1757.58	26.25
12	Quebrada Tierragrata	4.494	11.060	3.488	4.360	2.134	3.791	14.837	3075.31	1455.92	42.72
13	Quebrada NN1	4.647	12.624	4.929	6.161	0.815	5.358	18.267	1958.25	1209.25	13.98
14	Quebrada La Lisama 1	4.646	11.321	4.580	5.725	0.800	4.979	7.468	1911.25	1155.25	15.18
15	Quebrada La Lisama 2	10.063	15.193	8.047	10.059	0.370	8.747	15.742	1327.25	1127.25	2.29
16	Quebrada Tapazón	11.805	21.897	8.039	10.049	0.216	8.738	19.511	1296.25	1078.56	2.49
17	Quebrada El Zarzal	622.399	123.969	45.711	57.139	2.097	49.686	1,722.724	1496.25	1047.56	0.90
18	Caño Las Pavas	12.085	16.383	9.216	11.520	0.312	10.017	12.960	1422.56	1025.56	3.96
19	Caño El Salado	9.699	16.407	8.870	11.087	0.336	9.641	9.641	1510.56	1016.56	5.12

Donde:

Lb: Longitud desde el punto más alejado a la salida

Lmáx: Longitud máxima en sentido del cauce principal

Lc: Longitud del cauce principal

Li: Longitud de drenaje

Tabla 5-17. Principales parámetros morfométricos de las cuencas menores

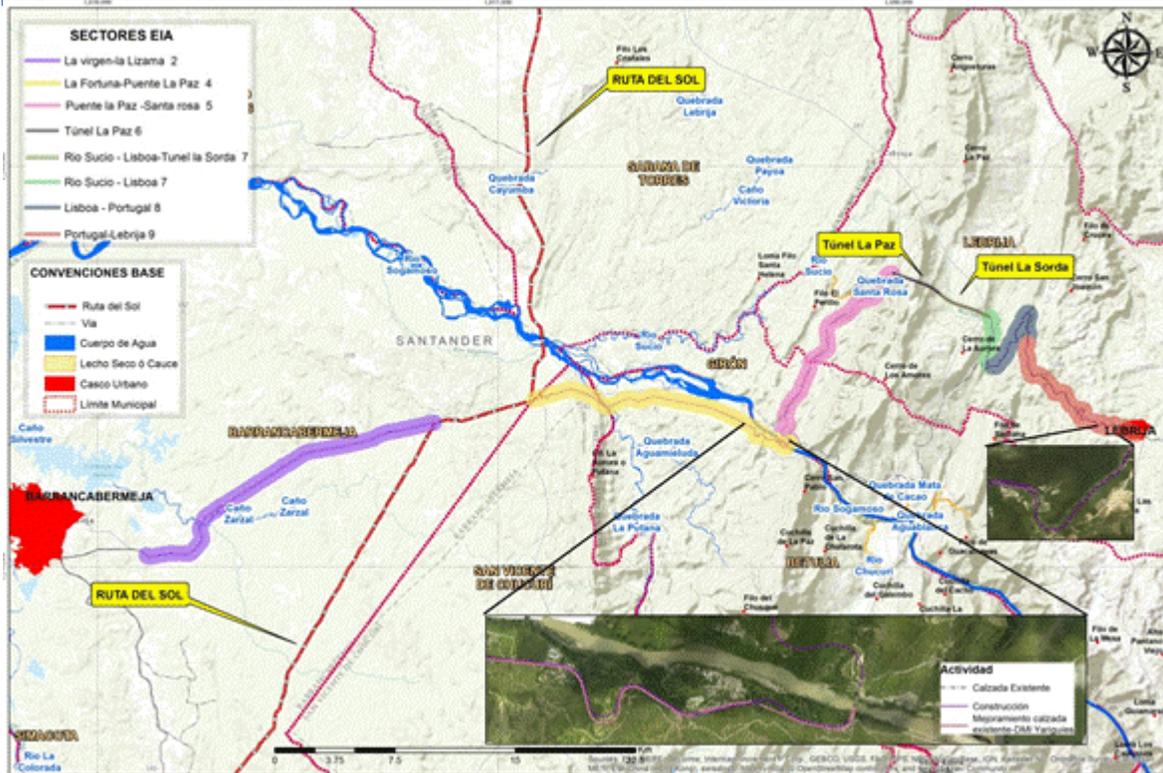
ID	Nombre	Área	h med	Factor de Forma Kf	Coefficiente de compacidad Kc	Índice de alargamiento la	Pendiente	Relación de elongación Re	Coefficiente de masividad Km	Densidad de Drenaje Dd
		(Km ²)	(msnm)				%		m/Km2	(Km/Km2)
1	Quebrada La Ángula	90.508	2229.99	0.18	1.59	45.63	2.38	0.47	0.02	1.52
2	Quebrada San Nicolás	3.298	2369.99	0.40	1.37	3.37	26.31	0.71	0.72	3.80
3	Quebrada Agua Dulce	4.232	2341.16	0.40	1.53	3.41	17.98	0.72	0.55	5.03
4	Río Sucio	27.324	2548.68	0.25	1.62	12.01	2.59	0.56	0.09	2.79
5	Quebrada Santa Rosa	3.414	2345.18	0.64	1.19	5.29	25.55	0.90	0.69	3.59
6	Quebrada La Arenosa	17.976	2408.18	0.51	1.16	13.78	12.43	0.81	0.13	2.90
7	Quebrada San Silvestre	14.830	2483.72	0.45	1.19	2.32	19.90	0.75	0.17	3.62
8	Río Sogamoso	21,216.459	1820.42	0.45	1.75	400.50	0.16	0.76	0.00	1.25
9	Quebrada La Putana	214.417	2065.12	0.27	1.40	56.51	2.37	0.58	0.01	2.86
10	Quebrada San Elena	1.732	1884.62	0.27	1.37	3.96	30.70	0.59	1.09	7.09
11	Quebrada La Cabezona	7.042	2437.26	0.31	1.30	1.61	26.25	0.63	0.35	3.26
12	Quebrada Tierragrata	4.494	2265.62	0.37	1.47	2.04	42.72	0.69	0.50	3.30
13	Quebrada NN1	4.647	1583.75	0.19	1.65	7.56	13.98	0.49	0.34	3.93
14	Quebrada La Lisama 1	4.646	1533.25	0.22	1.48	7.16	15.18	0.53	0.33	1.61
15	Quebrada La Lisama 2	10.063	1227.25	0.16	1.35	27.22	2.29	0.44	0.12	1.56
16	Quebrada Tapazón	11.805	1187.40	0.18	1.80	46.46	2.49	0.48	0.10	1.65
17	Quebrada El Zarzal	622.399	1271.90	0.30	1.40	27.25	0.90	0.62	0.00	2.77
18	Caño Las Pavas	12.085	1224.06	0.14	1.33	36.88	3.96	0.43	0.10	1.07
19	Caño El Salado	9.699	1263.56	0.12	1.49	33.02	5.12	0.40	0.13	0.99

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

5.1.5.2 Tramos en Túnel (unidad Funcional 6 y 7)

En la zona de estudio se tienen proyectados dos túneles, a saber, Túnel de La Paz (3.52 Km) y Túnel de La Sorda (2.44 Km), y su localización se puede observar en la Figura 5-23.

Figura 5-23 Localización túneles La Paz y La Sorda



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

- **Inventario detallado de las fuentes hídricas en el área de influencia directa (Túnel)**

El área de estudio se encuentra, según la ordenación de cuencas del IDEAM, dentro del área hidrográfica Magdalena – Cauca, zona hidrográfica Sogamoso (24), y subzona río Sogamoso (2405). El detalle de la clasificación de cuencas para este tramo (UF3.1) se presenta en la Tabla 5-18 y en la Figura 5-34.

Tabla 5-18 Red hidrográfica sector Túnel la Paz y Túnel La sorda

AH		ZH		SZH		CUENCA
CODIGO IDEAM/ ANLA	AREA HIDROGRAFICA	CODIGO IDEAM/ ANLA	ZONA HIDROGRAFICA	CODIGO IDEAM/ ANLA	SUBZONA HIDROGRAFICA	

2	MAGDALENA CAUCA	24	SOGAMOSO	2405	Río Sogamoso	Río Sucio
---	-----------------	----	----------	------	--------------	-----------

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

A continuación se presenta la identificación de los cuerpos de agua (lénticos y lóticos) en el sector donde se proyecta la construcción de los túneles que forman parte del proyecto vial; la identificación se efectuó a partir de la cartografía IGAC escala 1:10.000 y 1:25.000 y recorridos de campo, encontrándose que está constituida esencialmente por una red de drenajes de tipo lótico, que de acuerdo a la clasificación de Horton - Strahler son de orden entre 1 a 4.

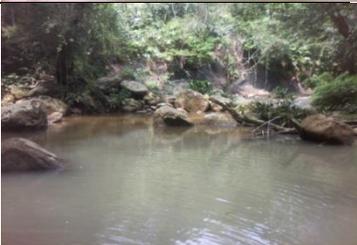
– **Sistemas lóticos**

En la Tabla 5-19 se presenta la información de los cuerpos de agua lóticos identificados en la zona de influencia del proyecto, se resalta que estos cuerpos de agua no serán objeto de cruce por el trazado dado que corresponde al sector de túneles.

Tabla 5-19 Cuerpos de agua lóaticos identificados en el sector Túnel la Paz y Túnel La Sorda

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
6	Lebrija	La Girona	Quebrada La Caimanera	5	40	1079274,351	1288583,704	Flujo con presencia de materia fino, arbórea (5-15m)	Plana o suave	
6	Lebrija	La Girona	Quebrada Santa Rosa	8	60	1078298,935	1287433,232	Flujo con presencia de materia fino, arbórea (5-15m)	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
6	Lebrija	La Girona	Quebrada NN	10	30	1078303,352	1287049,795	Flujo con presencia de materia fino, arbórea (5-15m)	Plana o suave	
6	Lebrija	La Marta	Quebrada La Marta	5	1,35	1073236,113	1278032,579	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), media	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
6	Lebrija	La Marta	Caño Picho	9	1,3	1071946,372	1278809,636	Flujo con presencia de materia fino, arbórea (5-15m)	Plana o suave	
6	Lebrija	La Marta	Quebrada San Silvestre	25	2	1074244,988	1282783,023	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), media	Plana o suave	
6	Lebrija	San Silvestre	Quebrada la Arenosa	23	2	1075736,321	1284865,845	Flujo con presencia de materia fino, arbustivo (<5m), media	Plana o suave	

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Ancho Total (m/cm)	Profundidad (m)	Coordenadas x	Coordenadas y	Características de la fuente	Pendiente	Fotografía
7	Lebrija	El Cristal	Caño	2	2	1082758,245	1287034,211	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales, media	Plana o suave	
7	Lebrija	El Libano	Quebrada La Sorda	10	70	1085407,267	1285449,907	Flujo tranquilo, con presencia de material fino de vegetación de tipo herbácea y pastizales, media	Plana o suave	

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

– **Sistemas lénticos**

Corresponden a todas las aguas interiores que no presentan corrientes continuas, sin flujos, tales como humedales, que corresponden a ecosistemas intermedios con ambientes permanentemente inundados; lagunas, las cuales representan geoformas de especial importancia desde el punto de vista ecológico de la región.

Dentro del área de influencia del proyecto en el sector donde se prevé la construcción de los túneles La paz y la Sorda, se identificó un cuerpo de agua léntico (Ver Tabla 5-20).

Tabla 5-20 Cuerpos lénticos identificados en el sector Túnel la Paz y Túnel La Sorda

UF	Municipio	Vereda	Tipo de corriente	Coordenadas x	Coordenadas y	Origen	Fotografía
7	Lebrija	canoas	Jagüey	1082644,982	1287767,36	Natural	

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

- **Análisis de la dinámica hídrica y las variaciones de su régimen natural**

La dinámica hídrica en a zona de túneles (La Paz y La Sorda), corresponde a ríos de montaña y de transición caracterizados por su torrencialidad.

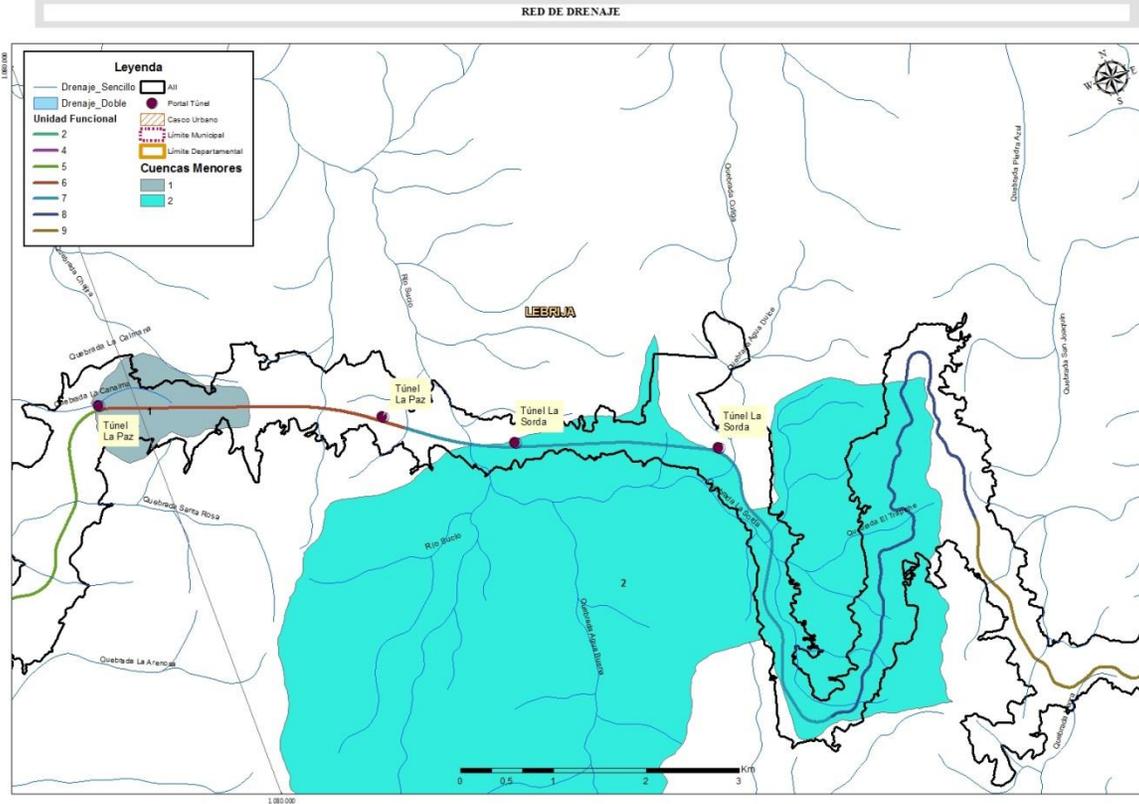
Los ríos de montaña se caracterizan por presentar una pendiente longitudinal y transporte de sedimentos representativos, además de tener secciones de cauce definidas, en general encañonados, Estas condiciones hacen que las crecientes sean súbitas y las variaciones de caudal y nivel significativas.

De la red de drenaje identificada en la zona de estudio, se estableció que las alteraciones del régimen natural son de tipo torrencial y son estacionales, es decir, se presentan de acuerdo al régimen de precipitaciones bimodal, presentándose dichos fenómenos entre los meses de marzo-Junio y Septiembre-Noviembre.

- **Estimación de los niveles y caudales característicos de las corrientes inventariadas**

En la zona de influencia, se identificaron dos corrientes representativas a saber, quebrada La Caimana y Río Sucio, como se observa en la .

Figura 5-24 Cuencas sitios Túnel la Paz y Túnel La Sorda



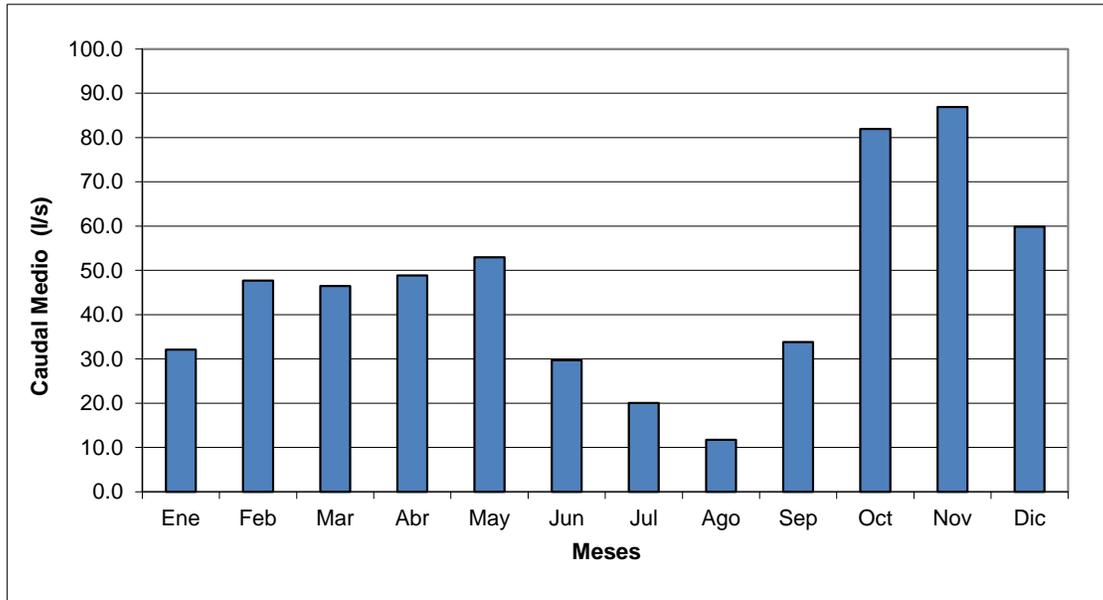
Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

– **Caudales medios**

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 en la estación Hacienda Trigueros, se calculan los caudales medios de las corrientes significativas.

La representación gráfica del comportamiento de los caudales en la quebrada La Caimana y río Sucio se indican en la Figura 5-25 a Figura 5-26 y **Tabla 5-21** a **Tabla 5-22**.

Figura 5-25 Caudales medios mensuales – Quebrada La Caimana – sitio túneles



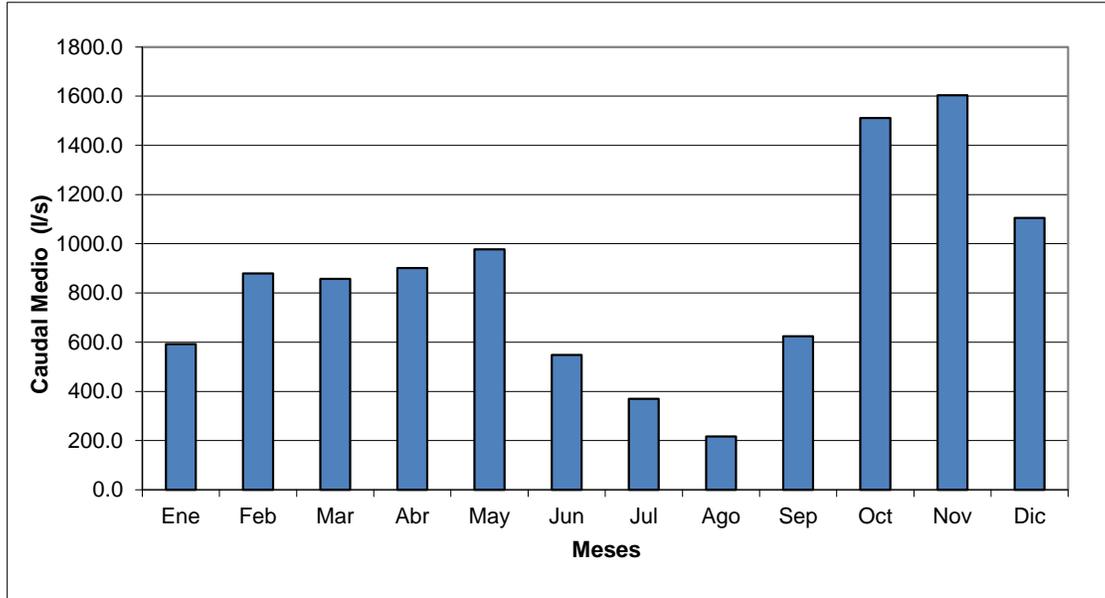
Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Tabla 5-21. Caudales medios mensuales (l/s) – Quebrada La Caimana

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
32.074	47.693	46.473	48.884	52.951	29.699	20.071	11.761	33.813	81.923	86.913	59.888	45.956

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-26 Caudales medios mensuales – Río Sucio – sitio túneles



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Tabla 5-22. 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.

– **Niveles medios**

A fin de evaluar el comportamiento hidráulico del sitio de túnel, se utilizó el programa de computador 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 el tramo en promedio corresponde a profundidades normales (pendiente de la línea de energía similar a la pendiente media del cauce). Mediante ayuda del programa HEC-RAS e iteraciones se estimó el nivel a lo largo de este tramo ajustado al criterio indicado.

Se debe tener en cuenta que las características de la pendiente del fondo del río en el sector tiende a generar condiciones de flujo casi crítico, en la cual la corriente presenta una gran inestabilidad, ocurriendo altas variaciones de energía específica en tramos muy cortos de la corriente. Para simular este efecto, el programa de computador en mención tiene la capacidad de efectuar simulaciones mixtas entre flujo uniforme subcrítico hasta uniforme supercrítico, bajo ciertos condicionamientos en el ingreso de la información

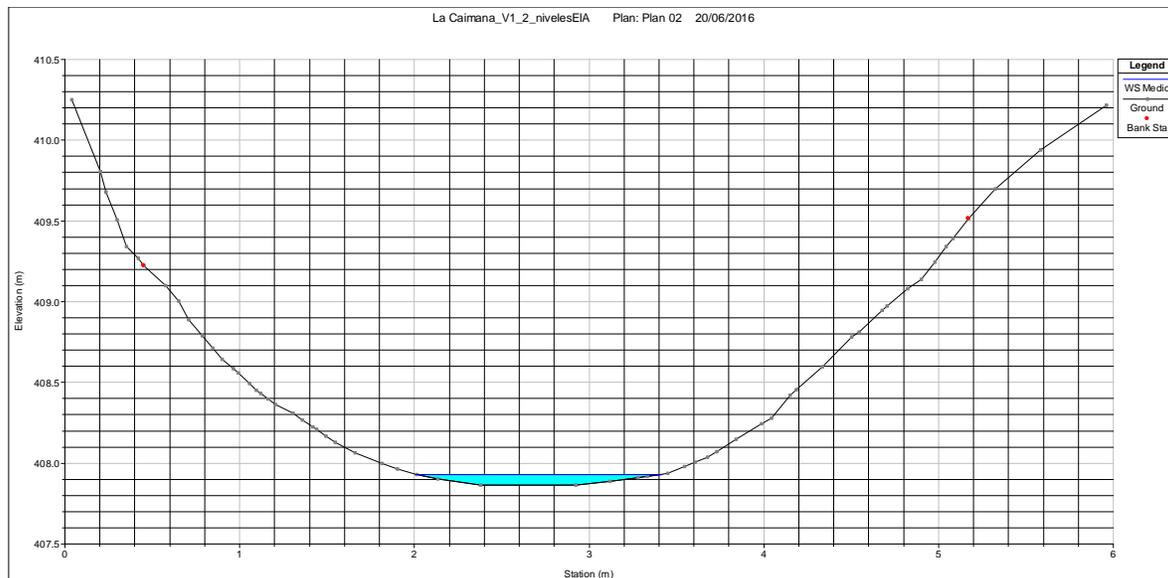
solicitada por él.

Los datos de entrada para el programa son la pendiente del fondo del cauce, las secciones transversales de la quebrada en el área en estudio y el coeficiente de rugosidad de las bancas y del lecho.

- Nivel medio quebrada La Caimana

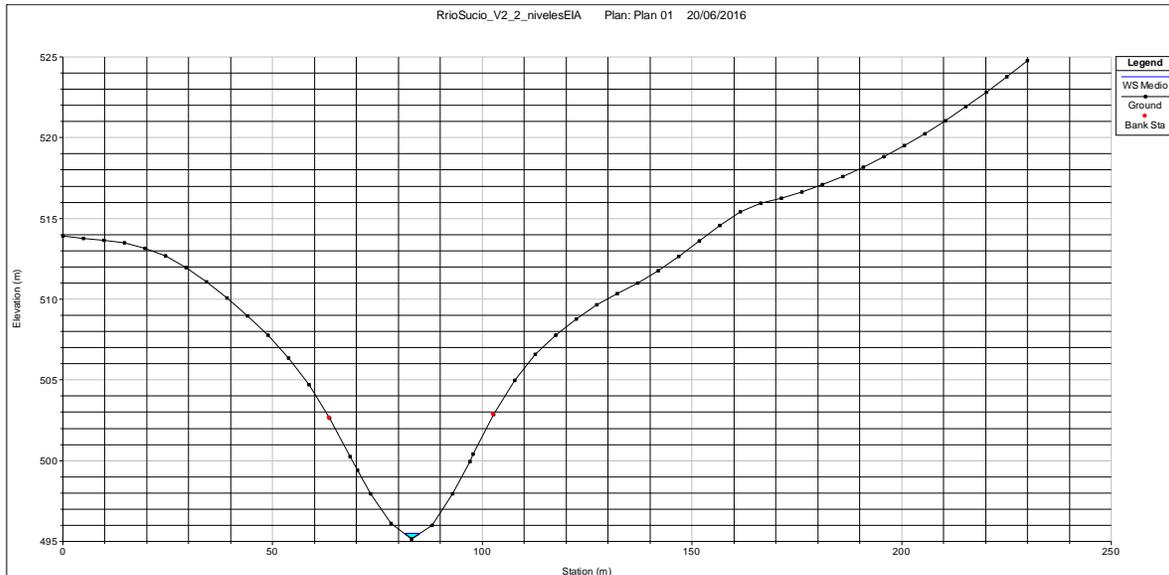
Teniendo en cuenta, el caudal medio anual calculado y con una sección típica en el sitio de proyección del túnel, de la modelación se obtienen alturas de lámina de agua de alrededor de 10 cm para la quebrada La Caimana (Ver Figura 5-27) y de 50 cm para río Sucio (Ver Figura 5-28).

Figura 5-27 Niveles medios mensuales – Quebrada La Caimana – sitio túneles



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-28 Niveles medios mensuales – Río Sucio – sitio túneles



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

– **Caudales máximos**

A fin de calcular caudales máximos para diferentes periodos de retorno, se utiliza la metodología del hidrograma unitario recomendada por “The Soil Conservation Service. SCS” para cuencas mayores a 2.50 km² y el método racional para cuencas con superficies menores a este valor.

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

➤ **Parámetros Morfométricos**

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

• **Pendiente media del cauce (S)**

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

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

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

Donde:

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

- **Tiempo de concentración (Tc)**

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

Las expresiones más utilizadas son las de:

- Kirpich

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

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

- Temez

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

- U.S. Corps of Engineers

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

- Chow

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

Donde:

- L: Longitud total del cauce principal en (Km)

S: Pendiente Promedio en (m/m)
Tc: Tiempo de Concentración en (min)

➤ **Cálculo de caudales para cuencas menores mediante el método racional**

Este método estima el caudal en función de la intensidad de la precipitación, el área de drenaje y el coeficiente de escorrentía, mediante la fórmula:

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Donde:

Q: Caudal de diseño (m³/s)
C: Coeficiente de escorrentía
I: Intensidad de lluvia de duración igual al Tc de la cuenca (mm/hr)
A: Superficie de la subcuenca en proyección horizontal (Km²)

➤ **Método del Hidrograma unitario del SCS**

Este método de cálculo de la escorrentía máxima, utiliza como información básica, el área de drenaje, la longitud del cauce principal, la pendiente del cauce, la precipitación bruta caída en la cuenca en estudio, su duración y el valor característico del suelo CN, de acuerdo con la clasificación definida por el U.S. S.C.S. Para cuencas sin medición de caudales y con áreas mayores a 2.5 km², se empleó el método del hidrograma unitario de SCS.

En esencia se pretende determinar un caudal pico específico o por unidad de lluvia neta qp en (m³/s-cm de lluvia neta). Para este fin, se utilizó la metodología del Hidrograma Unitario, el cual, a través de un proceso lineal como lo es la convolución, se hace la transformación de lluvia efectiva a escorrentía directa por el cauce. Uno de los métodos más utilizados para cuencas con tamaños similares a la de los ríos de la zona del proyecto, es el Método Triangular, desarrollado por el SCS de los Estados Unidos.

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

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

L: Longitud del cauce principal desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés, en Km
S: Pendiente promedio del cauce, en m/m
Tp: Tiempo al pico, se mide desde el comienzo del hidrograma unitario en horas y está dado por la siguiente expresión:

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

Donde D es el exceso de precipitación unitaria en horas y Tc es el tiempo de concentración en horas

Ahora:

Qp: Caudal unitario máximo en m³/s y está dado por la expresión:

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

Dónde:

A: Área de la cuenca en Km²

E: Escurrimiento medio en mm

Tp: Tiempo al pico en horas

De la misma manera:

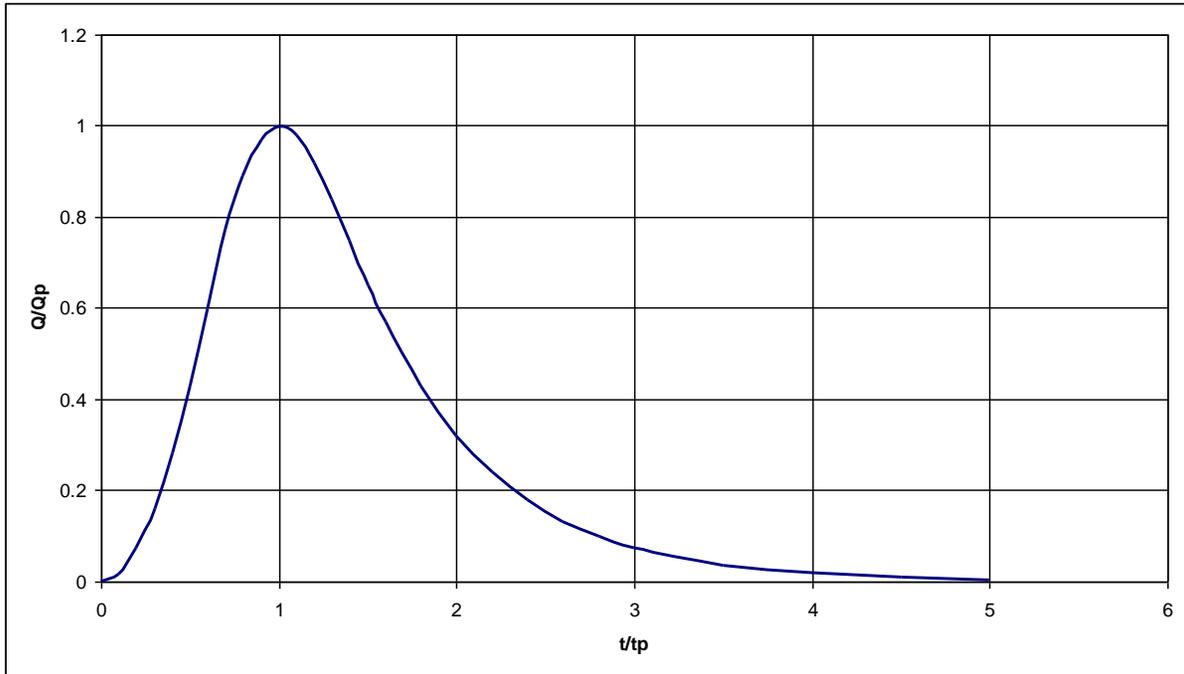
$$T_b = \frac{8}{3}T_p$$

Para convertir el hidrograma unitario triangular en curvilíneo se utilizó el hidrograma unitario adimensional desarrollado por el U. S. Soil Conservation Service (Ver Figura 5-29).

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

En el presente estudio se obtuvo el valor de la profundidad de la lluvia para períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años, a partir de los análisis de precipitación realizados para las estaciones de registro de lluvias de la zona.

Figura 5-29 Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S.



Fuente: Ven te Chow, 1994.

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

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

Dónde:

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

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

➤ **Resultados Caudales máximos**

Con base en datos de precipitación efectiva, tiempo de concentración y área aferente de las cuencas, se calcularon los caudales máximos en condiciones de lluvia asociadas a diferentes periodos de retorno (Ver Tabla 5-23 y Tabla 5-24).

Tabla 5-23 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método Racional

Id	Nombre	Área	Longitud de Cauce	Cota Superior	Cota Inferior	Dif. de altura	So	Tc Ec. U.S. Corps Engineers	
		(Km2)	(m)	msnm	msnm	(m)	(%)	horas	min
1	Quebrada La Caimana	1.1940	1439	1075	380	695	48.30	0.42	25.44

Id	Nombre	Caudales a diferentes periodos de retorno (m3/s)					
		2.33	5	10	25	50	100
1	Quebrada La Caimana	13.87	16.03	18.29	21.77	24.83	28.33

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Tabla 5-24 Caudales Máximos hasta sitio de cruce – Método SCS

ID	Cuenca	Características de la Cuenca						Tc Kirpich	
		Área	Longitud de Cauce	Cota Mayor	Cota Menor	Dif. de altura	Pendiente media	(horas)	(min)
		(Km2)	(Km)	(m)	(m)	(m)	(%)		
2	Río Sucio	27.32	11.38	1,230	507	723	6.35	1.25	74.73

ID	Cuenca	T retardo	Tpico	P neta (mm)					S (mm)
				2.33	5	20	50	100	
		(horas)	(horas)	(horas)					
2	Río Sucio	0.75	1.37	36.49	42.19	57.28	65.35	74.54	108.857

ID	Cuenca	P efectiva (mm)	Qpico	Caudales (m3/s)
----	--------	-----------------	-------	-----------------

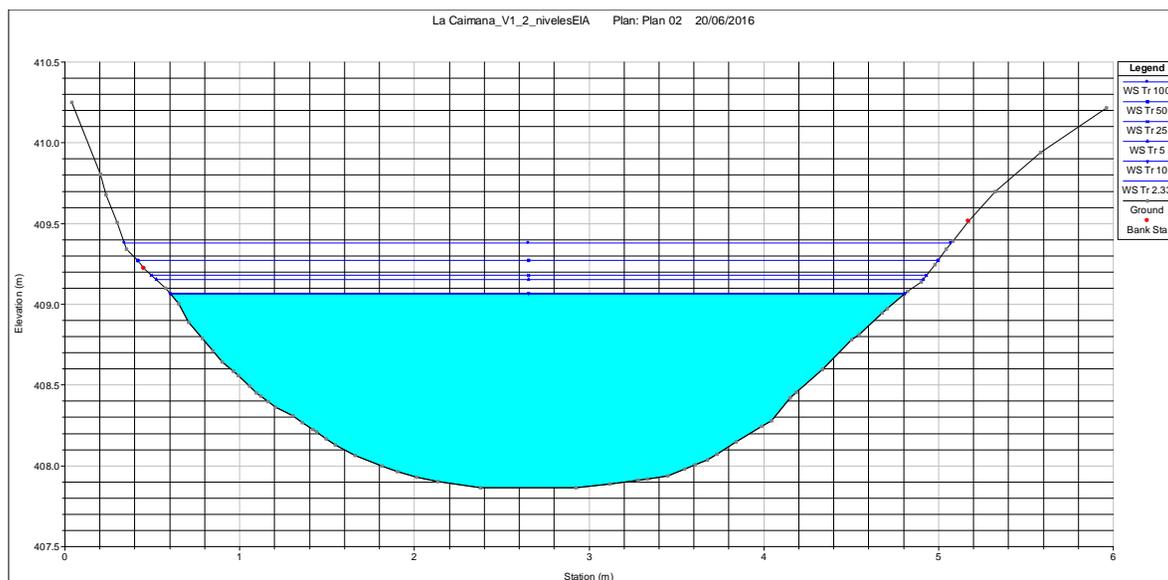
		2.33	5	20	50	100	(m ³ /s/m m)	2.33	5	20	50	100
2	Río Sucio	1.75	3.23	8.73	12.46	17.23	4.15	7.27	13.38	36.23	51.67	71.47

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

➤ Niveles Máximos

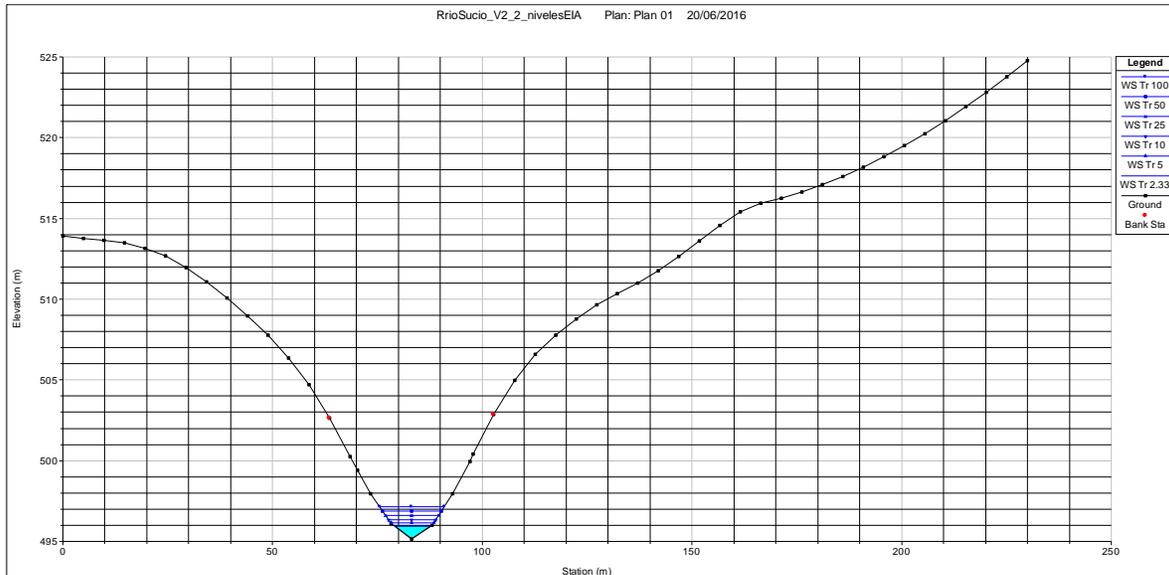
Teniendo en cuenta los caudales máximos calculados para diferentes periodos de retorno y con una sección típica en el sitio de proyección del túnel, de la modelación se obtienen alturas de lámina de agua para periodos de retorno de 100 años de alrededor de 1.5 m para quebrada la Caimana (Ver Figura 5-30) y de 2 m para río Sucio (Ver Figura 5-31).

Figura 5-30 Niveles máximos – Quebrada La Caimana – sitio túneles



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-31 Niveles máximos – Río Sucio – sitio túneles



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

– Caudales mínimos

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 estimar 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 de la estación Hacienda Trigueros para la cuenca en. En las Tabla 5-25 y Tabla 5-26 se muestran los caudales mínimos calculados.

Tabla 5-25. 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.

Tabla 5-26. Caudales mínimos mensuales (l/s) – Río Sucio

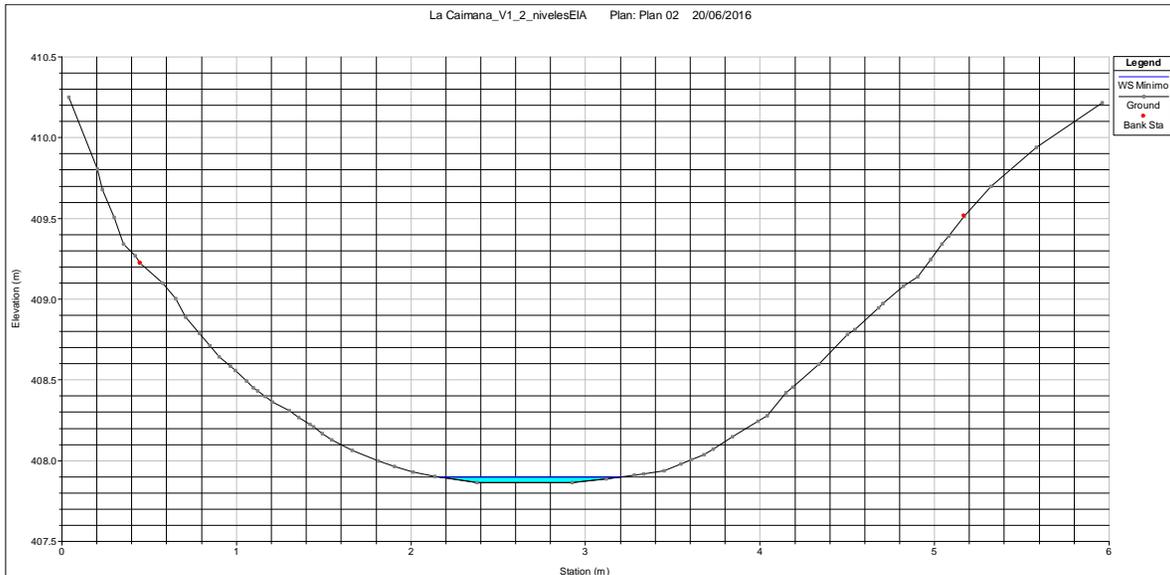
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
147.92	219.96	214.33	225.45	244.21	136.97	92.57	54.24	155.94	377.83	400.84	276.20	211.95

Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

➤ Niveles Mínimos

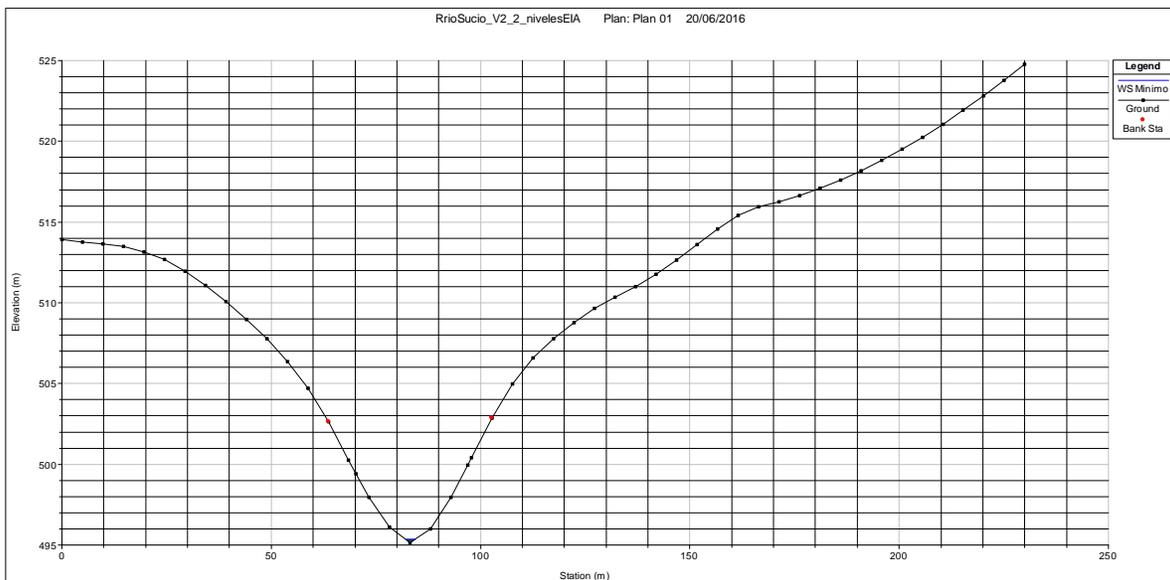
Teniendo en cuenta mínimo calculado y con una sección típica en el sitio de proyección del túnel, de la modelación se obtienen alturas de lámina de agua de alrededor 5 cm de para quebrada la Caimana (Ver Figura 5-32) y de 20 cm para río Sucio (Ver Figura 5-33).

Figura 5-32 Nivel mínimo anual – quebrada La Caimana – sitio túneles



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

Figura 5-33 Nivel mínimo anual – Río Sucio – sitio túneles



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.

- **Localización de las corrientes y cuerpos de agua**

Las corrientes en los sitios de túnel – La Paz y la Sorda, son corrientes pequeñas, con

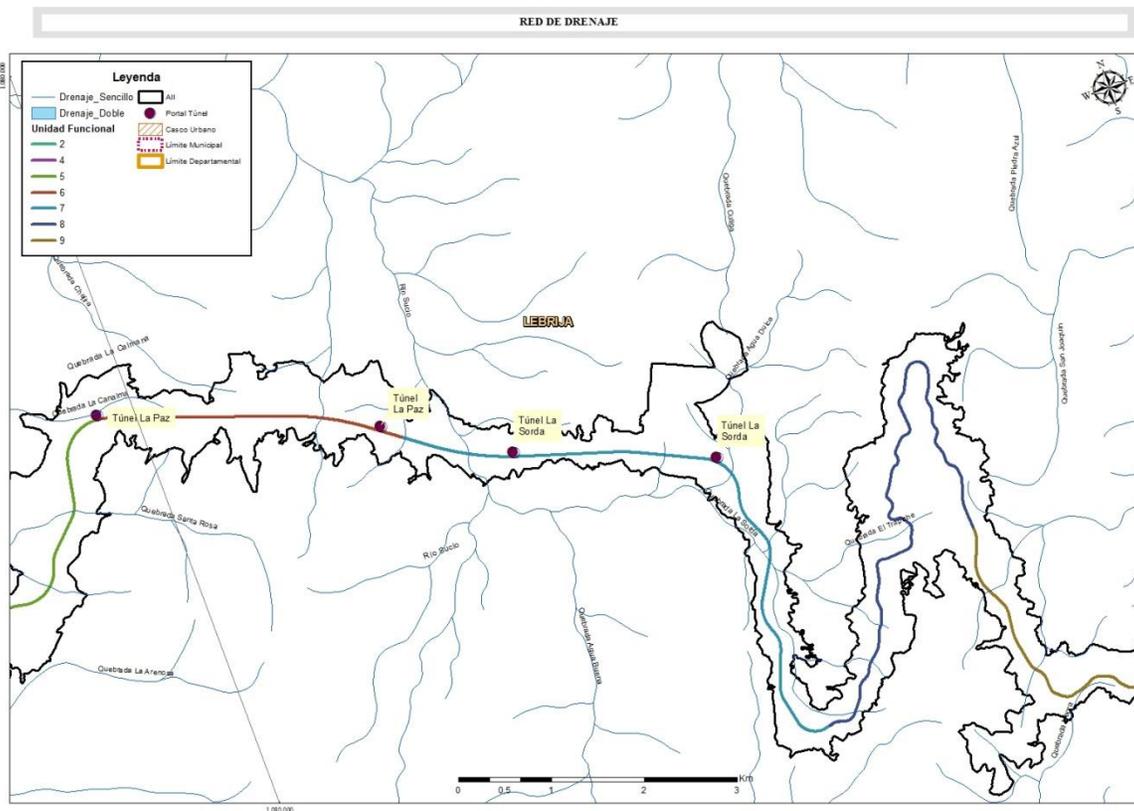
áreas de drenaje no mayores a 3.0 Km².

Las corrientes más representativas son el río Sucio y su afluente quebrada La Caimana.

En general, se trata de cauces de montaña con geometría bien definida y arrastre considerable de sedimentos.

La identificación y localización de los cuerpos de agua (lénticos y lóticos) en el sector donde se proyecta la construcción de los túneles – La Paz y la Sorda- que forman parte del proyecto vial, se efectuó a partir de la cartografía IGAC escala 1:10.000 y 1:25.000 y recorridos de campo, encontrándose que está constituida esencialmente por una red de drenajes de tipo lótico, que de acuerdo a la clasificación de Horton - Strahler son de orden entre 1 a 4. La red de drenaje se puede observar en la Figura 5-34.

Figura 5-34 Localización red hidrográfica Túnel la Paz y Túnel La Sorda



Fuente: Consultoría Colombiana S.A, 2016.