

REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S



**CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS AMBIENTALES Y
MODIFICACIONES A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA
S.A.S.
(1736)**

CONTRATO 966568

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACION DEL AREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO

**CAPÍTULO 3.2.4 HIDROLOGÍA
VERSIÓN 0**

Bogotá D.C., noviembre de 2019

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice de Revisión	Sección Modificada	Fecha Modificación	Observaciones
0			Versión final
B	Documento en general	11-2019	Se anexa matriz de hallazgos y respuestas
A	Documento en general	10-2019	Se anexa matriz de hallazgos y respuestas

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Número de revisión		0
Responsable por elaboración	Nombre	Katherine Rodríguez
	Firma	
Responsable por revisión	Nombre	Katherine Martínez
Coordinador Proyecto	Firma	
Responsable por aprobación	Nombre	Mónica Pescador
Gerente de Proyecto	Firma	
	Fecha	Noviembre de 2019

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACION A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPÍTULO 3.2.4 HIDROLOGÍA

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO	1
3.2 MEDIO ABIÓTICO	1
3.2.4 Hidrología.....	1
3.2.4.1 Identificación y descripción de los sistemas lenticos y loticos.	3
3.2.4.2 Patrones de drenaje a nivel regional	9
3.2.4.3 Descripción y localización de la red hidrológica	12
3.2.4.4 Descripción y Caracterización morfométrica	13
3.2.4.5 Régimen hidrológico	17
3.2.4.6 Caudales máximos, medios y mínimos mensuales	21
3.2.4.7 Identificación de la dinámica fluvial.....	38
3.2.4.8 Relación temporal y espacial de las inundaciones	39
3.2.4.9 Inventario de las Fuentes contaminantes	48

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACION A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPÍTULO 3.2.4 HIDROLOGÍA

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Información secundaria contemplada	2
Tabla 3.2 Estaciones analizadas para el proyecto	3
Tabla 3.3 Hidrografía en la zona de estudio	5
Tabla 3.4 Descripción de los patrones de drenaje con base en su forma	10
Tabla 3.5 Tipos de drenaje de las corrientes presentes en el AI del proyecto	12
Tabla 3.6 Parámetros para la clasificación de cuencas	12
Tabla 3.7 Identificación y distribución espacial de la red de drenaje del AI	13
Tabla 3.8 Clasificación de cuenca de la FAO en función del índice de compacidad	15
Tabla 3.9 Características morfométricas de las cuencas aferentes a los puntos con intervención	17
Tabla 3.10 Balance Hidrológico para la Microcuenca del Arroyo el Bofo	24
Tabla 3.11 Balance Hidrológico para la Microcuenca del Arroyo Grande	26
Tabla 3.12 Balance Hidrológico para la Microcuenca Afluentes Directos al Caribe	28
Tabla 3.13 Caudales medios para la Microcuenca del Arroyo Bofo	29
Tabla 3.14 Caudales máximos para la Microcuenca del Arroyo Bofo	30
Tabla 3.15 Caudales mínimos para la Microcuenca del Arroyo Bofo	31
Tabla 3.16 Caudales medios para la Microcuenca del Arroyo Grande	32
Tabla 3.17 Caudales máximos para la Microcuenca del Arroyo Grande	33
Tabla 3.18 Caudales mínimos para la Microcuenca del Arroyo Grande	34
Tabla 3.19 Caudales medios para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe	35
Tabla 3.20 Caudales máximos para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe	36
Tabla 3.21 Caudales mínimos para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe	37
Tabla 3.22 Analisis multitemporal del área del proyecto	43
Tabla 3.23 Eventos de inundaciones según el sistema nacional de gestión del riesgo de desastre	47
Tabla 3.24 Solicitud de información ante la autoridad ambiental	48
Tabla 3.25 Vertimientos sobre aguas superficiales en el área de influencia del proyecto	49
REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S	49

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACION A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPÍTULO 3.2.4 HIDROLOGÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1 Ubicación de las estaciones analizadas para el proyecto	3
Figura 3.2 Cuerpos de agua artificiales localizados en el Área de Influencia del Proyecto	4
Figura 3.3 Microcuencas respecto al área de influencia físico-biótica	8
Figura 3.4 Régimen de lluvia Arroyo Bofo	18
Figura 3.5 Régimen de lluvia Arroyo Grande	19
Figura 3.6 Régimen de lluvia Afluentes Directos al Caribe	19
Figura 3.7 Precipitación media total anual. Promedio multianual 1981 - 2010	20
Figura 3.8 Balance Hídrico para la Microcuenca del Arroyo Bofo	24
Figura 3.9 Balance Hídrico para la Microcuenca del Arroyo Grande	26
Figura 3.10 Balance Hídrico para la Microcuenca Afluentes Directos al Caribe	28
Figura 3.11 Caudales Medios para la Microcuenca del Arroyo Bofo	30
Figura 3.12 Caudales Máximos para la Microcuenca del Arroyo Bofo	31
Figura 3.13 Caudales Mínimos para la Microcuenca del Arroyo Bofo	32
Figura 3.14 Caudales Medios para la Microcuenca del Arroyo Grande	33
Figura 3.15 Caudales Máximos para la Microcuenca del Arroyo Grande	34
Figura 3.16 Caudales Mínimos para la Microcuenca del Arroyo Grande	35
Figura 3.17 Caudales Medios para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe	36
Figura 3.18 Caudales Máximos para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe	37
Figura 3.19 Caudales Mínimos para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe	38
Figura 3.20 Relación espacial de las inundaciones (Fenómeno de la Niña 2010-2011) según SIAC respecto al área de influencia físico-biótica	40
Figura 3.21 Relación espacial de la susceptibilidad a inundaciones según el SIAC respecto al área de influencia físico-biótica	41
Figura 3.22 Distribución de sensibilidad de las áreas de inundación del área de influencia físico-biótica	46

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACION A LA LICENCIA
AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S**

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPÍTULO 3.2.4 HIDROLOGÍA

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 3.1 Arroyo Bofo	8
Fotografía 3.2 Arroyo Grande	9
Fotografía 3.3 Vertimiento sobre la bahía de Cartagena	49

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO

3.2 MEDIO ABIÓTICO

3.2.4 Hidrología

El componente de hidrología del presente estudio tiene como objetivo describir las principales características hidrológicas identificadas en el área de influencia físico-biótica, la cual se localiza en términos generales en el departamento de Bolívar, ciudad de Cartagena de Indias.

En este numeral se presentan los resultados de los procedimientos metodológicos señalados en el Capítulo 2, a partir de los cuales se identifican cada uno de los elementos y parámetros requeridos por la autoridad ambiental según los términos de referencia HITER-1-07 para la Construcción y Operación de Refinerías y Desarrollos Petroquímicos que Formen Parte de un Complejo de Refinación.

De igual manera cabe resaltar que la presente solicitud de modificación de licencia no contempla concesiones y/o permisos de Captación, Ocupación de cauce o Vertimientos adicionales a los vigentes actualmente para la refinería.

Para la elaboración de este ítem se tuvieron en cuenta las siguientes tareas:

- i. Actualización de la base cartográfica a partir de fotointerpretación y de la información capturada en campo, con respecto a las unidades hidrográficas presentes, a escala 1:10.000
- ii. Identificación de sistemas lenticos y loticos, en el cual se describen los principales cuerpos de agua localizados en el área de influencia físico-biótica, y análisis morfométrico de cuencas.
- iii. Definición de los patrones de drenaje de las corrientes presentes en el área.
- iv. Cálculo del régimen hidrológico y caudales característicos de las corrientes de mayor interés.
- v. Definición de la dinámica fluvial, donde se incluye análisis de la alteración de la dinámica fluvial.

En este sentido, la información utilizada para el desarrollo de dicha caracterización se obtuvo de dos maneras diferentes, la primera corresponde a la consulta de información secundaria proveniente de diversas fuentes (Tabla 3.1), en tanto que la segunda fuente de información corresponde a las actividades de levantamiento en campo, en donde se corroboró y complemento la información consultada inicialmente.

Tabla 3.1 Información secundaria contemplada

Tipo	Descripción
Información municipal	<ul style="list-style-type: none"> Plan de Desarrollo Distrital 2016-2019. Consejo distrital de Cartagena de Indias D.T Y C.13 de junio de 2016.
Información ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Plan de ordenamiento y manejo de la Ciénaga de la Virgen, Corporación Regional del Canal del Dique. CARDIQUE, 2006. Estudio Nacional del Agua 2014. IDEAM, MinAmbiente., 2015
Estudio de Referencia	<ul style="list-style-type: none"> Estudio de Impacto Ambiental para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Construcción y Operación de Plantas Nuevas en la Refinería de Cartagena por Adición del Terminal Portuario. Ecopetrol, 2009. Estudio de Impacto Ambiental para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Construcción y Operación de Plantas Nuevas en la Refinería de Cartagena por Adición del Terminal Portuario. Ecopetrol, 2008. Estudio de Impacto Ambiental, Refinería de Cartagena, Ecopetrol, 1997.
Información cartográfica	<ul style="list-style-type: none"> Imágenes de Satélite
Información hidrometeorológica	<ul style="list-style-type: none"> Información de registros mensuales multianuales de estaciones meteorológicas, IDEAM. Atlas interactivo del IDEAM. Decreto 1640 del 2 de agosto de 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (en adelante MADS). Resolución 337 de 1978. Codificación de Cuencas del Insntituto Colombiano de hidrología, meteorología y adcuación de tierras (HIMAT), hoy IDEAM. Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, IDEAM, MinAmbiente., 2013.

Fuente: ConCol by WSP, 2019.

Como punto de partida para la caracterización hidrológica del área de influencia, se realizó la identificación de la red de drenaje presente tomando como punto inicial la información cartográfica preliminar y la fointerpretación de la Imagen satelital.

De esta manera se procedió a realizar la respectiva actualización cartográfica a partir de la información capturada en campo, ajustada al área de influencia físico-biótica.

Una vez actualizada la red de drenajes, se delimitaron las unidades hidrográficas contenidas dentro del área de influencia físico-biótica, esta delimitación tuvo en cuenta la unidad hidrográfica definida desde el nacimiento de cada corriente hasta su desembocadura en otra corriente de mayor orden.

Como resultado de lo anterior, se obtuvo el Mapa de hidrología, en donde se identifican las diferentes unidades hidrográficas presentes en el área de estudio. Este se encuentra en el Anexo cartográfico. Mapa 9.CO_RCAR_X_HLG_20191011.

El régimen hidrológico de caudales para los cauces principales se obtuvo a partir de la

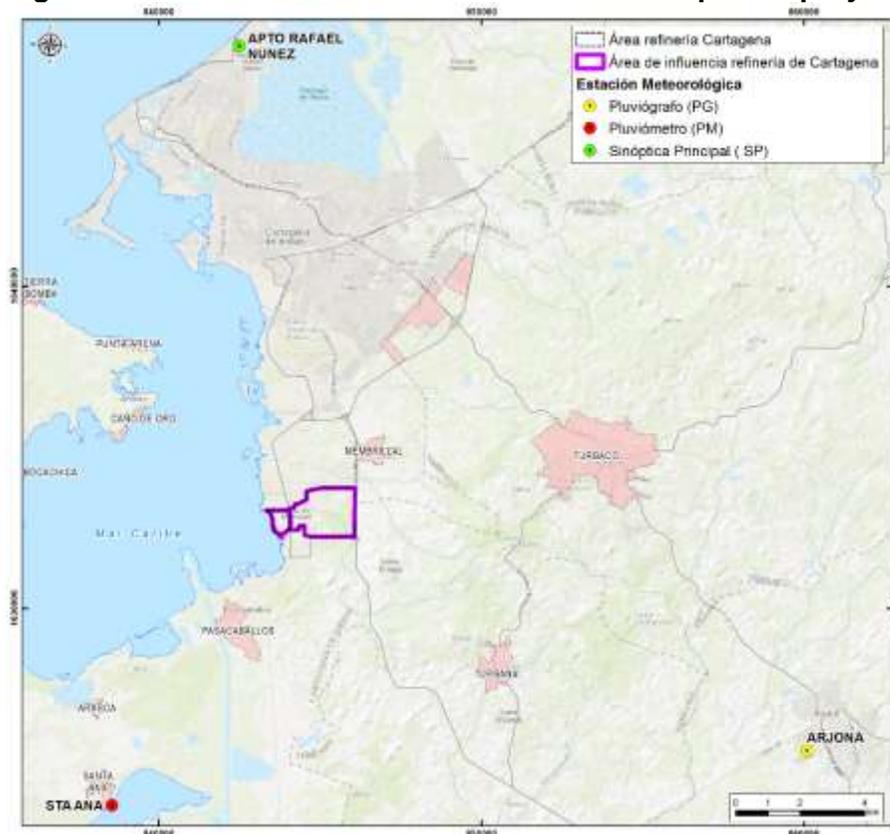
información de caudales suministrada por el Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH del IDEAM, mostrando a nivel mensual el comportamiento de los caudales mínimos, medios y máximos registrados en una estación de medición. Las estaciones hidrometeorológicas utilizadas para dichos cálculos, se relacionan en la Tabla 3.2 y se espacializan en la Figura 3.1.

Tabla 3.2 Estaciones analizadas para el proyecto

CÓDIGO	ESTACIÓN	TIPO	CORRIENTE	COORDENADAS PLANAS DATUM MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ	
				Este	Norte
14015020	Aeropuerto Rafael Nuñez	SP	Mar Caribe	842486,48	1647450,97
29030040	Arjona	PG	Ay el Caiman	860095,03	1625582.70
29030370	Santa Ana	PM	Mar Caribe	838535,31	1623892,18

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Figura 3.1 Ubicación de las estaciones analizadas para el proyecto



3.2.4.1 Identificación y descripción de los sistemas lenticos y loticos.

A continuación, se describen las principales fuentes de aguas superficiales que se encuentran dentro del área de influencia físico-biótica.

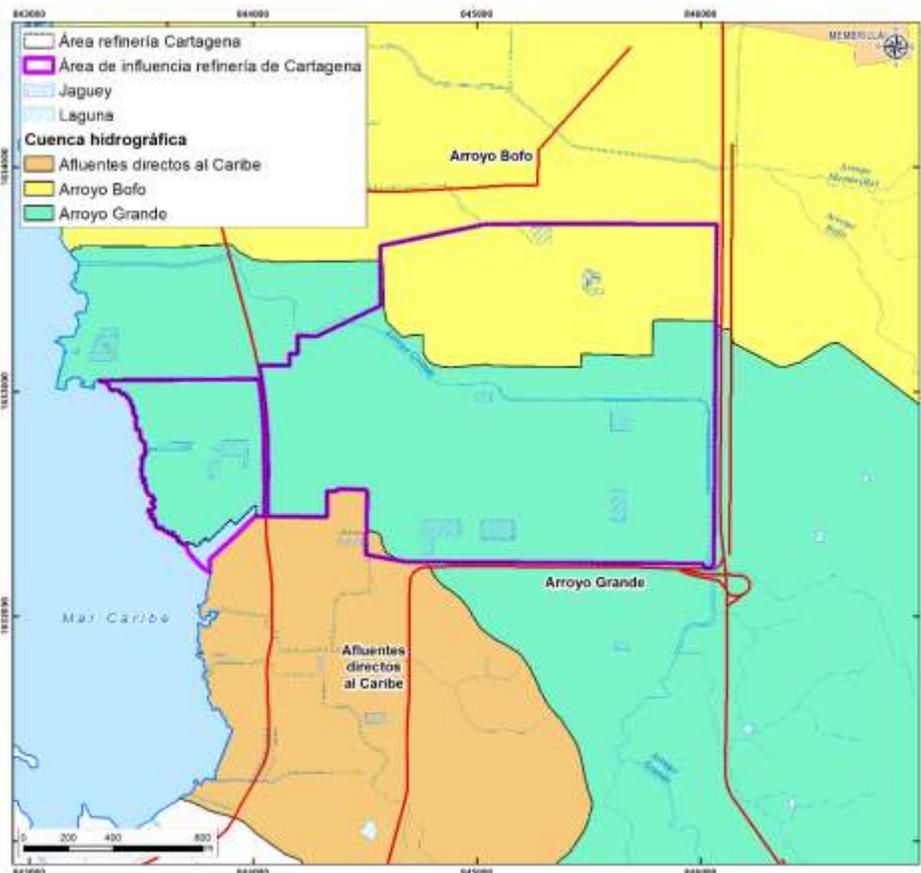
3.2.4.1.1 Sistemas lenticos

Los cuerpos de agua lenticos corresponden a aquellos que presentan un movimiento muy bajo o nulo y su corriente no tiene un sentido definido, dentro de esta categoría se encuentran los sistemas lenticos naturales y artificiales.

En los análisis realizados de la información cartográfica, imágenes satelitales y verificaciones en campo, no se identificaron sistemas naturales ni artificiales, en el área de influencia físico-biótica, como se observa en la Figura 3.2.

Es importante aclarar que dentro de la figura hacia el costado sur, se evidencian tres jagüeyes y una laguna, pero fuera del área de influencia.

Figura 3.2 Cuerpos de agua artificiales localizados en el Área de Influencia del Proyecto



Fuente: ConCol by WSP, 2019.

3.2.4.1.2 Sistemas loticos

Los sistemas lóticos corresponden a aquellos cuerpos de agua que presentan un flujo constante y en una dirección definida, y en adición un estado de cambio físico continuo, como los ríos, caños, quebradas, arroyos, entre otros.

Estos sistemas son conformados por las diversas corrientes fluviales que atraviesan el área de influencia físico-biótica. A continuación, se realizará una descripción general de las características relevantes de los principales cuerpos de agua que hacen parte de la red hídrica a ser jerarquizada para el proyecto desde lo regional a lo local, haciendo énfasis en los sistemas loticos que se encuentran dentro del área de influencia.

3.2.4.1.3 Jerarquización de cuencas hidrográficas

La jerarquización y codificación de la red hidrográfica perteneciente al área de influencia físico-biótica, se realizó siguiendo lo establecido en el documento: Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrogeológicas de Colombia (IDEAM, 2013), que tuvo su base metodológica en la Resolución 0337 del 4 de abril de 1978.

Según esta guía, “una de las más valiosas herramientas de la práctica hidrológica, después de la zonificación, clasificación e inventario de cuencas, es la codificación de las mismas; que permite estudiar y determinar en forma cuantitativa todos los procesos físicos que contribuyen a la formación y variación espacio temporal del recurso hídrico en una zona determinada; la asignación de un código a la cuenca facilita identificar y diferenciar unas cuencas de otras. Igualmente, el código permite acceder dentro de una base de datos a los diferentes atributos y características morfológicas y fisiográficas e interrelacionar con otras variables su distribución espacial del agua”.

Siguiendo estos lineamientos institucionales, donde se derivan cinco (5) áreas hidrográficas, 41 zonas y 309 subzonas hidrográficas, de acuerdo con la información secundaria el área del proyecto se encuentra localizado en el área hidrográfica del Caribe código uno (1), su zona hidrográfica es el Caribe Litoral código (12) y subzona hidrográfica Arroyos directos al Caribe con código (1206). En la Tabla 3.3 se puede apreciar la jerarquización realizada de las cuencas derivando afluentes hasta de orden 4, cuya división se puede observar en la Figura 3.3

Tabla 3.3 Hidrografía en la zona de estudio

AREA HIDROGRÁFICA	ZONA HIDROGRAFICA	SUBZONA HIDROGRAFICA	MICROCUENCA
Caribe (1)	Caribe Litoral (12)	Arroyos Directos al Caribe (1206)	Arroyo Bofo
			Arroyo Grande
			Afluentes directos al Caribe

Fuente: ConCol by WSP, 2019

i. Área hidrográfica: Caribe

De acuerdo con el Estudio Nacional del agua 2014, realizado por el IDEAM y MinAmbiente, se define el área hidrográfica del caribe con un régimen hidrológico bimodal, con dos temporadas de caudales máximos en mayo y noviembre en las cuencas de los ríos Catatumbo, Ranchería, León, y la cuenca alta del río Atrato.

En la cuenca baja del río Atrato, y en los ríos Sinú y San Juan de Urabá, el régimen es de tipo monomodal, con caudales máximos entre mayo y noviembre. Las cuencas que están bajo la influencia de la Sierra Nevada de Santa Marta, como las de los ríos Don Diego, Guachaca, Gaira y Piedras, también tienen un régimen monomodal, con caudales máximos

entre agosto y diciembre.

Sobre el río Atrato, en la cuenca alta, según la estación Puente las Sánchez ubicada a 2.000 msnm, el régimen es ligeramente bimodal, con un caudal medio de 13 m³/s y valores máximos en mayo y noviembre con un caudal cercano a 16 m³/s. La primera época de estiaje, en febrero, alcanza un caudal de 9 m³/s, y la segunda, en septiembre, de 12 m³/s. Luego de la confluencia del río Quito con el Atrato la magnitud del caudal medio aumenta a 1.053 m³/s, en la estación Belén; aguas abajo de Quibdó su régimen aún es bimodal, aunque la segunda época de estiaje no es tan marcada.

El río Atrato, en su recorrido hacia el Caribe, se ve influenciado por amplias llanuras inundables que sirven como zonas de amortiguamiento en las temporadas de alta escorrentía, hecho que puede favorecer la transición de un régimen bimodal en la parte alta a un régimen monomodal en la parte baja. En la estación Bellavista el río Atrato, con un régimen monomodal, tiene un caudal medio de 2.470 m³/s, un valor máximo en noviembre de 2.994 m³/s y un mínimo en marzo de 1.773 m³/s.

Adicional al río Atrato, algunos de los ríos que drenan directamente al mar Caribe, margen izquierda del río Magdalena, nacen o fluyen en los departamentos de Antioquia, Córdoba y Sucre. En el caso del río Sinú, en la parte alta, en inmediaciones de la represa de Urrá, la estación La Despensa muestra un régimen monomodal, con ascensos de 110 m³/s en marzo a 432 m³/s en julio. Al igual que el río Atrato en su recorrido hacia el Caribe, el río Sinú se encuentra con sistemas cenagosos. En Montería, la estación Montería, a una elevación de 17 msnm tiene un valor de caudal medio anual de 373 m³/s y en la estación Cotoca Abajo, a 5 msnm, el caudal medio anual es de 395 m³/s, con un máximo en octubre de 566 m³/s y un mínimo en febrero de 151 m³/s.

En el norte de Colombia, en el departamento de La Guajira, la estación Cuestecitas sobre el río Ranchería muestra un régimen bimodal, con caudales altos en mayo de 18 m³/s y en noviembre de 35 m³/s. Los caudales de estiaje ocurren en marzo y julio, con 2,22 m³/s y 7,41 m³/s respectivamente.

En el costado nororiental, los ríos que drenan al golfo de Maracaibo provienen del departamento Norte de Santander; ríos como el Catatumbo, Zulia, Pamplonita y Sardinata tienen un régimen bimodal. Sobre el río Catatumbo, en la estación Puerto BarcoGabarra, el caudal medio anual es de 244 m³/s.

Los caudales máximos en mayo y noviembre son de 273 y 416 m³/s respectivamente. Los caudales de estiaje en la primera temporada tienen lugar en marzo, con 118 m³/s, y en la segunda temporada en julio, con 195 m³/s. El segundo río en magnitud de caudal medio en la región del Catatumbo es el Zulia, con un caudal de 120 m³/s en la estación Puerto León.

El régimen hidrológico del área hidrográfica del Caribe presenta característica bimodal, con dos temporadas de caudales máximos en mayo y noviembre en las cuencas de los ríos Catatumbo, Ranchería, León, y la cuenca alta del río Atrato.

ii. Zona hidrográfica: Caribe Litoral

De acuerdo con el documento Sistemas morfogénicos del territorio colombiano elaborado por el IDEAM en el año 2010. La zona hidrográfica del Caribe Litoral, comprende aquellos espacios donde ocurre una compleja interacción entre los elementos y factores oceánicos y terrestres, condicionados por acciones atmosféricas, hidrogeomorfológicas y geológicas y modificado por las formas de ocupación humana. En el litoral existe una gran variedad de geoformas y sistemas morfogénicos derivados de las estructuras geológicas, de las condiciones bioclimáticas pasadas y actuales, de los cambios del nivel del mar, de la disponibilidad de sedimentos para la formación de playas, de la naturaleza de las corrientes marinas y de las formas de ocupación.

La orogenia creó pendientes fuertes y la disección aumenta la pendiente de las vertientes; así, sus vertientes son real y potencialmente inestables. Estas condiciones anteriores, mediadas por el potencial hidrogravitatorio, implican un ingente transporte de materiales detríticos hacia las llanuras aluviales, los litorales y el mar.

La cuenca litoral se clasifica como “marginal convergente” por su ubicación próxima y paralela a los límites de placas litosféricas, hecho que implica movilidad tectónica y procesos de acreción.

El litoral Caribe evidencia características subtropicales de tendencia seca, especialmente en el sector central y noreste.¹

iii. Subzona hidrográfica: Arroyos Directos al Caribe

Según el Acuerdo No 002 de 2011 “por el cual se declara en ordenación la cuenca hidrográfica de los arroyos directos al mar Caribe” esta subcuenca se encuentra localizada en la parte noroccidental del departamento del Atlántico, conformada por el territorio de siete municipios de ese departamento (Puerto Colombia, Tubará, Juan de Acosta, Piojo, Luruaco, Usiacurí y Repelón) y una parte de la zona norte del Departamento de Bolívar, el cual comprende los municipios de Santa Catalina, Clemencia y parcialmente los municipios de Villanueva, Santa Rosa y el Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias; con una extensión total aproximada de 952.2 km².

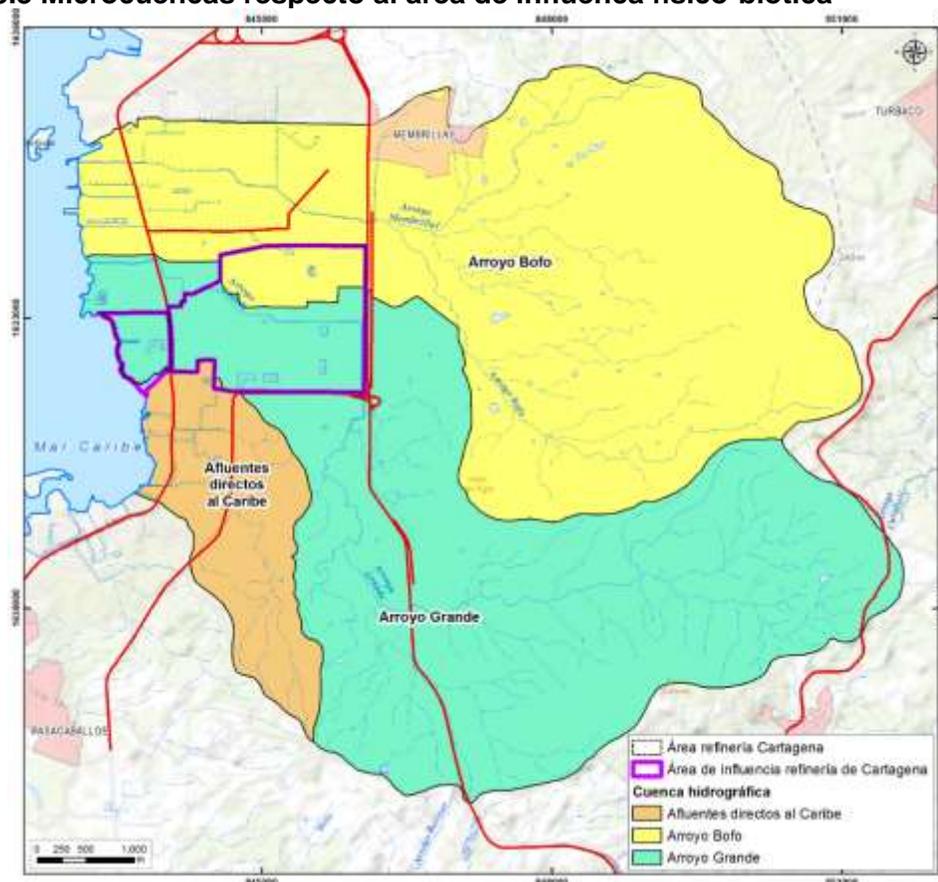
La subzona hidrográfica Arroyos directos al mar caribe en su totalidad (es decir incluyendo la porción de la subcuenca de la ciénaga de Mallorquín el Departamento de Atlántico) y el territorio del Departamento de Bolívar tiene una extensión de 122.250 has aproximadamente, en donde la jurisdicción de la CRA posee un equivalente al 77,85% de la cuenca y CARDIQUE 22,15%.

iv. Microcuencas

A continuación, se presenta la descripción de las microcuencas de interés para el área de influencia físico-biótica del presente estudio. Ver Figura 3.3

¹ Sistemas morfogénicos del territorio Colombiano, IDEAM, Junio 2010

Figura 3.3 Microcuencas respecto al área de influencia físico-biótica



Fuente: ConCol by WSP, 2019

a. Arroyo Bofó

Esta microcuenca presenta una forma oval redonda a oval oblonga, la cual cuenta con un área promedio de 21,31 Km², una longitud de 10,17 Km del cauce principal y ancho de 2,10 km. Drena de Este a Oeste, desembocando sus aguas en el Mar Caribe (Fotografía 3.1).

Fotografía 3.1 Arroyo Bofó



Fuente: Diagnostico Ambiental proyecto de crecimiento de la infraestructura petroquímica, 2010

b. Arroyo Grande

Se ubica al norte de la cuenca del Arroyo La Cruz, al sur del poblado de Arroyo Grande, con un área promedio de 19,47 Km², y una longitud de 8,20 km de cauce principal. Ver (Fotografía 3.1 Fotografía 3.2).

Este arroyo y sus afluentes, son corrientes de tipo efímero o sea que permanecen secas la mayor parte del tiempo, por lo que su dinámica fluvial no es continua. En esta microcuenca se evidencian tres (3) jagüey y una (1) laguna, las cuales se encuentran fuera del área de influencia físico-biótica.

Fotografía 3.2 Arroyo Grande



Fuente: Concol by WSP, 2019

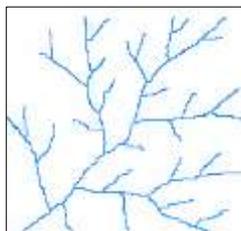
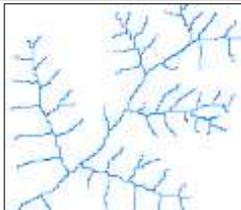
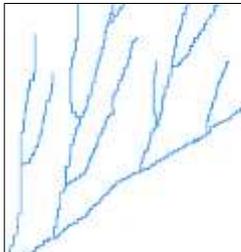
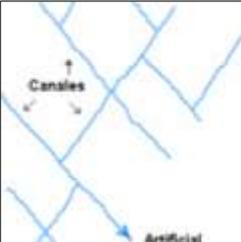
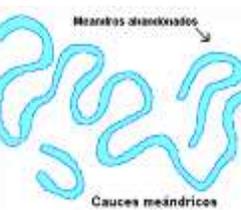
c. Afluentes directos al Caribe

Esta microcuenca presenta una forma oval redonda a oval oblonga, la cual cuenta con un área promedio de 3,78 Km², una longitud de 4,56 Km del cauce principal y ancho de 0,83 Km. Drena de Este a Oeste, desembocando sus aguas en el Mar Caribe.

3.2.4.2 Patrones de drenaje a nivel regional

Los patrones de drenaje son configuraciones en las redes hídricas que presentan ciertos arreglos geométricos o irregulares, que permiten su relación con sus propiedades hidrológicas o hidrogeológicas (Londoño, 2001). Dependiendo de la forma que presenten los cauces que posee la cuenca, se puede hablar de patrones de drenaje, entendido esto como la forma que tiene él o los cauces encargados de drenar o extraer el agua de los terrenos circundantes (vertientes). En la Tabla 3.4, se presenta la descripción de algunos de los patrones de drenaje citados en la literatura.

Tabla 3.4 Descripción de los patrones de drenaje con base en su forma

SISTEMA DE DRENAJE	FORMA	DESCRIPCIÓN
Dendrítico		Es el patrón que más frecuentemente se presenta, y se caracteriza por mostrar una ramificación arborescente en la que los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos. Se desarrolla en suelos homogéneos, moderadamente permeables, con pendientes suaves y sin ningún tipo de control. Se presenta, con frecuencia, en zonas de rocas sedimentarias blandas, aluviones finos, tobas volcánicas, depósitos de till glacial (brecha consolidada o roca sedimentaria, cuyos materiales de partida se han formado por fenómenos glaciares), principalmente.
Pinado		Corresponde a un drenaje dendrítico modificado que presenta una gran cantidad de tributarios cortos y poco espaciados, e indica un elevado contenido de limo en el suelo. Es típico de zonas planas o casi planas, con materiales muy homogéneos, friables y finos, eólicos o aluviales, como: loess (roca sedimentaria incoherente, de partículas muy finas), ceniza volcánica, till. Tampoco presenta controles.
Paralelo o sub paralelo		Este patrón presenta los tributarios paralelos o casi paralelos entre sí. Tiene la característica que se puede presentar por influencia de control topográfico o estructural, siendo más común el topográfico.
Artificial		Cobija todas las obras que realiza el hombre para evacuar los excesos de agua de zonas mal drenadas. No se debe confundir con las acequias de riego en zonas áridas o semiáridas.
Rectos		Son tramos del cauce que discurren en línea casi recta y que pueden estar asociados con problemas de fallas que lo están controlando. Este tipo de canales no son frecuentes en la naturaleza. También se presenta este tipo de cauces en ríos canalizados y, en este caso, no hay relación entre el cauce y algún fenómeno geológico.
Meándricos		Este tipo de cauces es indicativo, según Strahler (1979), de ríos que están en su etapa de madurez, caracterizados por poseer valles amplios y planos, en los cuales el cauce se desplaza formando lazos u ondulaciones más o menos regulares, que aumentan grandemente su longitud, con respecto a la longitud que presenta el valle.

SISTEMA DE DRENAJE	FORMA	DESCRIPCIÓN
Trenzados	 <p>El diagrama muestra un sistema de drenaje con múltiples canales interconectados que forman una red compleja y anastomosada. Se ven depósitos de sedimentos en las zonas de confluencia y dentro de los canales.</p>	<p>Los cauces trenzados, llamados también por Strahler (1979) anastomosados o anastomóticos, evidencian un aporte de sedimentos a las corrientes, mayor del que ellas pueden transportar; por esto se observa que los depósitos de material dentro del cauce del río son bastante considerables, obligando a las corrientes a dividirse en una serie de canales interconectados (brazos), y separados por islas, con lo cual van adquiriendo una apariencia de trenza. Los canales trenzados tienden a ser muy anchos y relativamente poco profundos, con materiales gruesos en el fondo y bien gradado.</p>

Fuente: Adaptado a partir de (Londoño, 2001)

Con base en la cartografía a escala 1:25.000, levantamientos y verificaciones en campo de corrientes de agua no cartografiadas por el IGAC, la escala de la hidrografía se ajustó a 1:10.000.

Luego de realizar este ejercicio se definió que la red de drenaje en el área de influencia físico-biótica, es un sistema artificial y dendrítico, esto debido a que esta red cubija todas las obras que realiza el hombre para evacuar los excesos de agua de zonas mal drenadas. Este sistema se presenta dada la intervención realizada por ECOPETROL S.A. para la rectificación y adecuación del arroyo Grande, el cual inundaba toda el área de la Refinería.

Así mismo, fuera del área de influencia físico-biótica, se presentan drenajes dendríticos los cuales se desarrollan en aquellas áreas donde el curso principal fluye en una zona de pendiente y de control estructural distintos a los de la zona por la que se desarrollan los tributarios, el área drenada por los tributarios estará cubierta probablemente con sedimentos relativamente resistentes, ofreciendo un control más fuerte que aquel de la zona donde corre el curso principal. En este caso se tiene un tributario mayor bien definido, con mayor cantidad de caudal, donde llegan una serie de afluentes pequeños. Se presentan cuando hay una captura intensa y además existe un control estructural o topográfico.

De acuerdo con el comportamiento hidrológico e hidrogeológico regional, el tipo de suelo y la cobertura vegetal, se pueden presentar los siguientes tipos de drenaje:

i. Permanentes

Son todas aquellas corrientes o cuencas hidrográficas, que siempre mantienen un caudal o flujo base, independientemente de que sea una época de lluvias o sequía y/o en condiciones climáticas normales, pero fundamentalmente, se da permanencia a un volumen mínimo en el lecho durante los períodos o ciclos más secos en la región. A partir de información de los habitantes de la zona se infiere que las quebradas más representativas son de tipo permanente.

ii. Intermitentes

Son aquellas corrientes cuyo caudal durante las épocas de precipitaciones bajas disminuye considerablemente hasta el punto de secarse. Para identificar este tipo de corrientes lo ideal

es hacer una inspección de campo y realizar entrevistas a ribereños, con el fin de poder identificar las corrientes que efectivamente disminuyen su caudal cuando las condiciones climáticas son adversas (época seca).

En la Tabla 3.5, se define el tipo de drenaje de las corrientes presentes en el área de influencia físico-biótica, conforme la información levantada en campo respecto a verificaciones de drenajes, entrevistas a ribereños y la cobertura identificada.

Tabla 3.5 Tipos de drenaje de las corrientes presentes en el AI del proyecto

ID	CORRIENTE	TIPO DE DRENAJE
1	Arroyo Bofo	Dendrítico permanente
2	Arroyo Grande	Dendrítico intermitente
3	Afluentes directos al Caribe	Dendrítico intermitente

Fuente: ConCol by WSP, 2019

3.2.4.3 Descripción y localización de la red hidrológica

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

En la Tabla 3.6 se plantea una alternativa que encierra elementos condicionantes como el caudal y el ancho del lecho. En la clasificación propuesta se involucra el área de drenaje, sin embargo, éste componente tiene un análisis o visión diferente en cada modelo o región del país; debido a que existen notables diferencias en la calificación de una cuenca de 50 Km² a una de 100 Km², que se localice en la cordillera o que esté en el llano o a zonas semidesérticas, en la clasificación propuesta, deben ser combinados varios parámetros físicos para definir el tamaño de la cuenca y adicionalmente estar acorde con el cálculo de los caudales característicos.

Tabla 3.6 Parámetros para la clasificación de cuencas

TIPO DE CUENCA	ÁREA DE LA CUENCA	ANCHO DE LA SECCIÓN	CAUDAL MEDIO	PROFUNDIDAD DEL AGUA
Pequeña	A ≤ 100 Km ²	B ≤ 10 m	Q ≤ 1,0 m ³ /seg	H ≤ 0,50 m
Mediana	A:100 a 1000 Km ²	B:10 a100 m	Q : 1 a 25 m ³ /seg	H: 0,50 a 2,0m
Grande	A > 1000 Km ²	B >100 m	Q >25 m ³ /seg	H > 2,0m

Fuente: Hidrología Ambiental – A. Salazar - Bogotá 2008

Según este planteamiento las cuencas jerarquizadas son en su totalidad de tipo “Pequeña”. En la Tabla 3.7 , se presentan el direccionamiento y la longitud del drenaje de orden 4 dentro del AI de la refinería de Cartagena.

Tabla 3.7 Identificación y distribución espacial de la red de drenaje del AI

ID	CORRIENTE ORDEN 4	LONGITUD Km	DIRECCIÓN	RECEPTOR
1	Arroyo Grande	10,17	W-E	Mar Caribe
2	Arroyo Bofo	12,76	W-E	Mar Caribe
3	Afluentes directos al Caribe	0,0045	W-E	Mar Caribe

Fuente: ConCol by WSP, 2019

3.2.4.4 Descripción y Caracterización morfométrica

Las características de una cuenca y de las corrientes que forman el sistema hidrográfico pueden representarse cuantitativamente mediante índices de forma y relieve de la cuenca y de la conexión con la red fluvial. Muchos de los índices son razones matemáticas, por lo que pueden utilizarse para caracterizar y comparar cuencas de diferentes tamaños.

El ingeniero e hidrólogo Estadounidense Robert E. Horton fue el primero que estableció un método cuantitativo para analizar las redes de drenaje. Esta clasificación de las corrientes, desarrollada a comienzos de la década de 1940, establece una estructura jerárquica (Chow, 1994). Horton estableció en 1945 las leyes estadísticas de la composición de las redes de drenaje en las que relacionaba la categoría, número, longitud y área de drenaje de las corrientes. Las leyes de Horton, como se han denominado, fueron modificadas y ampliadas con posterioridad, principalmente por los investigadores estadounidenses A. N. Strahler y R. L. Shreve.

La morfometría hidrográfica actual tiende a centrarse en el área, longitud, forma, atributos del relieve y densidad de drenaje de la cuenca. La importancia de este tipo de caracterizaciones radica, en la inferencia que genera sobre fenómenos de inundaciones, por ejemplo.

Como insumo principal para el análisis morfométrico, se utiliza el modelo digital de terreno (modelo de 12,5m). La información hidrográfica utilizada es fuente IGAC escala 1:10.000 y la complementación que el equipo técnico realizó con el trabajo de campo, por lo tanto, es esta misma escala la resolución del análisis morfométrico.

i. Área de las cuencas - área aferente (A)

Parámetro que resulta ser uno de los más importantes ya que está directamente relacionado con los procesos hidrológicos que se dan al interior de las mismas. Adicionalmente se determinaron para cada punto de interés los perímetros, ya que en conjunto con el área permiten inferir sobre la forma de la cuenca.

- Longitud del cauce principal (Lt) e índice de sinuosidad (Ks)

Es la distancia del recorrido que hace el cauce principal desde su nacimiento hasta su desembocadura medida en kilómetros. Usualmente Lt presenta un grado de sinuosidad, el cual se representa a través del coeficiente de sinuosidad Ks que constituye la relación entre la distancia total configurada por el recorrido de la corriente Lt, +sobre la distancia lineal desde el nacimiento hasta la desembocadura LI (Domínguez C., 2010).

$$K_s = \frac{L_t}{L_l}$$

ii. Densidad de la red hidrográfica (D)

Este parámetro se define como el cociente entre la longitud total de los cauces que conforman el sistema fluvial de la cuenca, expresados en kilómetros y el área total de la cuenca, expresada en kilómetros cuadrados (Horton, 1945). Matemáticamente se expresa como:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n L_{t_i}}{A}$$

Donde n es el número de corrientes visibles en la cartografía disponible y A es el área en kilómetros cuadrados la cuenca evaluada.

iii. Ancho medio de la cuenca (B)

Se determina como el cociente entre el área de la cuenca y la longitud lineal de la corriente principal:

$$= \frac{A}{L_l}$$

iv. Elongación de la cuenca o coeficiente de forma (σ)

Se calcula como el cociente entre la longitud lineal de la corriente principal L_l y el ancho medio de la cuenca B :

$$\sigma = \frac{L_l}{B} = \frac{L_l^2}{A}$$

v. Coeficiente de compacidad (K_c)

Es la relación entre la longitud del perímetro de la cuenca P_{cuenca} y el perímetro de un círculo con área equivalente a la de la cuenca $P_{círculo}$

$$k_c = \frac{P_{cuenca}}{P_{círculo}} = \frac{P_{cuenca}}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P_{cuenca}}{\sqrt{A}}$$

La Tabla 3.8 contiene la clasificación de cuenca en función del índice de compacidad según la FAO (FAO, 1985). Cuenca con valores de compacidad superiores a 1.5 tienden a tener un tránsito más largo de sus crecientes y por lo tanto menores problemas de inundación.

Tabla 3.8 Clasificación de cuenca de la FAO en función del índice de compacidad

TIPO	RANGO	DESCRIPCIÓN
KC1	1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
KC2	1.26 – 1.50	Oval redonda a oval oblonga
KC3	1.51 – 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
KC4	> 1.75	rectangular oblonga

Fuente: (FAO, 1985)

vi. Pendiente del cauce principal (I_{cauce})

Por pendiente se entiende el cociente entre los incrementos de alturas/cotas y los incrementos de longitud de la corriente para un tramo determinado. La pendiente promedio I_{cauce} es el cociente entre la caída de alturas/cotas ΔH sobre la longitud del tramo ΔL en la que esta caída ocurre (Domínguez C., 2010):

$$I_{cauce} = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

vii. Altura de la cuenca (H_{cuenca})

Se calcula con base al diagrama de frecuencias de la curva hipsométrica.

$$H_{cuenca} = H_1f_1 + H_2f_2 + \dots + H_nf_n$$

Aquí: H_i es la cota de altura en la mitad del intervalo de cada clase y f_i es la frecuencia que le corresponde a ese intervalo.

viii. Número de orden de la cuenca (N)

Se determina con base en el número de orden máximo obtenido para el cauce principal de la red hídrica de la cuenca. El orden del río se calcula con base en el método propuesto por Strahler en 1952, donde los ríos en su nacimiento tienen valor de orden 1 y estos aumentan de orden solo cuando 2 o más ríos de un mismo orden se cruzan. Por lo tanto, la intersección de un río de primer orden y un río de segundo orden mantendrá el río de segundo orden, si se unen 2 o más ríos de segundo orden el río resultante será de tercer orden.

ix. Tiempos de concentración

Es el tiempo transcurrido entre el final del hietograma de excesos y el final del escurrimiento directo, siendo ésta la definición que aparece reseñada en la literatura con mayor frecuencia. Sin embargo, otros autores reportan el T_c como el tiempo comprendido entre el centroide del hietograma de excesos y el punto de inflexión sobre la curva de recesión del hidrograma de escurrimiento directo.

Además, se puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la

lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial.

Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo, desarrolladas por diversos autores. Algunas de las fórmulas que se emplean para el cálculo de este indicador se encuentran, Kirpich, Téméz, Giandotti, Bransby-Williams. Sus cálculos se muestran a continuación:

$$T_c = 0.02 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Tiempo de Concentración por Kirpich

Fuente: (Wanielista, 1997)

Donde:

- T_c Tiempo de concentración (min)
- L Longitud del cauce principal en (m)
- S Pendiente del cauce principal (m/m)

$$T_c = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.75}$$

Tiempo de Concentración por Temez

Fuente: (Chow, 1994)

Donde:

- T_c Tiempo de concentración (horas)
- L Longitud del cauce principal en (km)
- S Pendiente del cauce principal (m/m)

$$T_c = \left[\frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \right]^{0.75}$$

Tiempo de Concentración por Giandotti

Fuente: (Chow, 1994)

Donde:

- T_c Tiempo de concentración (Horas)
- L Longitud del cauce principal en (Km)
- A Área de la cuenca (km²)
- H Diferencia de alturas del cauce principal (m)

$$T_c = \frac{L}{1.5D} \sqrt[5]{\frac{A^2}{S}}$$

Tiempo de Concentración por Bransby-Williams

Fuente: (Chow, 1994)

Donde:

- Tc Tiempo de concentración (Horas)
- L Longitud del cauce principal en (Km)
- A Área de la cuenca (km²)
- S Pendiente media del cauce principal (%)
- D Diámetro del círculo de área equivalente a la superficie de la cuenca (km)

Como resultado del procesamiento de la cartografía base, como del modelo de elevación digital de terreno y el levantamiento de información en campo, en la Tabla 3.9 se presentan las características físicas de las cuencas referentes a los índices y mediciones propuestas. (Ver Anexo 03. Caracterización ambiental, 3.1 Aspectos abióticos, 3.2.4 Hidrología).

Tabla 3.9 Características morfométricas de las cuencas aferentes a los puntos con intervención

PARÁMETRO	CUERPO DE AGUA		
	Arroyo Bofo	Arroyo Grande	Afluentes Directos al Caribe
Área [Km ²]	21,31	20,41	3,78
Perímetro [Km]	25,51	27,70	10,88
Longitud del cauce [km]	10,17	12,76	4,56
Cota máxima del cauce principal [msnm]	184,00	135,00	68,00
Cota mínima del cauce principal [msnm]	-2,00	-2,00	-4,00
ΔH [m]	186,00	137,00	72,00
Pendiente del cauce principal [m/m]	0,022	0,019	0,021
Altura media de la cuenca [msnm]	27	46	34
Densidad de drenaje [Km/Km ²] 1:25000	2.36	3.37	3.71
Ancho W [Km]	2,10	1,60	0,83
Coefficiente de forma horton [Kf]	0,21	0,13	0,18
Coefficiente de compacidad gravelius [Kc]	1,55	1,72	1,57
Índice de alargamiento	4,9	8,0	5,5
Índice de sinuosidad (Ks)	1,24	1,78	1,31
Tiempo de concentración (Horas)	8.66	11.75	3.59
Forma de la cuenca	Oval redonda a oval oblonga	Oval redonda a oval oblonga	Oval redonda a oval oblonga
Número de orden	3	3	3

Fuente: ConCol by WSP, 2019

3.2.4.5 Régimen hidrológico

El Régimen Hidrológico de las fuentes está asociado a una descripción probabilística de la variabilidad de los caudales medios, máximos y mínimos de las corrientes superficiales, en concordancia con las lluvias durante el año hidrológico y sus factores reguladores como la cobertura vegetal, los aportes de las aguas subterráneas y el tipo de suelos (Caicedo, 2008).

Es fácil definir el régimen cuando las cuencas hidrográficas están instrumentadas, es decir,

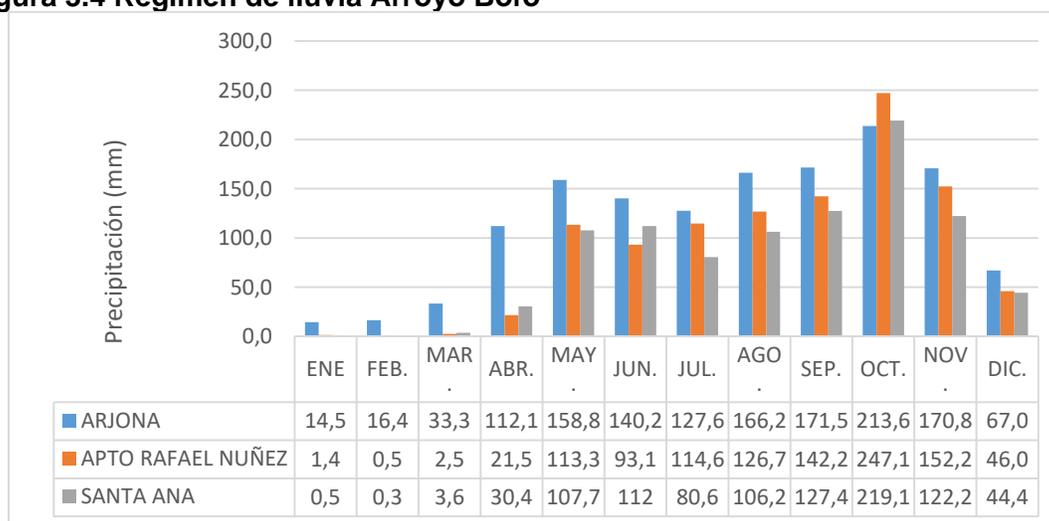
si cuentan con estaciones hidrológicas para medir diariamente el nivel del agua y poder contar con series históricas que determinen el régimen real de la esorrentía que se genera en la cuenca. Sin embargo, la mayoría de las cuencas pequeñas y medianas del país, no cuentan con estaciones hidrológicas, por lo tanto, se debe proceder a estimar los caudales a través de procedimientos indirectos y con averiguaciones en campo, sobre el estado de las fuentes hídricas especialmente durante la temporada de lluvias bajas.

Las cuencas jerarquizadas para este proyecto no cuentan con registros continuos de caudales, es decir, no hay estaciones hidrométricas en sus corrientes y por tal motivo se hace necesario estimar caudales a través del desarrollo de un balance hídrico, donde éste será alimentado mediante datos de temperatura y precipitación de las estaciones Aeropuerto Rafael Núñez, Arjona y San Ana, detalladas en la Tabla 3.2.

En esta parte se cita el régimen característico de la lluvia de las Microcuencas del Arroyo Bofo, Arroyo Grande y Afluentes directos al Caribe, mediante el procesamiento de los valores mensuales totales de precipitación de las estaciones ya mencionadas, como se puede observar en el Anexo 03. Caracterización ambiental, 3.1 Aspectos abióticos, 3.2.4 Hidrología. Igualmente, en este anexo se encuentran los datos del IDEAM.

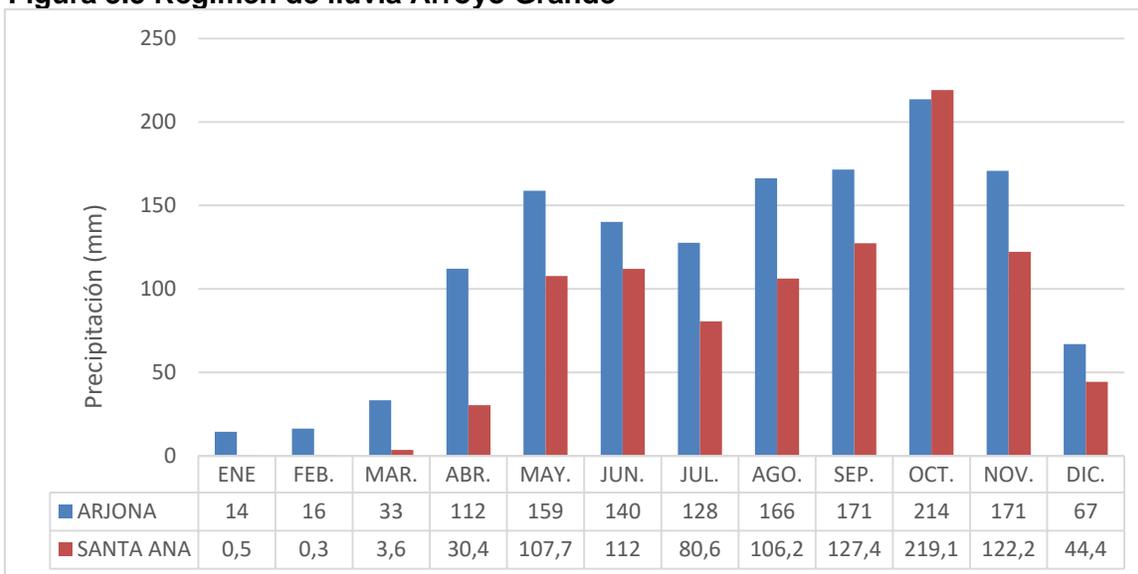
En la Figura 3.4, Figura 3.5 y Figura 3.6, se presenta el régimen de lluvias para las microcuencas (Arroyo Bofo, Arroyo Grande y Afluentes directos al Caribe), durante el año se presenta una temporada seca y una temporada de lluvias. La temporada seca se extiende de diciembre a abril, en estos meses llueve menos de 5 día al mes. En los meses de mayo a noviembre las lluvias son más frecuentes y en promedio llueve entre 10 y 15 días por mes. El mes más lluvioso es octubre, cuando llueve alrededor de 16 días y el volumen caído es mucho mayor a los demás meses.

Figura 3.4 Régimen de lluvia Arroyo Bofo



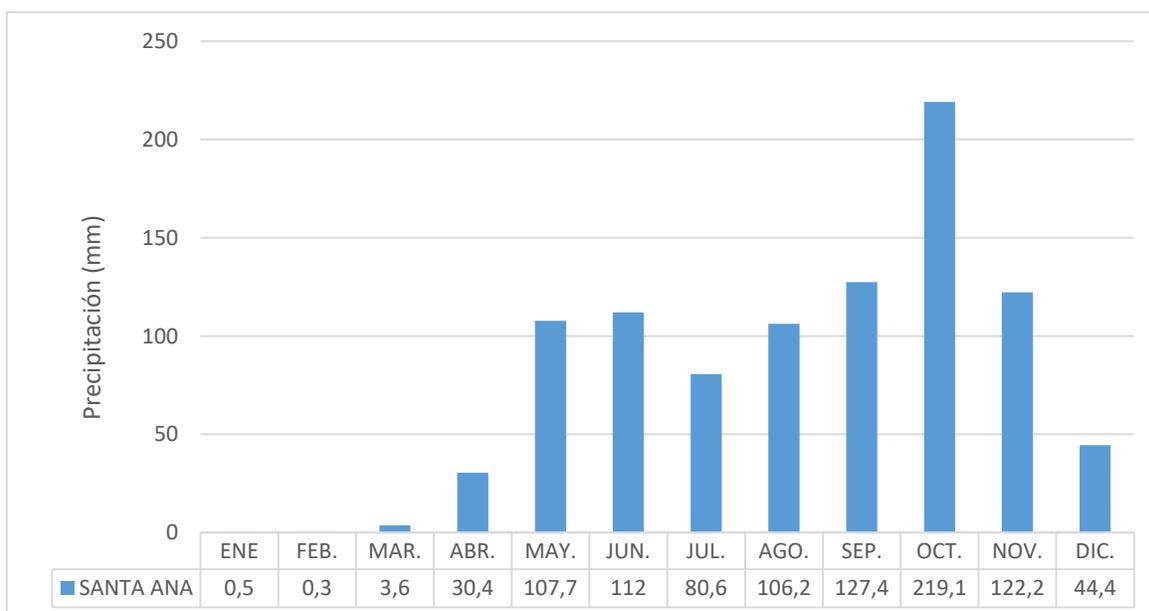
Fuente: ConCol by WSP, 2019

Figura 3.5 Régimen de Lluvia Arroyo Grande



Fuente: ConCol by WSP, 2019

Figura 3.6 Régimen de Lluvia Afluentes Directos al Caribe



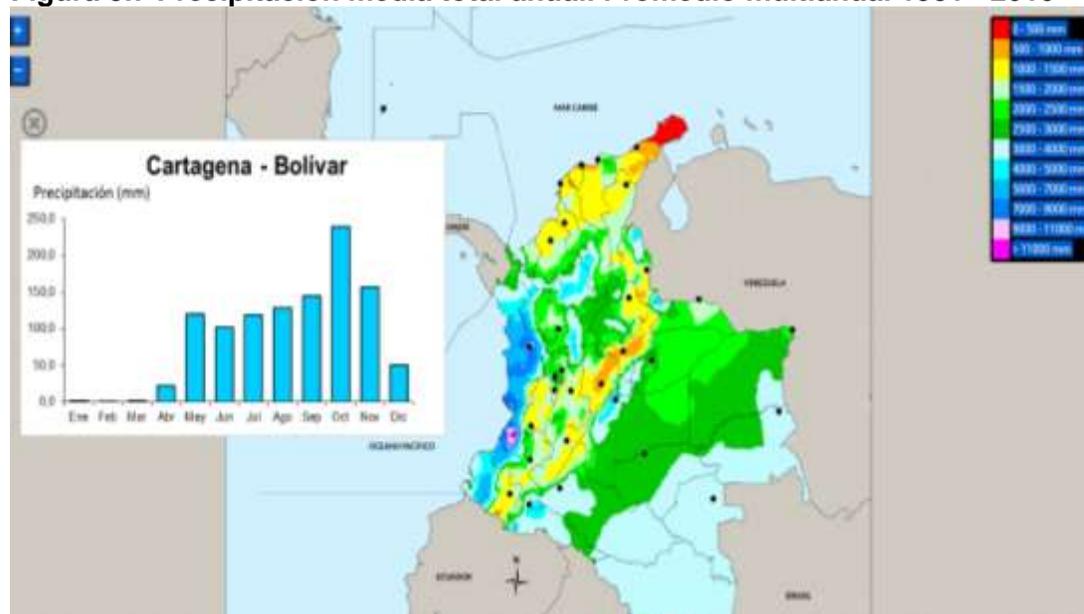
Fuente: ConCol by WSP, 2019

Este mismo comportamiento lo reporta el distrito turístico y cultural de Cartagena de Indias (Ver Figura 3.7). Donde la época de lluvias que se extiende desde mayo a noviembre se caracteriza por un régimen de lluvias abundantes. En esta época suelen presentarse los denominados ciclones tropicales, anticiclones subtropicales, ondas del este y colas de frentes, los cuales pueden aumentar el régimen de lluvias en todo el Caribe colombiano.

Durante el inicio de la época húmeda sobre el Mar Caribe, comienza a percibirse el ascenso paulatino de la Zona de Convergencia Intertropical sobre los 08°N, así como la reactivación de la baja presión anclada de Panamá, con lo cual se presentan las primeras precipitaciones.²

En la Figura 3.7, se puede observar Precipitación media total anual, para un promedio multianual que comprende los años 1981 – 2010, determinada por el IDEAM en el año 2014 y que se puede consultar en el atlas interactivo de la misma entidad en la página <http://atlas.ideam.gov.co>.

Figura 3.7 Precipitación media total anual. Promedio multianual 1981 - 2010



Fuente: Tomada del atlas interactivo del IDEAM, 2019

En cuanto a la temperatura la media mensual oscila entre 26,7 y 28,6 °C; presentando los valores más altos en los meses de junio a septiembre. La oscilación promedio alcanza 1°C a 2°C entre los registros del mes más frío con el mes más cálido, lo que da lugar a una zona de carácter isotermal, indicando que la temperatura media, no alcanza grandes variaciones a través del año y, por tanto, se considera constante y homogénea en la zona.

De otro lado la temperatura mínima oscila entre 25,4 °C y los 27,7 °C, siendo los meses más cálidos los correspondientes a junio a agosto, presentando concordancia con los valores de temperatura media reportados para las mismas estaciones. Finalmente, la temperatura máxima oscila entre 27,6 °C y los 29,8 °C, siendo el mes más cálido junio, presentando concordancia con los valores de temperatura media y mínima reportados para las mismas estaciones.

² Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP), Guzman D, Ruiz J, Cadena M, Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático Subdirección de Meteorología – IDEAM (2014)

Este parámetro se encuentra descrito y analizado a detalle en el capítulo 3.2.9 Atmosfera numeral 3.2.9.1. Clima.

3.2.4.6 Caudales máximos, medios y mínimos mensuales

La cuantificación del recurso hídrico superficial se realizó mediante la elaboración del balance hídrico para cada cuenca con el fin de realizar una correlación hidrológica, relaciones área – precipitación – caudal para de esta forma establecer un caudal aproximado característico de la zona.

Teniendo en cuenta que no existen registros históricos de caudales de los cuerpos de agua de interés en el área de influencia, ni datos en cuencas con características hidrológicas similares que pudieran ser homologables, la selección de la metodología de modelación de caudales se hace de acuerdo con la información de precipitación disponible para el área. Es importante aclarar que para el presente estudio no se solicita concesiones y/ o permisos de captación, ocupación de cauce ni vertimientos. Este ítem se realiza con el fin de caracterizar los drenajes presentes en la zona.

3.2.4.6.1 Balance hídrico

La lluvia como única fuente de alimentación de los procesos hidrológicos en una cuenca hidrológica, es uno de los componentes más importantes dentro de la ecuación de balance. Permite determinar el comportamiento de la disponibilidad del agua, la evapotranspiración, las épocas de recarga de agua, el déficit y el exceso de agua. A través del conocimiento de la evaporación potencial, del que se tienen registros de precipitación, se puede establecer el balance hídrico anual. Así es posible conocer la cantidad de agua que realmente se evapora desde el suelo y transpiran las plantas, la cantidad de agua almacenada por el suelo y la que se pierde por derrame superficial y profundo.

De esta manera, habrá meses con agua suficiente y meses en que se registre exceso o deficiencia de agua en forma manifiesta. También pueden ocurrir casos extremos en los que durante todo el año las precipitaciones sobrepasen las necesidades de agua o viceversa.

Para establecer cuantitativamente el recurso hídrico aprovechable dentro del área de influencia del proyecto, se realiza un balance hídrico a largo plazo basado en la ley de la conservación de la masa. De acuerdo con este modelo, la suma de las entradas y las salidas del recurso hídrico en el AI, en un determinado intervalo de tiempo Δt , define la variación del almacenamiento de agua Δu . Para un mejor entendimiento se tiene la expresión:

$$\sum_t^{t+\Delta t} Entradas - \sum_t^{t+\Delta t} Salidas = \Delta u \pm \xi$$

Donde ξ es el término residual de convergencia del balance hídrico a largo plazo, en este se ven reflejados los errores e incertidumbres en la definición de los elementos del balance hídrico. Para el área de influencia de la refinería, se determinó el recurso hídrico

aprovechable, los “déficits” y sus “excesos”, usando la precipitación promedio de las estaciones Aeropuerto Rafael Núñez, Arjona y Santa Ana con códigos 14015020, 29030040 y 29030370, respectivamente, cuyo input es la temperatura media. Se emplea esta salida en el balance y no la evaporación, porque con la ETP se está incluyendo indirectamente la Transpiración de la cobertura vegetal del territorio. (Ver Anexo 03. Caracterización ambiental, 3.1 Aspectos abióticos, 3.2.4 Hidrología).

i. Evapotranspiración Potencial (ETP)

La evapotranspiración potencial involucra los procesos de evaporación del agua líquida y la transpiración que sucede en las hojas de las plantas. Por esta razón la evapotranspiración potencial depende de distintos factores como el brillo solar y la cobertura vegetal, entre otros. Para la determinación de la ETP se empleó el método propuesto por (Thornthwaite, 1948).

Siguiendo el método, la ETP sin ajustar (representada por la letra e , en mm/mes) depende directamente de la temperatura media (representada por las letras t_m , en grados Celsius), afectada por un coeficiente exponencial (a), de la siguiente manera:

$$e = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot t_m}{I} \right)^a$$

Donde I , es el índice de calor anual, que se calcula sumando el índice de calor (i) mensual de los doce meses del año, de la siguiente manera:

$$I = \sum i_{\text{mensual}}$$
$$i_{\text{mensual}} = \left(\frac{t_m}{5} \right)^{1.514}$$

El parámetro a , se calcula según la siguiente expresión:

$$a = 0.000000675 \cdot I^3 - 0.0000771 \cdot I^2 + 0.01792 \cdot I + 0.49239$$

Después de realizar este procedimiento, se obtienen los valores de la evapotranspiración potencial (ETP) sin ajustar (e). Pero en el modelo de Thornthwaite se corrige la ETP sin ajustar (e), con un coeficiente (L) que tenga en cuenta el número de días en el mes y el número de horas de sol de cada día, dependiendo de la latitud y del mes (Tabulados).

Es decir,

$$ETP \text{ ajustada} = L \cdot e$$

$$L = \frac{\#días \text{ mes}}{30} \cdot \frac{\#horas \text{ luz en el día}}{12}$$

El ejercicio, se realizó para cada una de las microcuencas que se delimitaron para el presente estudio, a continuación, se muestra el ejercicio.

- **Balance hídrico Arroyo Bofo**

El Balance Hídrico para esta cuenca, se desarrolló con base en la información climática promedio de las estaciones del Aeropuerto Rafael Núñez, Arjona y Santa Ana y se tomó como referencia el gradiente de temperatura para la región Caribe, el cual según Eslava (1992), quien estableció a través de un modelo una buena aproximación de los valores de temperatura para cualquier sitio ubicado en Colombia a condición de conocer solo su altitud, es de $(5.53^{\circ}\text{C}/\text{km})$.³ Ver los cálculos en el Anexo 03. Caracterización ambiental, 3.1 Aspectos abióticos, 3.2.4 Hidrología.

Este análisis da como resultado una tendencia al déficit de agua en el suelo, ya que en la mayoría del año se denota según la Figura 3.8, un déficit constante para esta cuenca. En general solo hay dos meses del año (octubre y noviembre) donde se presenta exceso de agua en el suelo. La escorrentía total es 79,73 mm/ Anuales, y el déficit de agua en el suelo es de 747,359 mm/Anuales.

De acuerdo con la Tabla 3.10 y la Figura 3.8 se puede evidenciar la relación entre el régimen de lluvias y el déficit de agua en la zona, donde las escasas lluvias se presentan en un periodo de diciembre a abril, periodo en el cual se registran los más altos déficit de agua en la zona.

El alto valor del índice de evapotranspiración hace que se presente un déficit de recurso hídrico a lo largo del año lo que potencializa los conflictos por la disponibilidad del mismo, este comportamiento se debe a las bajas lluvias durante el año y una alta y constante temperatura durante el año.

Los bajos aportes de precipitación generan déficit durante todo el año, este comportamiento genera la intermitencia de las corrientes en la zona y no garantiza la oferta hídrica de los cuerpos de agua superficial presentes en ella, lo anterior es concordante exactamente con el período considerado como verano extremo en el histograma de precipitación elaborado para la presente cuenca.

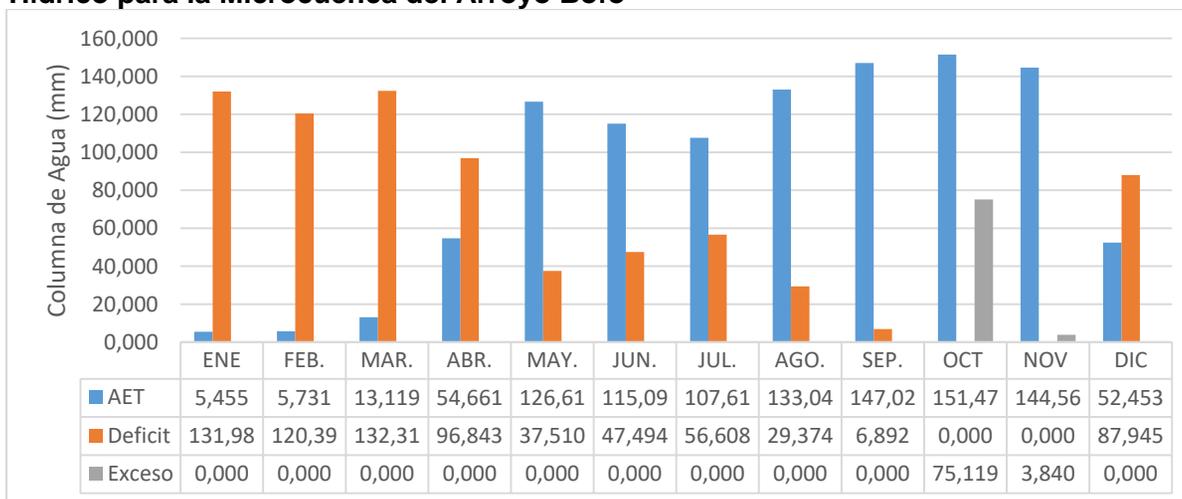
³ Pabón, J., J. Eslava & R. Gómez. 2001: Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. Meteorol. Colomb. 4:47-59. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

Tabla 3.10 Balance Hidrológico para la Microcuenca del Arroyo el Bofo

Mes	OCT	NOV	DEC	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.
Temperatura	28,157	28,012	27,374	26,820	26,922	27,264	27,920	28,529	28,757	28,501	28,564	28,482
Índice de Calor Mensual	13,691	13,584	13,119	12,719	12,792	13,039	13,517	13,966	14,135	13,945	13,992	13,931
Evapotranspiración potencial mensual sin ajustar (mm)	148,600	147,800	142,000	137,700	138,600	141,200	147,000	151,700	153,200	151,700	151,700	150,900
Factor de corrección por latitud	1,019	0,978	0,989	0,998	0,910	1,030	1,031	1,082	1,061	1,083	1,071	1,020
PET	151,477	144,560	140,398	137,436	126,126	145,436	151,504	164,127	162,588	164,224	162,416	153,918
P	226,596	148,400	52,453	5,455	5,731	13,119	54,661	126,617	115,094	107,616	133,042	147,026
P-PET	75,119	3,840	-87,945	-131,981	-120,395	-132,317	-96,843	-37,510	-47,494	-56,608	-29,374	-6,892
Delta RFU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
RFU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
AET	151,477	144,560	52,453	5,455	5,731	13,119	54,661	126,617	115,094	107,616	133,042	147,026
Deficit	0,000	0,000	87,945	131,981	120,395	132,317	96,843	37,510	47,494	56,608	29,374	6,892
Exceso	75,119	3,840	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Escurrem (mm)	37,959	20,900	10,450	5,225	2,612	1,306	0,653	0,327	0,163	0,082	0,041	0,020
Escurrem (m)	0,038	0,021	0,010	0,005	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Figura 3.8 Balance Hídrico para la Microcuenca del Arroyo Bofo



Fuente: ConCol by WSP, 2019

- **Balance hídrico Arroyo Grande**

El Balance Hídrico para esta cuenca, se desarrolló con base en la información climática promedio de las estaciones Arjona y Santa Ana y se tomó como referencia el gradiente de temperatura para la región Caribe, el cual según Eslava (1992), quien estableció a través de un modelo una buena aproximación de los valores de temperatura para cualquier sitio ubicado en Colombia a condición de conocer solo su altitud. Establece que el gradiente vertical de la temperatura media para toda Colombia ($5.53^{\circ}\text{C}/\text{km}$).⁴ Ver los cálculos en el Anexo 03. Caracterización ambiental, 3.1 Aspectos abióticos, 3.2.4 Hidrología.

Este análisis da como resultado una tendencia al déficit de agua en el suelo, ya que en la mayoría del año se denota según la Figura 3.9, un déficit constante para esta cuenca. En general solo hay dos meses en el año (octubre y noviembre) donde se presenta exceso de agua en el suelo. La escurrentía total es 65,95 mm/Anuales, y el déficit de agua en el suelo es de 706,579 mm/Anuales.

De acuerdo a la Tabla 3.11 y la Figura 3.9 se puede evidenciar la relación entre el régimen de lluvias y el déficit de agua en la zona, donde las escasas lluvias se presentan en un periodo de diciembre a abril, periodo en el cual se registran los más altos déficit de agua en la zona.

El alto valor del índice de evapotranspiración hace que se presente un déficit del recurso hídrico a lo largo del año lo que potencializa los conflictos por la disponibilidad, este comportamiento se debe a las bajas lluvias durante el año y una alta y constante temperatura durante el año.

Los bajos aportes de precipitación generan déficit durante todo el año, este comportamiento genera la intermitencia de las corrientes en la zona y no garantiza la oferta hídrica de los cuerpos de agua superficial presentes en ella, lo anterior es concordante exactamente con el período considerado como verano extremo en el histograma de precipitación elaborado para la estación seleccionada.

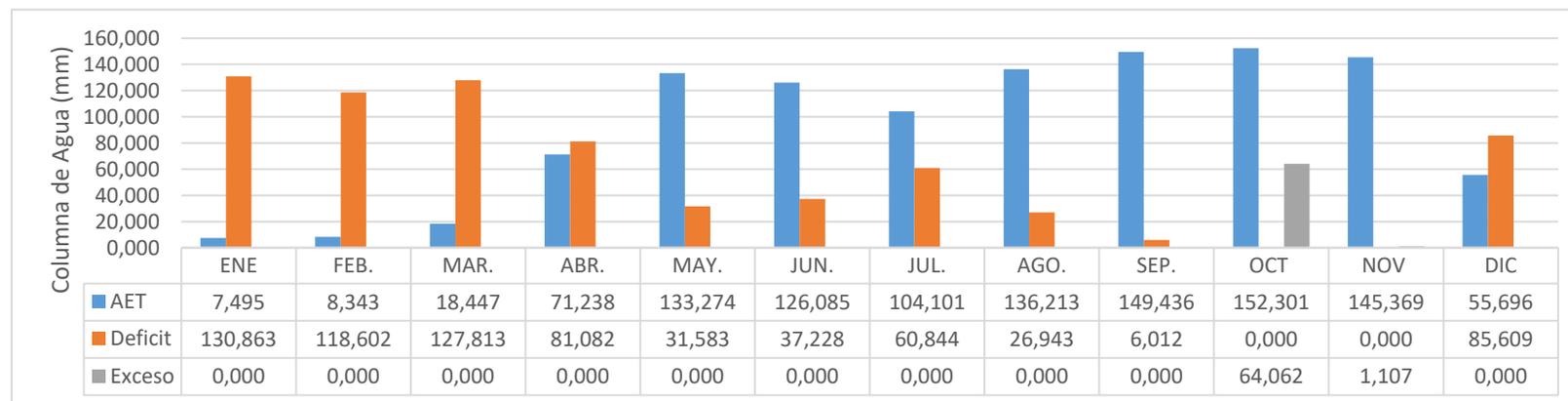
⁴ Pabón, J., J. Eslava & R. Gómez. 2001: Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. Meteorol. Colomb. 4:47-59. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

Tabla 3.11 Balance Hidrológico para la Microcuenca del Arroyo Grande

Mes	OCT	NOV	DEC	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.
Temperatura	28,262	28,117	27,479	26,925	27,027	27,369	28,025	28,634	28,862	28,606	28,669	28,588
Índice de Calor Mensual	13,768	13,662	13,195	12,794	12,868	13,115	13,594	14,044	14,213	14,023	14,070	14,009
Evapotranspiración potencial mensual sin ajustar (mm)	149,400	148,600	142,900	138,600	139,500	142,000	147,800	152,400	153,900	152,400	152,400	152,400
Factor de corrección por latitud	1,019	0,978	0,989	0,998	0,910	1,030	1,031	1,082	1,061	1,082	1,071	1,020
PET	152,301	145,369	141,305	138,359	126,945	146,260	152,320	164,857	163,313	164,946	163,156	155,448
P	216,363	146,477	55,696	7,495	8,343	18,447	71,238	133,274	126,085	104,101	136,213	149,436
P-PET	64,062	1,107	-85,609	-130,863	-118,602	-127,813	-81,082	-31,583	-37,228	-60,844	-26,943	-6,012
Delta RFU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
RFU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
AET	152,301	145,369	55,696	7,495	8,343	18,447	71,238	133,274	126,085	104,101	136,213	149,436
Deficit	0,000	0,000	85,609	130,863	118,602	127,813	81,082	31,583	37,228	60,844	26,943	6,012
Exceso	64,062	1,107	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Escurrem (mm)	32,431	16,769	8,385	4,192	2,096	1,048	0,524	0,262	0,131	0,066	0,033	0,016
Escurrem (m)	0,032	0,017	0,008	0,004	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Figura 3.9 Balance Hídrico para la Microcuenca del Arroyo Grande



Fuente: ConCol by WSP, 2019

- **Balance hídrico Afluentes directos al Caribe**

El Balance Hídrico para esta cuenca, se desarrolló con base en la información climática promedio de la estación Santa Ana y se tomó como referencia el gradiente de temperatura para la región Caribe, el cual según Eslava (1992b), quien estableció a través de un modelo una buena aproximación del gradiente vertical de temperatura media correspondiente a $(5.53^{\circ}\text{C}/\text{km})$.⁵ Ver los cálculos en el Anexo 03. Caracterización ambiental, 3.1 Aspectos abióticos, 3.2.4 Hidrología.

Este análisis da como resultado una tendencia al déficit de agua en el suelo, ya que en la mayoría del año se denota según la Figura 3.10, un déficit constante para esta cuenca. En general solo hay un mes en el año (octubre) donde se presenta exceso de agua en el suelo. La escorrentía total es 79,50 mm/ Anuales, y el déficit de agua en el suelo es de 930,286 mm/Anuales.

De acuerdo con la Tabla 3.12 y la Figura 3.10 se puede evidenciar la relación entre el régimen de lluvias y el déficit de agua en la zona, donde las escasas lluvias se presentan en un periodo de diciembre a abril, periodo en el cual se registran los más altos déficit de agua en la zona.

El alto valor del índice de evapotranspiración hace que se presente un déficit de recurso hídrico a lo largo del año lo que potencializa los conflictos por la disponibilidad, este comportamiento se debe a las bajas lluvias durante el año y una alta y constante temperatura durante el año.

Los bajos aportes de precipitación generan déficit durante todo el año, este comportamiento genera la intermitencia de las corrientes en la zona y no garantiza la oferta hídrica de los cuerpos de agua superficial presentes en ella, lo anterior es concordante exactamente con el período considerado como verano extremo en el histograma de precipitación elaborado para la estación seleccionada.

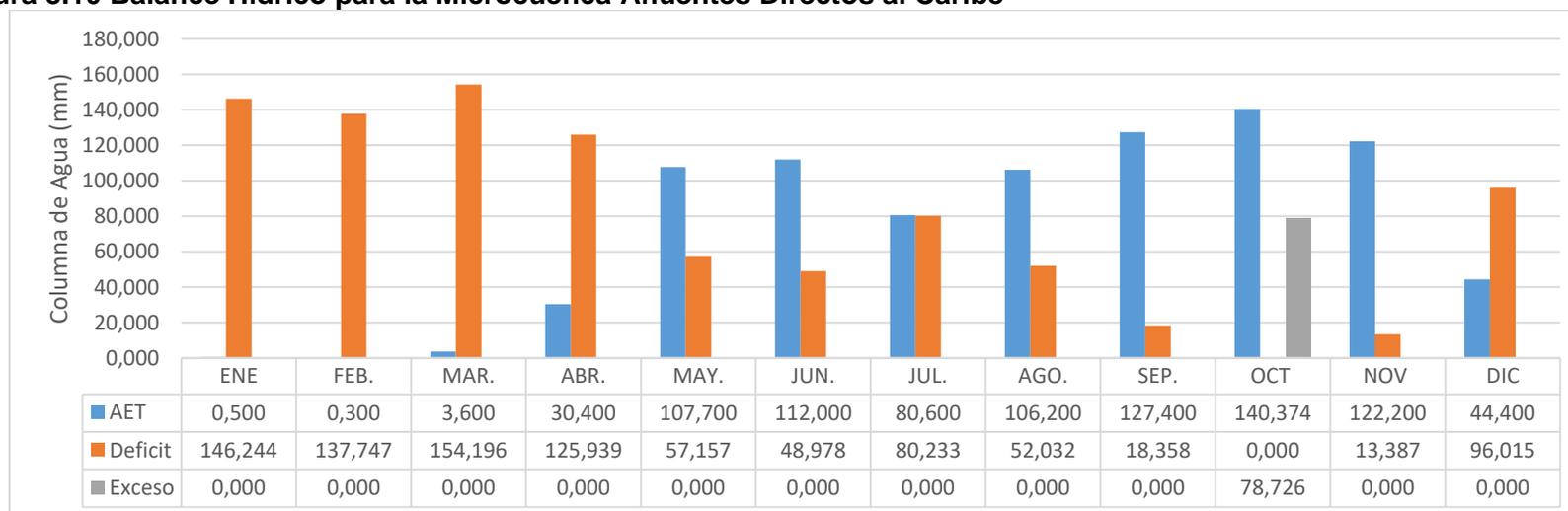
⁵ Pabón, J., J. Eslava & R. Gómez. 2001: Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. Meteorol. Colomb. 4:47-59. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.

Tabla 3.12 Balance Hidrológico para la Microcuenca Afluentes Directos al Caribe

Mes	OCT	NOV	DEC	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.
Temperatura	26,858	26,961	27,303	27,958	28,568	28,796	28,540	28,603	28,521	28,196	28,051	27,413
Índice de Calor Mensual	12,746	12,820	13,067	13,545	13,994	14,164	13,974	14,020	13,960	13,719	13,613	13,147
Evapotranspiración potencial mensual sin ajustar (mm)	137,700	138,600	142,000	147,000	151,700	153,200	151,700	152,400	151,700	148,600	147,800	142,900
Factor de corrección por latitud	1,019	0,978	0,989	0,998	0,910	1,030	1,031	1,082	1,061	1,082	1,071	1,020
PET	140,374	135,587	140,415	146,744	138,047	157,796	156,339	164,857	160,978	160,833	158,232	145,758
P	219,100	122,200	44,400	0,500	0,300	3,600	30,400	107,700	112,000	80,600	106,200	127,400
P-PET	78,726	-13,387	-96,015	-146,244	-137,747	-154,196	-125,939	-57,157	-48,978	-80,233	-52,032	-18,358
Delta RFU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
RFU	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
AET	140,374	122,200	44,400	0,500	0,300	3,600	30,400	107,700	112,000	80,600	106,200	127,400
Deficit	0,000	13,387	96,015	146,244	137,747	154,196	125,939	57,157	48,978	80,233	52,032	18,358
Exceso	78,726	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Escurrem (mm)	39,763	19,881	9,941	4,970	2,485	1,243	0,621	0,311	0,155	0,078	0,039	0,019
Escurrem (m)	0,040	0,020	0,010	0,005	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Figura 3.10 Balance Hídrico para la Microcuenca Afluentes Directos al Caribe



Fuente: ConCol by WSP, 2019

3.2.4.6.2 Caudales Característicos de las cuencas

De acuerdo con las definiciones del estudio nacional del agua (ENA) 2010, la caracterización y la estimación de la oferta hídrica superficial, se soporta en los procesos del ciclo del agua y en la cuantificación de sus componentes a partir del balance hídrico, en particular, el de escorrentía y su expresión en términos de rendimiento hídrico.

Los componentes del ciclo hidrológico que se relacionan más directamente con la disponibilidad de agua y que intervienen en la ecuación del balance hídrico son la precipitación como variable de entrada, la evapotranspiración real y la escorrentía como variables de salida, tal y como lo muestra la siguiente ecuación.

$$P - ETR = ESC \text{ (Ecuación que corresponde al método recomendado por la UNESCO)}$$

Adicionalmente, en la Resolución 865 de 2004 se define que la oferta hídrica de una cuenca es el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. Al cuantificar la escorrentía superficial a partir del balance hídrico de la cuenca, se está estimando la oferta de agua superficial de la misma.

Basados en lo anterior, una vez desarrollado el balance hídrico del cual se obtuvo la escorrentía o el escurrimiento en mm/mensuales, el resultado se llevo mediante conversión de unidades a litros/segundo. Con este resultado se hizo la relación con el área de la cuenca para evidenciar el escurrimiento presente en el área de estudio, la cual comprende el polígono de la cuenca hidrográfica (ver el Anexo 03. Caracterización ambiental, 3.1 Aspectos abióticos, 3.2.4 Hidrología). A continuación, se presentan los resultados obtenidos de este ejercicio.

- **Arroyo Bofo**
- **Caudales medios**

En la Tabla 3.13 se presentan los caudales medios mensuales estimados para el Arroyo Bofo, donde el caudal medio anual fue de 53,5315 litros /seg.

Tabla 3.13 Caudales medios para la Microcuenca del Arroyo Bofo

Área de la cuenca	21,31 km ²												Promedio anual
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct.	Nov	Dic.	
Escurrimiento (m)	0,005	0,003	0,001	0,001	0	0	0	0	0	0,038	0,021	0,01	53,5315
Caudal (l/s)	41,571	23,012	10,393	5,37	2,598	1,342	0,65	0,325	0,168	302,01	171,8	83,14	

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Con base en la Figura 3.11 se evidencian periodos de escasez en los meses de mayo a septiembre, esto teniendo en cuenta que en este periodo hay mayor evapotranspiración, con menos precipitación y mayor temperatura. Los meses de mayo a septiembre corresponden a un periodo de recarga de la zona, dado el comportamiento constante de la temperatura.

Figura 3.11 Caudales Medios para la Microcuenca del Arroyo Bofo



Fuente: ConCol by WSP, 2019

▪ **Caudales Máximos**

Para la estimación de caudales máximos se realizó un balance hídrico con las precipitaciones medias y temperaturas mínimas presentadas en la zona. En la Tabla 3.14 se presentan los caudales máximos mensuales estimados para el Arroyo Bofo, donde el caudal máximo promedio fue de 64,00 litros /seg.

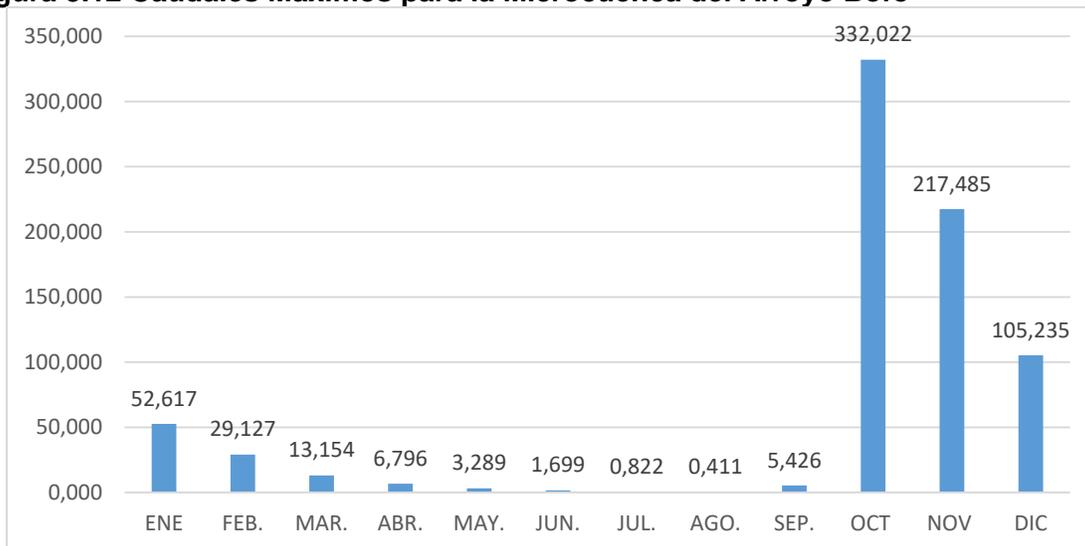
Tabla 3.14 Caudales máximos para la Microcuenca del Arroyo Bofo

Área de la cuenca	21,31 km ²												Promedio anual
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Escurrimiento (m)	0,00 7	0,00 3	0,00 2	0,00 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0,00 1	0,04 2	0,02 6	0,01 3	64,00
Caudal (l/s)	52,6 17	29,1 27	13,1 54	6,79 6	3,28 9	1,69 9	0,82 2	0,41 1	5,42 6	332, 02	217, 48	105, 2	

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Con base en la Figura 3.12 se evidencian periodos de bajo caudal en los meses de mayo a septiembre. Estos meses corresponden a periodos de recarga del cuerpo. Cabe aclarar que en estos meses se presentan las temperaturas más altas y una gran parte de las lluvias son evaporadas razón por la cual se observan bajos caudales en este periodo.

Figura 3.12 Caudales Máximos para la Microcuenca del Arroyo Bofo



Fuente: ConCol by WSP, 2019

▪ **Caudales mínimos**

Para la estimación de caudales mínimos se realizó un balance hídrico con las precipitaciones medias y el gradiente de temperatura máxima presentado en la zona. En la Tabla 3.15 se presentan los caudales mínimos mensuales estimados para el Arroyo Bofo, donde el caudal mínimo promedio fue de 42,99 Litros /seg

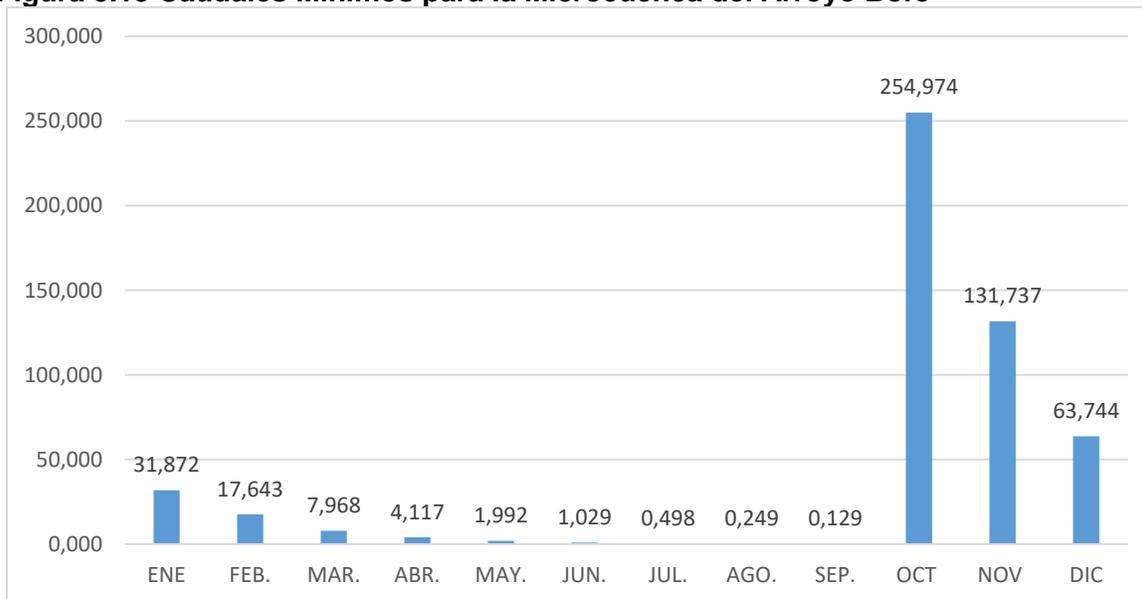
Tabla 3.15 Caudales mínimos para la Microcuenca del Arroyo Bofo

Área de la cuenca	21,31 km ²												Promedio anual	
	Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov		Dic
Escorrentamiento (m)	0,00 4	0,00 2	0,00 1	0,00 1	0	0	0	0	0	0	0,03 2	0,01 6	0,00 8	42,99
Caudal (l/s)	31,8 72	17,6 43	7,96 8	4,11 7	1,99 2	1,02 9	0,49 8	0,24 9	0,12 9	254, 97	131, 73	63,7 4		

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Con base en la Figura 3.13 se evidencian periodos de bajo caudal en los meses de mayo a septiembre. Estos meses corresponden a periodos de recarga del cuerpo. Cabe aclarar que en estos meses se presentan las temperaturas más altas y una gran parte de las lluvias son evaporadas razón por la cual se observan bajos caudales en este periodo.

Figura 3.13 Caudales Mínimos para la Microcuenca del Arroyo Bofo



Fuente: ConCol by WSP, 2019

- **Arroyo Grande**
- **Caudales medios**

En la Tabla 3.16, se presentan los caudales medios mensuales estimados para el Arroyo Grande, donde el caudal medio anual fue de 44,46 litros /seg.

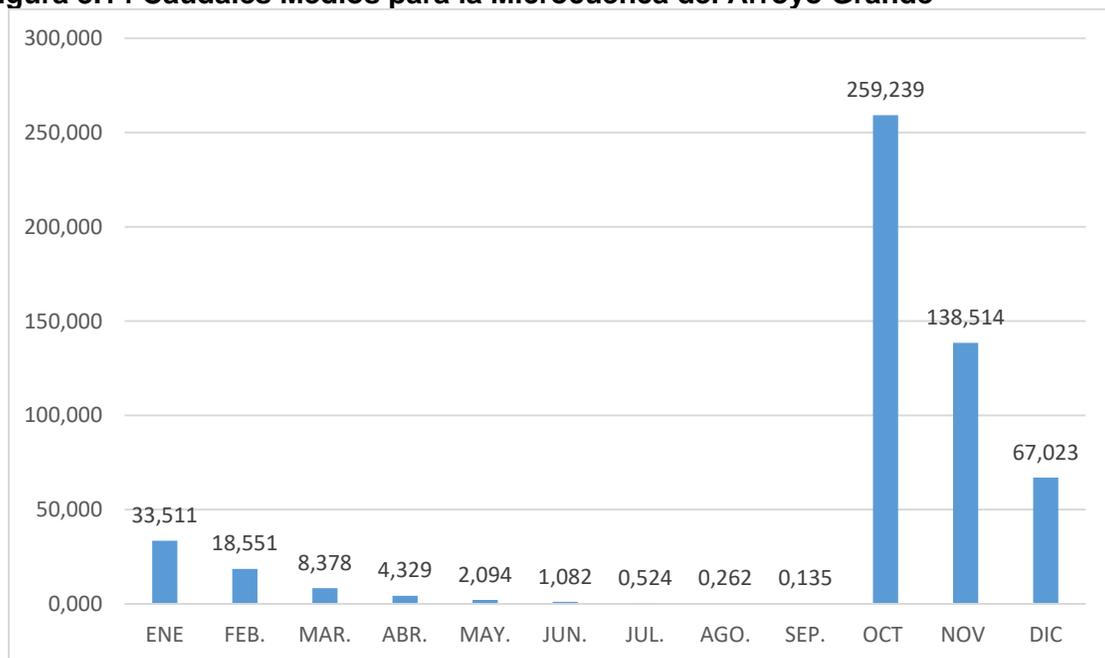
Tabla 3.16 Caudales medios para la Microcuenca del Arroyo Grande

Área de la cuenca	20,41 km ²												Promedio anual
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Escorrimento (m)	0,00 4	0,00 2	0,00 1	0,00 1	0	0	0	0	0	0,03 2	0,01 7	0,00 8	44,46
Caudal (l/s)	33,5 11	18,5 51	8,37 8	4,32 9	2,09 4	1,08 2	0,52 4	0,26 2	0,13 5	259, 23	138, 51	67,0 2	

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Con base en la Figura 3.14 se evidencian periodos de escasez en los meses de mayo a septiembre, esto teniendo en cuenta que en este periodo hay mayor evapotranspiración, con menos precipitación y mayor temperatura. Los meses de mayo a septiembre corresponden a un periodo de recarga de la zona, dado el comportamiento constante de la temperatura.

Figura 3.14 Caudales Medios para la Microcuenca del Arroyo Grande



Fuente: ConCol by WSP, 2019

▪ **Caudales máximos**

Para la estimación de caudales máximos se realizó un balance hídrico con las precipitaciones medias y el gradiente de temperatura mínima presentado en la zona. En la Tabla 3.17 se presentan los caudales máximos mensuales estimados para el Arroyo Grande, donde el caudal máximo promedio fue de 55,466 litros /seg.

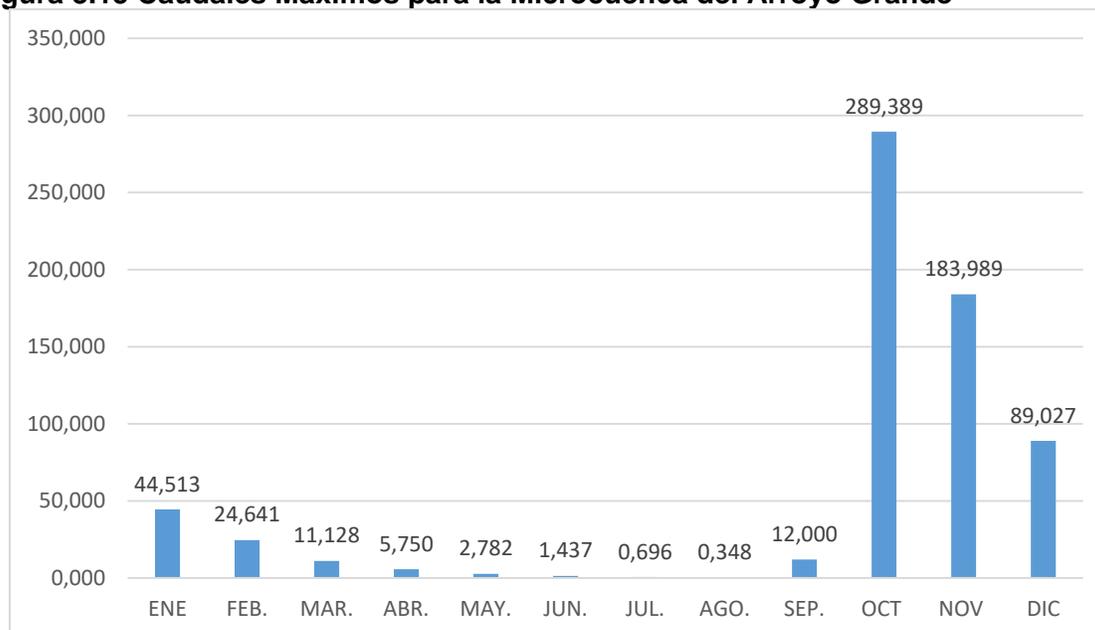
Tabla 3.17 Caudales máximos para la Microcuenca del Arroyo Grande

Área de la cuenca	20,41 km ²												Promedio anual
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Escurrecimiento (m)	0,00 6	0,00 3	0,00 1	0,00 1	0	0	0	0	0,00 1	0,03 6	0,02 2	0,01 1	55,466
Caudal (l/s)	44,5 1	24,6 41	11,1 28	5,75	2,78 2	1,43 7	0,69 6	0,34 8	12	289, 38	183, 9	89,0 2	

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Con base en la Figura 3.15 se evidencian periodos de bajo caudal en los meses de mayo a septiembre. Estos meses corresponden a periodos de recarga del cuerpo. Cabe aclarar que en estos meses se presentan las temperaturas más altas y una gran parte de las lluvias son evaporadas razón por la cual se observan bajos caudales en este periodo.

Figura 3.15 Caudales Máximos para la Microcuenca del Arroyo Grande



Fuente: ConCol by WSP, 2019

▪ **Caudales mínimos**

Para la estimación de caudales mínimos se realizó un balance hídrico con las precipitaciones medias y el gradiente de temperatura máxima presentado en la zona. En la Tabla 3.18 se presentan los caudales máximos mensuales estimados para el Arroyo Grande, donde el caudal mínimo promedio fue de 35,88 litros /seg.

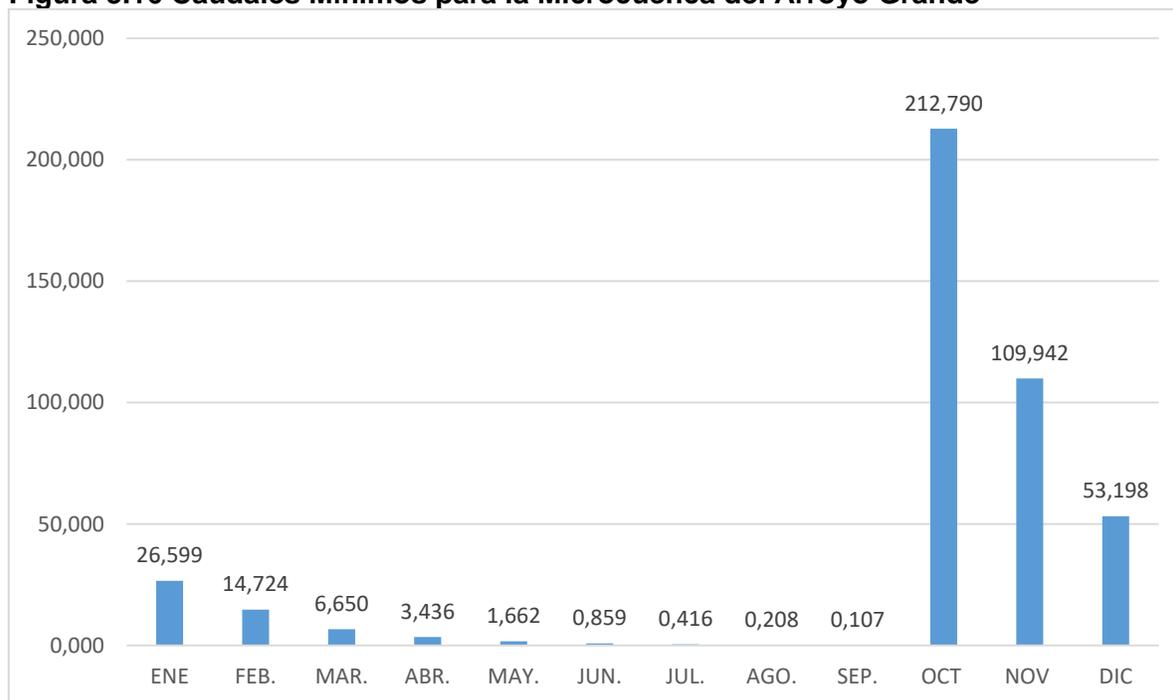
Tabla 3.18 Caudales mínimos para la Microcuenca del Arroyo Grande

Área de la cuenca	20,41 km ²												Promedio anual
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Ju n	Jul	Ag o	Se p	Oct	Nov	Dic	
Escurrimiento (m)	0,003	0,002	0,001	0	0	0	0	0	0	0,027	0,013	0,007	35,88
Caudal (l/s)	212,79	109,94	53,20	26,60	14,72	6,65	3,44	1,66	0,86	0,42	0,21	0,11	

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Con base en la Figura 3.16 se evidencian periodos de bajo caudal en los meses de mayo a septiembre. Estos meses corresponden a periodos de recarga del cuerpo. Cabe aclarar que en estos meses se presentan las temperaturas más altas y una gran parte de las lluvias son evaporadas razón por la cual se observan bajos caudales en este periodo.

Figura 3.16 Caudales Mínimos para la Microcuenca del Arroyo Grande



Fuente: ConCol by WSP, 2019

- **Afluentes directos al Caribe**
- **Caudales medio**

En la Tabla 3.19 se presentan los caudales medios mensuales estimados para los afluentes directos al Caribe donde el caudal medio anual fue de 9,463 litros /seg.

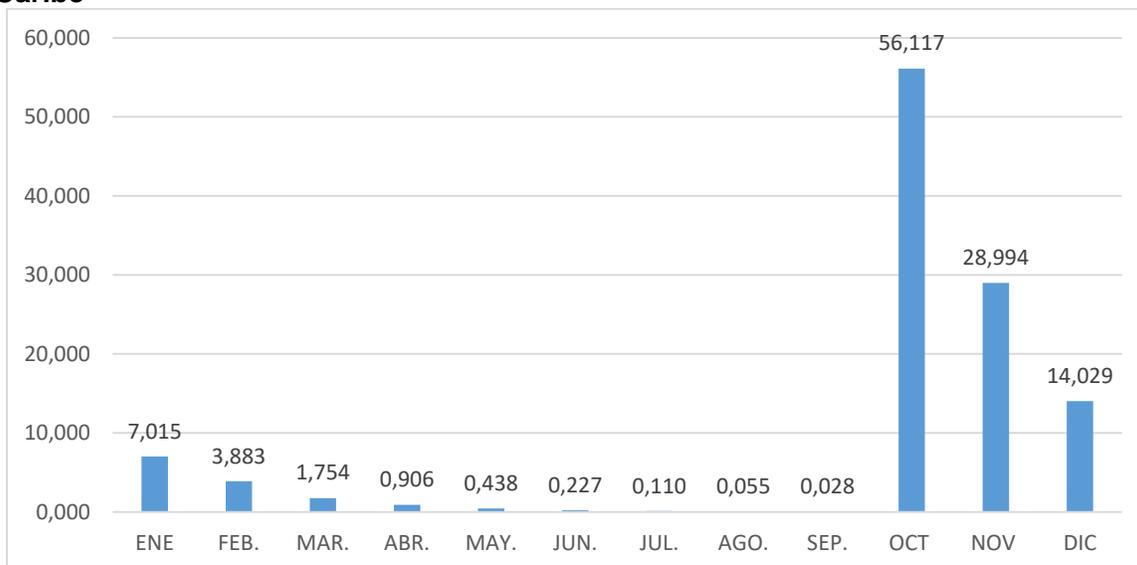
Tabla 3.19 Caudales medios para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe

Área de la cuenca	3,78 km ²												Promedio anual	
	Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov		Dic
Escurrencimiento (m)	0,005	0,002	0,001	0,001	0	0	0	0	0	0	0,04	0,02	0,01	9,463
Caudal (l/s)	7,015	3,883	1,754	0,906	0,438	0,227	0,11	0,055	0,028	56,117	28,994	14,029		

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Con base en la Figura 3.17 se evidencian bajos caudales en los meses de mayo a septiembre, esto teniendo en cuenta que en este periodo hay mayor evapotranspiración, con menos precipitación y mayor temperatura. Los meses de mayo a septiembre corresponden a un periodo de recarga de la zona, dado el comportamiento constante de la temperatura.

Figura 3.17 Caudales Medios para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe



Fuente: ConCol by WSP, 2019

▪ **Caudales máximos**

Para la estimación de caudales máximos se realizó un balance hídrico con las precipitaciones máximas presentadas en la zona. En la Tabla 3.20 se presentan los caudales máximos mensuales estimados para los Afluentes directos al Caribe, donde el caudal máximo promedio fue de 12,91 litros /seg.

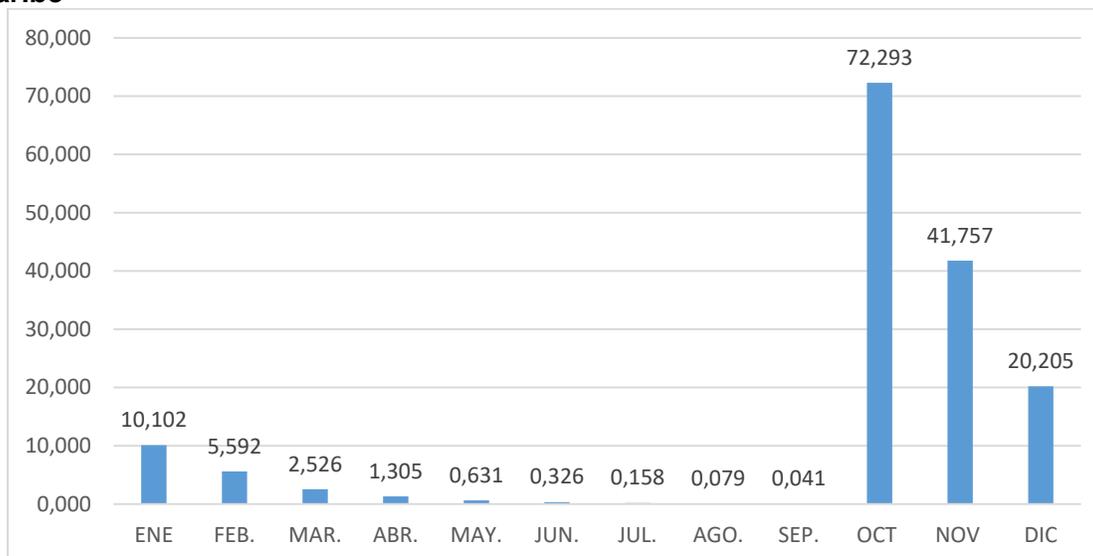
Tabla 3.20 Caudales máximos para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe

Área de la cuenca	3,78 km ²												Promedio anual
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Escurrencimiento (m)	0,007	0,004	0,002	0,001	0	0	0	0	0	0,051	0,029	0,014	12,91
Caudal (l/s)	10,102	5,592	2,526	1,305	0,631	0,326	0,158	0,079	0,041	72,293	41,757	20,205	

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Con base en la Figura 3.18 se evidencian periodos de bajo caudal en los meses de mayo a septiembre. Estos meses corresponden a periodos de recarga del cuerpo. Cabe aclarar que en estos meses se presentan las temperaturas más altas y una gran parte de las lluvias son evaporadas razón por la cual se observan bajos caudales en este periodo.

Figura 3.18 Caudales Máximos para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe



Fuente: ConCol by WSP, 2019

▪ **Caudales mínimos**

Para la estimación de caudales mínimos se realizó un balance hídrico con las precipitaciones máximas presentadas en la zona. En la Tabla 3.21 se presentan los caudales máximos mensuales estimados para los Afluentes directos al Caribe, donde el caudal mínimo promedio fue de 8,541 litros /seg.

Tabla 3.21 Caudales mínimos para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe

Área de la cuenca	3,78 km ²												Promedio anual
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr.	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct.	Nov.	Dic.	
Escurrecimiento (m)	0,004	0,002	0,001	0,001	0	0	0	0	0	0,036	0,018	0,009	8,541
Caudal (l/s)	6,331	3,505	1,583	0,818	0,396	0,204	0,099	0,049	0,026	50,65	26,169	12,662	

Fuente: ConCol by WSP, 2019

Con base en la Figura 3.19 se evidencian periodos de bajo caudal en los meses de mayo a septiembre. Estos meses corresponden a periodos de recarga del cuerpo. Cabe aclarar que en estos meses se presentan las temperaturas más altas y una gran parte de las lluvias son evaporadas razón por la cual se observan bajos caudales en este periodo.

Figura 3.19 Caudales Mínimos para la Microcuenca de los Afluentes directos al Caribe



Fuente: ConCol by WSP, 2019

3.2.4.7 Identificación de la dinámica fluvial

El tamaño de la cuenca, la pendiente, la cobertura vegetal y el tipo de suelo en una cuenca hidrográfica son factores determinantes en el aporte de agua y la dinámica fluvial que se desarrolla a lo largo de la corriente, sin dejar aparte el relieve y la litología que condicionan el aporte de sedimentos y por lo tanto el tipo de material en el cauce.

La pendiente de la corriente está en relación directa con la velocidad del flujo y los fenómenos de socavación y sedimentación, ya sean procesos de erosión lateral o de fondo, como también en las migraciones que se dan dentro del cauce, lo que es un indicativo de las características hidráulicas de las corrientes y de los sedimentos a ser transportados o depositados; por lo tanto, brindan una aproximación de las particularidades del flujo y su misma dinámica fluvial.

La naturaleza de la sedimentación fluvial y las características morfológicas de las geoformas resultantes dependen de los siguientes factores:

- i. La carga de sedimentos de la corriente, que está controlada por la pendiente, la velocidad y el suministro de sedimentos.
- ii. Régimen hidrológico, o sea lo concerniente a las velocidades, cantidades y dirección de flujo de agua.

En el área de influencia físico-biótica la principal fuente es el Arroyo Grande, este hidrosistema recoge las aguas lluvias provenientes del cerro Albornoz las cuales drenan hacia la bahía de Cartagena. Esta cuenca se encuentra bastante intervenida antropogénicamente y ocasionaba desbordamientos e inundaciones en las áreas aledañas a la refinería, lo cual obligo a ECOPETROL, durante los años de 1995 y 1997 a desarrollar

una serie de obras para la rectificación y adecuación de dicho arroyo, estas obras han evitado hasta el presente la afectación de los terrenos de la Refinería y zonas aledañas.

El cauce del Arroyo Grande está catalogado como un depósito aluvial, conformado por sedimentos formando niveles de poco espesor de rocas poco consolidadas de granulometría variada, a partir de cantos y sedimentos arrastrados desde la parte alta del río, erosionados de las unidades más antiguas y que se depositan en los cauces actuales de los ríos.

Finalmente, el cauce presenta una interacción donde el agua superficial es aportante del acuífero ubicado sobre la formación. La cobertura vegetal predominante presente en su ronda es bosque de galería y canal artificial. Se identificó la cobertura de bosque de galería dado que esta se encuentra asociada a un afluente no intervenido.

3.2.4.8 Relación temporal y espacial de las inundaciones

Las inundaciones definidas como “1) el desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua”, o 2) “la acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas” WMO, 2012 – citado en (IDEAM, 2015) y sus características como ocurrencia, espacialidad, permanencia e intensidad de las inundaciones corresponden esencialmente a la relación entre las características hidrometeorológicas y las geomorfológicas.

Las inundaciones se producen principalmente por el aumento de caudales con desborde del cauce normal de los cuerpos de agua, estas tienden a ocurrir en época de invierno y afecta especialmente las zonas de bajas topográficas y planicies, de acuerdo a los análisis realizados de los caudales máximos y medios, el periodo comprendido entre los meses de octubre a diciembre, se caracterizan por el aumento del nivel del agua.

El estudio referente a nivel nacional y de mayor relevancia fue realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, para evaluar la susceptibilidad a inundación en todo el territorio nacional a escala 1:100.000. Para esto, el instituto tomó como línea base los meses de octubre y diciembre de 2001 (condiciones meteorológicas normales) para realizar los análisis espaciales, acompañados de fotointerpretación para zonificar el territorio nacional en zonas inundables periódicamente (por recurrencia de eventos), zonas inundadas (cota alcanzada durante el fenómeno de la Niña 2010 – 2011) y zonas susceptibles a inundación (extraídas con base en el análisis de sistemas morfogénicos del territorio nacional en el año 2010 (IDEAM 2012).

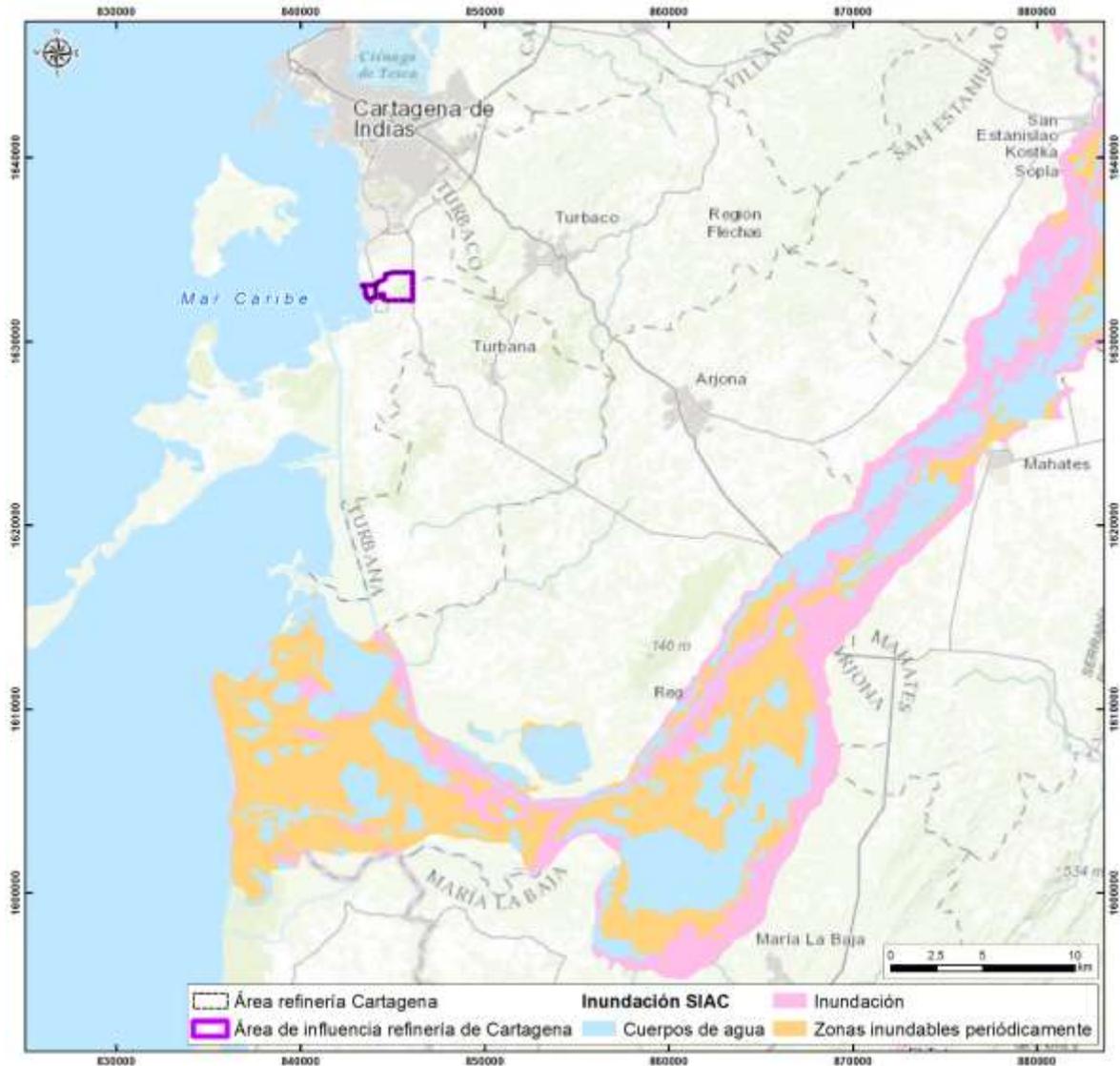
Para establecer la relación espacio temporal asociada a áreas inundables por la dinámica fluvial de las corrientes, se realizó un análisis basado en la cartografía del sistema de información ambiental de Colombia-SIAC, donde se muestran para el país las siguientes categorías.

- i. Zonas susceptibles de inundación
- ii. Zonas inundables periódicamente
- iii. Zonas de cuerpos de agua
- iv. Zonas de inundación evento niña (2010 – 2011)

v. Zonas no inundables

De acuerdo con la información oficial, en la Figura 3.20 y Figura 3.21, se presenta la relación de las categorías establecidas por el SIAC con respecto al área de influencia físico-biótica.

Figura 3.20 Relación espacial de las inundaciones (Fenómeno de la Niña 2010-2011) según SIAC respecto al área de influencia físico-biótica



Fuente: SIAC modificado por Concol by WSP, 2019

Figura 3.21 Relación espacial de la susceptibilidad a inundaciones según el SIAC respecto al área de influencia físico-biótica



Fuente: SIAC modificado por Concol by WSP, 2019

De acuerdo con la información presentada por el sistema de cartografía del sistema de información ambiental de Colombia-SIAC a nivel nacional, no se presenta susceptibilidad a inundaciones para el área de influencia, esto teniendo en cuenta las características morfogénicas del territorio nacional, registros meteorológicos y eventos como el fenómeno de la Niña 2010 – 2011 a escala 1:100.000.

A continuación, se presenta un análisis mas detallado del área de interés basado en imágenes tomadas de Google Earth y la interpretación de las geformas de la zona.

i. Análisis de temporalidad

De acuerdo con la Tabla 3.22 en donde se presentan diferentes imágenes para diferentes años tomadas de Google Earth, se evidencia que en el tiempo se han ejecutado obras de irrigación, avenamiento y defensa contra las inundaciones.

Con respecto a la dinámica fluvial del Arroyo Grande respecto al tramo que atraviesa los predios de la Refinería, se evidencia que entre los años 2009 y 2011 se da inicio a las obras de canalización del arroyo con el fin de mitigar las inundaciones por el desborde del drenaje en predios de la refinería. La rectificación de este tramo comprende aproximadamente 1,45 km de longitud, que presenta anchos de entre 3 y 4 metros, definido así dada la geomorfología y cobertura presente en estos años. Teniendo en cuenta el evento presentado en el año 2011 asociado al Fenómeno de La Niña, se puede observar que pese a este fenómeno el cauce muestra un tramo uniforme y estable presentando una mínima o una divagación lateral del cauce.

En cuanto a las imágenes de los años 2005 y 2012 se muestra que en la parte sureste del área de la refinería existen zonas de encharcamiento esto debido a las depresiones que existen en el área las cuales posibilitan la formación de una condición pantanosa en época de altas precipitaciones. Por el contrario, para el año 2015, el cual fue un año en donde se manifestó el fenómeno del niño, se evidencia la desaparición de estas zonas de encharcamiento.

Finalmente, en el año 2015 y 2019 se observa, el funcionamiento de las obras de rectificación y adecuación del arroyo. En este caso la susceptibilidad por inundación depende de la profundidad, ancho y pendiente del canal, además del correcto funcionamiento de las obras de arte presentes en la zona.

Tabla 3.22 Analisis multitemporal del área del proyecto



Imagen del 2005



Imagen del 2009



Imagen del 2011



Imagen del 2012



Imagen del 2015



Imagen del 2019

ii. Análisis espacial

Teniendo en cuenta la cartografía SIAC, el cual es un insumo oficial importante, que lleva a una primera visualización de los escenarios de inundabilidad en el área. Esta cartografía presenta escalas muy gruesas (1:100.000 – 1:500.000) que no permiten detallar la particularidad del área de estudio y arroja valores bajos de las zonas susceptibles de inundación y las zonas inundables, respectivamente. Por lo cual para el análisis del área del proyecto se tomó la capa de unidades geomorfológicas escala 1:10.000.

Además, se tomó como referencia la guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación del IDEAM, marzo 2018, donde se parte de la información a escala nacional de los sistemas morfogénicos del territorio colombiano, y donde se establece que para las zonas en que se cuente con información geomorfológica a escala más detallada, como es el caso, se pueden utilizar criterios similares de selección de unidades que presentan procesos de inundación y desborde en llanuras sometidas a régimen fluvial (IDEAM, 2018).

Así mismos se tuvieron en cuenta los recorridos de campo, antecedentes de la zona y temporalidad de la misma.

Los antecedentes y características generales como la inclinación del terreno y el tipo de clima son de importancia para el análisis de susceptibilidad. El clima para el área de influencia es cálido – seco, según Caldas Lang y el nivel de precipitación media mensual varía desde 14,5 a 247,1mm, con una temperatura promedio de 27,8°C. Adicionalmente, en su mayoría el área de influencia presenta pendientes menores al doce por ciento (<12%), esta condición puede incrementar el grado de susceptibilidad a inundación. Sin embargo, para determinar el grado de susceptibilidad también se tuvieron en cuenta las obras de arte presentes en la zona.

Resultado del análisis de las condiciones de la zona y desde el punto de vista geomorfológico, el área con mayor susceptibilidad a inundarse es aquella asociada a la unidad geomorfológica Planos y llanuras con vegetación halófila (Mpv), llanuras costeras (Mllc) y Cauces aluviales Fca, debido a la morfogénesis de esta unidad:

- a. Llanuras costeras-Mllc: Son planicies extensas, ligeramente onduladas, limitadas hacia la parte continental por colinas y lomas y hacia el mar por playas o llanuras intermareales. Su génesis involucra procesos fluviomarinos de sedimentación y erosión.
- b. Planos y llanuras con vegetación halófila-Mpv: Se originan por acción de los depósitos de manglar al occidente del área de influencia, son depósitos que están constituidos por arenas finas, limos y lodos, limitados por playas hacia el continente y el mar en la parte occidental, en esta geoforma se pueden desarrollar movimientos en masa, como erosión en los límites costeros debido a los oleajes.
- c. Cauces Aluviales-Fca: Tipo de relieve plano, que ha sido formado a partir de la sobre excavación de corrientes perennes sobre los depósitos cuaternarios y formaciones geológicas del Neógeno. Se consideran áreas que presentan una alta susceptibilidad a eventos de inundación.

En tiempos de lluvias, los desbordamientos de las corrientes pueden deberse no solo a los cambios de precipitación, sino también a los grandes volúmenes de material sólido arrastrado o en suspensión en sus aguas, lo cual disminuye la capacidad de su cauce. Este evento puede manifestarse en la unidad de Cauces aluviales Fca, donde la carga de material sólido y la falta de obras hidráulicas hacen que el arroyo Grande inunde con frecuencia importantes áreas.

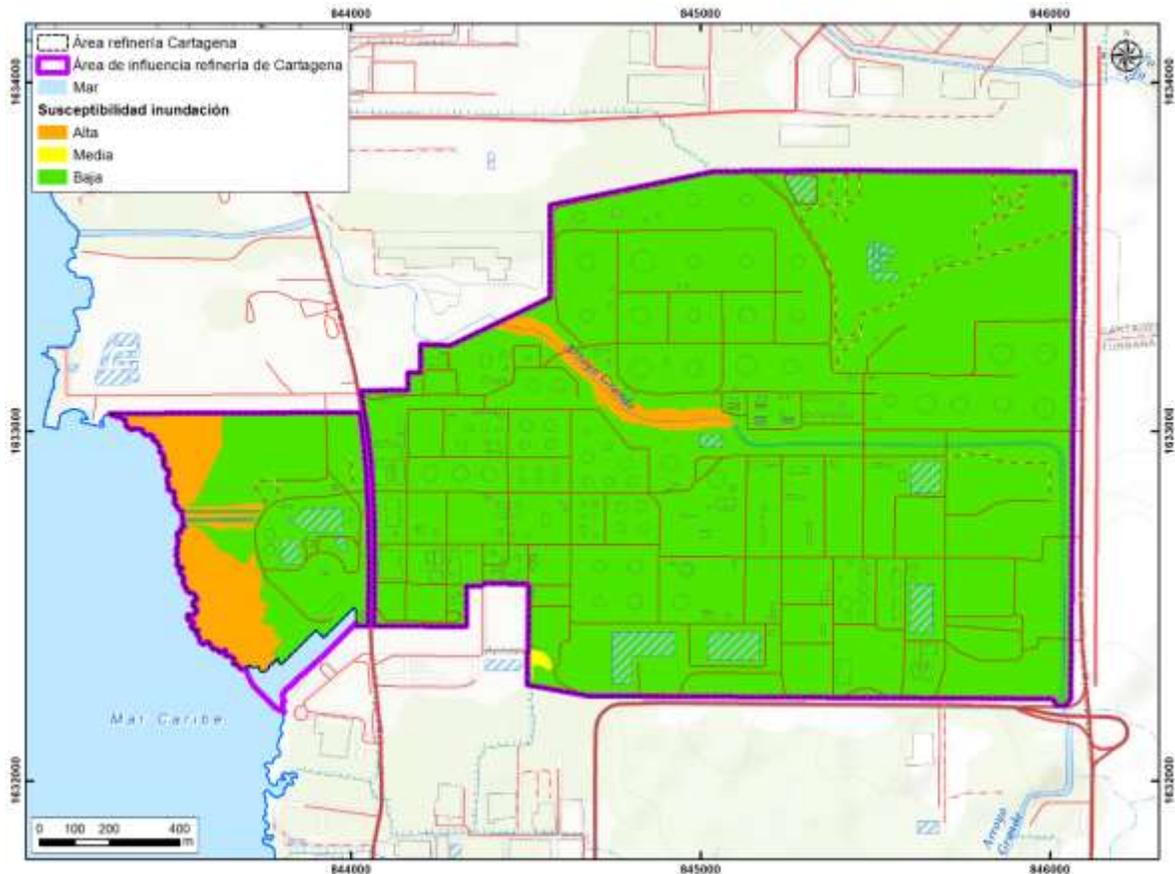
De otro lado se evidencia que el área con mediana susceptibilidad a inundarse es aquella asociada a la unidad geomorfológica Llanuras costeras-Mllc, la cual está dada por las características litológicas, tectónicas y de relieve, en esta geoforma se pueden desarrollar movimientos en masa, como erosión laminar. Esta condición perturba las condiciones de infiltración aumentando los riesgos por inundación, encharcamiento y procesos erosivos por escorrentía. El encharcamiento se produce en suelos compactados y en terrenos con buena porosidad pero que presentan capas impermeables en profundidad, generalmente horizontes ricos en arcillas; igualmente ocurre en suelos con buena permeabilidad pero que permanecen muy húmedos por el aporte frecuente de agua superficial. En resumen, el encharcamiento se produce en terrenos mal drenados debido a la compactación o a la presencia de horizontes poco permeables, y los que reciben altas precipitaciones. Como es lógico el encharcamiento se agrava en zonas deprimidas de relieve como hondonadas o vaguadas por acumulación de aguas circundantes.

Seguidamente las áreas con baja susceptibilidad a inundarse las unidades geomorfológicas correspondientes a Canal Artificial Aca y Construcciones Industriales- Ar. En estas áreas existe la presencia de obras y sistemas de alcantarillado los cuales están para la retención de la capacidad hidráulica de los drenajes presentes en la zona y el manejo y transporte de aguas lluvias ante eventos de altas precipitaciones.

- a. Canal Artificial Aca: Canales construidos por dragado y para la rectificación de cauces actuales para facilitar la navegación y alejarlos de las áreas industriales.
- b. Construcciones Industriales- Ar: Tipo de relieve plano, hechos técnicamente o artesanalmente con relleno de escombros en terrenos anegadizos para la construcción de zonas industriales

En el área de influencia físico-biótica, el 16,33 ha corresponde a susceptibilidad alta de inundación, 283,59 ha a una susceptibilidad baja, el 0,37 ha susceptibilidad media y el 2,35 ha corresponde a áreas marítimas.

Figura 3.22 Distribución de sensibilidad de las áreas de inundación del área de influencia físico-biótica



Fuente: Concol by WSP, 2019

Como se evidencia en la Figura 3.22, la susceptibilidad a inundaciones es alta para la zona costera y los drenajes que no se encuentran intervenidos dentro del área de influencia físico-biótica.

El área de la refinería presenta una calificación baja, esto debido a la fuerte intervención que presenta la zona, la cual posee sistemas de alcantarillado y obras que permiten dar manejo a periodos de alta pluviosidad reteniendo la capacidad hidráulica de los drenajes. Además, según los análisis realizados con respecto a los caudales medios y máximos, el periodo en el que las cuencas que rodean el área de estudio presentan un caudal considerable comprenden únicamente los meses de octubre y noviembre, representando un periodo pluviométrico corto.

Adicional a ello, durante la revisión de información secundaria en la página de la Unidad Nacional para la gestión del riesgo de desastres (<http://portal.gestiondelriesgo.gov.co>), se encontraron los registros de los eventos presentados a lo largo de los años por departamento y municipios, para nuestro caso se identificaron únicamente los relacionados con inundaciones en el municipio de Cartagena donde se ubica el proyecto. Ver Tabla 3.23.

Tabla 3.23 Eventos de inundaciones según el sistema nacional de gestión del riesgo de desastre

FECHA DEL EVENTO	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO
14 de junio de 2018	Bolívar	Cartagena	CMGRD Cartagena, informa sobre vendaval que afecto varias viviendas en diferentes los barrios, por lo que se activa el cuerpo oficial de bomberos, queda activo grupo ERI de la oficina asesora para la gestión de riesgo de desastres del distrito.
17 de noviembre de 2017	Bolívar	Cartagena	CMGRD Cartagena reporta fuertes lluvias durante 3 horas continuas, resultando inundado el centro histórico de la ciudad
3 de julio de 2017	Bolívar	Cartagena	CDGRD Bolívar informa en el municipio de Cartagena en horas de la mañana, se presentó vendaval que afecto viviendas en techos e inundación en el sector histórico de la ciudad, atiende bomberos y CMGRD.
26 de octubre de 2014	Bolívar	Cartagena	La lluvia sobre Cartagena en horas de la noche provocó emergencias en diferentes sectores, algunos barrios sin luz, daños en viviendas, árboles caídos y dos autos que se fueron a un canal arrastrado por la corriente, uno en el barrio el socorro y otro el barrio el campestre, son las afectaciones registradas al momento no lesionados u otro, en seguimiento.
14 de octubre de 2014	Bolívar	Cartagena	Tormenta en Cartagena causa inundaciones y afectaciones en la energía se reportan barrios de la zona suroriental de la ciudad y algunos sectores del centro histórico de Cartagena sin energía un fuerte aguacero comenzó a eso de las 3 de la madrugada y solo sobre las 5 han calmado las precipitaciones. En zonas como el mercado de Bazurto, la avenida pedro de Heredia y la calle de la media luna en la ciudad amurallada registran inundaciones por las lluvias.
01/11/2013	Bolívar	Cartagena	Se presentó por un fuerte aguacero que se registró en la tarde de este jueves y que dejó varios sectores de la ciudad inundados y con varias vías principales colapsadas. Manga (cerca al peaje), avenida del lago, centro (sector India Catalina), transversal 54 (sector el amparo), son algunos de los puntos en los que se registraron trancones, al momento no se registran viviendas afectadas.
16/10/2013	Bolívar	Cartagena	Reporta fuertes lluvias por más de dos horas lo que ocasiono inundación dejando 1 persona fallecida y 1 persona lesionada, luego de que dos vehículos fueran arrastrados por un

FECHA DEL EVENTO	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO
			arroyo en el suroccidente de la ciudad, en el barrio el socorro, en el sector conocido como foco rojo, en donde las fuertes corrientes arrastraron a un taxi, de placas uaq-217 de Cartagena, en el que se transportaba el conductor con un pasajero. El comandante del cuerpo de bomberos de Cartagena, Aníbal guerrero, confirmó que el conductor quedó atrapado dentro del vehículo, mientras que el pasajero logró ser rescatado por la comunidad. Reporta CMGRD
07/10/2013	Bolívar	Cartagena	Reporta seccional bolívar la recuperación de un niño en una cuneta, tras lluvias torrenciales, corregimiento: arroyo de piedra, 15 familias afectadas
18/06/2013	Bolívar	Cartagena	CDGRD Bolívar, informa, en la ciudad de Cartagena inundaciones por escorrentía de aguas lluvias en el barrio el Pozón en horas de la noche, situación en desarrollo.

Fuente: Unidad Nacional para la gestión del riesgo de desastres. Página: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Consolidado-Atencion-de-Emergencias.aspx>

3.2.4.9 Inventario de las Fuentes contaminantes

Para la recopilación de información y presentación del inventario de las principales fuentes contaminantes se solicitó a las autoridades ambientales competentes el informe de los usuarios registrados (Permisos de vertimiento), sin embargo, a la fecha de radicación del estudio no se ha recibido respuesta.

En la Tabla 3.24 se relacionan los números de radicados ante la autoridad para la solicitud de la información, los cuales se adjuntan en el Anexo 1. Información primaria / A-1.1 Aspectos legales.

Tabla 3.24 Solicitud de información ante la autoridad ambiental

Autoridad	No. de Radicado
Corporacion Autonoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE)	Guia 000045371922 Ref 777705500125
Establecimiento publico ambiental (EPA)	Guia 000045371895 Ref 777705500124
Corporacion Autonoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE)	0000003423 Fecha: 21/05/2019
Establecimiento publico ambiental (EPA)	EXT-AMC-19-0045840 Fecha: 17/05/2019

Fuente: Concol by WSP, 2019

Particularmente la Refinería de Cartagena (GRC) vierte a la bahía en promedio 1.400 gpm de agua residual tratada por la Unidad de Tratamientos Ambientales (U-143). Esto representa aproximadamente un tercio (1/3) del agua cruda que consume actualmente la

GRC.

La Unidad de Tratamientos Ambientales (U-143) de la GRC procesa un flujo promedio de 1.400 gpm, entre los sistemas aceitoso y sanitario, que representa un volumen anual aproximado de 2.785.000 m³ que se vierten a la bahía de Cartagena bajo el cumplimiento de parámetros ambientales de la Resolución 0883 del 18 de mayo de 2018 “por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones”

En la Tabla 3.25 se detalla el vertimiento sobre la bahía de Cartagena, realizado por REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S. Este vertimiento se hace previo tratamiento y se realiza durante 24 horas los 365 días del año. Ver Fotografía 3.3.

Tabla 3.25 Vertimientos sobre aguas superficiales en el área de influencia del proyecto REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

NOMBRE	UBICACIÓN	COORDENADAS PLANAS DATUM MAGNA SIRGAS ORIGEN BOGOTÁ	
		ESTE	NORTE
Vertimiento Final	Bahía de Cartagena	843507.22	1632776.05

Fuente: Concol by WSP, 2019

Fotografía 3.3 Vertimiento sobre la bahía de Cartagena



Fuente: ConCol by WSP, 2019