

**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 3.2.5 CALIDAD DEL AGUA  
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		<b>0</b>
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 3.2.5 CALIDAD DEL AGUA**

**TABLA DE CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO .....	6
3.2 MEDIO ABIÓTICO .....	6
3.2.5 Calidad del agua .....	6
3.2.5.1 Descripción de puntos objeto de análisis.....	6
3.2.5.2 Caracterización de las aguas superficiales.....	8
3.2.5.3 Caracterización de las aguas marinas.....	17
3.2.5.4 Índices de contaminación del agua.....	24

## 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 3.2.5 CALIDAD DEL AGUA

##### ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 3.1 Descripción de monitoreos de calidad de agua	7
Tabla 3.2 Monitoreo calidad del agua del Arroyo Grande	8
Tabla 3.3 Escala de Mineralización en Agua de acuerdo con la Conductividad	9
Tabla 3.4 Escalas de OD y su relación con la calidad del agua	10
Tabla 3.5 Escala de mineralización en agua de acuerdo con la Alcalinidad	12
Tabla 3.6 Escalas de pH y su relación con la calidad del agua	16
Tabla 3.7 Monitoreo calidad del agua marina superficial	18
Tabla 3.8 Calificación de los Índices de Contaminación	24
Tabla 3.9 ICOSUS de puntos monitoreados	24
Tabla 3.10 ICOTRO de puntos monitoreados	25
Tabla 3.11 ICOpH de puntos monitoreados	25

## 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 3.2.5 CALIDAD DEL AGUA

##### ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 3.1 Puntos de monitoreo de calidad de aguas marinas y superficiales	7
Figura 3.2 Concentraciones de conductividad eléctrica y sulfatos	10
Figura 3.3 Concentraciones de oxígeno disuelto	11
Figura 3.4 Concentraciones de temperatura	11
Figura 3.5 Concentraciones de alcalinidad total	12
Figura 3.6 Concentraciones de sólidos suspendidos totales	13
Figura 3.7 Concentraciones de DBO y DQO	14
Figura 3.8 Concentraciones de hidrocarburos y aceites y grasas	15
Figura 3.9 Concentraciones de nitratos y nitritos	15
Figura 3.10 Concentraciones de metales	16
Figura 3.11 Concentraciones de oxígeno pH	17
Figura 3.12 Concentraciones de DBO y DQO	20
Figura 3.13 Concentraciones de nitratos y nitritos	21
Figura 3.14 Concentraciones de oxígeno disuelto	22
Figura 3.15 Concentraciones de pH	23
Figura 3.16 Concentraciones de temperatura	23

### 3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO

#### 3.2 MEDIO ABIÓTICO

##### 3.2.5 Calidad del agua

En el presente numeral se realiza un análisis de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de aquellas fuentes de agua susceptibles de intervención por captaciones, vertimientos, entre otras; mientras que en el numeral 3.3.2 Ecosistemas acuáticos del presente estudio, se realiza el análisis de los parámetros hidrobiológicos.

A continuación, se presenta el análisis de resultados del Arroyo Grande, el cual ha sido objeto de monitoreo de acuerdo a lo establecido por el Ministerio de Ambiente en el numeral 4 del Artículo Segundo de la Resolución 1157 del 10 de noviembre de 2000, posteriormente modificado por el numeral 1 del Artículo Tercero de la Resolución 2102 del 28 de noviembre de 2008 otorgadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Así mismo, se presenta el análisis de los monitoreos analíticos de la calidad de aguas marinas y sedimentos de acuerdo con lo establecido en el artículo tercero de la Resolución 0511 del 16 de marzo de 2010 otorgada por el MAVDT, hoy MADS.

Es importante mencionar que la Refinería de Cartagena no realiza captación sobre cuerpos de agua superficial, no obstante, ha llevado a cabo monitoreos en el Arroyo Grande (agua superficial) existente al interior de la Refinería. Estos monitoreos de calidad de agua se han venido ejecutando desde que la Refinería de Cartagena se encontraba en fase de construcción, ampliación y modernización, actualmente esta se encuentra en una fase netamente operativa y los puntos monitoreados han permitido realizar el seguimiento constante de la calidad del ecosistema hídrico.

Igualmente, es importante mencionar que la Refinería de Cartagena, cuenta con un punto de control y seguimiento en el sistema de tratamiento de aguas residuales, donde los reportes son presentados ante la Autoridad Ambiental en los correspondientes Informes de Cumplimiento Ambiental (ICAS).

##### 3.2.5.1 Descripción de puntos objeto de análisis

La Refinería de Cartagena, mediante las Resoluciones 1157 de 2000, 2102 de 2008 y 0511 de 2010, define los puntos de interés para realizar los monitoreos fisicoquímicos, bacteriológicos e hidrobiológicos, en aguas marítimas y en el arroyo Grande, así como su periodicidad, donde:

- Arroyo Grande: se realiza de forma anual.
- Aguas marítimas: se realiza en época de lluvias, transición y seca, pero para el presente estudio solo se analizarán las dos épocas climáticas lluvias y seca, como lo solicitan los términos de referencia.

El siguiente análisis de la calidad fisicoquímica de las aguas, se realiza con base en las

campañas de monitoreo del año 2018, realizadas por el laboratorio Instituto de Higiene Ambiental S.A.S., el cual cuenta con acreditación del IDEAM mediante la Resolución 0286 del 02 de marzo de 2016, como se puede evidenciar en el Anexo 3. Caracterización ambiental, 3.1. Aspectos abióticos, Cap. 3.2.5 Calidad del agua.

En la Tabla 3.1, se presenta de manera detallada la información de los puntos monitoreados. Los informes completos de los monitoreos realizados se encuentran en el Anexo 3. Caracterización Ambiental, 3.1 Aspectos abióticos, Cap. 3.2.5 Calidad de agua.

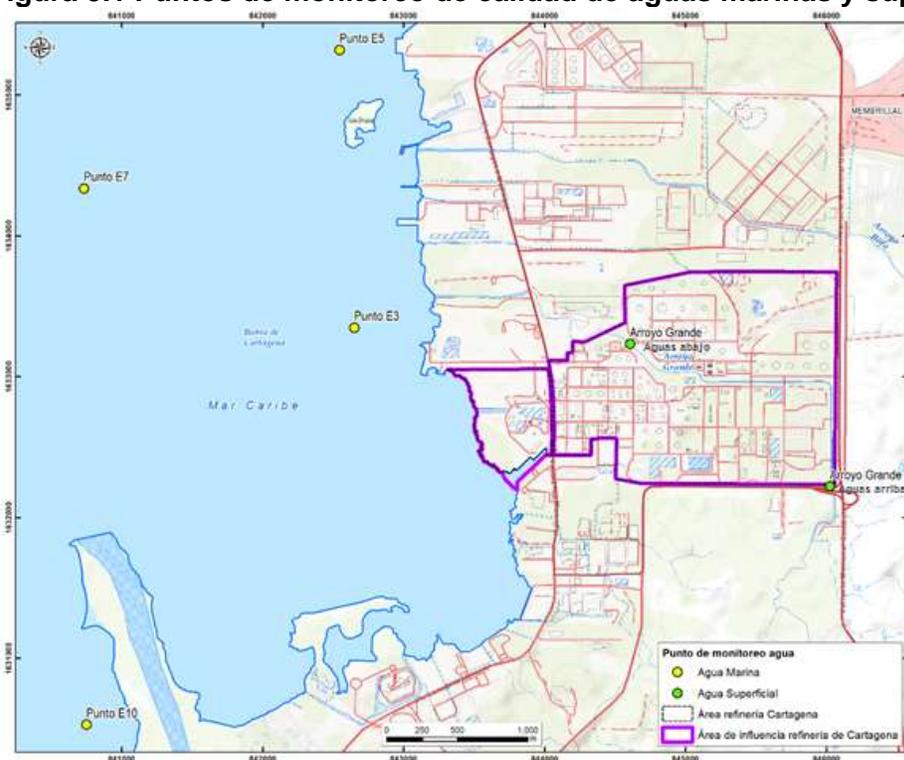
**Tabla 3.1 Descripción de monitoreos de calidad de agua**

Tipo	Nombre	Ubicación	Coordenadas origen central		Fecha del monitoreo
			Este	Norte	
Agua superficial	Arroyo Grande	Aguas arriba	846025	1632223	Agosto de 2018
		Aguas abajo	844605	1633234	
Agua marítima	Cuatro sectores sobre la bahía de Cartagena	Punto E3	842648,79	1633350,63	Marzo y noviembre de 2018
		Punto E5	842546,58	1635322,11	
		Punto E7	840731,94	1634339,74	
		Punto E10	840749,94	1630530,07	

Fuente: Concol by WSP, 2019

Como se puede evidenciar en la Figura 3.1, los puntos monitoreados están ubicados en las áreas de mayor importancia, en términos de calidad de agua, correspondientes a la red de monitoreos establecida por la Refinería.

**Figura 3.1 Puntos de monitoreo de calidad de aguas marinas y superficiales**



Fuente: Concol by WSP, 2019

### 3.2.5.2 Caracterización de las aguas superficiales

A continuación, se realiza un análisis de los resultados obtenidos en el monitoreo del drenaje denominado Arroyo Grande, con relación al Decreto 1076 de 2015, puntualmente, frente a los artículos 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico, 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico y 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola; considerando los datos reportados en la Tabla 3.2. Los informes del laboratorio se pueden observar en el Anexo 3. Caracterización ambiental, 3.1. Aspectos abióticos, Cap. 3.2.5 Calidad del agua.

**Tabla 3.2 Monitoreo calidad del agua del Arroyo Grande**

Parámetro	Unidades	Entrada arroyo Grande aguas arriba	Salida arroyo Grande aguas abajo	Decreto 1076 de 2015		
				Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Aceites y grasas	mg/L	<1,00	<1,00	S.P.V	S.P.V.	N.E.
Alcalinidad total	mg/L de CaCO <sub>3</sub>	62,6	105	N.E	N.E	N.E
Benceno, Tolueno, Xileno y Etilbenceno (BTEX)	mg/L	<0,010	<0,010	N.E	N.E	N.E
Cianuros totales	mg/L de CN-	<0,02	<0,02	0,2	0,2.	N.E.
Cobre	mg/L de Cu	<0,100	<0,100	1	1	0,2
Compuestos fenólicos	mg/L	<0,007	<0,007	0,002	0,002	N.E.
Compuestos orgánicos volátiles (Voc,s)	mg/L de VOCs	<1,653	<1,653	N.E	N.E	N.E
Conductividad eléctrica	uS/cm	808	269	N.E	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0,200	<0,200	0,05	0,05	0,1
DBO	mg/L de O <sub>2</sub>	18,3	18,3	N.E	N.E	N.E
DQO	mg/L de O <sub>2</sub>	<32,0	41,2	N.E.	N.E.	N.E.
Fenoles	mg/L	<0,20	<0,20	N.E.	N.E.	N.E.
Fosforo total	mg/L de P	0,0247	<0,02	N.E.	N.E.	N.E.
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's)	mg/L de HAPS	<0,010	<0,010	N.E.	N.E.	N.E.
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<1,00	<1,00	N.E.	N.E.	N.E.
Mercurio	mg/L de Hg	<0,001	<0,001	0,002	0,002	N.E.
Nitratos	mg/L de NO <sub>3</sub> -N	0,154	<0,1	10	10	N.E.
Nitritos	mg/L de (NO <sub>2</sub> - N)	<0,01	0,304	1	1	N.E.
Nitrógeno amoniacal	mg/l de	<0,1	<0,1	N.E.	N.E.	N.E.
Nitrógeno total kjeldahl	mg/L de N	<0,54	<0,54	N.E.	N.E.	N.E.
Ortofosfatos	mg/L de PO <sub>4</sub> 3-	<0,06	<0,06	N.E.	N.E.	N.E.

Parámetro	Unidades	Entrada arroyo Grande aguas arriba	Salida arroyo Grande aguas abajo	Decreto 1076 de 2015		
				Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Oxígeno disuelto	mg/L	4,7	5,4	N.E.	N.E.	N.E.
pH	Unidades de pH	7,63	7,81	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0,100	<0,100	0,05	0,05	5
Selenio	mg/L de Se	<0,001	<0,001	0,01	0,01	0,02
Sólidos suspendidos totales	mg/L de SST	5	2,5	N.E.	N.E.	N.E.
Sólidos totales	mg/L	125	551	N.E.	N.E.	N.E.
Sulfatos	mg/L de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<10	93,6	400	400	N.E.
Sulfuros	mg/L de SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	<4,00	<4,00	N.E.	N.E.	N.E.
Temperatura	°C	30,6	32,8	N.E.	N.E.	N.E.

N.E: No específica

S.P.V: Sin película visible

Fuente: Instituto de Higiene Ambiental S.A.S., 2018

De acuerdo con la Tabla 3.2, es posible evidenciar que para los parámetros citados se obtienen concentraciones mínimas y/o que se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método de análisis empleado en el laboratorio, indicando que no se detectaron en la muestra o que no existen trazas significativas de aceites y grasas, BTEX, cianuro total, cobre, compuestos fenólicos, COV's, cromo, fenoles, fósforo total, HAP's, hidrocarburos totales, mercurio, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total kjeldahl, ortofosfatos, plomo, selenio y sulfuros; siendo importante destacar que los valores obtenidos acatan lo estipulado por la normatividad ambiental vigente, evidenciando la no afectación al recurso por actividades antrópicas.

### 3.2.5.2.1 Conductividad y sulfatos

En la Figura 3.2, se muestran las concentraciones reportadas para los parámetros de conductividad eléctrica y sulfatos. Entendiéndose que, la conductividad eléctrica es la capacidad que el agua tiene de conducir la corriente eléctrica, tiene relación con la existencia de iones disueltos en el agua, que son partículas con cargas eléctricas, cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos, mayor será la conductividad eléctrica del agua. La conductividad del arroyo Grande, presentan un grado de mineralización importante aguas arriba, mientras que aguas abajo la mineralización es media, de acuerdo con los niveles establecidos para la relación mineralización - conductividad por Espigares & Pérez (1995) – Ver Tabla 3.3.

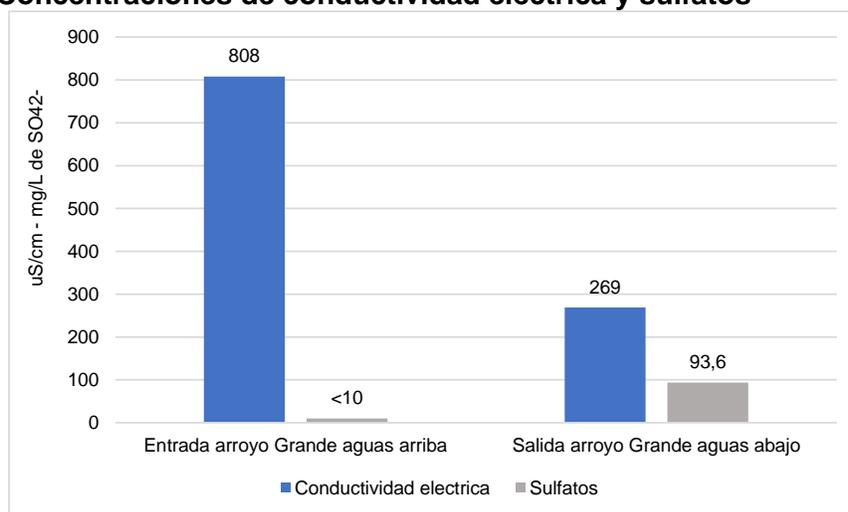
**Tabla 3.3 Escala de Mineralización en Agua de acuerdo con la Conductividad**

Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Mineralización
Menor de 100	Muy Débil
100 - 200	Débil
200 - 700	Media
700 - 1000	Importante
Más de 1000	Excesiva

Fuente: Tomado de (Espigares García & Pérez López, 1995)

La conductividad está influenciada principalmente por el contenido de sales disueltas como los sulfatos que reportaron valores de <10,0 mg/L aguas arriba y 93,6 mg/L aguas abajo, los cuales evidencian la baja concentración de sales en el cuerpo de agua monitoreado, destacando su cumplimiento normativo al no registrar valores superiores al máximo establecido (400,0 mg/L).

**Figura 3.2 Concentraciones de conductividad eléctrica y sulfatos**



Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.2.2 Oxígeno disuelto

En la Figura 3.3, se muestran las concentraciones reportadas para el oxígeno disuelto (OD), el cual corresponde al oxígeno que se encuentra disponible en el agua, este parámetro es uno de los indicadores más importantes de calidad de agua debido a que provee el desarrollo de vida en los cuerpos de agua. La principal fuente de oxígeno es la interacción aire-liquido, este se da por turbulencia en los cuerpos lóticos. Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 - 18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 - 6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática (Ver Tabla 3.4).

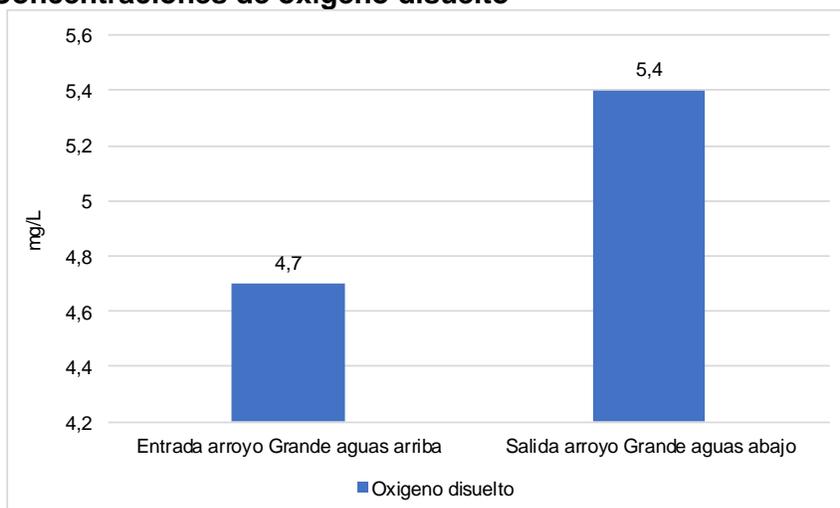
**Tabla 3.4 Escalas de OD y su relación con la calidad del agua**

Nivel de OD (mg/L)	Calidad del Agua
0,0 – 4,0	<b>Mala:</b> Algunas poblaciones de peces y macroinvertebrados empezarán a bajar
4,1 – 7,9	<b>Aceptable:</b> Preservación de flora y fauna aguas cálidas.
8,0 – 12,0	<b>Buena</b>
>12,0	El agua presenta aireación asistida (aireación artificial o en caso de no presentar, inconsistencia en el muestreo o análisis de la muestra)

Fuente: Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE) 2006.

Los valores registrados en el arroyo, muestra que este drenaje tiene una aceptable calidad del agua para la preservación de flora y fauna.

**Figura 3.3 Concentraciones de oxígeno disuelto**

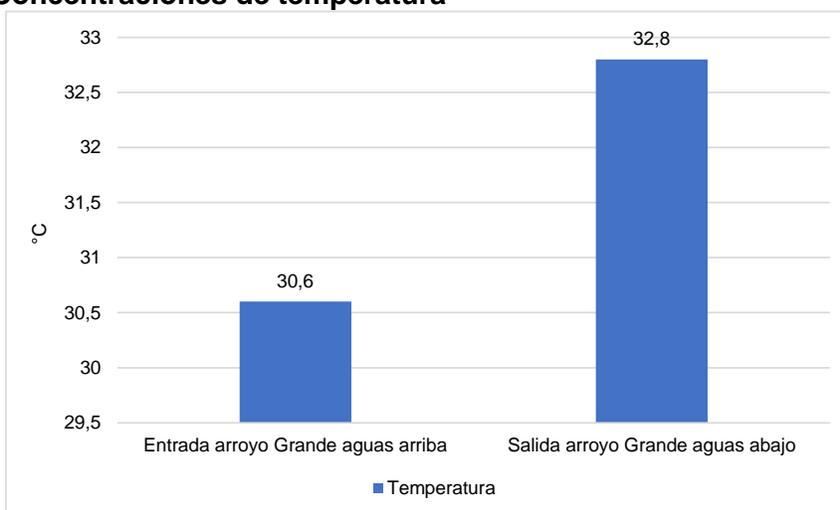


Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.2.3 Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro de análisis importante pues influye directamente en el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio. De acuerdo con los resultados obtenidos en el monitoreo, y como se puede observar en la Figura 3.4, se registraron temperaturas de 30,6°C y 32,8°C; los resultados obtenidos no presentaron variaciones significativas. La temperatura de las muestras analizadas también se encuentran influencias por las condiciones climatológicas de la zona.

**Figura 3.4 Concentraciones de temperatura**



Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.2.4 Alcalinidad total

La alcalinidad es definida como la resistencia del agua para neutralizar un ácido (Henry & Heinke, 1999) (capacidad buffer), está asociada, principalmente, a aniones que neutralizan los H<sup>+</sup> provenientes de las sustancias ácidas. Sin embargo, otra fuente de alcalinidad también pueden ser los hidróxidos (OH<sup>-</sup>); por tanto, un grado alto de alcalinidad evita los cambios bruscos de pH, dando la capacidad de realizar procesos biológicos de forma estable. Los valores de alcalinidad en un cuerpo de agua pueden determinar si el agua es dura o blanda de acuerdo con lo establecido en la Tabla 3.5.

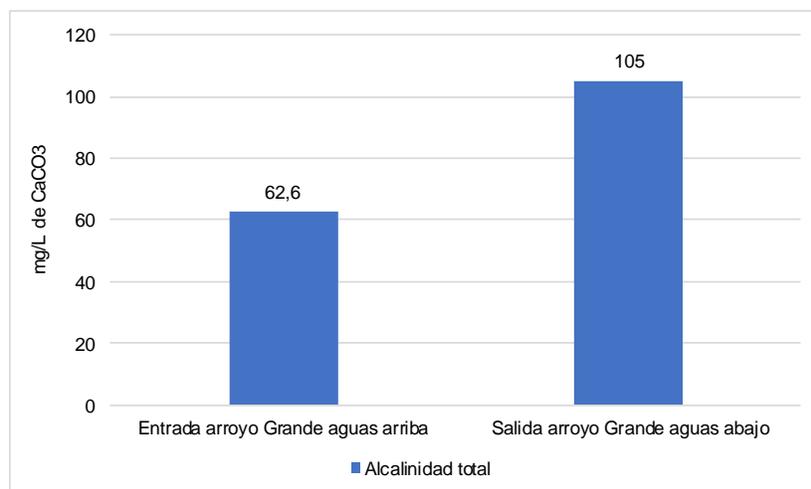
**Tabla 3.5 Escala de mineralización en agua de acuerdo con la Alcalinidad**

Valoración	Alcalinidad (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
Muy Baja	< 12,3
Baja	24,6 - 41
Media	41 – 98,4
Alta	98,4 – 147,6
Muy Alta	> 147,6

Fuente: Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE) 2006

En la Figura 3.5, se puede observar que el arroyo presenta una mineralización media – alta, lo que quiere decir que son aguas con un moderado nivel de minerales, referenciando que son aguas duras y poco susceptibles de sufrir acidificación.

**Figura 3.5 Concentraciones de alcalinidad total**



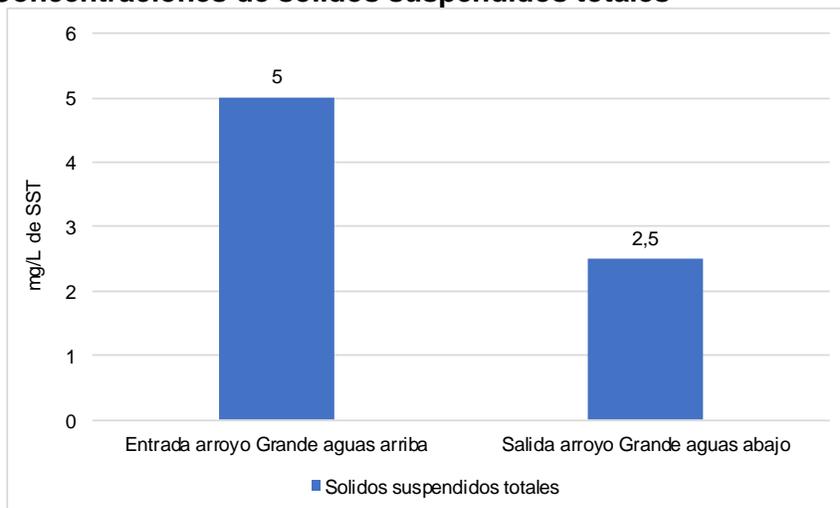
Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.2.5 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos, están compuestos por partículas de origen orgánico e inorgánico; así como líquidos inmiscibles (Gomez, 2003). Una característica de estas partículas, es que generan un aspecto al agua no tan agradable a la vista, proveen un refugio para el transporte de agentes químicos que pueden ser tóxicos y agentes biológicamente activos precursores de enfermedades.

A continuación, en la Figura 3.6, se puede observar que las concentraciones son muy bajas, indicando que el arroyo tiene aguas poco turbias e incoloras.

**Figura 3.6 Concentraciones de sólidos suspendidos totales**



Fuente: Concol by WSP, 2019.

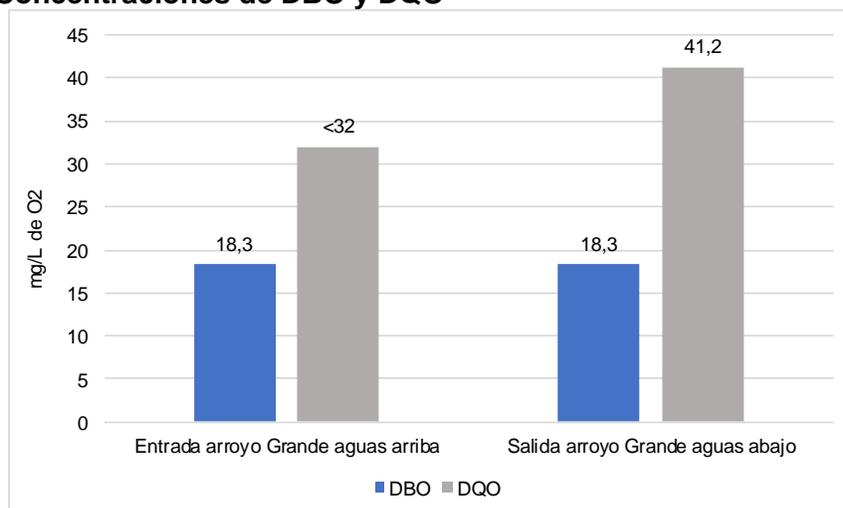
### 3.2.5.2.6 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DBO está definida como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para descomponer la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas. Esta prueba sirve para cuantificar la contaminación de aguas domésticas e industriales con materia orgánica en términos de requerimiento de oxígeno (Sawyer & McCarty, 2001).

La prueba de la Demanda Química de Oxígeno DQO es ampliamente usada para determinar la carga orgánica e inorgánica de aguas residuales domésticas e industriales (Sawyer & McCarty, 2001).

En la Figura 3.7, se muestra que la DBO permanece constante aguas arriba y aguas abajo del arroyo, indicando que durante el tramo del cuerpo de agua en la refinería no se realiza ningún tipo de aporte orgánico y por lo tanto presenta poca contaminación orgánica. Adicionalmente, la DQO tampoco presenta mayor variación en el cuerpo de agua por lo que se puede descartar contaminación por materia orgánica.

**Figura 3.7 Concentraciones de DBO y DQO**



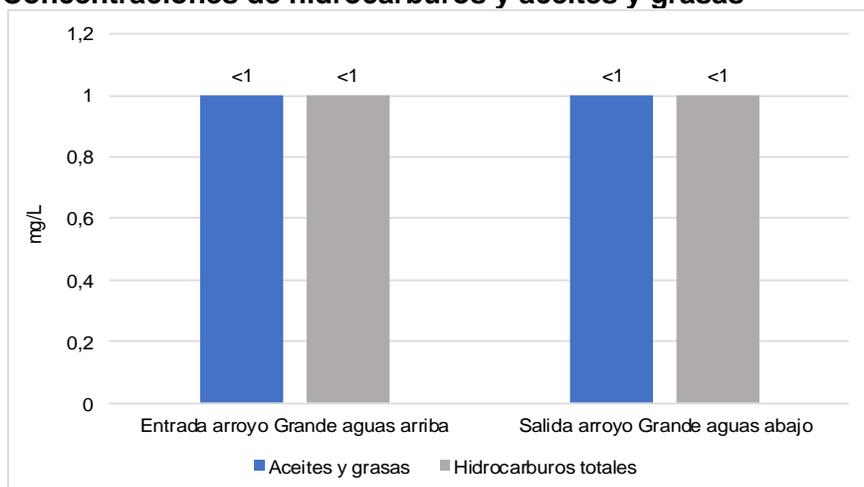
Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.2.7 Hidrocarburos y aceites y grasas

La presencia de grasas o aceites en las aguas se da principalmente por vertimientos, tanto de origen industrial como doméstico. El principal efecto sobre la calidad del recurso se da por su presencia en forma de película sobre la superficie del agua, lo cual dificulta la interacción aire-agua, provocando problemas de difusión y concentración del oxígeno en el agua (Salamanca & Palacios, 2005). Por otro lado, la presencia de hidrocarburos, generalmente se asocia a derrames de tipo industrial y se caracterizan por su alto grado de peligrosidad, en especial los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's) que dificultan de igual forma los procesos de difusión del oxígeno (Salamanca & Palacios, 2005), además de otros problemas directos sobre la biota presente en el agua (adherencia a los individuos, sofocamiento, etc.).

Sin embargo, como se puede observar en la Figura 3.8, en ninguno de los parámetros tanto aguas arriba como aguas abajo, se detectaron concentraciones superiores al límite de detección de la técnica empleada por el laboratorio (<1 mg/L), mostrando que no hay un aporte significativo de estas sustancias en el arroyo.

**Figura 3.8 Concentraciones de hidrocarburos y aceites y grasas**

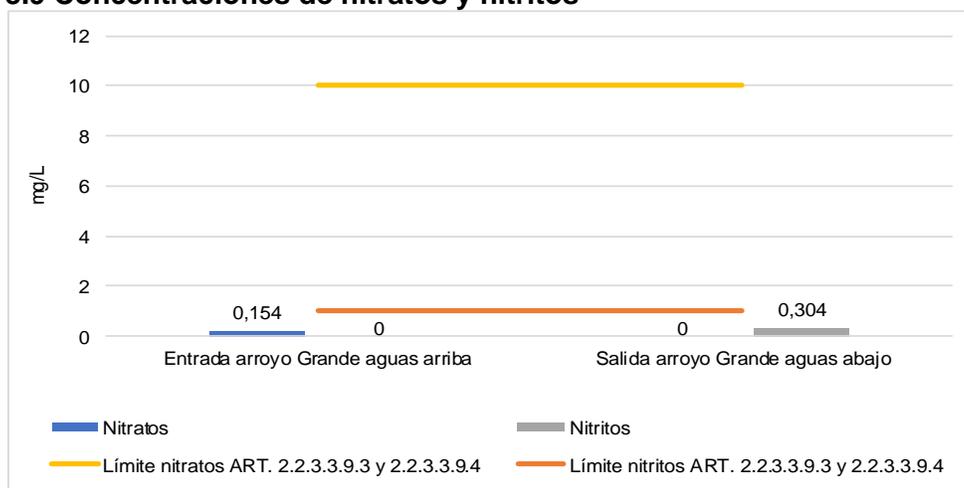


Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.2.8 Nitratos y nitritos

En la Figura 3.9, se observa el cumplimiento de la normatividad vigente, dado que tanto aguas arriba como aguas abajo se presentaron concentraciones muy bajas en el arroyo para los dos parámetros.

**Figura 3.9 Concentraciones de nitratos y nitritos**

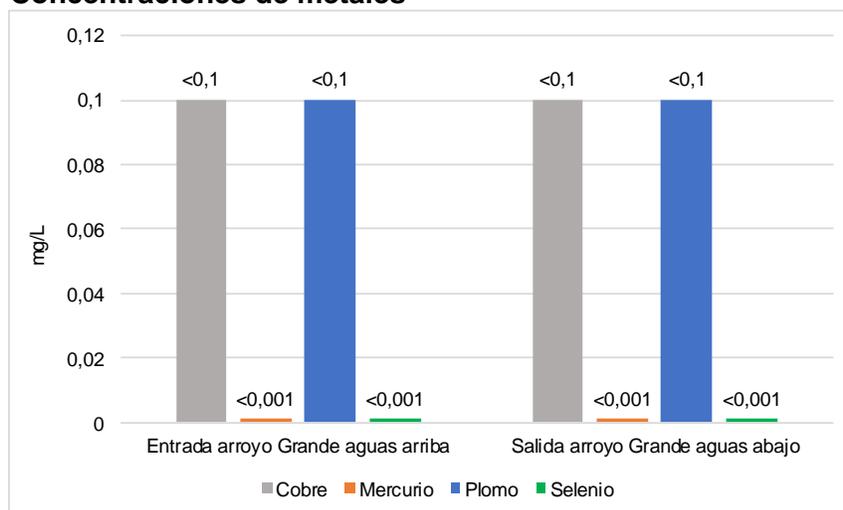


Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.2.9 Metales

En la Figura 3.10, se observa que tanto aguas arriba como aguas abajo del arroyo Grande, los reportes arrojaron un valor que se encuentran por debajo del valor límite de detección de la técnica empleada por el laboratorio para cada metal, y la concentración resultante para cada parámetro no genera restricciones de uso ni indica contaminación en el cuerpo de agua.

**Figura 3.10 Concentraciones de metales**



Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.2.10 pH

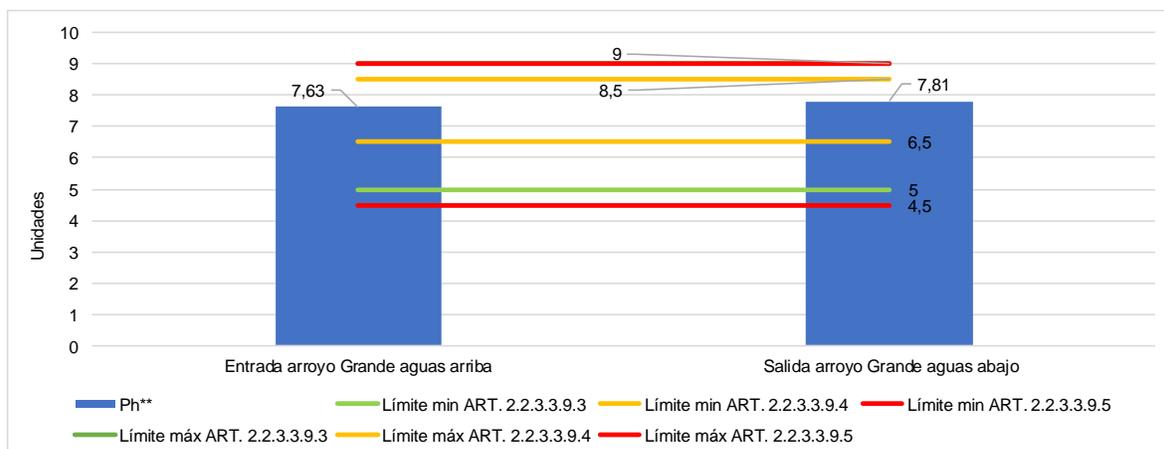
En la Figura 3.11, se muestran las concentraciones reportadas para el potencial de hidrógeno o pH, donde se evidencia el cumplimiento de la normatividad. Es importante mencionar que el pH del agua potable natural debe estar entre 6,5 y 8,5; las fuentes de agua dulce con un pH inferior a 5,0 o mayor a 9,5 no soportan vida vegetal ni especies animales (ver Tabla 3.6); por lo tanto, se puede establecer que el arroyo Grande presenta una buena calidad de agua.

**Tabla 3.6 Escalas de pH y su relación con la calidad del agua**

pH	Calidad de Agua
< 5,5	<b>Mala:</b> Las fuentes de agua dulce con un pH inferior a 5,0 o mayor a 9,5 no soportan vida vegetal ni especies animales.
5,5-5,9	<b>Aceptable</b>
6-6,4	<b>Buena</b>
6,5-7,5	<b>Excelente</b>
7,6-8	<b>Buena</b>
8,1-8,5	<b>Aceptable</b>
>8,6	<b>Mala:</b> Muy Alcalina los peces y otros organismos se ven drásticamente disminuidos

Fuente: Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE) 2006

Figura 3.11 Concentraciones de oxígeno pH



Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.3 Caracterización de las aguas marinas

A continuación, se realiza un análisis de los resultados obtenidos en el monitoreo de las aguas marinas, en época seca correspondiente al mes de marzo de 2018 y época de lluvias para el mes de noviembre de 2018, con relación al Decreto 703 de 2018, artículo 18. Corrijase el artículo 2.2.3.3.9.10., de la sección 9, capítulo 3, título 3, parte 2, libro 2, sobre criterios de calidad para preservación de flora y fauna, así como la Resolución 631 de 2015.

**Tabla 3.7 Monitoreo calidad del agua marina superficial**

Parámetro	Unidades	Época seca				Época de lluvia				Dec. 703 de 2018. Art. 18*	Resol. 631 de 2015. Art. 11. Producción
		E-03	E-05	E-07	E-10	E-03	E-05	E-07	E-10		
Aceites y grasas	mg/L	<1,0	1,6	<1,0	3,35	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0,01	15
Benceno, tolueno, xileno y etilbenceno	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	N.E	Análisis y reporte
Cianuro	mg/L de CN	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	1,0
Compuesto fenólicos	mg/L	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	N.E	N.E
Compuestos orgánicos volátiles	mg/L de VOCs	---	---	---	---	<0,00165	<0,00165	<0,00165	<0,00165	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	<0,200	N.E	0,50
Cromo hexavalente	mg/L	---	---	---	---	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01	N.E
DBO	mg/L de O <sub>2</sub>	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	181	12,6	25,8	33,6	N.E	60
DQO	mg/L de O <sub>2</sub>	<32,0	<32,0	<32,0	<32,0	406	<32,0	56,4	69,3	N.E	180
Fenoles	mg/L	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	N.E	0,20
Fósforo total	mg/L de P	<0,02	<0,02	<0,02	0,0406	0,0562	0,0342	0,0586	0,06	N.E	N.E
Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP,s)	mg/L de HAPS	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	N.E	Análisis y reporte
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	N.E	10
Níquel	mg/L de Ni	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	0,01	0,50
Nitratos	mg/L de NO <sub>3</sub> -N	0,72	0,51	0,72	0,88	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	N.E	Análisis y reporte
Nitritos	mg/L de (NO <sub>2</sub> - N)	0,01	0,0155	0,01	<0,01	0,0269	0,0177	<0,01	<0,01	N.E	N.E

Parámetro	Unidades	Época seca				Época de lluvia				Dec. 703 de 2018. Art. 18*	Resol. 631 de 2015. Art. 11. Producción
		E-03	E-05	E-07	E-10	E-03	E-05	E-07	E-10		
Nitrógeno amoniacal	mg/l de	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,4	0,1	0,1	0,2	N.E	Análisis y reporte
Nitrógeno total kjeldahl	mg/L de N	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	<0,54	N.E	10
Ortofosfatos	mg/L de PO43-	<0,06	<0,06	<0,06	0,116	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	N.E	N.E
Oxígeno disuelto	% de saturación	98,4	98,9	95,4	96,3	56,5	50,3	66,7	24,3	4,0	N.E
Ph	Unidades de pH	8,55	8,57	8,55	8,61	8,1	8,2	8	8,2	6,5 - 8,5	6,0 – 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,100	<0,100	<0,100	<0,100	0,01	0,2
Salinidad	ppt	11,5	45,42	11,5	9,8	18,2	17,5	11,5	13,3	N.E	N.E
Sólidos disueltos totales	mg/L de SST	---	---	---	---	22100	18500	11000	21100	N.E	N.E
Sólidos suspendidos totales	mg/L de SST	10,6	8,25	10,6	30,5	19,5	22,2	69	42,7	N.E	1,0
Sólidos totales	mg/L	285	284	285	270	25200	22300	11400	26810	N.E	N.E
Sulfuros	mg/L de SO32	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	N.E	1,0
Temperatura	°C	25,3	25,3	25,3	25,7	30,8	31,7	32,4	28,2	N.E	N.E

N.E: No específica

\*El Decreto 703 de 2018, en su artículo 18, modifica el artículo 2.2.3.9.10 del Decreto 1076 de 2015.

Fuente: Instituto de Higiene Ambiental S.A.S., 2018

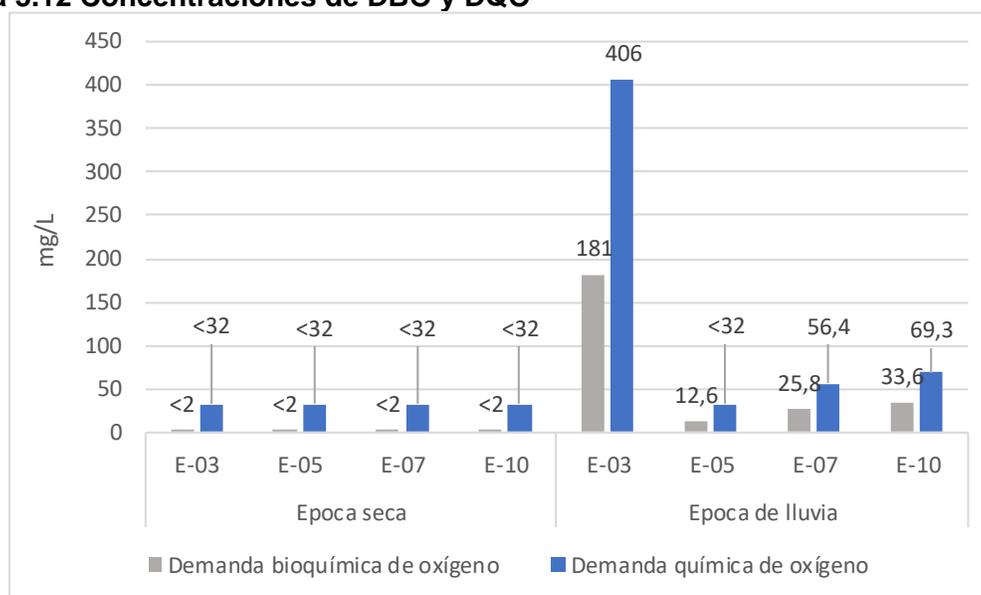
De acuerdo con la Tabla 3.7, es posible evidenciar que para los parámetros analizados se obtuvieron concentraciones mínimas y/o que se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método de análisis empleado en el laboratorio, indicando que no se detectaron en la muestra o que no existen trazas significativas, como BTEX, Cianuro, compuestos fenólicos, cromo, fenoles, Fosforo total, Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP's), Hidrocarburos totales, níquel, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total Kjeldahl, ortofosfatos, plomo y sulfuros; siendo importante destacar que los valores obtenidos de estos parámetros se encuentran por debajo de los límites establecidos en la normatividad ambiental vigente, evidenciando la no afectación al recurso por actividades antrópicas.

### 3.2.5.3.1 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Como se puede evidenciar en la Figura 3.12, para la época seca en los 4 puntos, tanto en DBO como DQO, se reportó una concentración poco significativa, correspondiente a concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica utilizada (<2 mg/L y <32,0 mg/L, respectivamente).

Con relación a la época de lluvias, la DQO en los 4 puntos reportó concentraciones que oscilan entre <32,0 mg/L y 406,0 mg/L (E-03), siendo importante destacar que tres de los cuatro puntos de monitoreo presentaron concentraciones por debajo del límite de la técnica analítica utilizada (<32,0 mg/L), sin embargo, en el punto E-03, se reporta una concentración de materia orgánica de 406 mg/L, en este mismo punto se presentan concentraciones de 181 mg/L de DBO.

**Figura 3.12 Concentraciones de DBO y DQO**

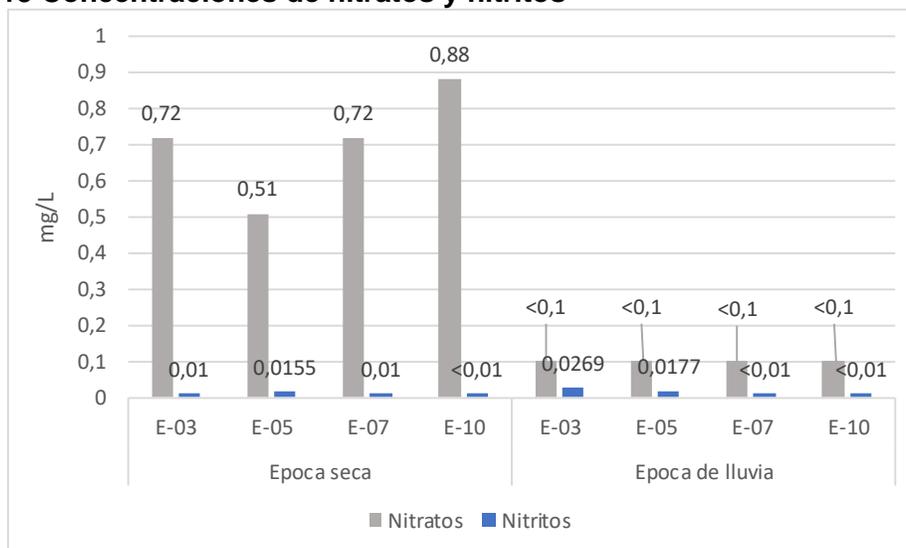


Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.3.2 Nitratos y nitritos

En la Figura 3.13, se puede observar que los nitratos presentan concentraciones más altas en época seca, aunque estos valores son bajos, mientras que en la época de lluvia las concentraciones se presentaron por debajo del límite de la técnica analítica empleada (<0,1). Frente a los nitritos se evidencia un comportamiento similar en las dos épocas climáticas.

**Figura 3.13 Concentraciones de nitratos y nitritos**



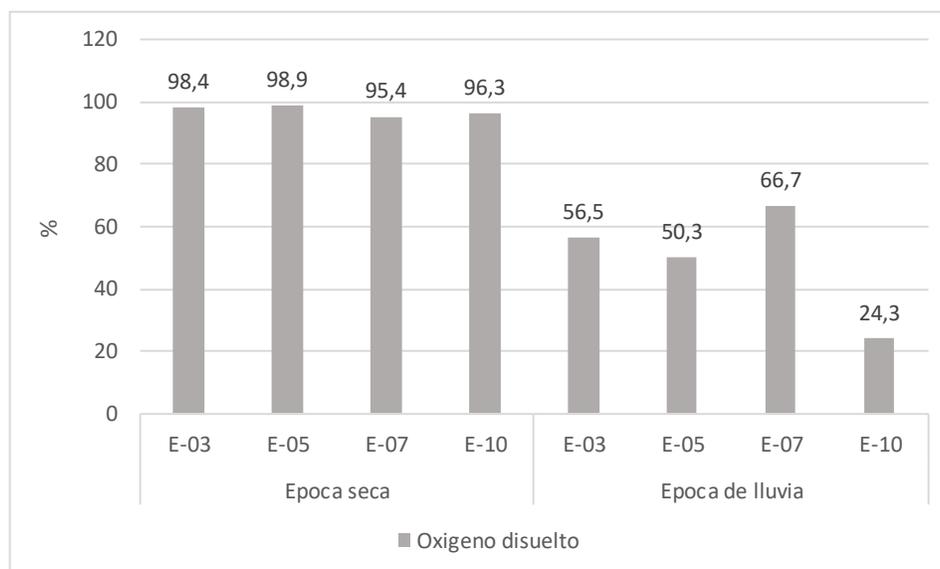
Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.3.3 Oxígeno disuelto

En la Figura 3.14, para la época seca, la saturación de oxígeno presento variaciones leves entre los puntos evaluados, con resultados que oscilan entre 95,4% como valor mínimo (E-07) y 98,9% como valor máximo (E-05), cuyo promedio de los cuatro (4) puntos de monitoreo fue de 94,05%, valores que se consideran típico para esta época climática en el caribe colombiano (entre 71,9 y 108,4%) (Arévalo y Franco, 2008).

Con relación a la época de lluvias, La saturación de oxígeno presento variaciones leves en tres de los puntos evaluados, mientras que en el punto E-10, presento la mayor variación, dado que la saturación de oxígeno es casi la mitad en referencia a los demás puntos, esto se puede atribuir a la cercanía con el canal del dique. Los resultados oscilan entre 24,3% como valor mínimo (E-10) y 66,7% como valor máximo (E-07), cuyo promedio de los cuatro (4) puntos de monitoreo fue de 49,5 %, valores que se consideran atípicos dada la época de lluvias, sin embargo, también depende de las condiciones atmosféricas (variable presión).

**Figura 3.14 Concentraciones de oxígeno disuelto**



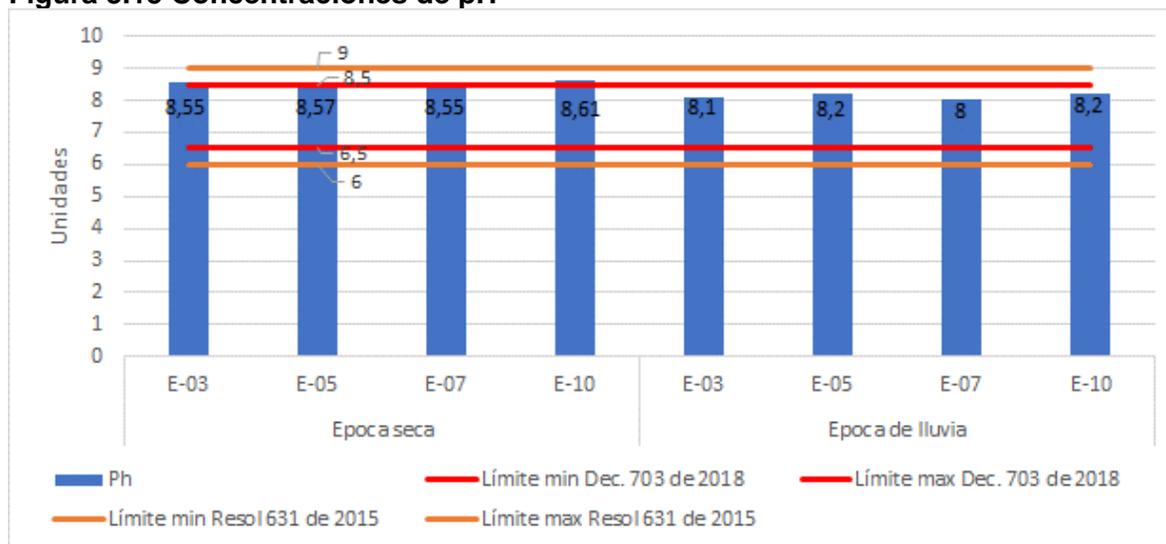
Fuente: Concol by WSP, 2019.

#### 3.2.5.3.4 pH

En la Figura 3.15, se evidencia para la época de lluvias que los puntos de monitoreo reportan valores que oscilan entre 8,0 unidades de pH y 8,2 unidades de pH, indicando características alcalinas, siendo una condición natural en aguas marinas debido a que estas generalmente presentan una mayor cantidad de bicarbonatos y de iones de hidróxido (Hernández – Ayón, et al, 2003).

Frente a la época seca, el resultado de pH presento valores que oscilan entre 8,55 unidades y 8,61 unidades, valores que una vez comparados con la norma superan ligeramente el valor máximo (8,5) establecido en el artículo 2.2.3.3.9.10. Los puntos monitoreados presentan una tendencia moderadamente alcalina.

Figura 3.15 Concentraciones de pH

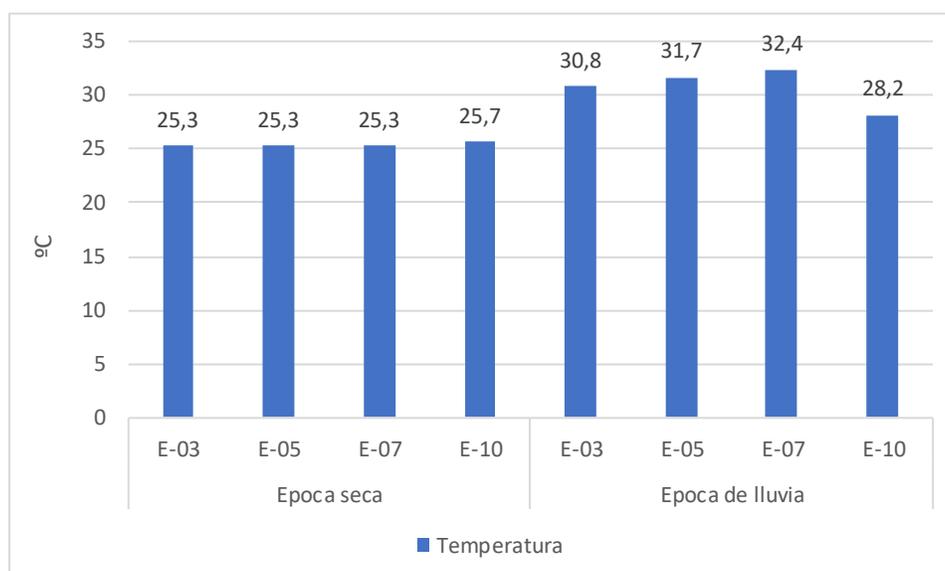


Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.3.5 Temperatura

En la Figura 3.16, se puede evidenciar que para las dos épocas no se presentaron variaciones significativas en cada uno de los cuatro (4) puntos monitoreados. Igualmente, la temperatura de las muestras analizadas también se encuentran influenciadas por las condiciones climatológicas de la zona. Para la época seca las concentraciones oscilan entre 25,3°C y 25,7°C, mientras que en la época de lluvias esta entre 28,2°C y 32,4°C.

Figura 3.16 Concentraciones de temperatura



Fuente: Concol by WSP, 2019.

### 3.2.5.4 Índices de contaminación del agua

Para caracterizar EL Arroyo Grande y las aguas marítimas, se aplicaron tres índices de contaminación (ICO): ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos, ICOTRO relacionado con la contaminación trófica y el ICOPH referente a contaminación por pH. La interpretación de cada índice de contaminación se realizó con base en los rangos establecidos que se relacionan en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Calificación de los Índices de Contaminación**

ICOSUS, ICOTRO, ICOPH		
Valor	Categoría	Caracterización
0- 0,2	Baja	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos
> 0,2 – 0,4	Aceptable	Con leve incidencia antrópica
> 0,4 – 0,6	Media	Notable actividad antrópica
> 0,6 – 0,8	Alta	Incidencia importante de contaminación
> 0,8 – 1	Muy Alta	Áreas muy contaminadas

Fuente: (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997)

#### 3.2.5.4.1 ICOSUS

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS): Para el índice de contaminación por Sólidos Suspendidos, se utiliza la siguiente fórmula:

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 * \text{Sólidos suspendidos} \left(\frac{mg}{l}\right)$$

Condiciones:

Sólidos Suspendidos mayores a 340mg/L, tienen un índice de 1.

Sólidos Suspendidos menores a 10mg/L, tienen un índice de 0.

En la Tabla 3.9, se presentan los resultados del ICOSUS para cada punto monitoreado, respecto a la contaminación por sólidos suspendidos de los cuerpos de agua, donde se puede observar que esta es baja.

**Tabla 3.9 ICOSUS de puntos monitoreados**

Punto monitoreo	ICOSUS	Categoría
Entrada arroyo Grande aguas arriba	0,000	Baja
Salida arroyo Grande aguas abajo	0,000	Baja
Época seca E-03	0,012	Baja
Época seca E-05	0,000	Baja
Época seca E-07	0,012	Baja
Época seca E-10	0,072	Baja
Época lluvia E-03	0,039	Baja
Época lluvia E-05	0,047	Baja
Época lluvia E-07	0,187	Baja
Época lluvia E-10	0,108	Baja

Fuente: ConCol by WSP., 2019

### 3.2.5.4.2 ICOTRO

Se determina por la concentración de fósforo total, el cual define el tipo de organismos vegetales que habrán de prevalecer, así como la eutrofización de los sistemas acuáticos. Se define por sí misma en categorías, como se describe a continuación:

Oligotrófico < 0.01 (mg/l)  
 Eutrófico 0.02 - 1 (mg/l)  
 Mesotrófico 0.01 - 0.02 (mg/l)  
 Hipereutrófico > 1 (mg/l)

En la Tabla 3.10, se presentan los resultados del ICOTRO para cada punto monitoreado, respecto a la contaminación trófica de los cuerpos de agua, donde se puede observar que los puntos que posiblemente presentan Mesotrofia, se dan porque durante el análisis reportaron concentraciones inferiores al límite de la técnica analítica empleada por el laboratorio.

**Tabla 3.10 ICOTRO de puntos monitoreados**

Punto monitoreo	ICOTRO	Categoría
Entrada arroyo Grande aguas arriba	0,0247	Eutrofia
Salida arroyo Grande aguas abajo	<0,02	Mesotrofia
Época seca E-03	<0,02	Mesotrofia
Época seca E-05	<0,02	Mesotrofia
Época seca E-07	<0,02	Mesotrofia
Época seca E-10	0,0406	Eutrofia
Época lluvia E-03	0,0562	Eutrofia
Época lluvia E-05	0,0342	Eutrofia
Época lluvia E-07	0,0586	Eutrofia
Época lluvia E-10	0,06	Eutrofia

Fuente: ConCol by WSP., 2019

### 3.2.5.4.3 ICOpH

Para el índice de contaminación por Sólidos Suspendidos, se utiliza la siguiente fórmula:

$$ICOpH = \frac{e^{-31,08 + 3,45 pH}}{1 + e^{-31,08 + 3,45 pH}}$$

En la Tabla 3.11 se presentan los resultados del ICOpH para cada punto monitoreado, donde se puede observar que esta es baja con excepción del punto E-10 monitoreado en época seca que reporta una contaminación aceptable.

**Tabla 3.11 ICOpH de puntos monitoreados**

Estación	ICOpH	Categoría
Entrada arroyo Grande aguas arriba	0,0085	Baja
Salida arroyo Grande aguas abajo	0,0157	Baja
Época seca E-03	0,1704	Baja

Época seca E-05	0,1804	Baja
Época seca E-07	0,1704	Baja
Época seca E-10	0,2017	Aceptable
Época lluvia E-03	0,0417	Baja
Época lluvia E-05	0,0579	Baja
Época lluvia E-07	0,0299	Baja
Época lluvia E-10	0,0579	Baja

Fuente: ConCol by WSP., 2019