

**“ANÁLISIS MULTI-TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN
LA ZONA DE VERTIMIENTO DE LOS EMISARIOS SUBMARINOS.
CASO DE ESTUDIO: PUNTA CANOA, CARTAGENA DE INDIAS”**



**Universidad
de Cartagena**

Fundada en 1827

**LUZ ESTELA ARANGO MENDEZ
RAQUEL MELISSA GODOY VILLEGAS**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA D.T. Y C.**

2018

**“ANÁLISIS MULTI - TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA
ZONA DE VERTIMIENTO DE LOS EMISARIOS SUBMARINOS. CASO DE
ESTUDIO: PUNTA CANOA, CARTAGENA DE INDIAS”**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE MODELACION AMBIENTAL
(GIMA)**

**LUZ ESTELA ARANGO MÉNDEZ Cód. 0211210045
RAQUEL MELISSA GODOY VILLEGAS Cód. 0211210034**

Trabajo de Grado para el título de Ingeniero Civil

**DIRECTORA
MÓNICA ELJAIK URZOLA**

**Universidad de Cartagena
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
2018**



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO DE REFERENCIA	19
1.1. ANTECEDENTES	19
1.2. ESTADO DEL ARTE	23
1.3. MARCO TEORICO	25
1.3.1. Emisario submarino.....	25
1.3.2. Zona de vertimiento.....	28
1.3.3. Parámetros físicos y químicos para la determinación de calidad del agua.....	28
1.3.4. Índice de calidad de aguas marinas para la preservación de flora y fauna (ICAM _{PFF})	32
1.3.5. Análisis estadísticos de los datos.....	34
1.4. MARCO LEGAL.....	36
2. OBJETIVOS.....	38
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	38
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
3. METODOLOGÍA	39
3.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	40
3.2. ANÁLISIS MULTITEMPORAL	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1. Cálculo de ICAM _{PFF}	48
4.1.1. Variación de los parámetros ingresados en el ICAM _{PFF}	50
4.2. Revisión de los parámetros con la normativa Colombiana.....	54
4.2.1. Comparación matricial de los parámetros de la salida de la ETAR con la Resolución 0883 de 2018.....	54
4.2.2. Comparación matricial de los parámetros con los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso del Decreto 1594 de 1984.....	64
4.3. Comparación matricial de criterios de calidad de agua con la normativa de Chile....	87
4.4. Correlación entre parámetros.....	94
4.5. Dilución de contaminantes.....	98
5. CONCLUSIONES	101



6. RECOMENDACIONES	104
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	105
ANEXOS	114



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Asignación de los pesos para cada parámetro	34
Tabla 2. Resolución, Decreto y Leyes utilizadas en la investigación.....	37
Tabla 3. Coordenadas estación microbiológicos zona de resguardo y playas punta Canoa.....	43
Tabla 4. Coordenadas de las estaciones de monitoreo	43
Tabla 5. Clasificación del ICAMPPF.....	45
Tabla 6. Cálculo del índice de calidad de agua marinas en el campo lejano en la época húmeda	48
Tabla 7. Cálculo del índice de calidad de agua marinas en el campo lejano en la época seca...48	
Tabla 8. Cálculo del índice de calidad de agua marinas en el campo cercano en la época húmeda.	49
Tabla 9. Calculo del índice de calidad de aguas marinas en el campo cercano en época seca .49	
Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas.	56
Tabla 11. Comparación matricial del estado de los parámetros con la normativa colombiana en el periodo 2012 2013.	57
Tabla 12. Comparación matricial del estado de los parámetros con la normativa colombiana en el periodo 2013-2014.....	58
Tabla 13. Comparación matricial del estado de los parámetros con la normativa colombiana en el periodo 2014-2015.....	59
Tabla 14. Comparación matricial del estado de los parámetros con la normativa colombiana en el periodo 2015-2016.....	61



Tabla 15. Comparación matricial del estado de los parámetros con la normativa colombiana en el periodo 2017	62
Tabla 16. Resumen de porcentajes de violación de la norma de vertimientos	63
Tabla 17. Criterios admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario	65
Tabla 18. Concentración de Oxígeno Disuelto para el cálculo del porcentaje de saturación....	65
Tabla 19. Cálculo de porcentaje de saturación en el campo lejano	66
Tabla 20. Cálculo de porcentaje de saturación en el campo cercano	66
Tabla 21. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2012-2013.	67
Tabla 22. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2013-2014	68
Tabla 23. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2014-2015	70
Tabla 24. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2015-2016	72
Tabla 25. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2017	73
Tabla 26. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2018.....	75
Tabla 27. Resumen de porcentajes de violación de la norma de uso del recurso para campo cercano.....	76
Tabla 28. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario	



del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2012-2013.	77
Tabla 29. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2013-2014.	78
Tabla 30. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2014-2015.	80
Tabla 31. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2015-2016.	81
Tabla 32. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2017.	83
Tabla 33. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2018.	85
Tabla 34. Resumen de porcentajes de violación de la norma de uso del recurso para campo lejano.	86
Tabla 35. Indicadores de calidad de agua para uso de contacto directo.	88
Tabla 36. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2012-2013.	89
Tabla 37. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2013-2014.	89
Tabla 38. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2014-2015.	90
Tabla 39. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2015-2016.	90
Tabla 40. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2017.	90
Tabla 41. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2018.	91
Tabla 42. Resumen de valores de frecuencia de violación de la norma chilena NCh1333 para el campo cercano.	91



Tabla 43. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2012-2013....	92
Tabla 44. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2013-2014....	92
Tabla 45. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2014-2015....	92
Tabla 46. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2015-2016....	93
Tabla 47. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2017	93
Tabla 48. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2018.....	93
Tabla 49. Resumen de valores de frecuencia de violación de la norma chilena NCh1333 para el campo lejano.....	93
Tabla 50. Correlación de Pearson de los datos estudiados	95
Tabla 51. Proporción de variabilidad a partir de la correlación de los parámetros	96
Tabla 52. Porcentaje de dilución de contaminantes para campo lejano	99
Tabla 53. Porcentaje de dilución de contaminantes para campo lejano	99
Tabla 54. Promedio anual de las variables de calidad de agua medidos por ACUACAR	115
Tabla 55. Estadísticos de las variables de calidad de agua (2012-2013).....	116
Tabla 56. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época húmeda (2013-2014)....	117
Tabla 57. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época seca (2013-2014).....	118
Tabla 58. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época húmeda (2014-2015)....	119
Tabla 59. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época seca (2014-2015).....	120
Tabla 60. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época húmeda (2015-2016)....	121
Tabla 61. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época seca (2015-2016).....	122



Tabla 62. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época húmeda (2017) 123

Tabla 63. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época seca (2017) 124



TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Evolución y proyección de la población total, entre el período 1985-2020 (DANE).	19
Ilustración 2. Trazado del emisario submarino de Cartagena en Punta Canoa (El Universal, 2013).....	27
Ilustración 3. Vertientes del alcantarillado, problema ambiental y evolución de la Implementación.	41
Ilustración 4. PTAR del emisario submarino en Punta Canoa - Cartagena de Indias.	42
Ilustración 5. Zona de mezcla de aguas residuales vertidas del emisario submarino y agua de mar.	42
Ilustración 6. Puntos de muestreo campo cercano y campo lejano. Fuente Google Earth.....	44



TABLA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Promedio anual de oxígeno disuelto desde el 2012 al 2017.....	51
Gráfica 2. Promedio anual de sólidos suspendidos totales desde el 2012 al 2017.....	51
Gráfica 3. Promedio anual de pH desde el año 2012 al 2017.....	52
Gráfica 4. Promedio anual de DBO ₅ desde el 2012 al 2017.....	53
Gráfica 5. Promedio anual de fosfatos desde el 2012 al 2017.....	54
Gráfica 6. pH y SST en la salida de la ETAR en el periodo 2012-2013.....	57
Gráfica 7. DBO ₅ y Grasas y Aceites en la salida de la ETAR en el periodo 2012-2013.....	58
Gráfica 8. pH y SST en la salida de la ETAR en el periodo 2013-2014.....	58
Gráfica 9. DBO ₅ y Grasas y Aceites en la salida de la ETAR en el periodo 2013-2014.....	59
Gráfica 10. pH y SST en la salida de la ETAR en el periodo 2014-2015.....	60
Gráfica 11. DBO ₅ y Grasas y Aceites en la salida de la ETAR en el periodo 2014-2015.....	60
Gráfica 12. pH y SST en la salida de la ETAR en el periodo 2015-2016.....	61
Gráfica 13. DBO ₅ y Grasas y Aceites en la salida de la ETAR en el periodo 2015-2016.....	61
Gráfica 14. pH y SST en la salida de la ETAR en el periodo 2017.....	62
Gráfica 15. DBO ₅ y Grasas y Aceites en la salida de la ETAR en el periodo 2017.....	62
Gráfica 16. pH y CF en campo cercano en el periodo 2012-2013.....	67
Gráfica 17. CT y Compuestos Fenólicos en campo cercano en el periodo 2012-2013.....	67
Gráfica 18. Tensoactivos y %OD en campo cercano en el periodo 2012-2013.....	68



Gráfica 19. pH y CF en campo cercano en el periodo 2013-2014	69
Gráfica 20. CT y Compuestos Fenólicos en campo cercano en el periodo 2013-2014.....	69
Gráfica 21. %OD en campo cercano en el periodo 2013-2014	69
Gráfica 22. pH y CF en campo cercano en el periodo 2014-2015.....	70
Gráfica 23 . CT y Compuestos Fenólicos en campo cercano en el periodo 2014-2015.....	71
Gráfica 24. %OD y Tensoactivos en campo cercano en el periodo 2014-2015.....	71
Gráfica 25. pH y CF en campo cercano en el periodo 2015-2016	72
Gráfica 26. CT y Tensoactivos en campo cercano en el periodo 2015-2016.....	72
Gráfica 27. %OD en campo cercano en el periodo 2015-2016.....	73
Gráfica 28. pH y CF en campo cercano en el periodo 2017.....	74
Gráfica 29. CT y Tensoactivos en campo cercano en el periodo 2017	74
Gráfica 30. %OD y Compuestos fenólicos en campo cercano en el periodo 2017	74
Gráfica 31. pH y CF en campo cercano en el periodo 2018.....	75
Gráfica 32. CT y %OD en campo cercano en el periodo 2018	76
Gráfica 33. pH y CF en campo lejano en el periodo 2012-2013	77
Gráfica 34. CT y Tensoactivos en campo lejano en el periodo 2012-2013.....	77
Gráfica 35. %OD y Compuestos Fenólicos en campo lejano en el periodo 2012-2013	78
Gráfica 36. pH y CF en campo lejano en el periodo 2013-2014.....	79
Gráfica 37. CT y Compuestos fenólicos en campo lejano en el periodo 2013-2014	79



Gráfica 38. %OD en campo lejano en el periodo 2013-2014.....	79
Gráfica 39. pH y CF en campo lejano en el periodo 2014-2015.....	80
Gráfica 40. CT y Tensoactivos en campo lejano en el periodo 2014-2015.....	81
Gráfica 41. %OD y Compuestos fenólicos en campo lejano en el periodo 2014-2015	81
Gráfica 42. pH y CF en campo lejano en el periodo 2015-2016.....	82
Gráfica 43. %OD y Tensoactivos en campo lejano en el periodo 2015-2016.....	82
Gráfica 44. CT en campo lejano en el periodo 2015-2016.....	82
Gráfica 45. pH y CF en campo lejano en el periodo 2017	83
Gráfica 46. CT y Tensoactivos en campo lejano en el periodo 2017.....	84
Gráfica 47. %OD y Compuestos fenólicos en campo lejano en el periodo 2017.....	84
Gráfica 48. pH y CF en campo lejano en el periodo 2018	85
Gráfica 49. CT y %OD en campo lejano en el periodo 2018.....	85



RESUMEN

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo principal analizar la variación de la calidad del agua en Punta Canoa, Bolívar antes de la construcción e inicio de operación del Emisario Submarino en el año 2013 hasta el año 2017. Por ello se realizó una investigación documental – descriptiva, en donde se analizó la variación temporal de la calidad de agua en la zona de vertimiento del emisario submarino, por medio de estadísticos en las épocas secas y época húmeda en términos de índice de calidad de agua marina para la preservación de la flora y fauna (ICAM_{PFF}), a partir de la recopilación de información secundaria respecto al muestreo mensual de los parámetros físicos, químicos y biológicos medidos por la empresa Aguas de Cartagena S.A. E.S.P en nueve (9) puntos, ocho (8) en campo lejano y uno (1) en campo cercano, donde la mayoría de los datos estuvieron en una escala de calidad “adecuada” en época seca y época húmeda.

Teniendo en cuenta los valores límites máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de agua de tipo marino/oceánica se usó de la Resolución 0883 de 2018, para realizar un análisis de carácter matricial en el que se encontró que en el periodo comprendido en el 2014-2015 las grasas vulneraron el valor límite con una concentración de 122 mg/L en el mes de septiembre y la DBO₅ con 460 mg/L O₂ en noviembre del periodo de 2014-2015. Así mismo, se realizó un análisis con el Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015, el cual compila diversas normativas que establecen los criterios cuantificables de los parámetros para el aval de uso recreativo de las aguas con contacto primario y secundario respectivamente. Y con la normativa vigente en Chile como base para un análisis internacional.

A partir de los análisis, se concluyó que el agua de mar en Punta Canoa tiene la capacidad de auto depurar el vertimiento de aguas domésticas que se realizan en la ciudad de Cartagena en la descarga del emisario submarino, y el tratamiento preliminar que se le realiza a las aguas residuales antes de ser vertidas es óptimo.

Palabras Claves: Emisario submarino, ICAM_{PFF}, campo cercano, campo lejano, época húmeda, época seca



Abstract

The main objective of this research was to analyze the variation in water quality in Punta Canoa, Bolívar before the construction and start of operation of the Submarine Emissary in 2013 until 2017. Therefore, a documentary - descriptive investigation was carried out. , where the temporal variation of the water quality in the area of dumping of the submarine emissary was analyzed, by means of statisticians in the dry times and humid epoch in terms of index of quality of marine water for the preservation of the flora and fauna (ICAMPFF), based on the collection of secondary information regarding the monthly sampling of the physical, chemical and biological parameters measured by the company Aguas de Cartagena SA E.S.P in nine (9) points, eight (8) in the far field and one (1) in the near field, where most of the data were on a scale of "adequate" quality in dry season and wet season.

Taking into account the maximum permissible limit values in discharges to bodies of water of marine / oceanic type, Resolution 0883 of 2018 was used to perform a matrix analysis in which it was found that in the period comprised in 2014- 2015 the fats violated the limit value with a concentration of 122 mg / L in the month of September and the BOD₅ with 460 mg / L O₂ in November of the period 2014-2015. Likewise, an analysis was made with Decree 1076 of May 26, 2015, which compiles various regulations that establish the quantifiable criteria for the parameters for the endorsement of recreational use of water with primary and secondary contact respectively. And with the current regulations in Chile as the basis for an international analysis.

From the analysis, it was concluded that the seawater in Punta Canoa has the capacity to purify the discharge of domestic waters that are made in the city of Cartagena in the discharge of the submarine outfall, and the preliminary treatment that is carried out to wastewater before being discharged is optimal.

Keywords: sea outfall, ICAM_{PFF}, near field, far field, wet season, dry season.



INTRODUCCIÓN

Cartagena es una de las ciudades que posee gran diversidad de ecosistemas marinos, convirtiéndose así en una de las ciudades más importantes de Colombia, la cual está rodeada principalmente por tres cuerpos de agua: la Bahía de Cartagena, la Ciénaga de la Virgen y el Mar Caribe, los cuales se convierten en la base de diferentes actividades productivas y socioculturales, tales como la pesca, el transporte, el embarque, el turismo y la asimilación de desperdicios (Maldonado W., 2011).

A pesar de las ventajas que proporciona la ubicación de la ciudad de Cartagena, el desarrollo urbano sin planificación y la inadecuada gestión de las aguas residuales a lo largo de los años, generó la degradación de los recursos costeros y la salud pública. Por más de tres décadas, la Ciénaga de la Virgen y la Bahía de Cartagena eran los principales cuerpos receptores de las aguas residuales de la ciudad, lo que generó gran contaminación microbiológica de estos cuerpos de agua, causando así impactos negativos sobre la economía, la salud pública y los ecosistemas, dichos vertimientos se han realizado desde el inicio de su sistema de alcantarillado. Aproximadamente el 40% de las aguas servidas eran vertidas en la Bahía y el 60% dispuestas en la Ciénaga (CARDIQUE y Conservación Internacional Colombia, 2014) por ello la salud de las comunidades más pobres y vulnerables localizadas a orillas de la Ciénaga de la Virgen padeció los efectos negativos de su contaminación. Así mismo, los ecosistemas de manglares y productivos bancos de pesca en la bahía y la ciénaga sufrieron graves procesos de deterioro y el turismo se vio amenazado por la contaminación microbiológica de las playas de Cartagena (Alcaldía de Cartagena, 2010).

Para mitigar este problema desde el año 2012 se opera en la ciudad de Cartagena un emisario submarino que descarga las aguas residuales provenientes del casco urbano de la ciudad 2.85 km dentro del mar Caribe. Tales sistemas, una vez diseñados, construidos y operados, pueden aprovechar al máximo la capacidad innata de asimilación del ambiente marino, que funciona como una planta de tratamiento y disposición y, cuando están planificados apropiadamente no producirán ningún impacto indeseable en tales aguas marina (Ludwig, 1988).



Es aquí donde se ve evidenciada la importancia de la presente investigación, cuyo objetivo principal es realizar un análisis de la variación de la Calidad de Agua en el Mar Caribe, exactamente en la zona de mezcla con el agua residual en el corregimiento de Punta Canoa.

El área investigada se encuentra aproximadamente a 21 km de Cartagena, localizada en Punta Canoa. Las apropiadas condiciones oceanográficas de la zona, principalmente la dirección y velocidad de las corrientes permite garantizar los fenómenos de dilución, dispersión y decaimiento bacteriano requeridos para obtener la eficiencia del sistema (ACUACAR, 2013).

Es importante resaltar que cualquier efecto negativo sobre el mar y los recursos hidrobiológicos no sólo tiene un impacto sobre el ambiente y la salud pública de Cartagena, sino también sobre los principales sectores económicos de ésta. De esta manera, un mejoramiento en la gestión de las aguas residuales genera un impacto positivo sobre la economía regional y su contribución a la economía nacional (Eljaiek, Quiñonez, & Moreno, 2016).

Por eso, a partir de esta investigación se genera conocimiento sobre las actuales y futuras proyecciones de las condiciones ambientales del mar Caribe, uno de los principales cuerpos de agua del departamento de Bolívar, cómo se puede prevenir, mitigar y/o corregir los efectos negativos que la gestión de las aguas residuales y el cambio climático generan sobre este cuerpo de agua y por ende sobre los recursos hidrobiológicos de la ciudad.

Teniendo en cuenta que la Universidad de Cartagena ha realizado estudios previos relacionados con la calidad de los cuerpos de agua de la ciudad (Serje, 2015), el proyecto propuesto aporta registros y estudios asociados, además estudia la implementación del Emisario Submarino con mediciones de los parámetros físicos, químicos y biológicos actualizadas hasta el 2016, beneficiando a los grupos de investigación de la facultad.

Para ejecutar el proyecto se contó con información proporcionada por la sociedad Aguas de Cartagena (ACUACAR), empresa encargada de los servicios públicos de Acueducto y Alcantarillado de la ciudad, quien suministró a los autores los datos de los parámetros físicos, químicos y biológicos de mediciones monitoreadas mensualmente a partir del año 2011 hasta el 2016, es decir antes y después de la construcción del Emisario submarino.



A partir de la información suministrada se realizó una evaluación de los valores de cada uno de los parámetros estudiados con el valor establecido con la Resolución 0883 del 2018 para vertimientos vigente en Colombia y con el Decreto 1594 de 1984 para el uso recreativo del recurso. Así mismo, se analizó y comparó el comportamiento de cada parámetro físico, químico y biológico para la época seca (Diciembre a Marzo) y la época húmeda (Septiembre a Noviembre) desde el 2011 hasta el 2016. Es menester mencionar que los autores no realizaron la toma de muestras recolectadas en el estuario.

Este proyecto proporciona como producto final, un conjunto de gráficas y cuadros matriciales que representan la variación temporal de los distintos parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en la zona de mezcla del agua residual y el Mar Caribe en el corregimiento de Punta Canoa.

Por último, es importante indicar que este Trabajo de Grado se desarrolló desde Febrero hasta Noviembre del 2017, enmarcado en la línea de investigación de Saneamiento Ambiental del Grupo de Investigación de Modelación Ambiental de la Universidad de Cartagena. Esto se debe a que se analizó la variación de la calidad de agua en la zona de vertimiento del emisario submarino en Punta Canoa – Cartagena de Indias, con el fin de determinar si existe una afectación en el Mar Caribe al verter parte de las aguas residuales desde la apertura del emisario submarino.



1. MARCO DE REFERENCIA

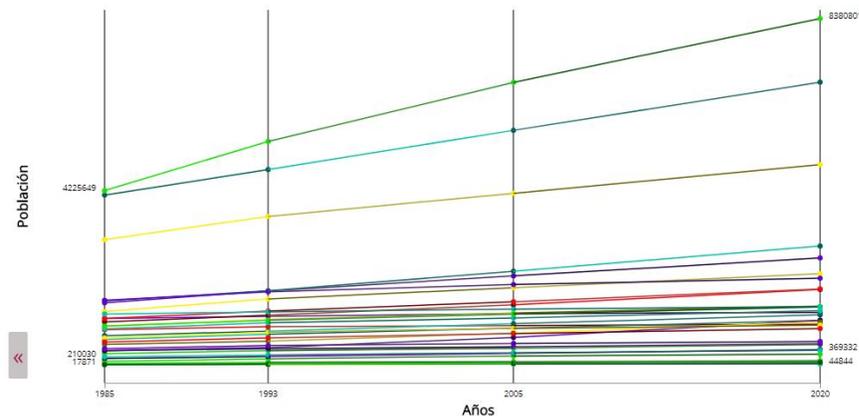
Al implementar obras que permiten sanear los cuerpos de agua es necesario tener en cuenta el impacto ambiental en su zona de entorno por ello en este capítulo se presentan estudios referentes a la construcción, implementación y trabajo de los emisarios submarinos en Colombia y el mundo, además de la información teórica complementaria de la investigación.

1.1. ANTECEDENTES

En 1995, Aguas de Cartagena - ACUACAR, tomó disposición de los servicios de acueducto y alcantarillado que existían en la ciudad de Cartagena, en consecuencia, del estado de los cuerpos de agua que la rodean se implementaron emisarios submarinos de poca longitud en la Ciénaga de la Virgen y la Bahía de Cartagena, que vertían y descargaban aguas residuales sin regulación y control aumentando el impacto ambiental y sanitario a la población circundante.

Cartagena es la cuarta ciudad del país según su producción industrial y la quinta de acuerdo con el tamaño de su población (Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía, 2016). Limita con tres cuerpos de agua: La Bahía de Cartagena, la Ciénaga de la Virgen y el Mar Caribe, la calidad del agua de estos cuerpos se ha degradado notablemente en las últimas dos décadas del siglo XX por el crecimiento acelerado y no planificado de habitantes y ciudad en los últimos 40 años (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2006). El DANE realizó una proyección de la población total en Colombia a partir de los datos que tenía desde el último censo como se muestra en la Ilustración 1.

Ilustración 1. Evolución y proyección de la población total, entre el período 1985-2020 (DANE).





Este crecimiento generó cambios en la prestación de servicios en la ciudad, esto llevó a que las redes de alcantarillado se saturaran, lo que obligó a tomar respuestas rápidas y eficientes. La exposición a estas aguas contaminadas aumentó la incidencia de enfermedades gastrointestinales debido a las elevadas concentraciones de bacterias. Además, las descargas de aguas residuales crudas a estos ecosistemas degradaron la flora y fauna existentes (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2006). Por ello, la Alcaldía de Cartagena junto a ACUACAR idearon una serie de iniciativas para la expansión de la cobertura y alcance de las redes de acueducto y alcantarillado para mejorar la condición de los cuerpos de agua, los cuales se dividieron en tres planes principales:

Plan de choque: Orientado a actuaciones puntuales en el sistema de acueducto que permitieron mejoras en las instalaciones de captación, bombeo, transporte, planta de tratamiento y la red de distribución. Con ello se consiguió mejorar ostensiblemente la calidad y continuidad del servicio de agua. En alcantarillado se eliminaron muchos.

Plan director: Orientado a definir las necesidades de expansión de los servicios de acueducto y alcantarillado y mitigación de efectos negativos, desde 1995 hasta el 2025; se definieron un conjunto de proyectos y soluciones a mediano y largo plazo, las inversiones necesarias y las fases secuenciales para su desarrollo. Se definió a gran escala el plan de ampliación de cobertura que la ciudad necesitaba. Este plan se constituyó en el marco de referencia y plan indicativo para las inversiones que la ciudad requería.

Plan Barrios: Fue un programa que constituyó en la definición de soluciones concretas para todas las zonas periurbanas de la ciudad que habían crecido en forma desordenada.

Con base en el Plan Director nació el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, que fue el proyecto más ambicioso que se haya concebido para mejorar la calidad de vida de los cartageneros y mitigar los problemas ambientales de la ciudad, con los siguientes objetivos puntuales:

- Aumentar la cobertura de los servicios de Acueducto y Alcantarillado al 95%, ya que en datos históricos reportados por Aguilera y Meisel (2009) la cobertura del alcantarillado para el año de 1993 estuvo en un 63% y en 80.6% en 2005, y la red de acueducto, a



aumentó de 91.3% a 92.7% en igual periodo.

- Organizar la recolección, tratamiento y disposición final de las aguas residuales domésticas.
- Sanear los cuerpos de agua Ciénaga de la Virgen, Bahía de Cartagena, canales y lagunas internas.
- Aumentar la confiabilidad de los sistemas de suministro de agua y alcantarillado.

El Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado contó con el apoyo y financiación del Banco Mundial, que lo clasificó como Proyecto Clase A, y como tal implicó que se llevaran a cabo rigurosos estudios sobre impacto ambiental y su influencia en las comunidades situadas en su zona de entorno. El Gobierno Nacional lo aprobó a través del Consejo de Política Económica y Social - CONPES 3036, Mayo 31 de 1999 (DNP, 1999), le asignó recursos de cofinanciación, le otorgó la garantía de la nación y definió el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado como componente fundamental del Programa Social del Plan Nacional de Desarrollo “Cambio para Construir la Paz” (ACUACAR, 2013).

Las apropiadas condiciones oceanográficas de la zona, principalmente la dirección y velocidad de las corrientes permitieron garantizar los fenómenos de dilución, dispersión y decaimiento bacteriano requeridos para obtener la eficiencia del sistema (Zapata-Pinedo, 2016).

La firma Marine Resources Inc. realizó las investigaciones de geofísica marina en Punta Canoas donde se identificaron la geología sub-superficial, la litografía de los sondeos, las anomalías estructurales y su distribución espacial proveniente de la información acústica, medido por un Sistema de Sonar Digital Klein Modelo 590 (INVEMAR, 1996).

El área investigada se encontraba aproximadamente a 21 km de Cartagena, localizada en Punta Canoas. El área de estudio se dividió en tres secciones. La primera es el área donde se proponía construir el Emisario. Esta área es un rectángulo de 1000 m por 3000 m. La segunda y tercera se localizaron al norte y sur de la primera, y sus dimensiones fueron 2 km por 3 km. La profundidad del agua en el área varía entre los 5 m y los 24 m (INVEMAR, 1996).



Las investigaciones consistieron en la batimetría del lecho marino, un barrido con sonar lateral para detectar las anomalías del fondo del mar, una investigación con un perfilador del subsuelo tipo Edgetech X-STAR Modelo 512 Full Spectrum CHIRP, que produce resultados con mayor resolución que los perfiladores tradicionales (menor de 6 cm), además se obtienen imágenes de alta precisión sobre la distribución vertical y horizontal de los sedimentos para localizar formaciones geológicas e identificar el espesor del manto superficial de sedimentos. Después se realizó un análisis de la información obtenida para determinar los puntos de interés geológico que requerían de posteriores investigaciones para identificar y clasificar la estructura de las formaciones geológicas con los datos observados en el barrido de sonar lateral. Se identificaron un total de 17 perforaciones de suelos en la ruta del Emisario. Las muestras fueron tomadas y analizadas por el ingeniero Antonio Medrano Marimón, y sus resultados publicados en el Informe "Estudio de Suelos para Cimentación Emisario Submarino - Zona Norte Cartagena- Bolívar" (INVEMAR, 1996).

El análisis de los datos de barrido de sonar mostró posibles riesgos geológicos:

- Fallas del Pleistoceno, no se encontraron activas durante los pasados 8000 años.
- Asentamientos localizados, se encontraron dos asentamientos en la capa de los sedimentos del Holoceno enterrados dentro de la capa inferior de los sedimentos, presentaban un riesgo geológico menor.
- Diapirismo de lodo, se encontró un diapirismo localizado aproximadamente a 300 m al suroeste de la ruta del emisario, que tiene aproximadamente 250 m de diámetro, el cual presentaba un interés moderado en términos de riesgo geológico potencial (INVEMAR, 1996).
- La pendiente de la plataforma submarina que permitía alcanzar la profundidad ideal de 20 m en una longitud más corta en comparación con otros sitios mucho más alejados de la costa.

La localización del tratamiento y descargas en el Mar Caribe alrededor de Punta Canoas contribuyó a la protección de los corales de las Islas del Rosario, así mismo permitió la



regeneración de la Ciénaga de la Virgen y de la Bahía de Cartagena hasta recuperar su calidad original (Zapata-Pinedo, 2016).

En el Informe de Factibilidad, la combinación del tratamiento y la difusión produciría una descarga que impactaba un área de 40 ha del fondo del mar. El tratamiento propuesto removería la mayoría de los sólidos más grandes y pesados. Lo que reduciría la capa de impacto de sólidos de la descarga. La concentración de 20 mg/l de sólidos gruesos en la descarga se diluiría en una proporción de 100:1, que es equivalente a una reducción del 99%. Un análisis basado en las tasas de sedimentación propuestas y en los datos de velocidad específica mostró que los sólidos se depositarían entre 11 y 15 g/m²/día en un área de 360 m alrededor de la descarga. Esta tasa de sedimentación equivalente a 1.1 y 1.5 ml por día. El informe destacó que esta sedimentación impactaría la ecología del fondo marino y algunos microorganismos se desplazarían del área, el impacto en los organismos que nadan en el medio marino dentro de las 40 ha sería mínimo (INVEMAR, 1996). Es importante destacar que el Proyecto permitió que aproximadamente 15000 ha de áreas estuarinas de alta calidad potencial se recuperaran en la Bahía de Cartagena y en la Ciénaga de la Virgen, lo que ha permitido una comunidad biológica más sana además la productividad biológica de estas áreas se ha incrementado dramáticamente.

El monitoreo de aguas, lo realizan en la planta de tratamiento y en la zona de difusores, así como en las playas y resguardos en la ciénaga de la Virgen y en la Bahía de Cartagena, con el fin de medir (INVEMAR, 1996).

1.2. ESTADO DEL ARTE

En el artículo “*Multi-criteria Evaluation Method for Site Selection of Industrial Wastewater Discharge in Coastal Regions*” se publicó un estudio para la selección del sitio de descarga de aguas residuales en las zonas costeras. Construyeron un sistema de indicadores que cubre los elementos más importantes y esenciales, propuso un proceso de evaluación, y luego presentó dos métodos de MCDM (Multi-Criteria Decision-Making) para evaluar la idoneidad del sitio opcional, ya que el criterio más importante para la contaminación en zona marina es la zona de mezcla o las condiciones de dilución (Yuan Li, 2017).



Cuantificaron los pesos para los criterios y clasificar las alternativas utilizando MCDM, simplificando siete indicadores en uno, respecto a la importancia de condiciones de dilución y el impacto de la descarga de aguas residuales en el medio marino, le dieron mayor valor de peso a la capacidad del entorno marino en comparación con el riesgo y el costo de ingeniería (Yuan Li, 2017).

Desarrollaron el sistema de indicadores de evaluación que les facilitara la elección de la zona de vertimiento, que sería muy útil replicar en países con alta contaminación marina por lo que en China existe la competencia entre el problema de la contaminación y el desarrollo de la economía.

Un artículo llamado *Optimal planning and design of seawater RO brine outfalls under environmental uncertainty* confirmó que los emisarios marinos con difusores multipuerto, si se usa adecuadamente, son muy eficientes para maximizar los niveles de dilución de plumas negativamente flotantes. También demostraron que se pueden aplicar técnicas de optimización para minimizar los costos totales de estos emisarios, utilizando CORMIX (un modelo hidrodinámico aprobado por USEPA y soporte de decisiones sistema) para evaluar y simular los impactos de las descargas desde la desembocadura en las aguas costeras (Sami Maalouf, 2013).

Mostraron que es factible construir emisarios marinos costo-efectivos que sean óptimos para maximizar los niveles de dilución mientras se revisen todos los requisitos y regulaciones ambientales en la zona, ya que en su estudio consideraron que es fundamental no depender únicamente de la corriente velocidad para lograr la dilución, además de que se debe incluir elementos dentro del marco regulatorio que trate con las condiciones específicas del sitio, redefinir los criterios de zona de mezcla existentes y cumplir el monitoreo en el campo (Sami Maalouf, 2013).

En el artículo *Analysis of Pollutants of Sewage of Oceanic Outfall on the Water Quality* analizaron y proyectaron la característica hidrodinámica del área de estudio sobre la base del modelo Mike21FM en el campo de concentración de los contaminantes. El documento evalúa



la influencia del petróleo en descarga de aguas residuales en la calidad del agua marina cercana, mostrando resultados que reflejan las reglas de transporte y difusión de contaminantes en el área de agua de marea (Ying Wanga, 2012).

En el estudio que realizaron en Tianjin, China arrojó que los cálculos pueden reflejar mejor la regla de transporte y difusión de contaminantes en el área del estuario del río Yangtze, y que debido a la influencia de la corriente de marea y la escorrentía del río, en la concentración del ciclo de las mareas de contaminante ha sido muy bajo cuando el contaminante se difunde horizontalmente a 300 m de la costa y la concentración se ha diluido por más de mil veces. Eso significa que el contaminante descargado tiene poca influencia en la calidad del agua marina, finalmente afirman que la influencia de los contaminantes en la calidad del agua marina se reduce a medida que disminuye la cantidad de descarga de aguas residuales y la descarga que se realiza actualmente no agravará directamente la contaminación de la calidad del cuerpo de agua (Ying Wanga, 2012).

1.3. MARCO TEORICO

Para el desarrollo del presente proyecto fue necesario tener en cuenta algunos conceptos necesarios para el análisis de los parámetros del cuerpo de agua, como se muestra a continuación.

1.3.1. Emisario submarino

Un emisario submarino es un sistema de manejo de aguas residuales que consiste en una tubería o túnel, o la combinación de ambos, que termina en un difusor. Su finalidad es mezclar el efluente en el cuerpo de agua que lo recibe además de minimizar el impacto que puede tener el vertido de aguas residuales al mar (Roberts, 2010). Los emisarios submarinos se usan para descargar aguas residuales provenientes de una planta de tratamiento o agua salada de una planta de desalinización; el sistema completo incluyendo el emisario, la región en la que se lleva a cabo la mezcla y dilución rápida (campo cercano) puede considerarse una planta de tratamiento. Esto se debe a la gran reducción en la concentración de contaminantes que resulta de la dilución y



mezcla rápida en el campo cercano. Una tasa de dilución de 100:1 implica una reducción del 99% en la concentración de cualquier contaminante presente en el agua residual, lo cual excede la capacidad de remoción de las plantas de tratamiento convencionales (P. Tate, 2016).

El Emisario Submarino es un sistema de tratamiento por dilución, que conduce las aguas residuales mar adentro hasta cierta profundidad y distancia de la costa, de forma tal que la carga orgánica no provoca daños sanitarios y/o ecológicos a los ecosistemas marinos y terrestres ni a las poblaciones costeras circundantes (Metroagua, 2013). Un emisario submarino es un sistema de manejo de aguas residuales que consiste en una tubería o túnel, o la combinación de ambos, que termina en un difusor cuyo propósito es mezclar el efluente en el cuerpo de agua que lo recibe (Roberts, 2010).

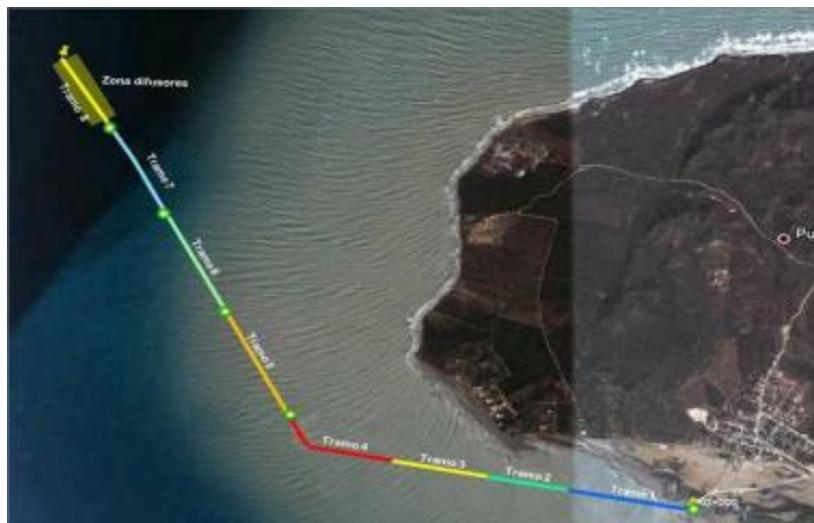
Los emisarios submarinos se usan con frecuencia para descargar aguas residuales provenientes de una planta de tratamiento o agua salada de una planta de desalinización (P. Tate, 2016). La mayoría de los emisarios submarinos tienen longitudes entre 1 y 5 km y descargan a profundidades alrededor de los 20 a 70 m (Roberts, 2010). El sistema completo incluyendo el emisario, la región en la que se lleva a cabo la mezcla y dilución rápida (campo cercano) puede considerarse una planta de tratamiento. Esto se debe a la gran reducción en la concentración de contaminantes que resulta de la dilución y mezcla rápida en el campo cercano. Una tasa de dilución de 100:1 implica una reducción del 99% en la concentración de cualquier contaminante presente en el agua residual, lo cual excede la capacidad de remoción de las plantas de tratamiento convencionales (Roberts, 2010).

Los principales componentes de un emisario submarino son:

- Difusor: parte de la tubería de la que se desprenden estructuras verticales que transfieren el agua hacia los orificios de salida. Las estructuras verticales pueden tener hasta decenas de metros de longitud.
- Orificios de salida: Localizados en la parte superior de las estructuras verticales. Una estructura vertical puede tener hasta 8 orificios de salida. Con frecuencia, estos orificios son dotados con válvulas anti-retorno para prevenir el ingreso de agua de mar en la tubería.

El objetivo de un emisario submarino es lograr una adecuada dilución primaria y secundaria; la dilución primaria es la obtenida cuando el flujo inyectado en la profundidad marina va ascendiendo hasta la superficie debido a las diferencias de densidad. Para lograr una buena dilución primaria hay que tener en cuenta los factores de profundidad de la inyección, cuanto más profunda sea la inyección, mejor dilución se obtiene, ya que aumentará el tiempo de contacto entre el efluente y el agua de mar. Sin embargo, los costes económicos y las dificultades de construcción aumentan con la profundidad, por lo que se debe buscar la mejor relación profundidad-coste. Además, la forma de la boca de salida del emisario por lo que la morfología más recomendable es la circular, tiene una buena difusión y minimiza la acumulación de sedimentos, lo que previene las obstrucciones; en la ilustración 2 se puede observar el trazado del emisario submarino de la ciudad de Cartagena.

Ilustración 2. Trazado del emisario submarino de Cartagena en Punta Canoa (El Universal, 2013)



La orientación del chorro incidente es otro factor importante ya que con una orientación horizontal se consigue un mayor recorrido del efluente, por lo que es más recomendable que la orientación vertical, que lo dirige directo hacia la superficie (Varinia E., 2009). Otro factor son las corrientes submarinas por la presencia en la zona de inyección de corrientes permanentes o semipermanentes, puede influir positivamente en la trayectoria del efluente, consiguiendo una mejor dilución. Es muy recomendable hacer un profundo estudio de las corrientes antes de comenzar la construcción de un emisario submarino (Varinia E., 2009).



La dilución secundaria o dilución por arrastre es la creada por las corrientes que el viento genera en las capas superficiales del agua. Este tipo de dilución depende casi completamente de las propiedades de la corriente, por lo que los factores a considerar son la dirección e intensidad del viento, es importante estudiar los datos estadísticos sobre la intensidad y la dirección de los vientos que suele haber en la zona; la morfología de la costa y del fondo marino, influyen sobre los vientos y la presencia de una barra, una elevación del fondo marino paralela a la costa, puede convertirse en un obstáculo que impida la dispersión de la mancha; las mareas y el oleaje necesario para conocer la manera en que pueden incidir sobre la zona en la que se realiza la dilución secundaria (Varinia E., 2009).

1.3.2. Zona de vertimiento

La zona de vertimiento es el lugar donde se realiza la disposición de todos los residuos domésticos, industriales, agropecuario, etc., evitando que lleguen a un cause o una fuente de agua; para ello existe restricciones para realizar un adecuado vertimiento determinadas por la Resolución 0631 del 2015 en la que establecen los parámetros y los límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público

1.3.3. Parámetros físicos y químicos para la determinación de calidad del agua

Para la determinar si la calidad del agua es óptima o no, se necesita evaluar algunos parámetros como la turbiedad, el pH, la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto, la transparencia, entre otros factores que se describen a continuación.

1.3.3.1. pH

El pH es una medida del contenido ácido del agua que influye sobre gran parte de los procesos químicos. El agua sin impurezas (y que no está en contacto con el aire) tiene un pH de 7. La lluvia natural y sin contaminación tiene un pH que oscila entre 4 y 5, de modo que hasta el agua de lluvia del lugar menos contaminado del planeta tiene una acidez natural, la cual es el resultado del dióxido de carbono del aire que se disuelve en las gotas de lluvia.



El agua destilada que está en equilibrio con el aire tiene el mismo pH, la lluvia más ácida tiene un pH de 4, aunque muchas neblinas urbanas pueden alcanzar un pH muy bajo. La mayoría de los lagos y arroyos tienen un rango de pH entre 6.5 y 8. Los animales anfibios son muy sensibles a pH muy bajos. La mayoría de insectos, anfibios y peces no viven en aguas con un pH inferior a 4. El valor del mar pH está entre 7.5 y 8.4 y varía en función de la temperatura; si ésta aumenta, el pH disminuye y tiende a la acidez; también puede variar en función de la salinidad, de la presión o profundidad y de la actividad vital de los organismos marinos (Vázquez M. , 2007).

1.3.3.2. Temperatura (T)

La temperatura del agua se ve influida en gran medida por la cantidad de energía solar que es absorbida tanto por el agua como por el suelo y el aire que la rodea. La temperatura de un cuerpo de agua influye tremendamente en la cantidad y diversidad de la vida acuática. Los lagos son relativamente fríos y tienen poca vida vegetal acuática en invierno, florecen en primavera y verano cuando las temperaturas se elevan y las aguas ricas en nutrientes se mezclan con las superiores. La temperatura en el agua se mide con un termómetro (Vázquez M. , 2007).

1.3.3.3. Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es uno de los principales elementos que requieren los organismos para su vida. Éste es generado por los vegetales terrestres o marinos mediante la fotosíntesis, proceso de transformación de energía luminosa en química. Una parte de este oxígeno permanece en la atmósfera y otra se disuelve en los cuerpos de agua dulce y marina. Los requerimientos de oxígeno disuelto para la vida de los animales marinos son variables y dependen principalmente de su adaptación biológica al medio. Es así como peces con alta capacidad natatoria que habitan en la capa superficial, entre ellos, atunes, albacoras, salmones, anchovetas y sardinas, necesitan vivir en aguas con alta concentración de este elemento químico. Mientras que otros como la merluza, que vive en profundidad cerca del fondo, requieren menos oxígeno disuelto para vivir (ECM, 2016). Sin los niveles suficientes de oxígeno disuelto, la vida acuática se acabaría. Los niveles de oxígeno disuelto menores a 3 mg/L actúan negativamente sobre la mayoría de los organismos acuáticos. El oxígeno es consumido por los peces, el zooplancton y las bacterias que descomponen la materia orgánica (Vázquez M. , 2007).



1.3.3.4. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

La demanda biológica de oxígeno es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas no potables. La determinación de DBO además de indicarnos la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales. La importancia de este parámetro requiere de ciertos cuidados y atención en la técnica analítica, ya que por ser un proceso biológico el manejo y tratamiento de la muestra es delicado. El método estándar consiste en tomar un pequeño volumen de la muestra a analizar. Este pequeño volumen debe ser representativo del total de la muestra, por lo que ésta deberá estar completamente homogenizada (Vázquez E. V., 2003).

1.3.3.5. Nitratos (NO_3)

El nitrato es un compuesto inorgánico compuesto por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es NO_3 . El nitrato no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (NO_2).

El nitrógeno existe en los cuerpos de agua de múltiples formas: de todos estos, los nitratos son, por lo general, los más importantes. El nitrito normalmente se encuentra en aguas subtóxicas (con bajos niveles de oxígeno disuelto), el carbono es relativamente abundante en el aire como dióxido de carbono, el cual se disuelve en el agua, de modo que una falta de nitrógeno o de fósforo generalmente limita el crecimiento de las plantas acuáticas. La mayor parte de aguas naturales tienen niveles de nitrato menores a un 1 mg/L de nitrógeno del nitrato, pero también se encuentran concentraciones superiores a 10 mg/L de nitrógeno del nitrato en algunas zonas (Vázquez M. , 2007).

1.3.3.6. Fosfatos (PO_4)

El ión fosfato, PO_4 , en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro-, meta- y poli fosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos



pueden estar solubles como partículas de detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos.

El fósforo junto con el nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos de estos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática (eutrofización). Una acción importante de los fosfatos es la influencia en el transporte y retención de los metales en el agua, debido al fenómeno de complejos. El contenido de fósforo en las aguas se debe a los vertidos urbanos (detergentes, fosas sépticas, etc.) y por otra parte a los vertidos de la industria agroalimentaria (abonos, piensos compuestos, etc.) (Ros, 2011).

1.3.3.7. Sólidos Suspendedos Totales (SST)

La definición generalizada de sólidos es la que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado de una muestra de volumen determinado (Catalogues, 2005). La determinación de los sólidos totales permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación. Su determinación se basa en una medición cuantitativa del incremento de peso que experimente una cápsula previamente tarada tras la evaporación de una muestra y secado a peso constante entre 103 a 105 °C¹⁰ (Argandoña & Macías, 2013).

1.3.3.8. Coliformes fecales y totales (CF/CT)

Los Coliformes fecales comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal. En su mayoría están representados por el microorganismo *E. coli* pero se pueden encontrar, entre otros menos frecuentes, *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae* (Hayes, 1993). Los Coliformes fecales integran el grupo de los coliformes totales, pero se diferencian de los demás microorganismos que hacen parte de este grupo, en que son indol positivo, son los mejores indicadores de higiene en alimentos y en aguas, la presencia de estos indica presencia de contaminación fecal de origen humano o animal (Gómez & María, 1999). El grupo Coliformes totales se define como todas las bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en 24h (Deaner, 1969).



1.3.4. Índice de calidad de aguas marinas para la preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF})

El indicador ICAM_{PFF} surge en los años setenta y en la actualidad es utilizado para supervisar la calidad de los hídricos a través del tiempo y comparar aguas de abastecimiento en Estados Unidos y muchos países del Mundo (NSF, 2006), son una expresión de parámetros proporcionados en forma de número, rango, descripción verbal, símbolo o color que permite valorar el recurso hídrico para un determinado uso. Para Ball y Church (1980), el cálculo de los índices se basa inicialmente en la *selección de los parámetros o variables*, aunque existen varios criterios previamente estudiados las más utilizadas para clasificarlos son los propuestos por Walski en 1974 quien utiliza las variables OD, temperatura, coliformes, pH, SS, turbidez, transparencia, nitratos, fosfatos, grasas, color y olor, mediante las cuales se puede evaluar de la fuente las características efecto sobre la vida acuática y la salud humana; mientras que Dunnette en 1979 propone la selección de variables de acuerdo a cinco categorías, donde se puede definir teniendo en cuenta el tipo de uso de la fuente, por ejemplo, agua para consumo, recreación, riego, industria, etc; donde es importante definir un grado de jerarquía.

Luego se *determina el subíndice para cada parámetro* como propósito la transformación de las variables de una escala dimensional a una adimensional para permitir su agregación. Según Fernández y Solano (2005), se puede utilizar el método de *parámetro en número decimal, diagramas o tablas de calibración*, en este caso se debe desarrollar para cada parámetro su propio diagrama, en el que se indique la correlación entre el parámetro y su valor en escala de calidad. Esta escala generalmente está entre 0 y 100, aunque también se acostumbra escalarlos entre 0 y 1. Así mismo, se tiene en cuenta el método de *curvas basadas en la normatividad*, que se generan las curvas a partir de los valores de los parámetros recogidos en diferentes normatividades.

Finalmente se determina el índice por agregación de los subíndices, el cual se puede dar por medio de fórmulas de agregación matemática que comúnmente corresponden a una función promedio. Básicamente existen dos enfoques para calcular el ICAM_{PFF}: (i) el producto ponderado; en este método los pesos dan importancia a los puntajes y todos son ponderados de



acuerdo a la importancia de los pesos y luego multiplicados, evitando el encubrimiento que se presenta cuando se calcula un valor satisfactorio, aunque el subíndice sea insatisfactorio; (ii) la suma ponderada; en esta cada puntaje es multiplicado por un peso y los productos son sumados para obtener el índice; si los pesos son iguales para cada puntaje, el valor del índice es llamado valor aritmético no ponderado. Si la suma de los pesos no es igual entonces se conoce como valor aritmético de la calidad del agua (Ball R., 1980).

Finalmente, el valor obtenido mediante la fórmula de agregación de variables debe ser interpretado mediante una escala general de calidad para lo cual los diferentes autores toman una escala de 0 a 10 ó 0 a 100, define rangos de calidad, estos en algunos casos se les asigna un color, dependiendo del investigador, se le asignan unos pesos como lo muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Asignación de los pesos para cada parámetro
Fuente: Revista de Ingeniería e Investigación. VOL 27 No 3, Dic de 2007.

Parámetros	Pesos
OD	0,17
Coliformes fecales	0,15
pH	0,12
DBO5	0,10
Temperatura	0,17
NO3	0,15
Fosfatos	0,12
Turbiedad	0,10
SDT	0,08

Para calcular el Índice de calidad del agua agregado, se usa una suma lineal ponderada de los subíndices o una función para de agregación del producto ponderado como se observa en la Ecuación 1, para lo cual se tiene en cuenta los pesos asignados de cada variable estipulada en la Tabla (Ott W. , 1978).

$$ICAM = \left(\prod_{i=1}^n X_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum i w_i}} \quad [Ec. 1]$$

Donde

ICAM = calidad del agua en función de la destinación del recurso



$$ICAM = [(X_{OD})^{0.16} \times (X_{pH})^{0.12} \times (X_{SST})^{0.13} \times (X_{DBO})^{0.13} \times (X_{CTE})^{0.14} \times (X_{HAT})^{0.12} \times (X_{NO3})^{0.09} \times (X_{PO4})^{0.13}]^{1/W_i}$$

X_i = Subíndice de calidad de la variable i

W_i = factor de ponderación para cada subíndice i según su importancia dentro del ICAM, el cual es ponderado entre cero y uno.

El indicador, facilita la interpretación de la calidad del ambiente marino, la evaluación del impacto de las actividades antropogénicas y la toma de medidas de prevención y recuperación para valorar la calidad de las aguas marinas, es decir, su capacidad de soportar la vida marina y los procesos biológicos (INVEMAR, 2014).

1.3.5. Análisis estadísticos de los datos

Las medidas de posición son útiles para realizar una comparación óptima de datos cuantitativos para determinar una posición dentro de la distribución de los datos resumida en un número, como:

- Media aritmética o promedio: Es la medida de posición más usada. Para calcular la media aritmética o promedio de un conjunto de observaciones se suman todos los valores y se divide por el número total de observaciones. Si tenemos una muestra de n observaciones y denotadas por $X_1, X_2 \dots X_n$, se define con la siguiente expresión:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad [Ec. 2]$$

Las medidas de dispersión indican la cercanía de los datos entre ellos o a partir de una medida de posición, como:

- Desviación estándar: Es la medida de lo lejos se encuentran los datos de la medida muestral. Su cálculo es a partir de la siguiente expresión:

$$s = \sqrt{s^2}; \text{ donde } s^2 \text{ es la varianza} \quad [Ec. 3]$$

- Rango muestral: Permite obtener una representación de la dispersión de los datos, cuanto



mayor es el rango más dispersos están los datos, es decir:

$$Rango = \max (X_1) - \min (X_2) \quad [Ec. 4]$$

1.3.6. Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson, pensado para variables cuantitativas (escala mínima de intervalo), es un índice que mide el grado de co-variación entre distintas variables relacionadas linealmente.

El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a $+1$, donde mayor sea el valor absoluto del coeficiente, mayor será la relación entre las variables. La correlación entre dos variables X e Y es perfecta positiva cuando exactamente en la medida que aumenta una de ellas aumenta la otra, esto sucede cuando la relación entre ambas variables es funcionalmente exacta mientras que la relación es perfecta negativa cuando exactamente en la medida que aumenta una variable disminuye la otra. El signo del coeficiente muestra la dirección de la relación de las variables; si ambas tienden a aumentar o disminuir a la vez, el coeficiente es positivo y la correlación forma una línea con pendiente hacia arriba. Si la variable tiende a incrementarse mientras la otra disminuye, el coeficiente es negativo y la correlación forma una pendiente hacia abajo (Achen, 1982).

El coeficiente de correlación de Pearson viene definido por la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} \quad [Ec. 5]$$

Donde, Z es la transformación de Fisher del coeficiente de correlación.

La interpretación del coeficiente de correlación en términos de proporción de variabilidad compartida o explicada donde se ofrece una idea más cabal de la magnitud de la relación es a partir del coeficiente de determinación, se define como el cuadrado del coeficiente de correlación; esto es, dada dos variables X y Y , hace referencia r_{xy}^2 el cual puede ser interpretado como el porcentaje de la proporción de variabilidad (Pedhazur, 1997).



1.4. MARCO LEGAL

El marco legal para el desempeño fundamental de la investigación se presenta a continuación:

- Resolución 0883 del 18 de mayo del 2018 por el 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. Tomando el capítulo VI, artículo 8: Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas – ARD de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas marinas.
- Decreto 1076 de mayo del 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo sostenible, el cual agrupa las normas expedidas por el Gobierno Nacional que expide el decreto único reglamentario del sector del medio ambiente y desarrollo sostenible, entre una de las normativas está el Decreto 3930 de 2010 por el cual se reglamenta parcialmente los usos del agua y residuos líquidos, la cual deroga el Decreto 1594 de 1984 a excepción de los artículos 20 y 21.
- Decreto 3930 de 25 de Octubre del 2010 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones, la cual protege la diversidad e integridad del ambiente, conserva las áreas de especial importancia ecológica y fomenta la educación ambiental para garantizar el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.
- Decreto 1594 de 26 de Junio de 1984 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III – Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
- Norma Chilena Oficial 1333 de 1978 Norma de Calidad para el Recurso Agua según el



uso dado en el cuerpo o masa de agua usado como receptor. Fija los límites máximos para los diferentes parámetros considerados como requisitos de calidad. Su cumplimiento se encuentra regulado tanto por la DGA, del MOP, como por las oficinas de Servicios de Salud respectivo (Gobierno de Chile, Ministerio de Salud, 2001).

En la Tabla 2 se resumen las resoluciones, decretos y leyes utilizadas en la investigación así como los artículos relacionados y la entidad en los que fueron emitidos:

Tabla 2. *Resolución, Decreto y Leyes utilizadas en la investigación.*

Tipo	Número	Fecha	Nombre	Artículos Relacionados	Entidad que la emite
Resolución	0883	18 Mayo 2018	Por el 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	Capítulo VI Artículo 8	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto	1076	26 Mayo 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Decreto 3930 de 2010 Decreto 1594 de 1984	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto	1594	26 Junio 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.	Capítulo IV Artículo 42 Artículo 43	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Norma	NCh 1333	1978	Norma de Calidad para el Recurso Agua según el uso dado en el cuerpo o masa de Agua usado como receptor	Norma Chilena Oficial NCh 1333	Instituto Nacional de Normalización (INN)



2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la variación temporal de la calidad del agua en la zona de vertimiento del Emisario Submarino de la ciudad de Cartagena de Indias ubicado en el corregimiento de Punta Canoa después de su construcción y entrada en operación en el año 2013, mediante la correlación de los parámetros físicos, químicos y biológicos entre el mar Caribe como cuerpo receptor y el vertimiento determinando el ICAM_{PFF} (Indicador de calidad de agua Marina y Estuarina para la preservación de Flora y Fauna); con el fin de establecer el impacto ambiental generado.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión del estado actual de los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales mediante el decreto 1076 del 2015 que regula la calidad del agua y a su vez analizar el estado de los parámetros y valores límites máximos permisibles en el agua residual en el del vertimiento en el mar establecidos con la normativa vigente; que presenta la extensión en la zona de descarga del Emisario Submarino de Punta Canoa.
- Evaluar el comportamiento de los parámetros físicos, químicos y biológicos mediante una correlación para estimar la calidad del cuerpo de agua a través del tiempo.
- Analizar el comportamiento de los parámetros de la calidad del agua a través del tiempo en la zona de mezcla y el agua residual vertida del Emisario Submarino desde el año 2011 hasta el 2016; mediante la elaboración de esquemas, con el fin de evaluar las concentraciones en las distintas épocas del año.



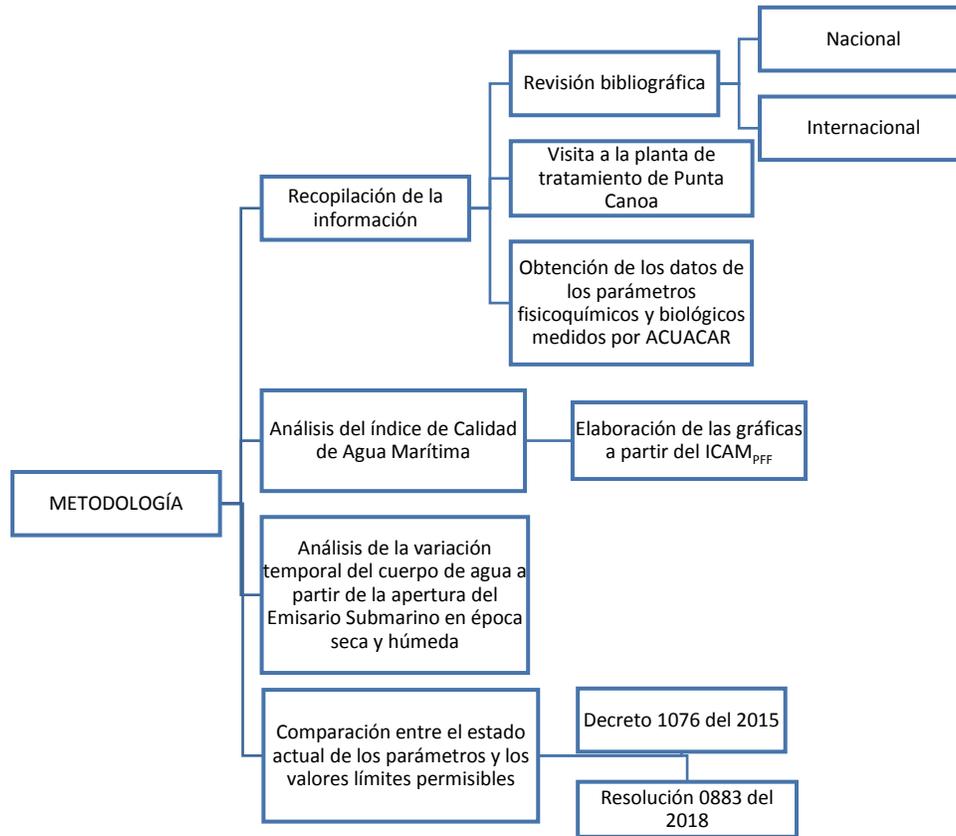
3. METODOLOGÍA

El presente trabajo investigativo tuvo como fin analizar la variación de la calidad de agua en el cuerpo de agua en Punta Canoa, luego de la construcción y apertura del Emisario Submarino, enmarcado en una investigación de carácter bibliográfico y estudio de caso, teniendo en cuenta que es un análisis de la información secundaria obtenida seleccionada en medios físicos y virtuales, además no hubo manipulación de las variables. Por otra parte, la investigación también es de tipo descriptivo en la medida en que se caracteriza la calidad del agua y los procesos que ésta conlleva (H. Sampieri, 1991); con base en ello se puede verificar si se ha cumplido los objetivos trazados por proyecto del Emisario Submarino en Punta Canoa.

Esta investigación posee un enfoque mixto de dos etapas: cualitativa y cuantitativa (H. Sampieri, 1991), considerando los métodos cualitativos como el análisis de la información bibliográfica de los casos de estudio a nivel internacional, estandarizando aspectos relacionados con las características y resultados obtenidos de la construcción e implementación de emisarios submarinos para el manejo de aguas residuales; a su vez se utilizarán métodos cuantitativos en la determinación de calidad del agua evaluado a partir del decreto de vertimientos vigente.

En la Figura 1 se muestra el proceso realizado para aprobar los objetivos planteados en esta investigación. Se realizó un análisis de calidad de agua a partir del ICAM_{PFF} para determinar el impacto ambiental generado a partir de la implementación del Emisario Submarino; se realizó un análisis de la variación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos durante la época seca y época húmeda. Finalmente, se realizó una comparación de los límites máximos permitidos por la norma que rige en Colombia para cuerpos de aguas marítimos con los datos medidos por Aguas de Cartagena S.A E.S.P en la zona de estudio.

Figura 1. Esquema metodológico de la investigación



Para la interpretación correcta de los análisis de resultados es importante mencionar los términos que centran la investigación, se toma el término salida de la ETAR como el agua residual que es descargada de la tubería del emisario submarino antes de ser mezclada con el agua del mar y en segundo lugar, el término de mar receptor o cuerpo receptor que hace referencia a el agua que se encuentra en la zona de mezcla de las aguas servidas y las aguas del Mar Caribe.

Por consiguiente, la metodología de la investigación se establece a partir de las siguientes etapas:

3.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se recopiló toda la información correspondiente al manejo de aguas residuales en Cartagena a través del emisario submarino, así mismo la identificación del tratamiento previo que recibe el agua residual y la posible mitigación de impacto ambiental que surge a partir de este proyecto.

En primera instancia se recopiló la información relacionada con la implementación y

optimización del proceso de vertimiento de aguas residuales a través del emisario submarino, teniendo en cuenta los métodos constructivos empleados, materiales e impacto ambiental en el agua. Lo anterior se llevó a cabo a través de la búsqueda en las bases de datos y medios virtuales, tales como páginas web de empresas constructoras de proyectos de emisarios submarinos en zonas costeras, literatura e investigaciones que enmarquen el objeto de estudio.

Así como se consultó al Plan Maestro de Alcantarillado de Aguas de Cartagena S.A E.S.P para conocer la situación anterior y actual del emisario submarino en operación, en la Ilustración 3 se puede detallar las vertientes del alcantarillado realizadas en la ciudad.

También se realizó una búsqueda bibliográfica para determinar normativas que pudieran ser tomadas como base para la regulación del vertido y el estado ambiental del Mar caribe en el campo cercano y lejano de la zona de mezcla, posteriormente se establecieron dos normas Colombianas y una internacional.

Ilustración 3. Vertientes del alcantarillado, problema ambiental y evolución de la Implementación. Plan Maestro de Alcantarillado en los cuerpos de agua de Cartagena (ACUACAR, 2013).



En el desarrollo de la investigación se realizaron dos visitas de campo a la ETAR en Punta Canoa como se observa en la Ilustración 4 y 5, para observar los procesos que se realizan en las aguas residuales antes del vertimiento al mar Caribe y adquirir registro fotográfico de la zona de estudio, las cuales se realizaron el 6 de Septiembre y el 22 de Noviembre del 2017, prueba de ello son las Ilustraciones 4 y 5. Al navegar sobre el Campo Cercano se percibía un olor característico de aguas residuales y la diferencia de color.

Ilustración 4. PTAR del emisario submarino en Punta Canoa - Cartagena de Indias.



Ilustración 5. Zona de mezcla de aguas residuales vertidas del emisario submarino y agua de mar.



Se pudo corroborar que el tratamiento preliminar consiste en el retiro de residuos sólidos por medio de militamices en la ETAR, un sistema mecánico auto limpiante; se tuvo ingreso al cuarto de monitoreo para medición del caudal, de la ventilación de gases y el manejo de residuos, luego del espesamiento de los lodos se disponen finalmente en el relleno sanitario Loma de los Cocos.

Así mismo, para desarrollo de la investigación fue necesaria la obtención de los datos medidos por la empresa Aguas de Cartagena S.A. de los parámetros fisicoquímicos y biológicos desde el 2011, antes de la implementación del Emisario Submarino, hasta el 2017 y los estudios realizados por Hazen and Sawyer como referencia del estado inicial del cuerpo de agua y de la



zona de estudio, esto con el fin de caracterizar el cuerpo de agua a partir de índices de calidad del agua a partir de ocho estaciones en la zona de resguardo y playas de Punta Canoa, además de nueve estaciones de monitoreo en la zona de mezcla como se muestra en la Tabla 3 y las coordenadas de cada estación en la Tabla 4.

Tabla 3. *Coordenadas estación microbiológicos zona de resguardo y playas punta Canoa.*
Autor: Aqualogy Latam S.A.S

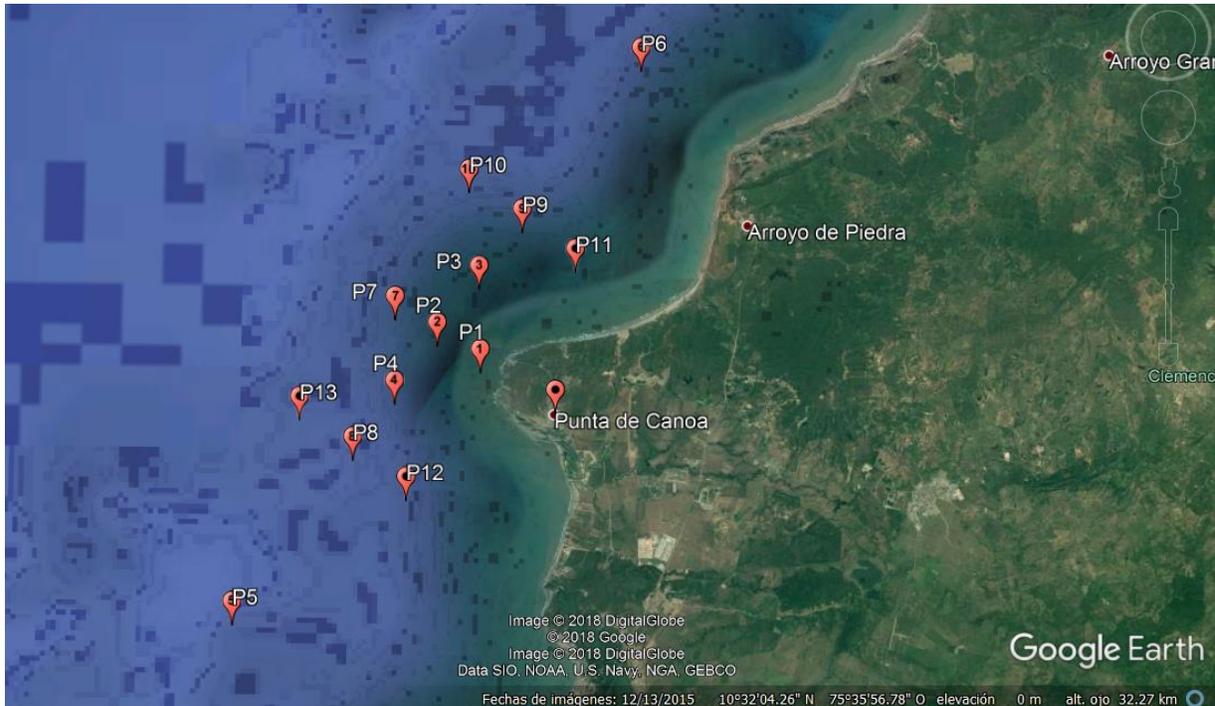
ESTACION	Coordenadas (GWS84)		Tipo de monitoreo	
	Latitud (N)	Longitud (W)	Coliformes	Enterococos
Estación 12: Punta Canoa: Atracadero de pescadores	10°33'11.60"	75°30'13.37"	X	X
Estación 15: Hotel Karibana	10°32'34.30"	75°29'38.72"	X	X
Estación 16: Ceniagua	10°34'19.77"	75°30'43.62"	X	X
Estación 17: 1km. Después del peaje de Marahuaco	10°35'29.27"	75°27'40.98"	X	X
Estación R1	10°33'03.80"	75°30'19.31"	X	
Estación R2	10°33'51.72"	75°31'02.58"	X	
Estación R3	10°34'29.39"	75°30'45.34"	X	
Estación R4	10°34'41.20"	75°29'42.64"	X	

Tabla 4. *Coordenadas de las estaciones de monitoreo.* Autor: Aqualogy Latam S.A.S

Puntos	COORDENADAS ESTACIÓN	
	Latitud (N)	Longitud (W)
P1	10°34'04.28"	75°31'13.08"
P2	10°34'29.48"	75°31'55.43"
P3	10°35'25.40"	75°31'14.47"
P4	10°33'33.70"	75°32'36.61"
P5	10°29'58.70"	75°35'13.71"
P6	10°39'00.25"	75°28'37.03"
P7	10°34'54.68"	75°32'37.78"
P8	10°32'37.66"	75°33'17.33"
P9	10°36'21.32"	75°30'33.49"

En la Ilustración 6 se puede observar el plano batimétrico de la zona, en el que se puede diferenciar Campo Cercano (P2) y Campo Lejano.

Ilustración 6. Puntos de muestreo campo cercano y campo lejano. Fuente Google Earth



3.2. ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Para identificar la variación de la calidad de agua en la zona de estudio, antes y después de la implementación del Emisario Submarino, se estableció inicialmente el cálculo del Índice de Calidad de Agua para identificar algún cambio que se presenten los parámetros fisicoquímicos y biológicos a pesar de que no se logra una integración temporal de los mismos por la dispersa toma de datos.

El Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras para la preservación de Flora y Fauna (ICAM_{PPF}) fue desarrollado por INVEMAR, en el que se requieren los siguientes parámetros para su cálculo: Oxígeno Disuelto, Nitratos, DBO₅, Solidos Suspendidos Totales, pH, entre otros, donde el resultado adimensional que clasifica la calidad de aguas marinas y costeras entre un rango entre 0 y 100, donde 0 se encuentra representado por el color rojo y define la mala calidad del agua marina como lo muestra la Tabla 6 a continuación:



Tabla 5. Clasificación del ICAM_{PFF}.
Fuente: Fernández y Solano, 2015.

<i>Escala de calidad</i>	<i>Rango</i>
<i>Excelente</i>	91 - 100
<i>Buena</i>	71 - 90
<i>Media</i>	51 - 70
<i>Mala</i>	26 - 50
<i>Muy mala</i>	0 - 25

En la calculadora de REDCAM de INVEMAR se integran con ponderaciones en una ecuación de promedio geométrico ponderado [Ecuación 1], dichas variables representan según sus valores de aceptación o rechazo una calidad o condición del agua en función de los valores de referencias de normas nacionales o internacionales considerados aptos para proteger el hábitat de una especie o una comunidad en los ecosistemas costeros (Aguas-Vivas, Obando, & Carillo, 2014). Los valores de las variables ingresados para el cálculo del indicador fueron los promedios de los datos por períodos desde el 2012 hasta el 2017, compilados en promedios anuales y mensuales de los datos obtenidos por ACUACAR en el Vertimiento-salida de ETAR, Campo cercano y Campo lejano.

Posteriormente se procedió a calcular el indicador ICAM_{PFF} en la plataforma de la página del INVEMAR, en línea <http://siam.invemar.org.co/siam/redcam/indicadores/>, ingresando los datos promediados anualmente. Cabe destacar que por falta de datos no se pudo ingresar en el cálculo del ICAM_{PFF} los valores de los parámetros: Coliformes Termotolerantes (CTE), Hidrocarburos Disueltos y Dispersos (HDD) y Fosfatos (PO₄). Así se obtuvo una serie de cuadros comparativos de índices de calidad de agua para cada período y por épocas (húmeda y seca), a partir de estos resultados se corroboró la capacidad de autodepuración que ha tenido el mar en el transcurso de los años; además la calculadora arroja un porcentaje de confiabilidad del número de parámetros ingresados, siendo muy útil en el análisis de los resultados y en la toma de decisiones a futuras investigaciones en el tema.

Luego, se realizó un análisis estadístico de los datos, donde se aplicó la medida de posición como el promedio o la media aritmética, así como las medidas de dispersión como rango y desviación estándar. Dichos cálculos se realizaron para los períodos: 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, 2017 y en cada una de las épocas (húmedas y secas).



En consecuencia, se realizó una revisión del estado actual de los parámetros medidos en campo en la salida de la ETAR con los valores límites máximos permisibles para vertimiento de aguas residuales en cuerpos de agua superficial con la Resolución 0883 de 2018 estableciendo el cumplimiento o incumplimiento de la norma, para los criterios de calidad de agua de uso recreativo con contacto primario y secundario se compararon las mediciones con los valores admisibles máximos establecidos en el Decreto 1594 de 1984; luego se estableció la relación entre la normativa Chilena y la información obtenida a través de Aguas de Cartagena S.A E.S.P.

Por último, la información obtenida para cada una de las épocas estudiadas desde 2012 hasta el 2017, se resumieron en tablas y gráficas, teniendo en cuenta valores máximos, mínimos, promedios y desviación estándar. Además del cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson con el fin de medir el grado de variación entre los parámetros estudiados, así como el cálculo del coeficiente de determinación de los mismos para determinar la proporción de variabilidad. Todo lo anterior con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados en esta investigación para el análisis multi-temporal del impacto ambiental en la zona estudiada.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El emisario submarino está ubicado en el Mar Caribe en la zona norte de la ciudad de Cartagena de Indias, localizado en las coordenadas 10°34'23.00" Latitud Norte y 75°29'40" Latitud Oeste. Fue construido como parte del plan de Saneamiento Básico de la ciudad por parte de Aguas de Cartagena S.A E.S.P, como solución al manejo y disposición final de las aguas servidas de los habitantes. Las aguas residuales de la ciudad llegan a la Estación de Bombeo Paraíso y de allí es llevada a la planta de pretratamiento en el corregimiento de Punta Canoas para luego ser vertidas al mar (ACUACAR, 2013).

La firma Hazen & Sawyer llevo a cabo los estudio e investigaciones de campo; fueron seleccionados luego de un concurso de méritos internacionales, resultado de un completo y detallado estudio de factibilidad, llamado "Informe Final, Trabajos de Campo para el Estudio de Factibilidad para el Tratamiento de las Aguas Residuales de Cartagena y para la Disposición del Efluente al Mar Adyacente, diciembre 1998 por ACUACAR" que consideró varias alternativas de disposición, tipo y nivel de tratamiento y localización, teniendo en cuenta criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales. Además, se tuvieron en cuenta los análisis de los niveles de Coliformes fecales que estuvieron por encima de la Norma en la zona de playa de Manzanillo, La Boquilla y Punta Canoa, mientras que en el mar abierto los niveles fueron considerablemente menores, llevados a cabo por el CIOH y CARDIQUE (INVEMAR, 1996).

Se realizó una modelación completa de los procesos y fenómenos asociados, teniendo en cuenta entre otros factores, las condiciones y mediciones del sitio, los caudales futuros, las características del emisario, obteniendo resultados que permitieron garantizar la protección de las playas (ACUACAR, 2013).

Se tuvo en cuenta la modelación del transporte de bacterias que sirvió para evaluar la ubicación de los difusores del emisario. El único criterio que se utilizó fue la salud pública mediante la protección para eliminar las concentraciones altas de bacterias en las playas; el criterio de un máximo 200 de Coliformes fecales/100 ml fue establecido como una meta a mantener en las costas con el fin de proteger la salud pública. El aumento de la longitud del Emisario para alejar



la descarga de la orilla disminuiría la ocurrencia de aguas contaminadas en las playas (INVEMAR, 1996).

4.1. Cálculo de ICAM_{PFF}

En el cálculo del índice de calidad de aguas marinas (ICAM_{PFF}) se ingresaron datos promediados de los períodos estipulados desde el año 2012 hasta 2017 en la calculadora REDCAM de INVEMAR, como se muestra en la Tabla 6 a la Tabla 9.

Tabla 6. Cálculo del índice de calidad de agua marinas en el campo lejano en la época húmeda

	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2017
OD	2,86	5,35	5,26	6,04
NO3	NP	0,022	0,027	NP
SST	2,33	3,35	4,08	2,81
CT	268	NP	NP	190
pH	8,10	8,17	8,42	8,20
HDD	NP	NP	NP	NP
DBO	1,87	4,36	1,52	2,03
PO4	NP	0,015	0,056	0,385
Calificación del indicador	57,24	49,77	79,97	75,72
Escala de calidad	Aceptable	Inadecuada	Adecuada	Adecuada

*NP: No presenta datos

Tabla 7. Cálculo del índice de calidad de agua marinas en el campo lejano en la época seca.

	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2017
OD	6,50	8,42	5,73	5,54	9,94
NO3	NP	0,02	0,04	0,02	NP
SST	17,47	9,41	6,55	7,57	6,94
CT	213	NP	NP	NP	213
pH	8,43	8,19	8,14	9,18	7,83
HDD	NP	NP	NP	NP	NP
DBO	1,01	2,03	2,93	2,06	2,13
PO4	0,04	0,02	0,02	0,04	NP
Calificación del indicador	78,69	83,99	69,54	66,76	75,00
Escala de calidad	Adecuada	Adecuada	Aceptable	Aceptable	Adecuada

*NP: No presenta datos



Tabla 8. Cálculo del índice de calidad de agua marinas en el campo cercano en la época húmeda.

	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2017
OD	2,87	5,49	5,15	5,81
NO3	NP	0,01	0,04	NP
SST	2,03	1,81	4,11	2,66
CT	146667	NP	NP	236
pH	8,09	8,18	8,38	8,16
HDD	NP	NP	NP	NP
DBO	0,83	5,10	1,41	2,20
PO4	NP	0,020	0,078	0,345
Calificación del indicador	27,47	41,29	80,52	72,79
Escala de calidad	Inadecuada	Inadecuada	Adecuada	Adecuada

*NP: No presenta datos

Tabla 9. Cálculo del índice de calidad de aguas marinas en el campo cercano en época seca

	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2017
OD	6,43	8,20	5,55	5,61	10,41
NO3	NP	0,013	0,036	0,010	NP
SST	41,25	10,20	9,95	11,55	4,50
CT	NP	NP	NP	NP	29000
pH	8,42	8,22	8,13	8,85	7,83
HDD	NP	NP	NP	NP	NP
DBO	3,48	2,86	3,49	2,05	2,84
PO4	0,07	0,03	0,02	0,04	NP
Calificación del indicador	56,4	74,29	61,35	71,52	9,75
Escala de calidad	Aceptable	Adecuada	Aceptable	Adecuada	Pésima

*NP: No presenta datos

De acuerdo con las tablas anteriores se pudo distinguir la “inadecuada” calidad del cuerpo de agua en la época húmeda para el campo lejano y cercano en el período 2014-2015, el cual no superó el 50% de calidad de acuerdo al ICAM_{PFF}; para el período del 2013-2014 obtuvo calidad “aceptable” en ambas épocas en ambos campos, pero en el campo cercano en la época húmeda obtuvo calidad “inadecuada” con un 27%.

A pesar de que el resultado del ICAM_{PFF} en la época húmeda fue la calificación más baja de todas, exceptuando el período del 2017 en época seca para campo cercano que presentó “pésima” calidad debido a la concentración de Coliformes Totales en el punto de vertimiento, pudo ocurrir por los incrementos del caudal de aguas lluvias presentadas en ésta época, las cuales presentaron precipitaciones que superaron los 28.5 mm según lo reportado en el Boletín Meteorológico del Caribe Colombiano de la DIMAR favoreciendo al proceso de dilución de contaminantes en el mar.



Sin embargo, la gran mayoría de los datos se encontraron en un rango de “adecuada” calidad para la época seca. El campo cercano estuvo entre 66% a 85% de calidad, presentando menor porcentaje en el período 2014-2015 y 2015-2016 y el campo lejano entre 56% al 74% de calidad de acuerdo con el ICAM_{PFF}. No obstante, se debe destacar que este indicador no fue óptimo para realizar un análisis de los datos obtenidos en esta investigación, ya que la calculadora de REDCAM no debe existir ausencia de datos (se debe ingresar ocho parámetros) pero en caso contrario se tiene en cuenta que el margen de confianza del resultado disminuye así como el criterio de determinación, a pesar de que el indicador determina el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que describen el estado de un cuerpo de agua marino con relación a las condiciones ambientales que propician la preservación de la flora y la fauna, es decir, su capacidad de soportar la vida marina y procesos biológicos (Universidad Nacional de Colombia, 2009).

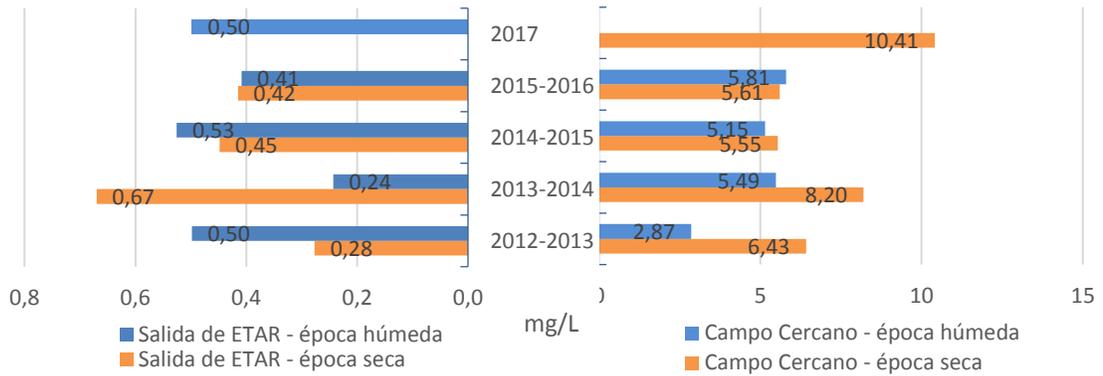
4.1.1. Variación de los parámetros ingresados en el ICAM_{PFF}

Con el fin de analizar la variación de los parámetros que se requieren en el cálculo del ICAM_{PFF} se graficaron los datos obtenidos por ACUACAR.

El oxígeno disuelto es uno de los factores más importantes para el desarrollo y supervivencia de organismos en el medio acuático. La disponibilidad de este gas en el agua, depende de varias condiciones como la temperatura y salinidad, así como se puede ver influenciada por la productividad primaria (incremento) o por la oxidación de materia orgánica (disminución) (Pérez & Restrepo, 2008). De acuerdo con la gráfica anterior se puede afirmar que en el Campo Cercano en ambas épocas cumple con el criterio de calidad de agua para la preservación de flora y fauna según el Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984 donde la concentración debe ser $>4.0 \text{ mg O}_2/\text{L}$ (Ministerio de Salud, 1984). Además, el aumento de la concentración de OD es mayor en la época lluvia debido a las precipitaciones, pues ocasiona un incremento en el caudal que permite la dilución de los contaminantes en el mar. En la Gráfica 1 se muestra la variación de oxígeno en la zona de influencia del emisario submarino durante las épocas húmeda y seca.



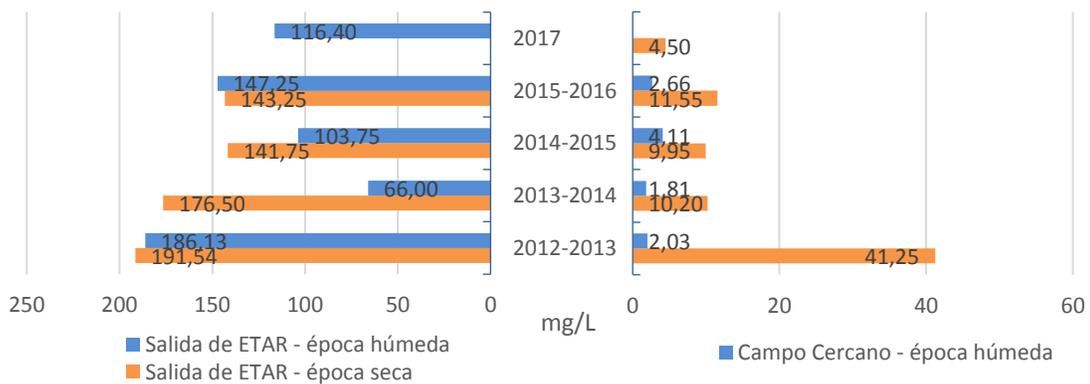
Gráfica 1. Promedio anual de oxígeno disuelto desde el 2012 al 2017



Los sólidos suspendidos totales, son ampliamente empleados como indicador de calidad en aguas. El aumento de este parámetro incrementa la turbidez y disminuye la penetración de la luz, limitando la producción primaria (Scannell & Jacobs, 2007), lo cual puede tener un impacto en la supervivencia de las especies, en la gráfica anterior se puede observar la disminución de la concentración de SST en el campo cercano para ambas épocas que de acuerdo con la escala de clasificación de calidad de aguas de CONAGUA clasifican como aguas no contaminadas cuando la concentración es < 25 mg/L (Comisión Nacional del Agua, 2016). Las altas concentraciones que se presentan en la época seca pueden ser ocasionadas por las corrientes que transportan sedimentos desde la desembocadura del río Magdalena que se concentran en la zona de influencia del emisario submarino.

En la Gráfica 2 se muestra la variación de los sólidos suspendidos totales en la zona de influencia del emisario submarino durante las épocas húmeda y seca.

Gráfica 2. Promedio anual de sólidos suspendidos totales desde el 2012 al 2017

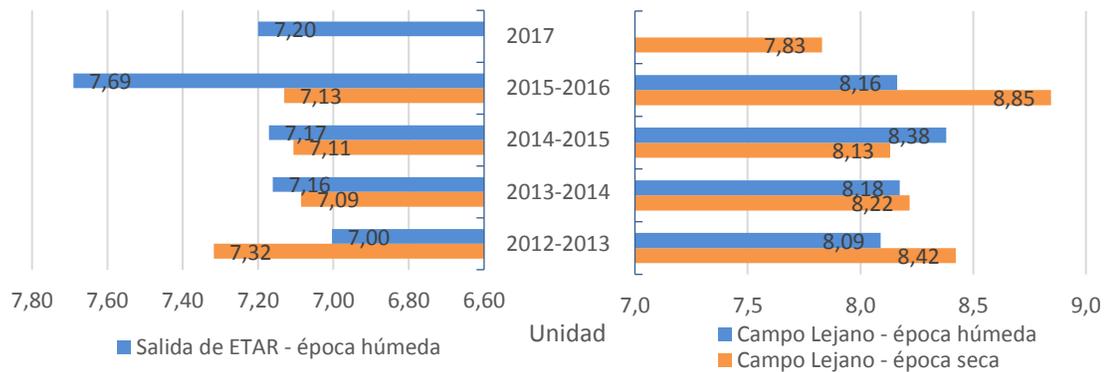




El pH condiciona los procesos químicos que se pueden dar en el sistema, como la solubilidad de los metales, además de afectar ciertos organismos que son sensibles a cambios de esta variable. Existen factores que pueden modificar el pH como: floración de algas, actividad bacteriana, el vertimiento de aguas residuales, la escorrentía con contaminantes, entre otros (Ohrel & Register, 2006). Los datos analizados se encuentran en el rango aceptable (6,5 – 8,5) del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas (Ministerio de Salud, 1984).

En la Gráfica 3 se muestra la variación de pH en la zona de influencia del emisario submarino durante las épocas húmeda y seca.

Gráfica 3. Promedio anual de pH desde el año 2012 al 2017



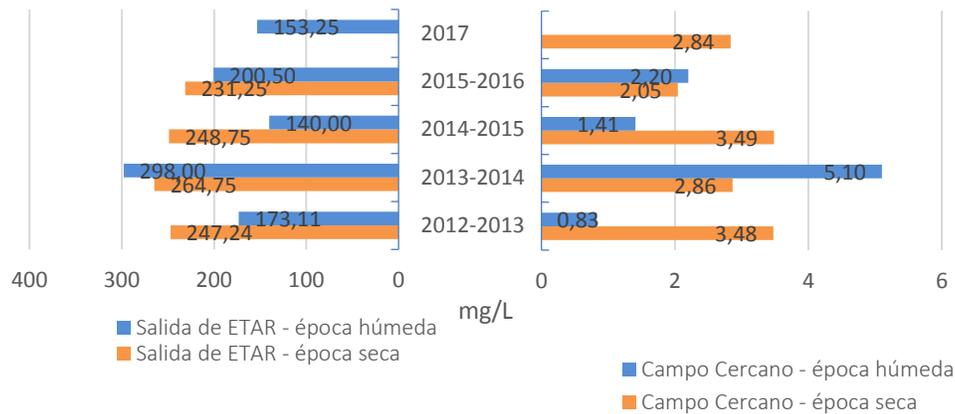
Las características de las aguas residuales domésticas son muy uniformes y varían respecto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones, pero usualmente contiene altas concentraciones de sólidos disueltos y en suspensión, surfactantes, residuos oleosos, materia orgánica y microorganismos de origen fecal que al ser vertidos en el mar incrementan la Demanda Bioquímica de Oxígeno y deterioran la calidad del agua receptora (CEPIS, 1981).

Según los datos obtenidos, en el Campo Cercano se presentan concentraciones bajas de DBO₅ sobre todo en época húmeda, lo que pudo incurrir en los incrementos del caudal de aguas lluvias presentadas en ésta época o que no existía gran carga de materia orgánica a descomponer, pues una mayor concentración DBO₅ indica que se requeriría una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua (CIOH, 2011).



En la Gráfica 4 se muestra la variación de DBO₅ en la zona de influencia del emisario submarino durante las épocas húmeda y seca.

Gráfica 4. Promedio anual de DBO₅ desde el 2012 al 2017

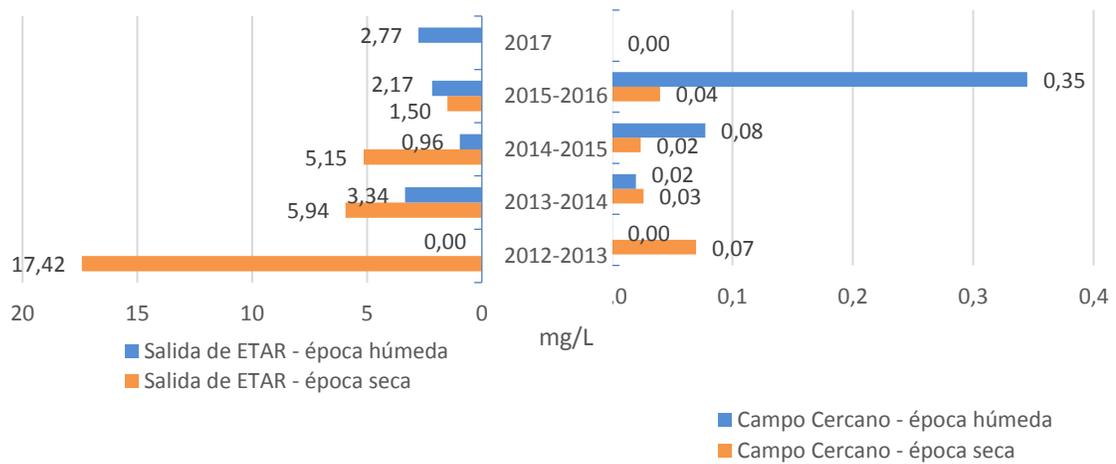


Los nutrientes inorgánicos disueltos son variables importantes de calidad de agua y tienen diversos orígenes como disolución geológica, arrastre de los depósitos atmosféricos por las lluvias, escorrentías y descomposición de la materia orgánica por acción de microorganismos (Alvarado, Mendieta, & Espinosa, 2001). Son fundamentales para los procesos biológicos, dependiendo de sus formas químicas pueden tener impactos directos o indirectos de significancia sobre el crecimiento del fitoplancton, concentración de oxígeno y tasas de sedimentación, que afectarían la calidad del agua (Lapointe, Barile, & Matzie, 2004). En los datos estudiados se observa bajas concentraciones de Fosfatos donde la concentración de los últimos años no supera los 5mg/L.

En la Gráfica 5 se muestra la variación de fosfatos en la zona de influencia del emisario submarino durante las épocas húmeda y seca.



Gráfica 5. Promedio anual de fosfatos desde el 2012 al 2017



4.2. Revisión de los parámetros con la normativa Colombiana

En este capítulo se presentan dos comparaciones matriciales realizadas con las normas existentes en Colombia de vertimientos a cuerpos de agua y criterios de calidad de agua para uso recreativo de primer.

4.2.1. Comparación matricial de los parámetros de la salida de la ETAR con la Resolución 0883 de 2018.

En la actualidad en Colombia existe una resolución que regula la cantidad cuantificable de cada uno de los parámetros que son medidos previamente a la deposición del agua residual en mares y océanos, para llevar a cabo esta revisión se hizo necesaria la utilización de la Resolución 0883 del 18 de mayo del 2018, la cual reglamenta el numeral 25 del artículo 5 de la ley 99 de 1993 y el artículo 2.2.3.3.4.7 del Decreto 1076 de 2015. Esta aporta los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas y en ella se dictan otras disposiciones, cabe resaltar que las características del efluente son de aguas residuales domésticas en ausencia de disposiciones industriales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).



En primera instancia, se analizaron los valores correspondientes a la salida de la ETAR; se trabajó con una división por periodos en consecuencia de la falta de toma de mediciones en algunos meses del año, con esta información se creó un histórico del estado de los parámetros para comparar en una matriz posteriormente. Los periodos se dividieron en: 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016 y 2017, se tomaron los valores correspondientes a la época húmeda y seca de cada periodo comprendiendo los meses de Agosto a Noviembre del primer año como época húmeda y de Diciembre del primer año a Marzo del segundo como época seca.

El Emisario Submarino de Punta Canoa distribuye una carga aproximada de 4000 kg/día de DBO₅, calculado con un caudal de 2000 l/s y una concentración de DBO de 153 mg/l, para realizar la comparación se toma los valores constituidos en la tabla del Artículo 8 hoja N°9 específicamente la columna de disposición a través de Emisario Submarino. En la actualidad la Resolución 0883 es la única norma existente para regir este tipo de vertimientos, se realizó una revisión con los datos encontrados en el documento como valores insignia, esta normativa fue legalizada el 18 de mayo del año 2018 y publicada el 21 de mayo del mismo año por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en ella se incluyeron valores máximos y límites permisibles para disposiciones por medio de Emisarios Submarinos.

A continuación, se encuentran los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas-ARD- ARD de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales de los prestadores de servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas marinas.

Como se observa en la Tabla 10, son pocos los valores que están estipulados en la resolución 0883, lo cual no permite un análisis exhaustivo de las mediciones realizadas por Aguas de Cartagena S.A E.S.P en el agua residual antes del vertimiento, luego de pasar por la planta de tratamiento, ubicada en el municipio de Punta Canoa, así mismo se encuentran los valores de pH, DBO, SST y Grasas y Aceites; excluyendo los valores de algunos parámetros fisicoquímicos que son determinantes para definir la calidad del agua vertida y su nivel de contaminación como lo son: Temperatura, Amonio, Oxígeno Disuelto, Nitritos, Nitratos, Fosfato, Detergentes, Enterococos, Nitrógeno Kjeldahl, Nitrito, Coliformes Fecales y Coliformes Totales.



Tabla 10. *Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas.*

Fuente: Resolución 0883 de 2018

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS-ARD Y AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS-ARnD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PUBLICO DE ALCANTARILLADO, POR MEDIO DE EMISARIO SUBMARINO
pH	Unidades de pH	6,00-9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	450,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO⁵)	mg/L O ₂	250,00
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	250,00
Solidos Sedimentales (SSED)	ml/L	6,00
Grasas y Aceites	mg/L	50,00

En las Tablas de la 11 a la Tabla 16 se encuentra el histórico de valores pertenecientes a los vertimientos en épocas húmeda y seca de cada uno de los periodos divididos de forma mensual y el estado en el que se encontraron, si cumplen o no con la normativa colombiana, a su vez se graficaron los parámetros y el límite máximo permisible y se calcularon porcentajes de violación de la norma. Los valores de algunos parámetros como Coliformes Termotolerantes y de E-Coli a los que se les establece un análisis y reporte, estos deben ser presentados por la empresa prestadora del servicio de manera anual mientras exista descarga de excretas humanas y/o de animales; estas muestras deben ser tomadas de forma simultánea con la caracterización de los vertimientos puntuales en el mismo periodo de tiempo que dure la campaña de medición y en las mismas estaciones de muestreo (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Cabe resaltar que el color verde en los cuadros de las tablas significa que se los datos se encuentran cumpliendo los limites estipulados en la norma, el color amarillo significa que en ese mes para ese periodo no se realizaron mediciones por parte del proveedor que en este caso es Aguas de Cartagena S.A; por último, el color rojo hace referencia al incumplimiento de los valores de la normativa.

En el periodo 2012-2013 se analizaron en total 28 mediciones de las cuales 6 infringieron la normativa como se puede observar en la Tabla 11, esto significa que el 21.4% de los valores no se encuentra en el rango máximo permisible, en este caso la DBO₅ y las Grasas y Aceites superaron los límites con una frecuencia de 42%. Cabe destacar que la DBO₅ aumenta en los meses de Diciembre a Febrero que representan la época seca del año, esto puede deberse al

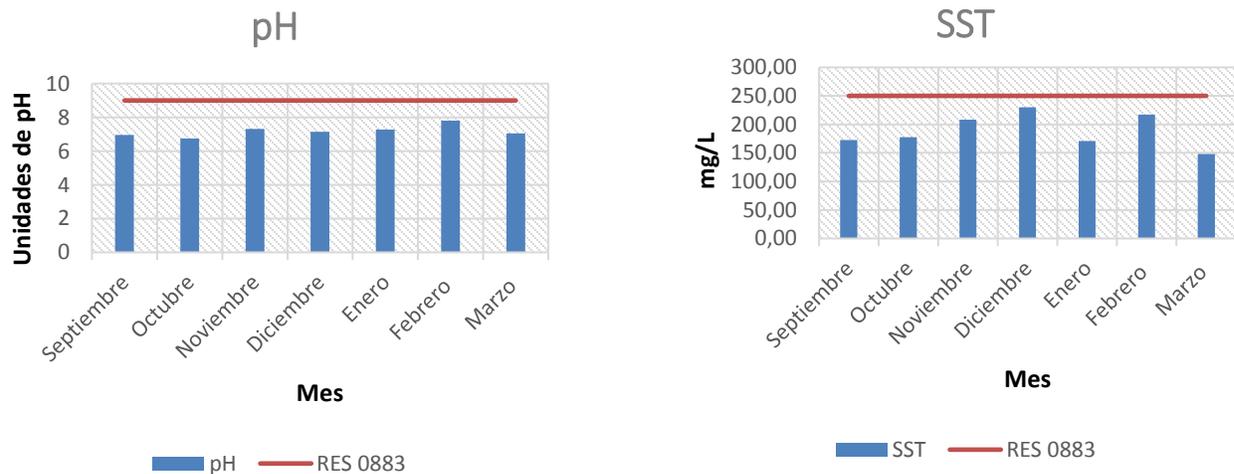


transporte de materia orgánica a través de las corrientes marinas que por el viento característico de época suelen ser fuertes.

Tabla 11. Comparación matricial del estado de los parámetros con la normativa colombiana en el periodo 2012-2013.

MES	pH (Unidades de pH)	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L O ₂)	GRASAS Y ACEITES (mg/L)
Septiembre	6,96	172,57	126,67	28,51
Octubre	6,74	177,33	174,67	32,50
Noviembre	7,32	208,50	218,00	26,75
Diciembre	7,15	230,00	252,36	44,14
Enero	7,27	171,18	254,12	54,00
Febrero	7,81	217,00	284,50	66,00
Marzo	7,05	148,00	198,00	69,00
Resolución 0883	6,00-9,00	250,00	250,00	50,00

Gráfica 6. pH y SST en la salida de la ETAR en el periodo 2012-2013





Gráfica 7. DBO₅ y Grasas y Aceites en la salida de la ETAR en el periodo 2012-2013

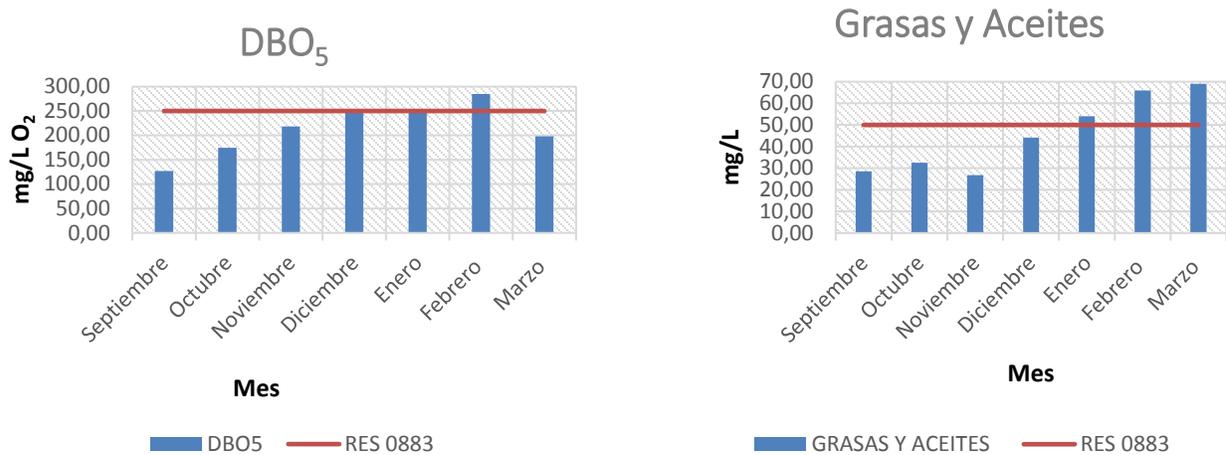
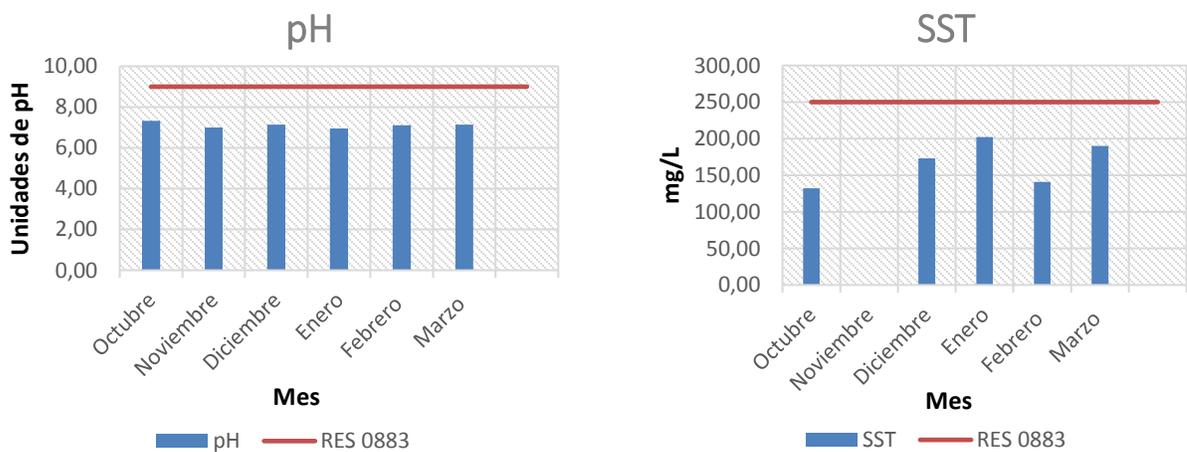


Tabla 12. Comparación matricial del estado de los parámetros con la normativa colombiana en el periodo 2013-2014.

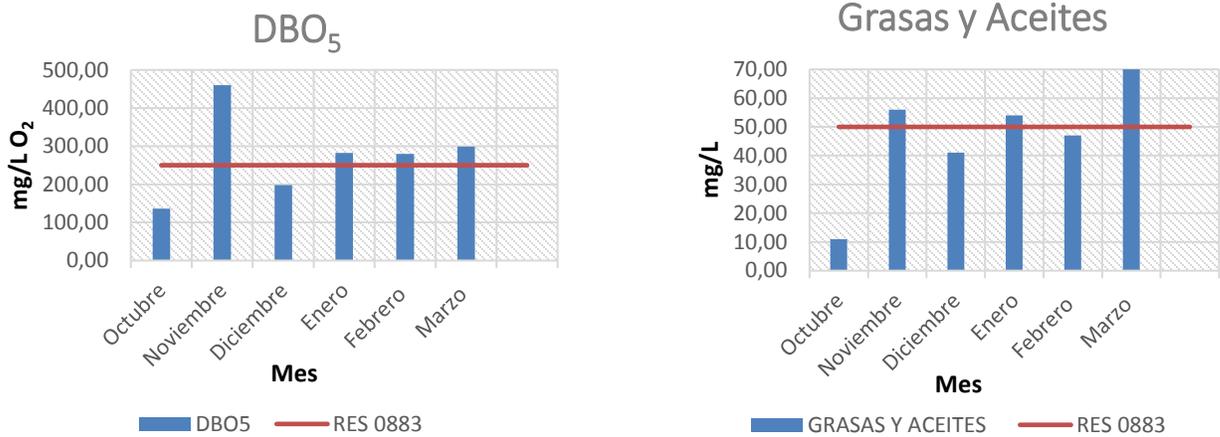
MES	pH (Unidades de pH)	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L O ₂)	GRASAS Y ACEITES (mg/L)
Octubre	7,32	132,00	136,00	11,00
Noviembre	7,00	0,00	460,00	56,00
Diciembre	7,14	173,00	198,00	41,00
Enero	6,95	202,00	282,00	54,00
Febrero	7,11	141,00	280,00	47,00
Marzo	7,14	190,00	299,00	70,00
Resolución 0883	9	250,00	250,00	50,00

Gráfica 8. pH y SST en la salida de la ETAR en el periodo 2013-2014





Gráfica 9. DBO₅ y Grasas y Aceites en la salida de la ETAR en el periodo 2013-2014

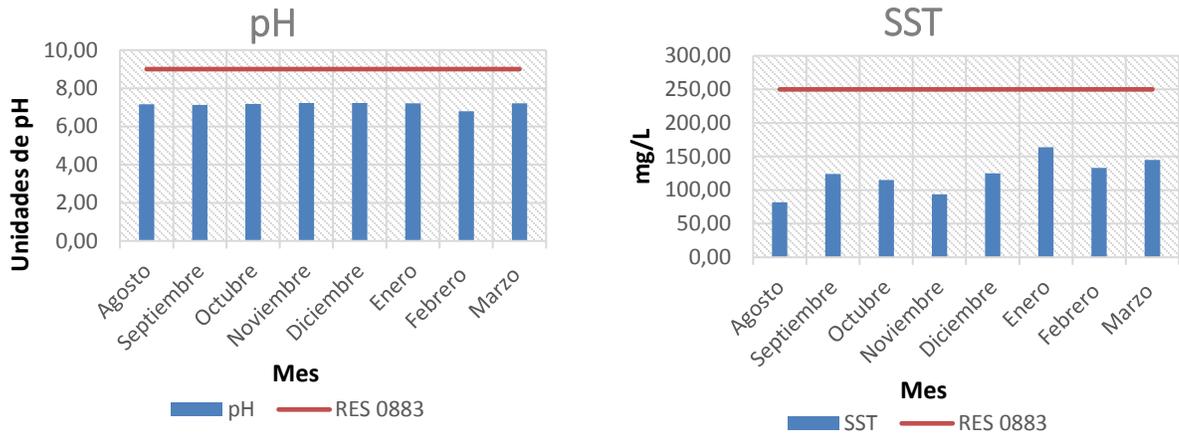


En el periodo 2014-2015 se obtuvo como resultado una frecuencia de violación de la resolución de 21.4% sentando los valores máximos en meses de época seca pertenecientes a los parámetros de DBO₅ y Grasas y Aceites como se observa en la Tabla 13.

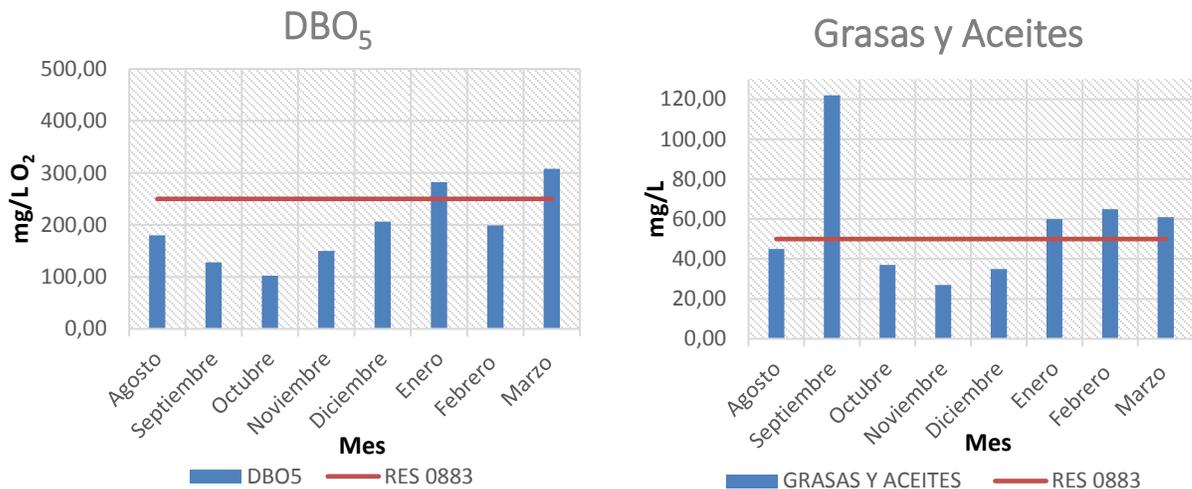
Tabla 13. Comparación matricial del estado de los parámetros con la normativa colombiana en el periodo 2014-2015

MES	pH (Unidades de pH)	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L O ₂)	GRASAS Y ACEITES (mg/L)
Agosto	7,16	82,00	180,00	45,00
Septiembre	7,13	124,00	128,00	122,00
Octubre	7,18	115,00	102,00	37,00
Noviembre	7,22	94	150	27
Diciembre	7,22	125	206,00	35,00
Enero	7,20	164,00	282,00	60,00
Febrero	6,79	133,00	199,00	65,00
Marzo	7,21	145,00	308,00	61,00
Resolución 0883	9	250,00	250,00	50,00

Gráfica 10. pH y SST en la salida de la ETAR en el periodo 2014-2015



Gráfica 11. DBO₅ y Grasas y Aceites en la salida de la ETAR en el periodo 2014-2015



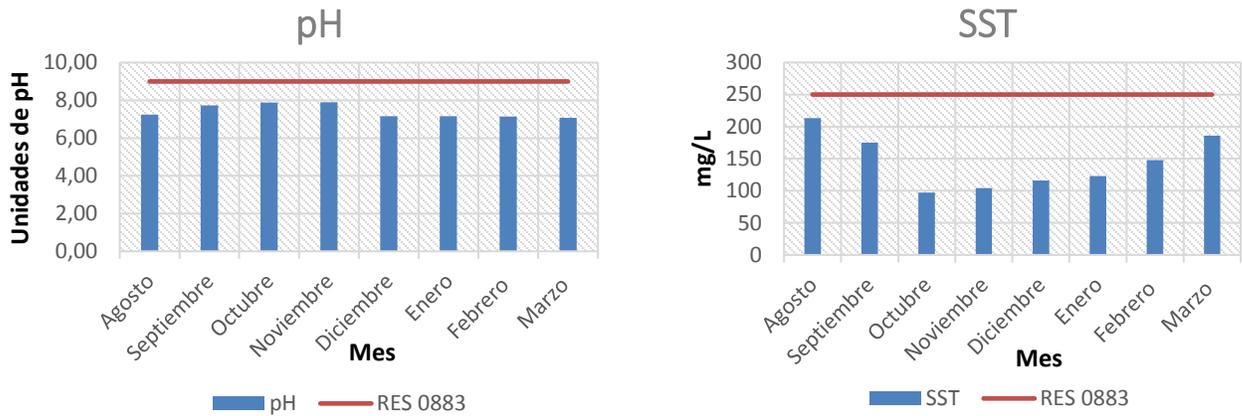
En la Tabla 14 se observan los resultados de este periodo, se obtuvo un 10.71% de frecuencia de violación de la normativa colombiana, se notó una disminución considerable con respecto al periodo anterior, mejorando las concentraciones de Grasas y Aceites, así como de DBO₅ en menor cantidad superando el máximo valor permisible de 250 mg/L O₂ en un máximo de 26 mg/L O₂ en el mes de diciembre.



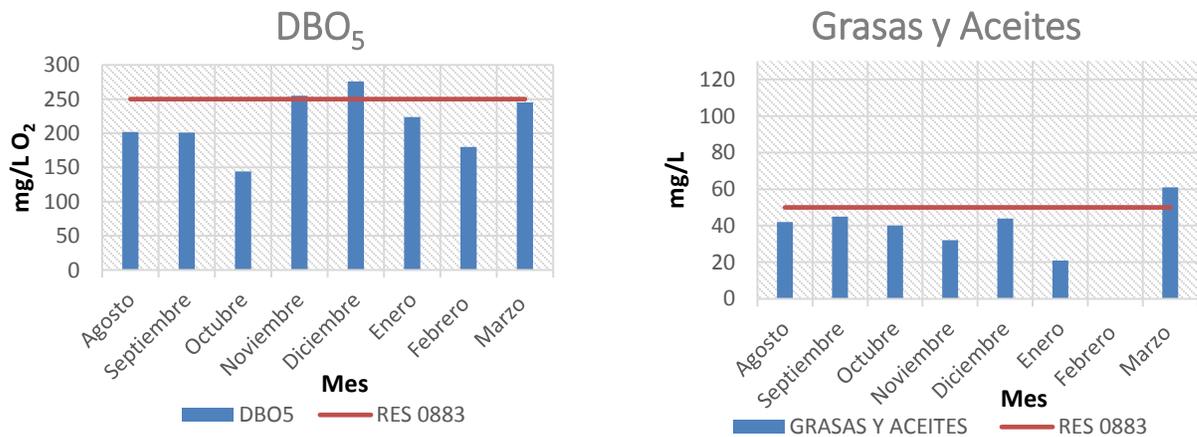
Tabla 14. Comparación matricial del estado de los parámetros con la normativa colombiana en el periodo 2015-2016

MES	pH (Unidades de pH)	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L O ₂)	GRASAS Y ACEITES (mg/L)
Agosto	7,25	213	202	42
Septiembre	7,72	175,00	201,00	45,00
Octubre	7,89	97,00	144,00	40,00
Noviembre	7,90	104	255	32
Diciembre	7,16	116	276,00	44,00
Enero	7,16	123,00	224,00	21,00
Febrero	7,14	148,00	180,00	0,00
Marzo	7,07	186,00	245,00	61,00
Resolución 0883	6,00-9,00	250,00	250,00	50,00

Gráfica 12. pH y SST en la salida de la ETAR en el periodo 2015-2016



Gráfica 13. DBO₅ y Grasas y Aceites en la salida de la ETAR en el periodo 2015-2016



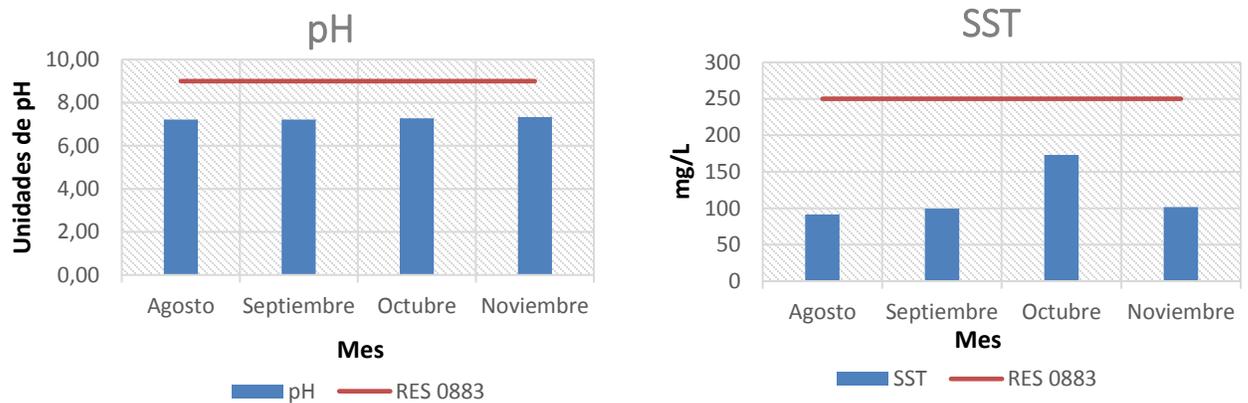


En el último periodo correspondiente al año 2017 no se presentaron violaciones de la normativa, se resalta que en los meses de agosto hasta octubre no se realizaron mediciones de Grasas y Aceites, lo que no permite la confiabilidad total del análisis de este parámetro, sin embargo, la frecuencia de violación de la norma DBO₅ se disminuyó al 0% como se observa en la Tabla 15.

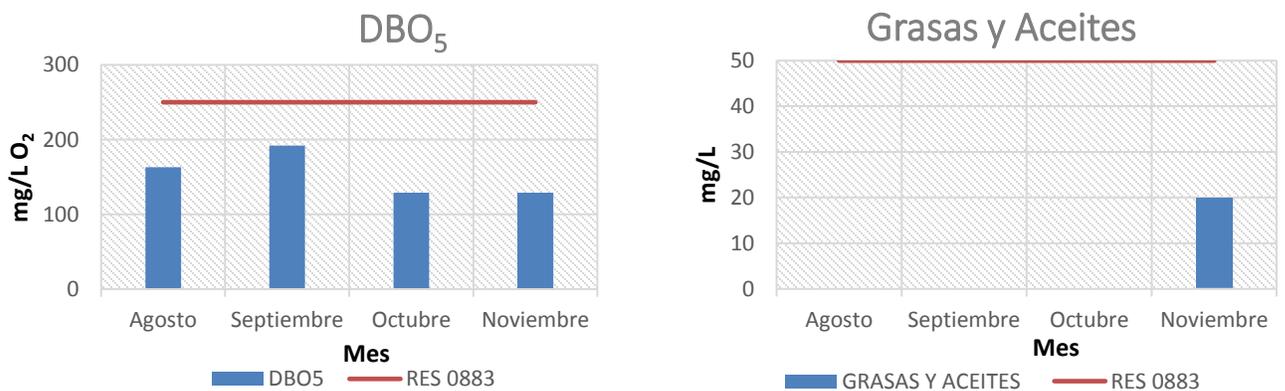
Tabla 15. Comparación matricial del estado de los parámetros con la normativa colombiana en el periodo 2017

MES	pH (Unidades de pH)	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L O ₂)	GRASAS Y ACEITES (mg/L)
Agosto	7,22	91,4	163	0
Septiembre	7,21	99,20	192,00	0,00
Octubre	7,27	173,30	129,00	0,00
Noviembre	7,33	101,7	129	20
Resolución 0883	6,00-9,00	250,00	250,00	50,00

Gráfica 14. pH y SST en la salida de la ETAR en el periodo 2017



Gráfica 15. DBO₅ y Grasas y Aceites en la salida de la ETAR en el periodo 2017





En la Tabla 16 se encuentra en resumen los valores propios de la frecuencia de violación de la normativa vigente.

Tabla 16. Resumen de porcentajes de violación de la norma de vertimientos

FRECUENCIA DE VIOLACION DE LA RES 0883	
Periodo	%
2012-2013	21,40%
2013-2014	25%
2014-2015	21,40%
2015-2016	10,71%
2017	0%

En los periodos que comprenden desde el año 2012 hasta el año 2017 se observa un comportamiento similar en los parámetros físicos, químicos y biológicos, de los valores medidos por Aguas de Cartagena S.A E.S.P; solo se pudieron comparar cuatro de ellos por las limitaciones de la resolución, en esta solo se encuentran límites de parámetros como pH, ya que en nueve de ellos no son contemplados, SST, DBO₅ y Grasas y aceites; y tres se encuentran establecidos para realización de análisis y reporte. En el periodo 2013-2014 se encuentra la mayor concentración de DBO₅ de 406 mg/L O₂ que vulnera la norma en el mes de diciembre y se obtuvo un valor máximo de Grasas y Aceites en el mes de septiembre del periodo 2014-2015 con una concentración de 122 mg/L, durante los cinco periodos el valor del pH se mantuvo dentro de los rangos aceptables así como los valores medidos de SST. A su vez es importante destacar que las concentraciones más altas de DBO₅ y Grasas y Aceites se encuentran en los meses correspondientes a la época seca.

Parámetros como el oxígeno disuelto son determinantes de la calidad del agua, es de vital importancia para la mayoría de organismos acuáticos además de ser un componente clave en la respiración celular. La ausencia de un valor límite permisible, da lugar a la disminución de este sin ningún tipo de reglamento, lo cual puede causar una baja en reproducción y variedad de especies, como es de conocimiento público que Punta Canoa es un corregimiento de Cartagena que solía vivir de la pesca y el turismo, por lo que es importante para sus habitantes la conservación de sus playas y la población de peces que se reproduce en sus aguas.



4.2.2. Comparación matricial de los parámetros con los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso del Decreto 1594 de 1984

La calidad de agua para uso recreativo en centros turísticos es un factor primordial para garantizar la protección de la salud de los usuarios y un punto de interés para el sector turístico, dado que las playas adquieren un valor agregado al contar con un nivel aceptable de calidad del agua, los estudios en agua marina y playas indican que las enfermedades de las mucosas, de la piel y digestivas asociadas con los bañistas están directamente relacionadas con los niveles de contaminación fecal (Secretaría de la Salud, 2004).

En Colombia, el decreto 1076 del 26 de mayo de 2015, es una compilación de las normas expedidas por el Gobierno Nacional por el cual se expide el decreto único reglamentario del sector del medio ambiente y desarrollo sostenible, dicha compilación está compuesta por diversas normativas y una de ellas es el Decreto 3930 de 2010 por el cual se reglamenta parcialmente los usos del agua y residuos líquidos, la cual deroga el Decreto 1594 de 1984 a excepción de los artículos 20 y 21.

La resolución 0631 de 2015 describe los lineamientos por los cuales es regido el Decreto 3930, sin embargo, en la temática de criterios de calidad para destinación del recurso no ha realizado actualizaciones de valores aceptables para las concentraciones de parámetros físicos, químicos y biológicos de acuerdo al ordenamiento del mismo. Por consiguiente para efectos académicos y de investigación se realizó una comparación matricial con los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario del Artículo 42 del Decreto 1594.

Para el desarrollo de la matriz de comparación se dividieron los años en periodos de la siguiente manera: 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016 y 2017 y su vez cada periodo se dividió en los meses en los que se realizaron campañas de muestreo en época seca y húmeda; la zona de mezcla se clasificó según las distancias en el mar por campo cercano que constituye 1 km² alrededor de la salida de la tubería de distribución, está conformado por una estación de muestreo y campo lejano que constituye 66 km² y posee trece estaciones de muestreo.



En la Tabla 17 se encuentran los criterios admisibles para contacto primario respectivamente con valores.

Tabla 17. *Criterios admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario*

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR
pH	Unidades de pH	5,0-9,0
Coliformes Fecales	NMP	200 microorganismos/100 ml
Coliformes Totales	NMP	1000 microorganismos/100ml
Oxígeno Disuelto	%	70% concentración de saturación
Compuestos fenólicos	Fenol	0,00
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0,5

En el Decreto el OD se encuentra expresado en porcentaje de concentración de saturación, este está determinado por la lectura de oxígeno disuelto en mg/L dividido por el 100% del valor de oxígeno disuelto para el agua (a la misma temperatura y presión del aire). Para el cálculo de este se trabajó con los datos de concentración de Oxígeno Disuelto, Temperatura y Salinidad proporcionados por aguas de Cartagena para cada uno de los periodos en campo cercano y lejano. El valor de la presión atmosférica se encuentra establecido por la distancia al nivel del mar que en Cartagena es 0, por lo tanto, el valor correspondiente es 760.00 mmHg. En libro Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones de Crites y Tchobanoglous se encuentra estipulados los valores del Oxígeno Disuelto para el agua por medio de la temperatura y la salinidad, se interpoló y se obtuvieron los siguientes resultados para campo cercano y lejano en los distintos periodos observados en la Tabla 18.



Tabla 18. Cálculo de porcentaje de saturación en el campo lejano

Mes	Periodo					
	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2017	2018
Enero						95,9%
Febrero						95,9%
Marzo	99,0%					
Abril						83,4%
Mayo	100,2%					
Agosto			84,2%	87,7%	91,3%	
Septiembre			82,2%	86,8%	88,8%	
Octubre			88,7%	76,5%	100,5%	
Noviembre			88,9%	86,1%	103,3%	
Diciembre		128,3%	86,5%	89,2%	157,6%	
Enero	98,8%	130,9%	93,2%			
Febrero	96,7%	118,2%	86,6%			
Marzo		146,5%	89,5%			
Valor Decreto 1594	>70%					

Tabla 19. Cálculo de porcentaje de saturación en el campo cercano

Mes	Periodo					
	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2017	2018
Enero						95,0%
Febrero						95,0%
Marzo	96,6%					
Abril						82,8%
Mayo	86,0%					
Agosto			85,8%	82,1%	93,8%	
Septiembre			90,4%	83,6%	89,6%	
Octubre			88,5%	73,1%	89,6%	
Noviembre			87,9%	91,0%	96,0%	
Diciembre		127,0%	81,5%	90,3%	165,1%	
Enero	100,0%	119,3%	92,8%			
Febrero	96,7%	114,0%	83,8%			
Marzo		150,2%	86,1%			
Valor Decreto 1594	>70%					

Luego se realizó la comparación matricial por periodo detallado mensualmente de los datos obtenidos en campo, del campo cercano y lejano con los criterios estipulados en el Decreto 1594 obteniendo como resultado las Tabla 20 para campo cercano.

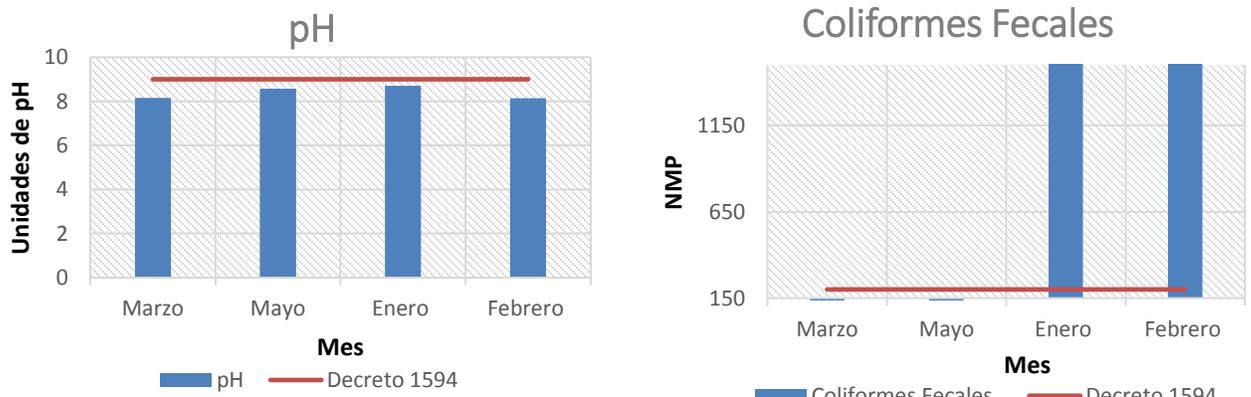


En el periodo 2012-2013 se encontraron valores elevados de Coliformes fecales y totales en la totalidad de los meses en que fue medido, así como el parámetro Compuestos fenólicos, para este periodo se obtuvo una frecuencia de violación de 13.04%.

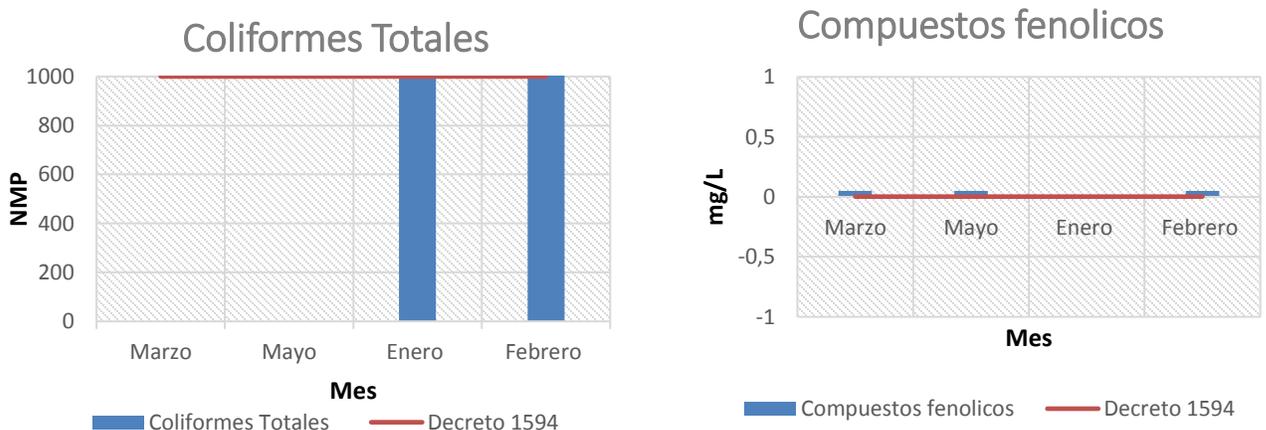
Tabla 20. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2012-2013.

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Marzo	8,15			97%	0,05	0,04
Mayo	8,57			86%	0,05	0,04
Enero	8,7	47400	19250,5	100%		
Febrero	8,14	74334	104334	97%	0,05	0,05
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5

Gráfica 16. pH y CF en campo cercano en el periodo 2012-2013

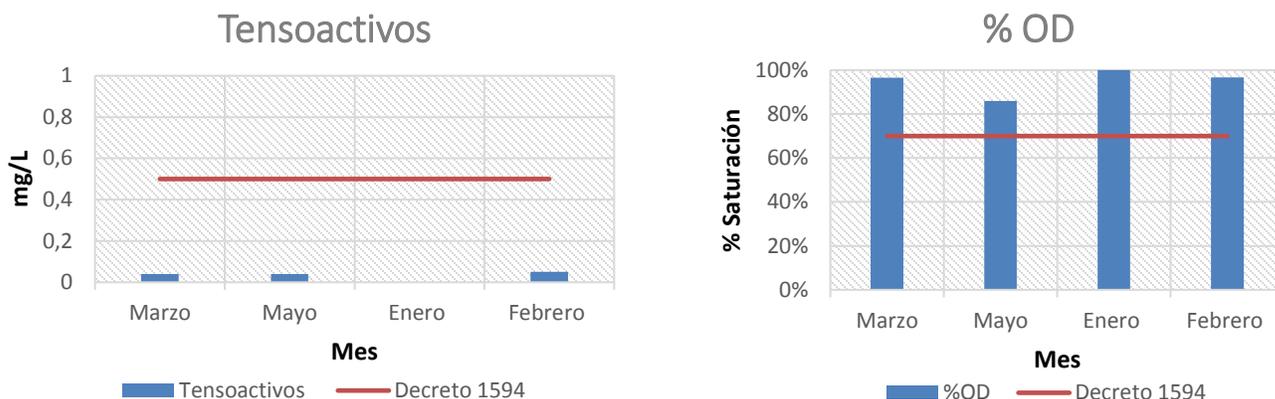


Gráfica 17. CT y Compuestos Fenólicos en campo cercano en el periodo 2012-2013





Gráfica 18. Tensoactivos y %OD en campo cercano en el periodo 2012-2013



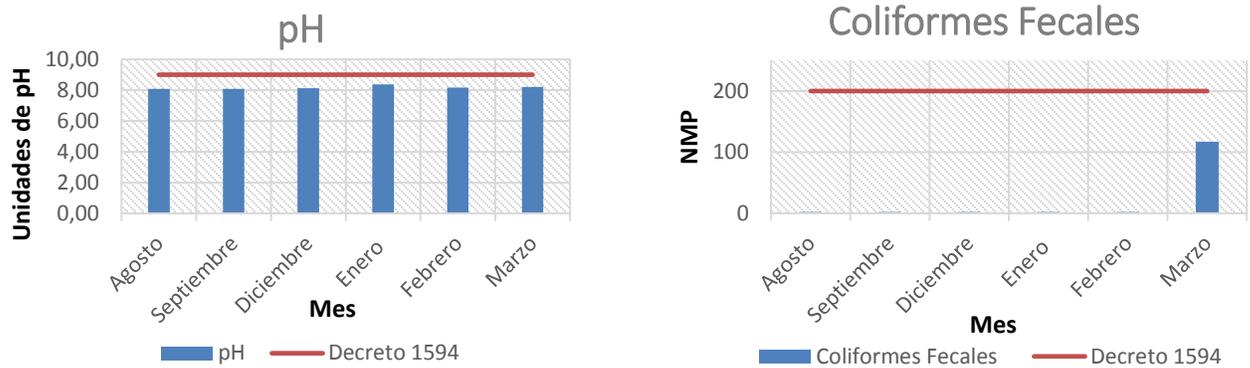
En el periodo 2013-2014 se presentó una frecuencia de violación de 12%, teniendo en cuenta que esta se debe en su totalidad al parámetro de Compuestos fenólicos, en este periodo la empresa no realizó mediciones en ninguna estación de muestreo de Tensoactivos como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2013-2014

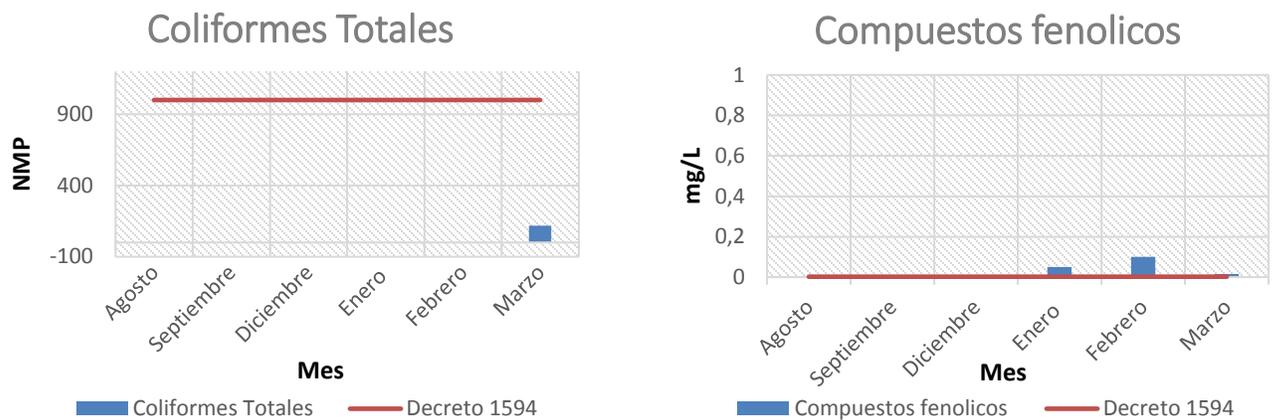
MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Agosto	8,09	2	2			
Septiembre	8,09	2	2			
Diciembre	8,13	2	2	127,04%		
Enero	8,38	2	2	119,31%	0,05	
Febrero	8,16	2	2	113,98%	0,1	
Marzo	8,21	117	117	150,19%	0,016	
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5



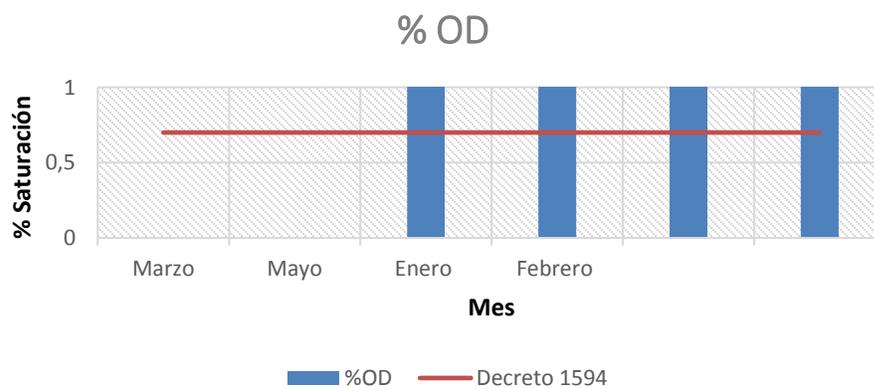
Gráfica 19. pH y CF en campo cercano en el periodo 2013-2014



Gráfica 20. CT y Compuestos Fenólicos en campo cercano en el periodo 2013-2014



Gráfica 21. %OD en campo cercano en el periodo 2013-2014



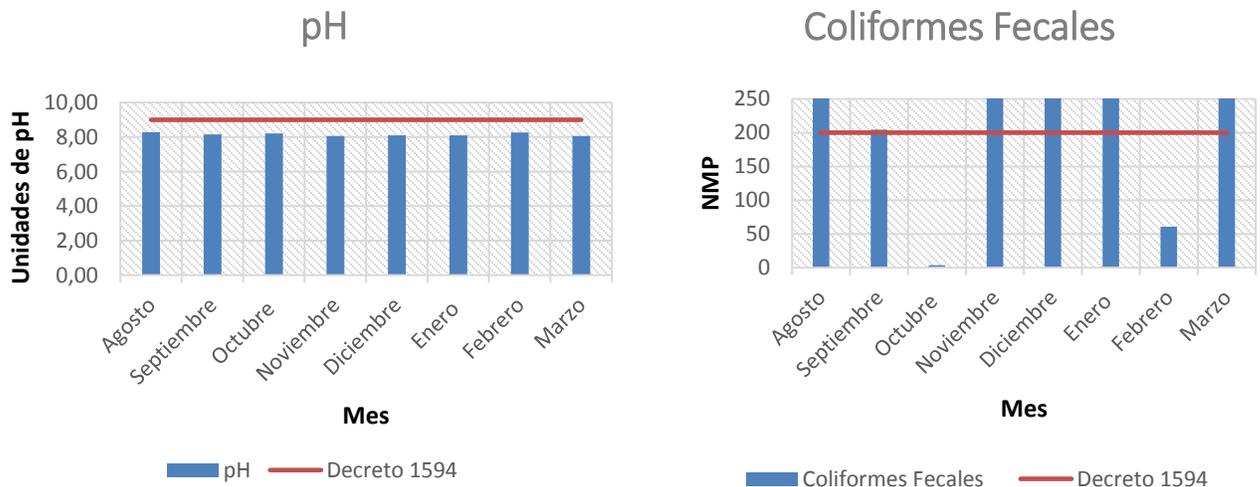


En el periodo 2014-2015 se midieron todos los valores correspondientes a cada parámetro, calculando una frecuencia de violación de la normativa del 37.5%, la cual representa en su mayoría las concentraciones de CT, CF y Compuestos Fenólicos, así se encuentra resumido en la Tabla 22.

Tabla 22. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2014-2015

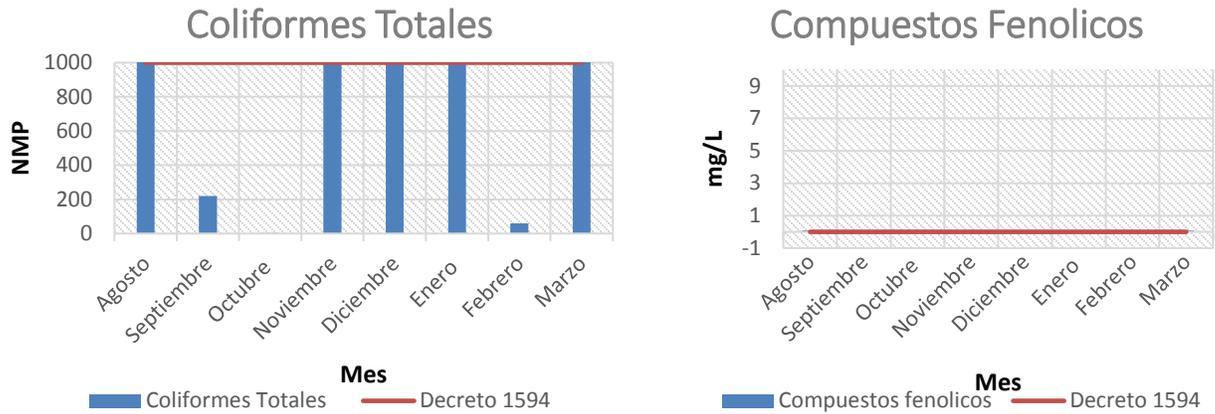
MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Agosto	8,28	32813	32813	85,8%	0,1	0,39
Septiembre	8,16	204,5	220	90,4%	0,1	0,19
Octubre	8,21	3,5	3,5	88,5%	0,1	0,22
Noviembre	8,07	8665	8665	87,9%	0,1	0,18
Diciembre	8,11	790	1173	81,5%	0,1	0,21
Enero	8,11	6508,5	6508,5	92,8%	0,1	0,39
Febrero	8,26	60,5	60,5	83,8%	0,1	0,59
Marzo	8,06	22000	17505,5	86,1%	0,1	0,71
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5

Gráfica 22. pH y CF en campo cercano en el periodo 2014-2015

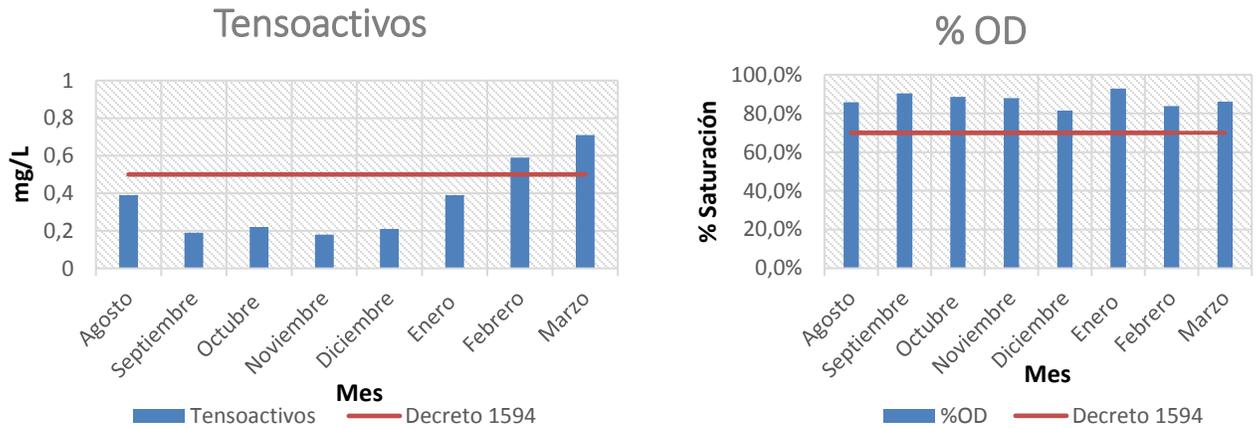




Gráfica 23 . CT y Compuestos Fenólicos en campo cercano en el periodo 2014-2015



Gráfica 24. %OD y Tensoactivos en campo cercano en el periodo 2014-2015



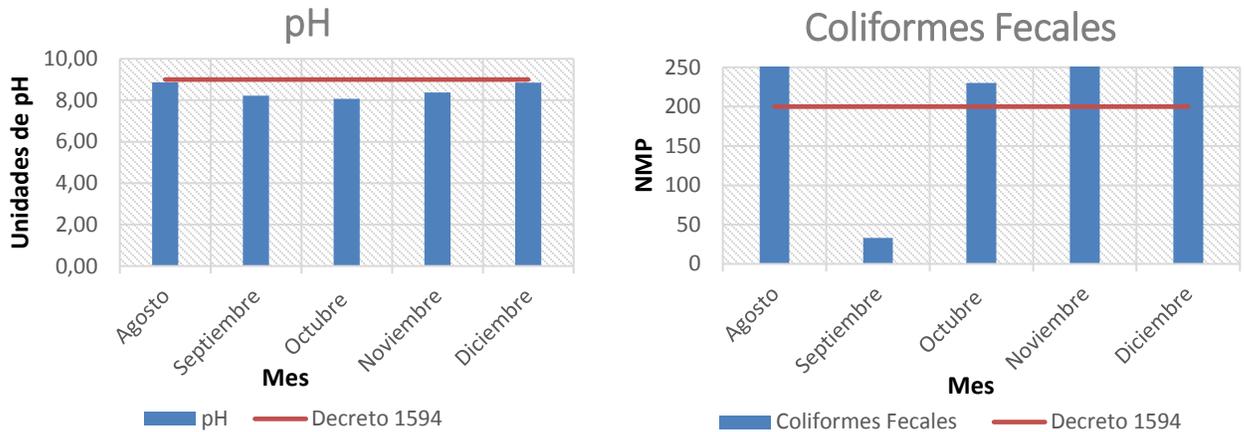
En la Tabla 23 se observa el comportamiento en el periodo 2015-2016; en este se calculó una frecuencia de 44%, que corresponde a las mediciones de CF y CT y Tensoactivos, en este periodo no se realizaron toma de muestras para el análisis del parámetro Compuestos fenólicos.



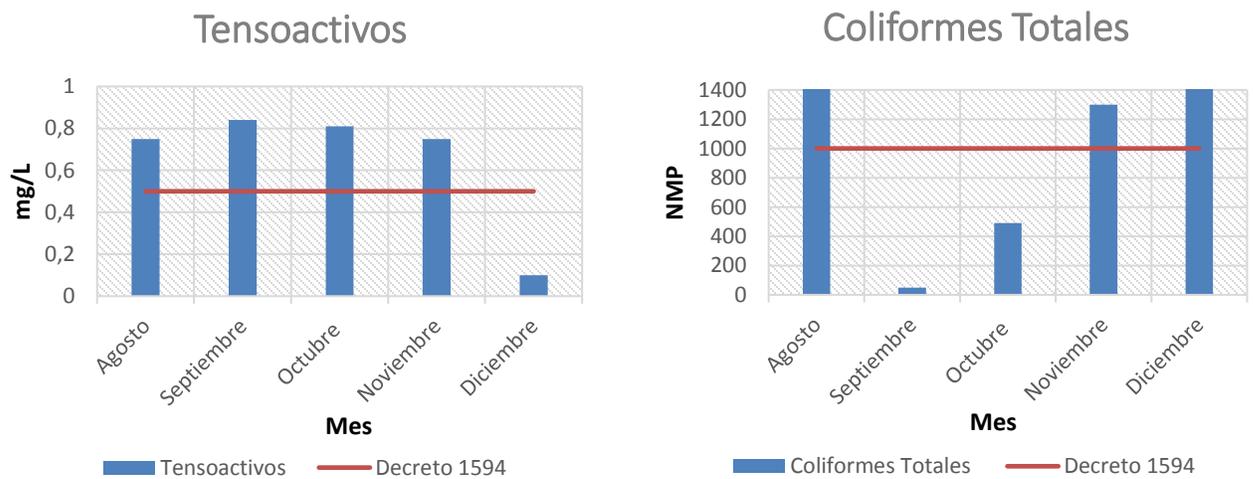
Tabla 23. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2015-2016

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Agosto	8,86	4650,9	4650,9	82,09%		0,75
Septiembre	8,22	33	49	83,61%		0,84
Octubre	8,08	230	490	73,08%		0,81
Noviembre	8,37	1300	1300	91,04%		0,75
Diciembre	8,85	130000	220000	90,29%		0,10
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5

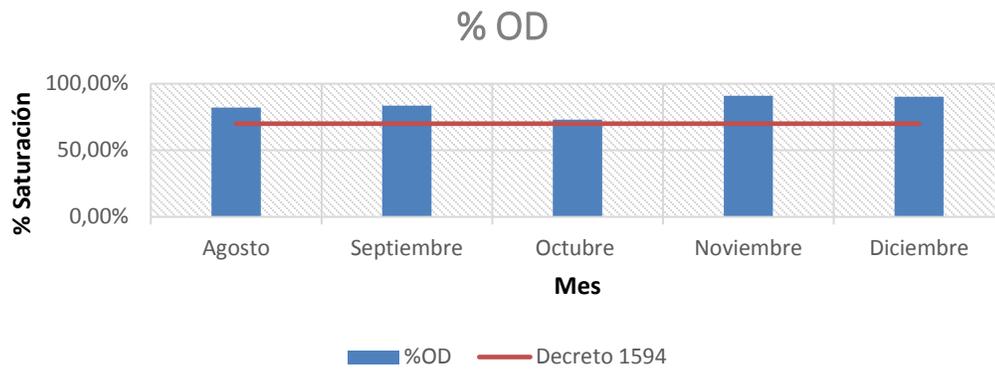
Gráfica 25. pH y CF en campo cercano en el periodo 2015-2016



Gráfica 26. CT y Tensoactivos en campo cercano en el periodo 2015-2016



Gráfica 27. %OD en campo cercano en el periodo 2015-2016



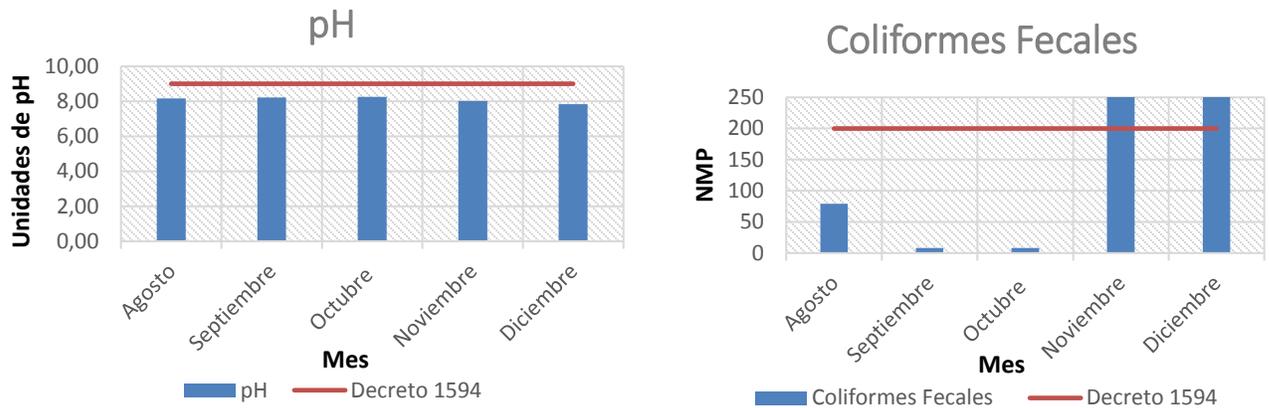
En la Tabla 24 se observa que en el año 2017 se obtuvo una frecuencia de violación de 23.07% debido a las altas concentraciones del parámetro Compuestos fenólicos en época húmeda y a una medición elevada de CF y CT en el mes de noviembre. En este periodo no se realizaron mediciones de Tensoactivos y Compuestos fenólicos en los meses de noviembre y diciembre.

Tabla 24. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2017

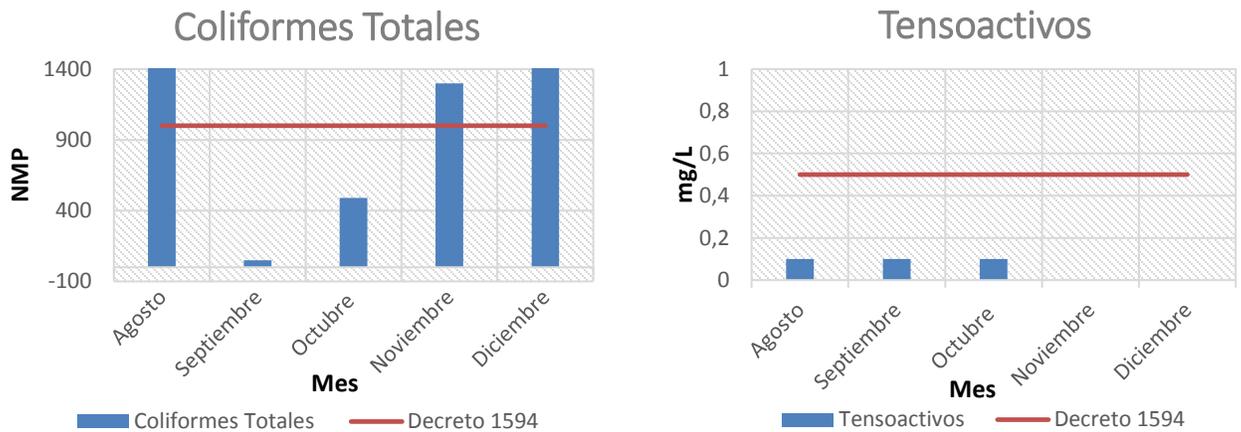
MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Agosto	8,17	79	79	93,8%	0,1	0,1
Septiembre	8,22	8	8	89,6%	0,1	0,10
Octubre	8,25	8	8	89,6%	0,1	0,10
Noviembre	8,02	7900	7900	96,0%		
Diciembre	7,83	790	790	165,1%		
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5



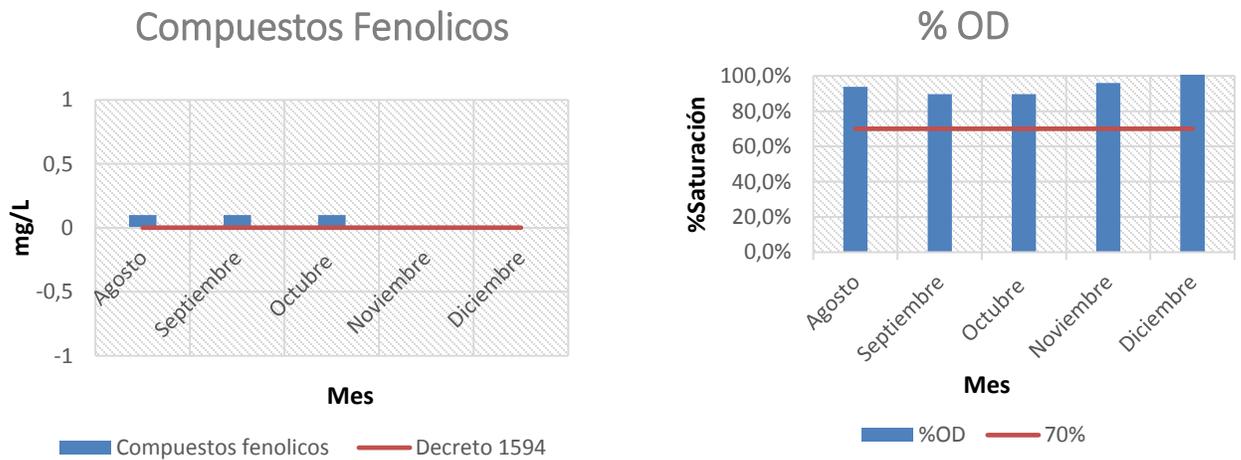
Gráfica 28. pH y CF en campo cercano en el periodo 2017



Gráfica 29. CT y Tensoactivos en campo cercano en el periodo 2017



Gráfica 30. %OD y Compuestos fenólicos en campo cercano en el periodo 2017



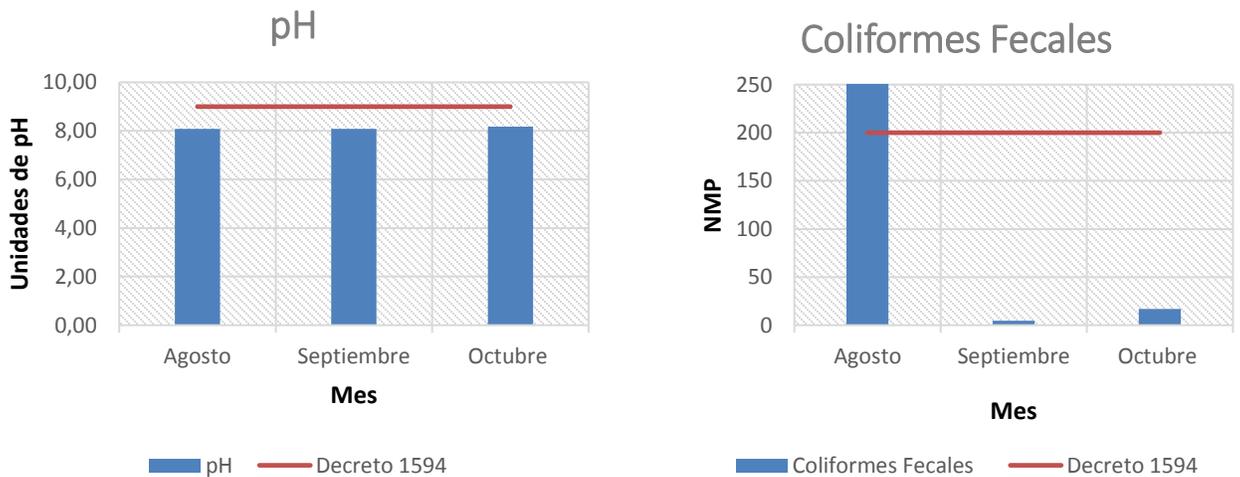


En el periodo de 2018 se obtuvo una frecuencia de violación del Decreto de 16.6%, debido a una medición puntual en el mes de enero de CT y CF con elevada concentración. En este periodo o se realizaron toma de muestras para el análisis de los parámetros Compuestos fenólicos y Tensoactivos observado en la Tabla 25.

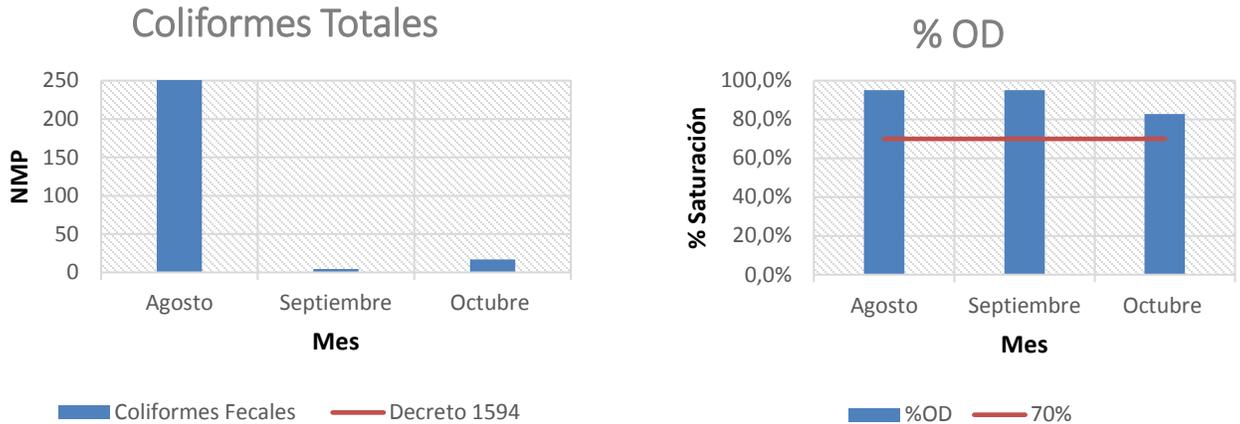
Tabla 25. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo cercano para el periodo 2018

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Enero	8,08	2800	2800	95,0%		
Febrero	8,08	4,5	4,5	95,0%		
Abril	8,18	17	17	82,8%		
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5

Gráfica 31. pH y CF en campo cercano en el periodo 2018



Gráfica 32. CT y %OD en campo cercano en el periodo 2018



En la Tabla 26 se observan los valores en porcentajes de la frecuencia de violación de los periodos analizados de acuerdo al Decreto 1594.

Tabla 26. Resumen de porcentajes de violación de la norma de uso del recurso para campo cercano

FRECUENCIA DE VIOLACION DEL DECRETO 1594 PARA CAMPO CERCANO	
Periodo	%
2012-2013	38,80%
2013-2014	12%
2014-2015	37,50%
2015-2016	28,00%
2017	23,07%
2018	16,60%

A continuación, en la Tabla 27 se muestran a su vez los resultados de la comparación con los valores correspondientes al campo lejano.

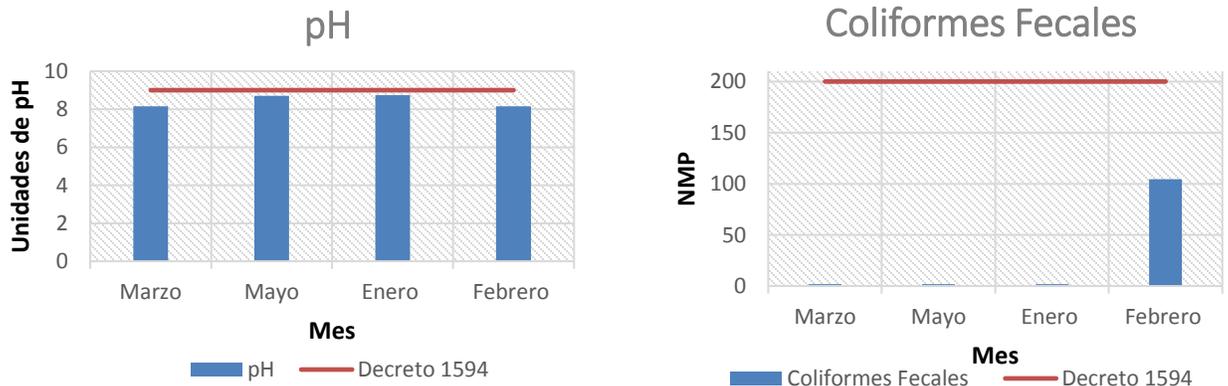
En el análisis de los valores de campo cercano con el Decreto 1594 del periodo 2012-2013 se obtuvo un porcentaje de violación de 13.04% correspondiente a la totalidad de las mediciones del parámetro Compuestos fenólicos, en la Tabla 28 se encuentra resumida.



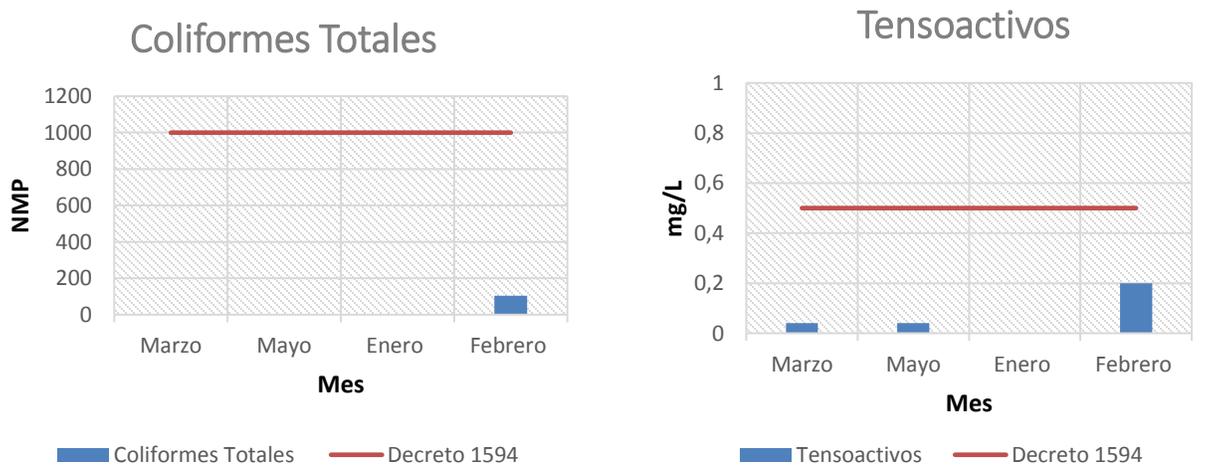
Tabla 27. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2012-2013.

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Marzo	8,15	2	2	99%	0,05	0,04
Mayo	8,7	2	2	100%	0,05	0,04
Enero	8,74	2	2	99%	0	0
Febrero	8,16	104,46	104,46	97%	0,05	0,2
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5

Gráfica 33. pH y CF en campo lejano en el periodo 2012-2013

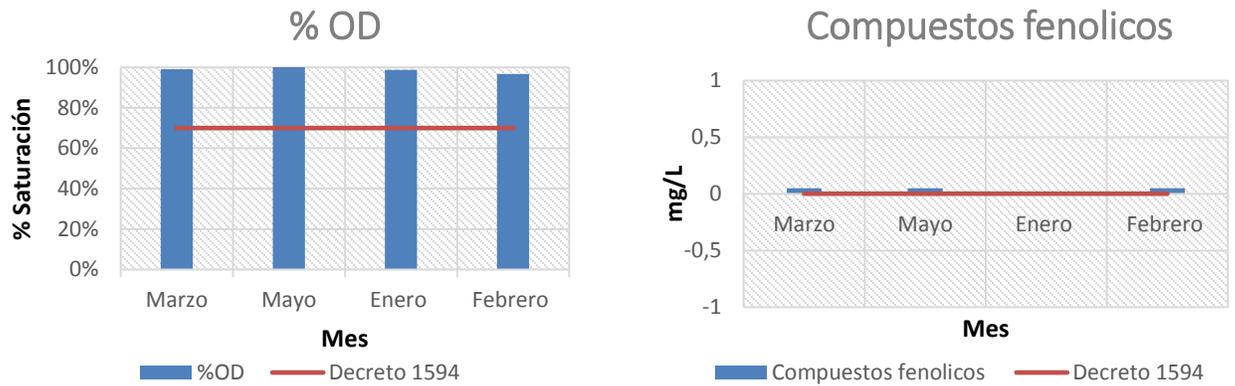


Gráfica 34. CT y Tensoactivos en campo lejano en el periodo 2012-2013





Gráfica 35. %OD y Compuestos Fenólicos en campo lejano en el periodo 2012-2013



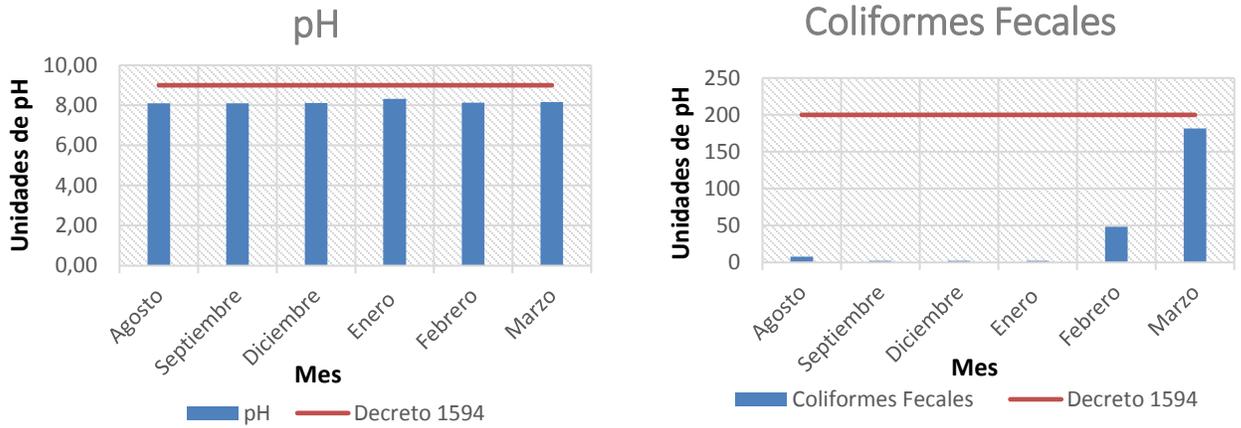
En el periodo 2013-2014 se calculó una frecuencia de violación de 12% correspondiente a las mediciones de Compuestos fenólicos en los meses de enero a marzo. En este periodo no se realizaron mediciones de Tensoactivos como se observa en la Tabla 28.

Tabla 28. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2013-2014.

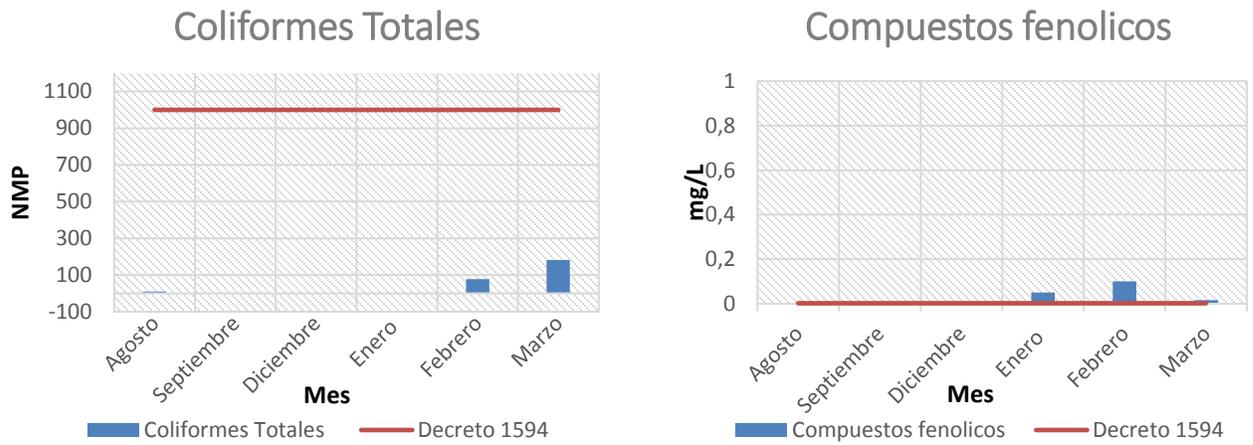
MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Agosto	8,10	7,72	10,27			
Septiembre	8,10	2	2			
Diciembre	8,12	2	2	128,30%		
Enero	8,32	2	2	130,89%	0,05	
Febrero	8,14	48,5	77,3	118,15%	0,1	
Marzo	8,17	181,5	181,38	146,47%	0,016	
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5



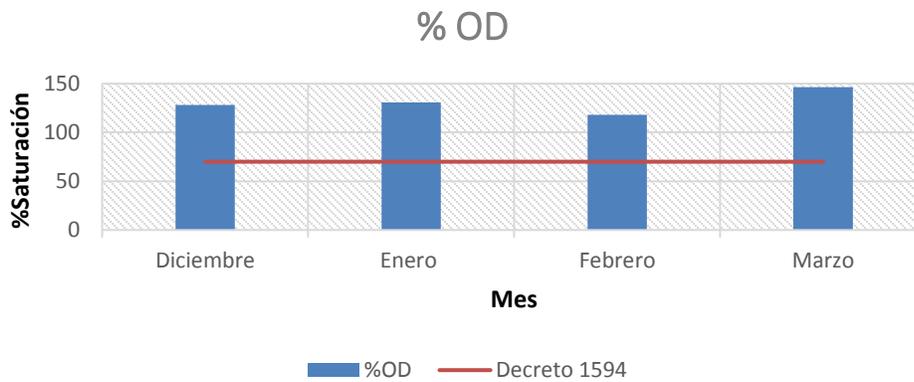
Gráfica 36. pH y CF en campo lejano en el periodo 2013-2014



Gráfica 37. CT y Compuestos fenólicos en campo lejano en el periodo 2013-2014



Gráfica 38. %OD en campo lejano en el periodo 2013-2014



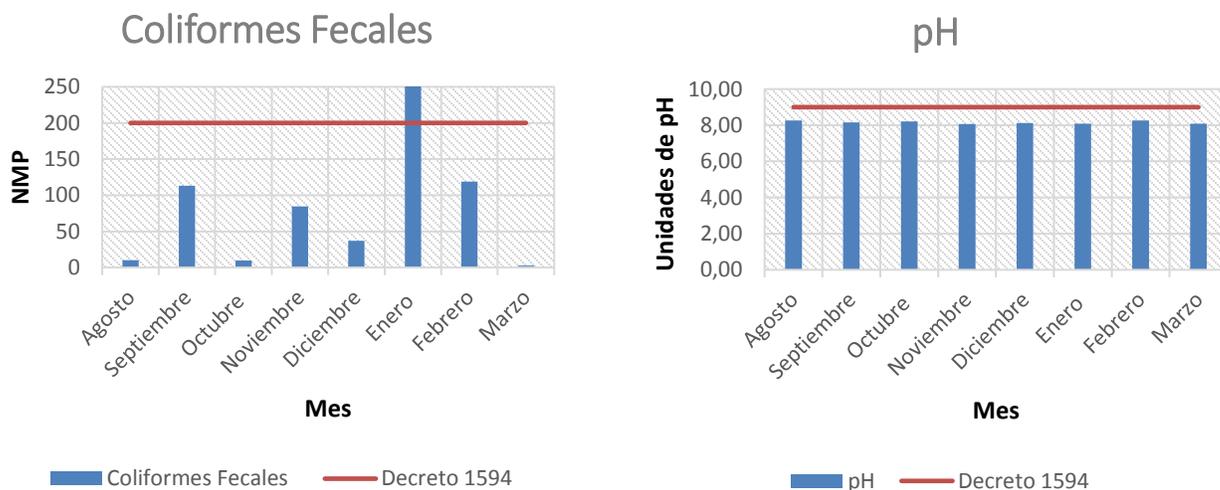


En la Tabla 29 se observan las mediciones correspondientes al periodo 2014-2015; la frecuencia de violación de la normativa es de 20.83%, debido a una constante elevación de las concentraciones de Compuestos fenólicos en la totalidad de los meses y una medición puntual en el mes de enero de CT y CF.

Tabla 29. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2014-2015.

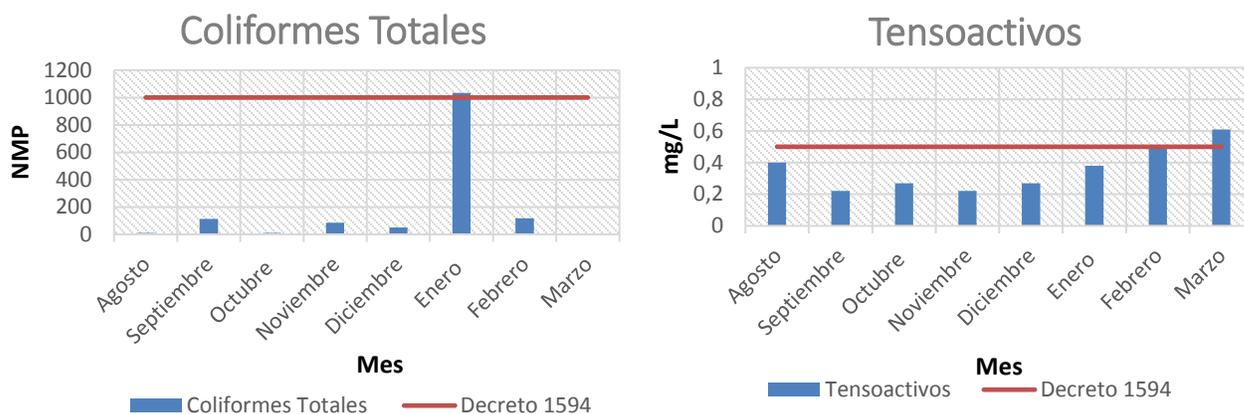
MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Agosto	8,27	10,18	10,18	84,2%	0,1	0,4
Septiembre	8,15	113,37	113,37	82,2%	0,1	0,22
Octubre	8,21	9,72	9,72	88,7%	0,1	0,27
Noviembre	8,06	84,5	84,5	88,9%	0,1	0,22
Diciembre	8,12	37	49,75	86,5%	0,1	0,27
Enero	8,09	1033,87	1033,87	93,2%	0,1	0,38
Febrero	8,26	118,68	118,68	86,6%	0,1	0,49
Marzo	8,08	2,75	3,5	89,5%	0,1	0,61
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5

Gráfica 39. pH y CF en campo lejano en el periodo 2014-2015

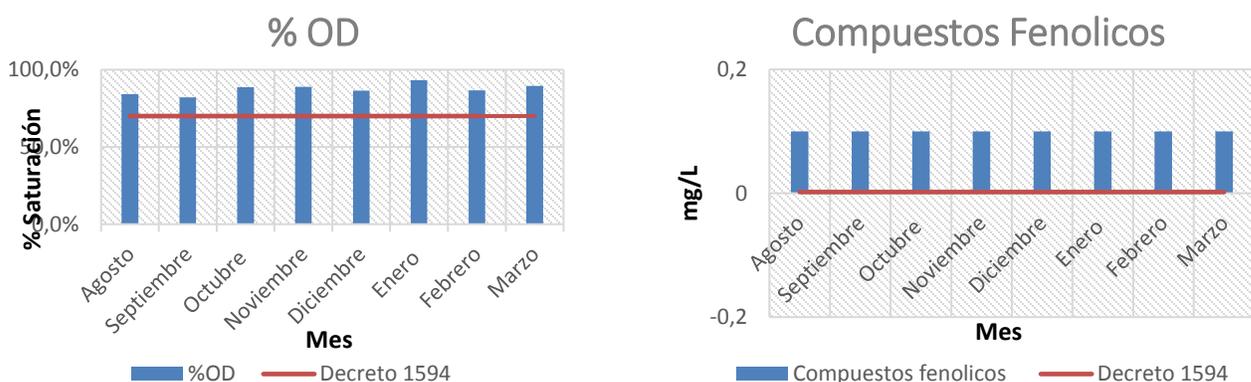




Gráfica 40. CT y Tensoactivos en campo lejano en el periodo 2014-2015



Gráfica 41. %OD y Compuestos fenólicos en campo lejano en el periodo 2014-2015



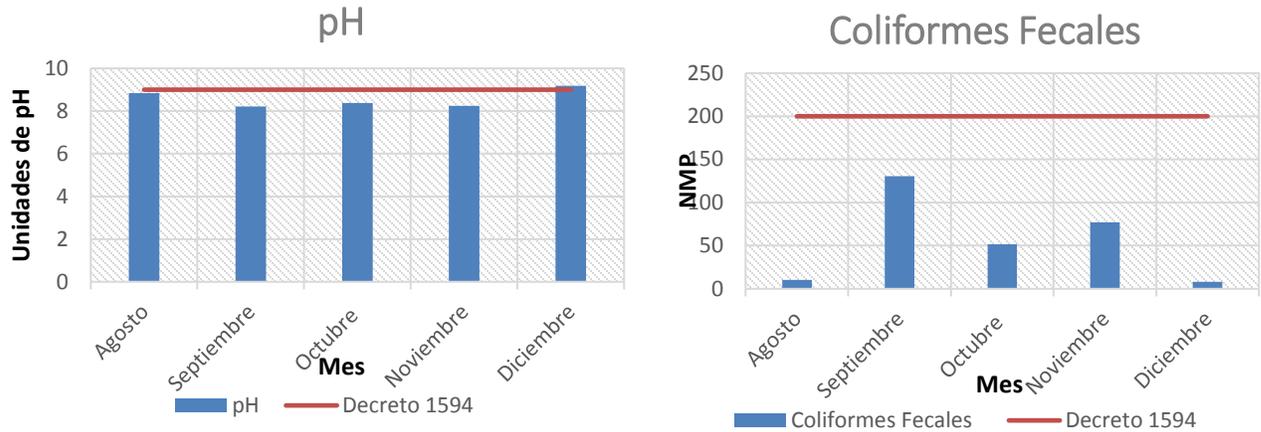
En el periodo 2015-2016 se calculó una frecuencia de violación de la norma de 4%, ya que en el mes de diciembre se presenta una pequeña elevación en el valor del pH. En este periodo no se registraron mediciones de Compuestos fenólicos observado en la Tabla 30.

Tabla 30. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2015-2016

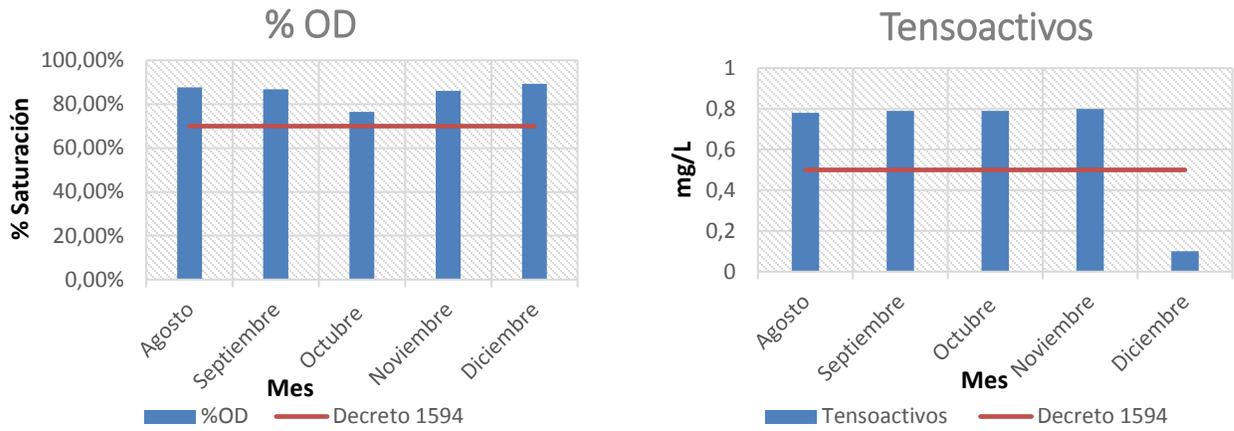
MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Agosto	8,84	10,5	10,5	87,73%		0,78
Septiembre	8,22	130,6	184,33	86,77%		0,79
Octubre	8,38	51,8	51,8	76,48%		0,79
Noviembre	8,24	77,25	98,5	86,15%		0,80
Diciembre	9,18	8,16	12,6	89,24%		0,10
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5



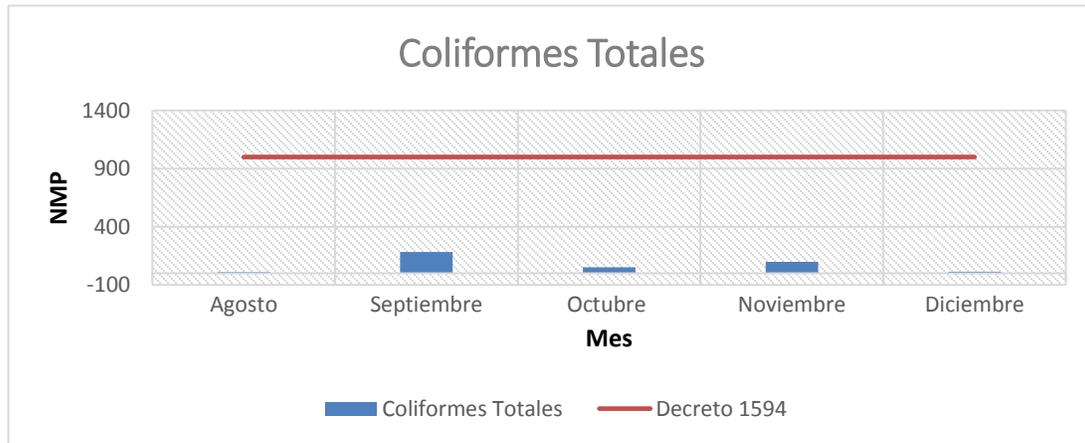
Gráfica 42. pH y CF en campo lejano en el periodo 2015-2016



Gráfica 43. %OD y Tensoactivos en campo lejano en el periodo 2015-2016



Gráfica 44. CT en campo lejano en el periodo 2015-2016



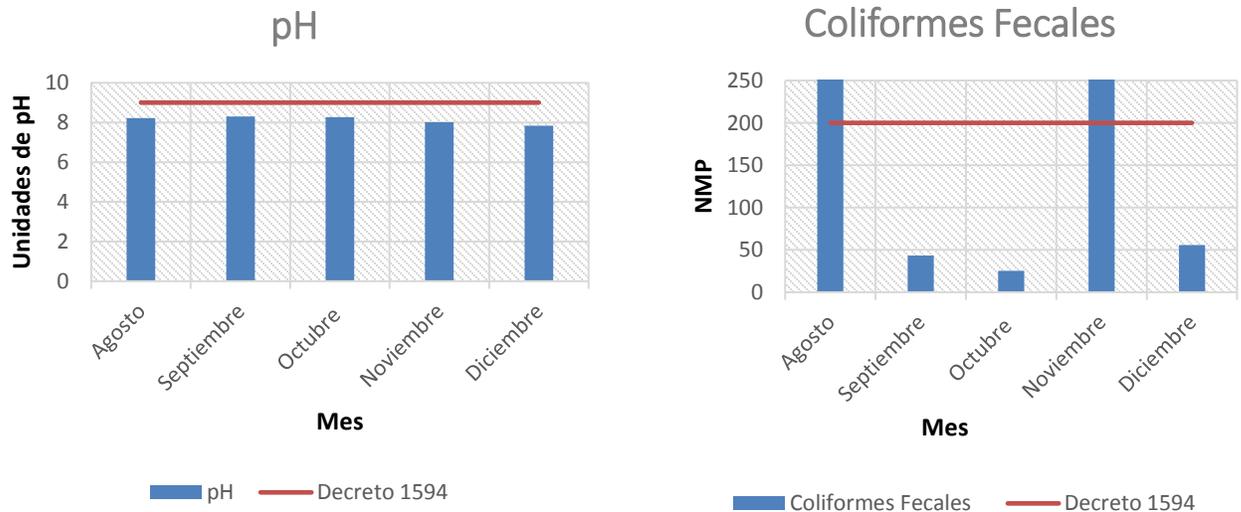


En la Tabla 31 se detalla que en el año 2017, se determinó un valor de frecuencia de violación de 19.23%, esto se debe a las concentraciones elevadas de Compuestos fenólicos que superan los valores máximos permisibles en época húmeda y a dos mediciones puntuales de CF en los meses de agosto y noviembre.

Tabla 31. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2017

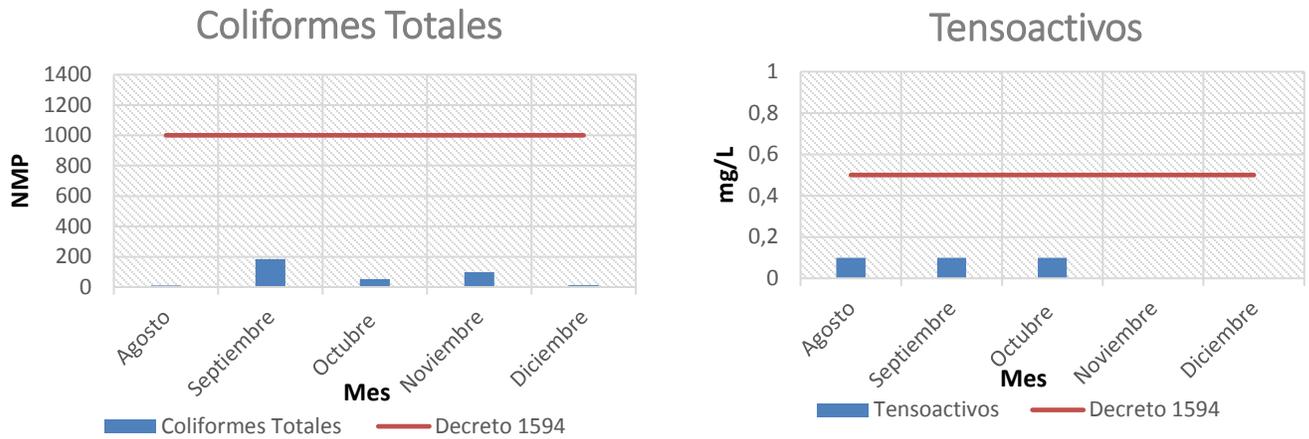
MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Agosto	8,22	254,42	254,42	91,3%	0,1	0,1
Septiembre	8,30	43,28	43,28	88,8%	0,1	0,10
Octubre	8,27	25,42	25,42	100,5%	0,1	0,10
Noviembre	8,02	749,16	749,16	103,3%		
Diciembre	7,83	55,91	55,91	157,6%		
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5

Gráfica 45. pH y CF en campo lejano en el periodo 2017

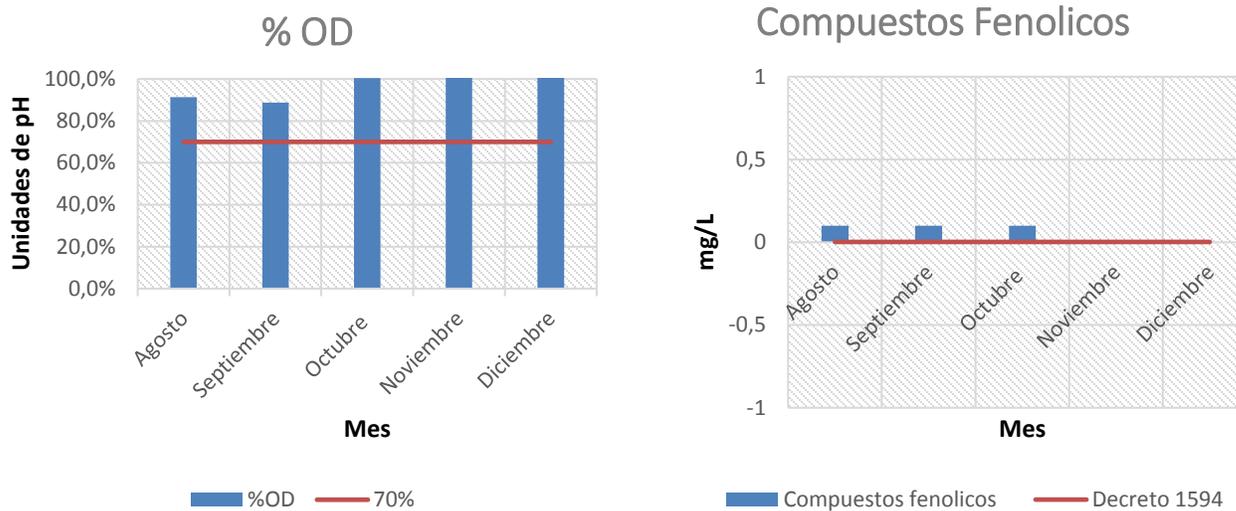




Gráfica 46. CT y Tensoactivos en campo lejano en el periodo 2017



Gráfica 47. %OD y Compuestos fenólicos en campo lejano en el periodo 2017



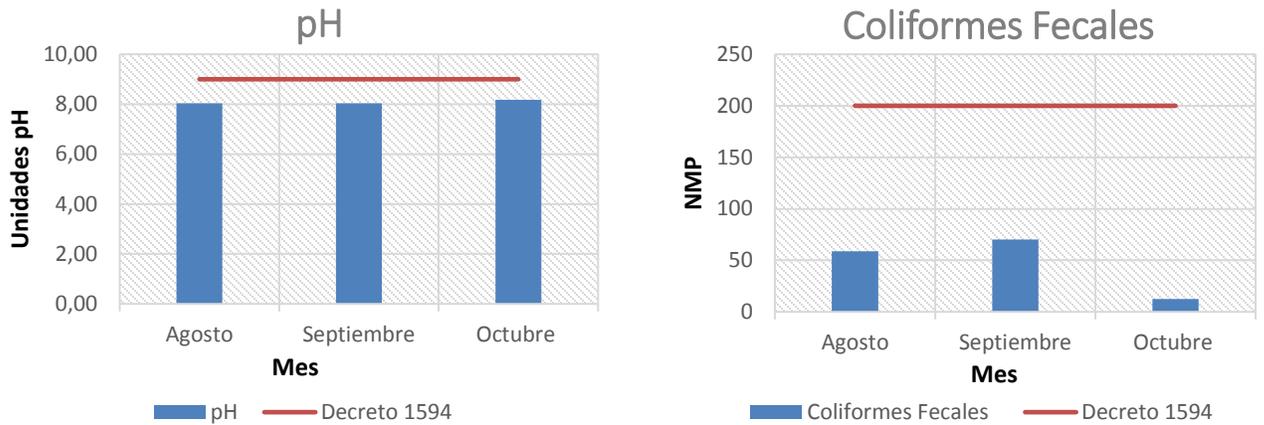
En el periodo 2018 en el campo lejano se obtuvo una frecuencia de 0%, debido a que los cuatro parámetros medidos en los tres meses monitoreados tienen valores que se encuentran dentro de los límites aceptables. Cabe destacar que no se realizaron toma de muestras de Compuestos Fenólicos y Tensoactivos. En el mes de marzo se reportaron fuertes lluvias y corrientes marinas por lo que no se pudieron realizar campañas de monitoreo como se observa en la Tabla 32.



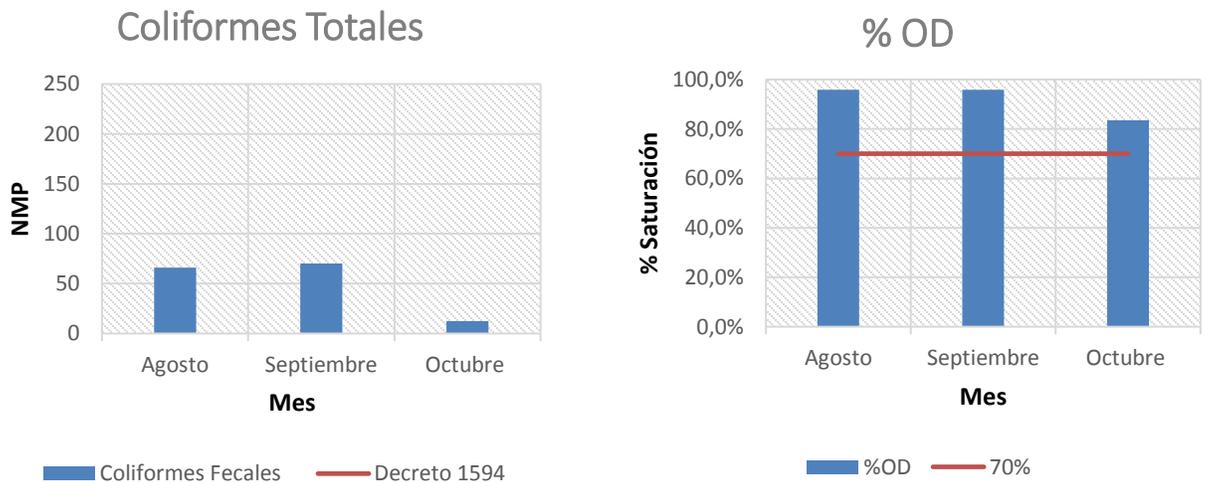
Tabla 32. Matriz de comparación de criterios de calidad para uso recreativo de contacto primario del Decreto 1594 en campo lejano para el periodo 2018

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	CT (NMP)	%OD (%Saturación)	Compuestos fenólicos (mg/L)	Tensoactivos (mg/L)
Enero	8,04	58,91	66	95,9%		
Febrero	8,04	70,18	70,18	95,9%		
Abril	8,17	12,38	12,38	83,4%		
Decreto 1594	6-9	200	1000	>70%	0,002	0,5

Gráfica 48. pH y CF en campo lejano en el periodo 2018



Gráfica 49. CT y %OD en campo lejano en el periodo 2018





En la Tabla 33 se encuentran las frecuencias de violación del Decreto 1594 para los periodos establecidos en campo lejano.

Tabla 33. Resumen de porcentajes de violación de la norma de uso del recurso para campo lejano

FRECUENCIA DE VIOLACION DEL DECRETO 1594 PARA CAMPO LEJANO	
Periodo	%
2012-2013	13,04%
2013-2014	12%
2014-2015	20,83%
2015-2016	4,00%
2017	19,23%
2018	0,00%

Al momento de realizar el análisis comparativo en materia de uso del recurso para campo primario, el pH y el %OD en los históricos tiene un comportamiento constante, es decir, cumple a cabalidad con los valores admisibles según la normativa, en todos los periodos tanto en campo cercano como en campo lejano el %OD se encuentra sobre el mínimo requerido que se establece en 70%. Se encontraron valores elevados de CF y CT en el campo cercano en el mes de diciembre del periodo de 2015-2016 con 130000 NMP/100ml y 220000 NMP/100ml respectivamente y en campo lejano se tuvieron mediciones de 1033.87 NMP/100ml de CF y CT en el mes de enero del periodo 2014-2015.

Los valores de Tensoactivos se encuentran ausentes en los periodos 2013-2014 y 2018 en campo cercano y lejano, así como los valores de Compuestos fenólicos que corresponden a Detergentes en los periodos de 2015-2016 y 2018 , analizando las mediciones de Compuestos Fenólicos, se encuentran valores que vulneran la normativa con concentraciones superiores a 0.002 mg/L en todos los periodos en los que se tomaron mediciones tanto en campo cercano como en lejano con valores de hasta 0.10 mg/L, las elevadas concentraciones de Fenoles en aguas de mar puede producir daños estomacales en los seres humanos, estas pueden deberse a descargas de industrias en el alcantarillado público que finalizan su vertimiento en el Emisario Submarino. Los valores máximos de detergentes se encontraron en el mes de noviembre en el periodo 2015-



2016 con 0.8 mg/L para campo lejano y en el mes de septiembre del mismo periodo para el campo cercano con 0.84 mg/L.

Teniendo en cuenta que el indicador que prima en la determinación de la calidad del agua para uso de contacto primario es Coliformes, el cuerpo de agua en campo cercano no se encuentra apto para el contacto directo en actividades de recreación, sin embargo, en el campo lejano se podría considerar con consideraciones restrictivas.

4.3. Comparación matricial de criterios de calidad de agua con la normativa de Chile

El Instituto Nacional de Normalización (INN) es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPAT), representando a Chile ante estos organismos; la norma NCh 1333 ha sido preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización y en su estudio participaron organismos como la Comisión Metropolitana de Descontaminación Ambiental, Comisión Nacional de Investigaciones, Comisión Nacional de Riego, entre otras.

Esta norma fija un criterio de calidad del agua de acuerdo a requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos según el uso determinado, estos criterios tienen por objeto proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos, de la degradación producida por contaminación con residuos de cualquier tipo u origen. El vaciamiento de residuos contaminantes a masas o cursos de agua deberá ajustarse a los requerimientos de calidad especificados para cada uso teniendo en cuenta la calidad de autopurificación y dilución del cuerpo receptor, de acuerdo a estudios de autoridad competente (INN, 1983)

El alcance de la norma NCh 1333 abarca las aguas destinadas con usos para: Consumo humano, bebida de animales, riego y recreación y estética; para el análisis comparativo del trabajo de grado se tomará como base los valores límites estipulados para uso recreacional con contacto directo que son sustentados en la Tabla 34.



Tabla 34. *Indicadores de calidad de agua para uso de contacto directo*
Fuente: NCh 1333 de 1978

INDICADOR	UNIDAD	EXPRESION	REQUISITO
Aceites y grasas emulsificadas	mg/l		10,00 (1)
Claridad	metros	metros de profundidad	> 1,20 (1) (2)
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	NMP	1,000,00 (1)
Color	Unidades de escala Pt-Co		100,00 (1) (3)
pH	Unidad	pH	6,5-8,3
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales			Ausentes
Sustancias que produzcan olor y sabor inconveniente	mg/l		Ausentes
Temperatura	grados	°C	30,00
Turbiedad	Unidad de escala sílice		50,00 (1)

(1): Podrá ser modificado por la autoridad competente

(2): Visualización de Discos de Secchi

(3): Ausencia de colorantes artificiales.

El agua destinada a recreación con contacto directo contempla actividades como natación, buceo, esquí acuático, entre otros deportes y actividades; a continuación se encuentran tabuladas las comparaciones de las mediciones de Aguas de Cartagena S.A E.S.P con la normativa de Chile referente a los criterios de calidad de agua según el uso, se dividieron nuevamente los datos en cinco periodos para campo cercano con una estación de muestreo y campo lejano con doce estaciones.

En las tablas 36 a la 40 se observan las comparaciones matriciales de las mediciones de los parámetros físico-químicos y biológicos con la norma vigente en Chile, se dividieron en periodos y a su vez de forma mensual para el análisis preciso y la determinación de la frecuencia con la cual se infringió la norma en el histórico. La Temperatura se encontró dentro de los rangos normales a excepción del mes de agosto en el año 2017, sin embargo solo sobrepaso el límite en 1°C, al igual que los Aceites y las grasas, los cuales no presentaron violación al límite máximo estipulado que es 10 mg/L, el pH presenta en los periodos de 2012-2013, 2013-2014 y 2015-2016 valores por encima del permisible según la norma con un máximo de 8.86, los Coliformes Fecales superan el valor admisible en todos los periodos especialmente en los meses



que representan la época seca con concentraciones máximas de 130000 NMP/100 ml en el mes de diciembre del periodo 2015-2016 contra la norma NCh 1333 que establece 1000 NMP/100ml.

La frecuencia más alta de violación de la normativa se presenta en el periodo 2012-2013 con 28.3%, de manera general se concluye que para el campo cercano según la normativa chilena el cuerpo de agua no se encontraba en óptimas condiciones de contacto primario hasta el periodo de 2015-2016, debido a las elevadas concentraciones de Coliformes Fecales, sin embargo a partir del año 2017 hasta la actualidad, el cuerpo de agua campo cercano se encuentra en condiciones de realizar actividades de contacto primario sin restricciones.

Tabla 35. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2012-2013

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Marzo	8,15		26,1	2
Mayo	8,57		28,3	1
Enero	8,7	47400	26,1	3,1
Febrero	8,14	74334	26,2	2,3
NCh1333	6-8,3	1000	30	10

Tabla 36. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2013-2014

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Agosto	8,09	2	30	4,0
Septiembre	8,09	2	29	4,0
Diciembre	8,13	2	29	4,0
Enero	8,38	2	26	4,0
Febrero	8,16	2	26	4,0
Marzo	8,21	117	26	4,0
NCh1333	6-8,3	1000	30	10



Tabla 37. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2014-2015

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Agosto	8,28	32813	30	4,0
Septiembre	8,16	204,5	30	4,0
Octubre	8,21	3,5	29	4,0
Noviembre	8,07	8665	29	4,0
Diciembre	8,11	790	28	4,0
Enero	8,11	6508,5	27	4,0
Febrero	8,26	60,5	26	4,0
Marzo	8,06	22000	25	4,0
NCh1333	6-8,3	1000	30	10

Tabla 38. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2015-2016

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Agosto	8,86	4650,9	30	5
Septiembre	8,22	33	30	5
Octubre	8,08	230	29	5
Noviembre	8,37	1300	30	5
Diciembre	8,85	130000	29	5
NCh1333	6-8,3	1000	30	10

Tabla 39. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2017

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Agosto	8,17	79	31	2,00
Septiembre	8,22	8	30	2,58
Octubre	8,25	8	30	3,19
Noviembre	8,02	7900	29	1,40
Diciembre	7,83	790	29	4,00
NCh1333	6-8,3	1000	30	10



Tabla 40. Comparación matricial de campo cercano con NCh1333 en el periodo 2018

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Enero	8,08	2800	27	
Febrero	8,08	4,5	27	
Abril	8,18	17	28	
NCh1333	6-8,3	1000	30	10

Tabla 41. Resumen de valores de frecuencia de violación de la norma chilena NCh1333 para el campo cercano

FRECUENCIA DE VIOLACION DE NORMA NCh1333 CAMPO CERCANO	
Periodo	%
2012-2013	28,6%
2013-2014	4,2%
2014-2015	12,5%
2015-2016	25,0%
2017	10,0%
2018	11,1%

En las tablas 42 a la 48 se observan las comparaciones matriciales de las mediciones de los parámetros físico-químicos y biológicos con la norma vigente en Chile, se dividieron en periodos y a su vez de forma mensual para el análisis preciso y la determinación de la frecuencia con la cual se infringió la norma en el histórico. La Temperatura se encontró dentro de los rangos normales a excepción del mes de agosto en el año 2017 y el mes de septiembre del periodo 2015-2016 sin embargo solo sobrepaso el límite en 1°C, los Aceites y las grasas no presentaron violación al límite máximo estipulado que es 10 mg/L, sin embargo es importante resaltar que en periodo 2018 no se registraron mediciones de esta. El pH presenta elevación en los periodos de 2012-2013, 2013-2014 y 2015-2016 valores por encima del permisible según la norma con un máximo de 9.18; los Coliformes Fecales superan el valor admisible solo en el periodo 2014-2015 en el mes de enero que representa la época seca con una concentración máxima de 1033.87 NMP/100 ml en relación a la norma NCh 1333 que establece 1000 NMP/100ml.



Tabla 42. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2012-2013

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Marzo	8,15	2	26,29	1,66
Mayo	8,7	2	26,35	1,87
Enero	8,74	2	26,14	3,1
Febrero	8,16	104,46	26,1	2,3
NCh1333	6-8,3	1000	30	10

Tabla 43. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2013-2014

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Agosto	8,10	7,72	30	4,0
Septiembre	8,10	2	29	4,0
Diciembre	8,12	2	29	4,0
Enero	8,32	2	26	4,0
Febrero	8,14	48,5	26	4,0
Marzo	8,17	181,5	27	4,0
NCh1333	6-8,3	1000	30	10

Tabla 44. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2014-2015

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Agosto	8,27	10,18	30	4,0
Septiembre	8,15	113,37	31	4,0
Octubre	8,21	9,72	30	4,0
Noviembre	8,06	84,5	30	4,0
Diciembre	8,12	37	29	4,0
Enero	8,09	1033,87	27	4,0
Febrero	8,26	118,68	27	4,0
Marzo	8,08	2,75	25	4,0
NCh1333	6-8,3	1000	30	10



Tabla 45. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2015-2016

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Agosto	8,84	10,5	29	6,7
Septiembre	8,22	130,6	29	4,0
Octubre	8,38	51,8	29	8,8
Noviembre	8,24	77,25	29	4,0
Diciembre	9,18	8,16	28	4,0
NCh1333	6-8,3	1000	30	10

Tabla 46. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2017

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Agosto	8,22	254,42	31	2,07
Septiembre	8,30	43,28	30	2,10
Octubre	8,27	25,42	30	2,80
Noviembre	8,02	749,16	29	2,05
Diciembre	7,83	55,91	28	2,34
NCh1333	6-8,3	1000	30	10

Tabla 47. Comparación matricial de campo lejano con NCh1333 en el periodo 2018

MES	pH (Unidades de pH)	CF (NMP)	Temp (°C)	Aceites y grasas (mg/L)
Enero	8,04	58,91	27	
Febrero	8,04	70,18	27	
Abril	8,17	12,38	28	
NCh1333	6-8,3	1000	30	10

Tabla 48. Resumen de valores de frecuencia de violación de la norma chilena NCh1333 para el campo lejano

FRECUENCIA DE VIOLACION DE NORMA NCh1333 CAMPO LEJANO	
Periodo	%
2012-2013	12,5%
2013-2014	4,2%
2014-2015	6,3%
2015-2016	15,0%
2017	5,0%
2018	0,0%



Se pudo concluir de la comparación anterior que los parámetros medidos en campo lejano por Aguas de Cartagena S.A E.S.P cumplen en su mayoría los valores máximos permisibles de los criterios de calidad de agua de uso recreativo de contacto directo establecidos en la Norma Chilena Oficial NCh 1333 de 1978.

La frecuencia más alta de violación de la normativa se presenta en el periodo 2012-2013 con 15%; de manera general se concluye que para el campo lejano según la normativa chilena el cuerpo de agua se encuentra en óptimas condiciones para la realización de actividades de contacto primario sin restricciones con un valor de frecuencia de violación del 2018 de 0%.

4.4. Correlación entre parámetros

Para correlacionar el conjunto de datos recopilados en el estudio se calculó el coeficiente de correlación de Pearson y la proporción de la variabilidad a partir de los promedios obtenidos para cada época como se observa a continuación en la Tabla 50 y 51.



Tabla 49. Correlación de Pearson de los datos estudiados

	pH	T	O. D.	DBO	Grasas	SST	Fosfatos	Fosforo Total	Detergentes	Amonio	Nitritos	Nitratos	NKT	Coli Fecales	Coli. Totales	Enterococos
pH	-	-0,49	0,68	-0,84	-0,77	-0,81	-0,48	-0,45	-0,61	-0,73	-0,30	-0,64	-0,70	-0,68	-0,71	-0,28
Temperatura	-	-	-0,59	0,48	0,41	0,39	0,08	0,28	0,45	0,41	-0,03	0,20	0,32	0,54	0,53	-0,07
O. Disuelto	-	-	-	-0,83	-0,74	-0,80	-0,51	-0,44	-0,69	-0,73	-0,35	-0,55	-0,71	-0,67	-0,67	-0,32
DBO	-	-	-	-	0,89	0,90	0,65	0,38	0,80	0,88	0,44	0,66	0,86	0,64	0,67	0,40
Grasas	-	-	-	-	-	0,87	0,68	0,66	0,82	0,92	0,55	0,62	0,91	0,59	0,61	0,46
SST	-	-	-	-	-	-	0,66	0,40	0,76	0,80	0,51	0,71	0,82	0,60	0,62	0,48
Fosfatos	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,60	0,63	0,93	0,38	0,89	0,22	0,22	0,90
Fósforo Total	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,54	0,23	0,19	0,46	0,67	0,67	0,13
Detergentes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,85	0,42	0,47	0,77	0,50	0,50	0,29
Amonio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42	0,49	0,88	0,61	0,65	0,35
Nitritos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,73	0,04	0,03	0,97
Nitratos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	0,18	0,22	0,18
NKT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,53	0,68
Coli. Fecales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,98	0,03
Coli. Totales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05
Enterococos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Tabla 50. Proporción de variabilidad a partir de la correlación de los parámetros

	pH	T	O. D.	DBO	Grasas	SST	Fosfat os	Fosfor o Total	Detergente s	Amoni o	Nitrito s	Nitrato s	NKT	Coli Fecales	Coli. Totales	Enterococos
pH	-	0,24	0,47	0,71	0,60	0,65	0,23	0,20	0,37	0,53	0,09	0,41	0,49	0,46	0,50	0,08
Tempe ratura	-	-	0,35	0,23	0,17	0,16	0,01	0,08	0,20	0,17	0,00	0,04	0,10	0,29	0,28	0,01
O. Disuelto	-	-	-	0,69	0,55	0,63	0,26	0,19	0,47	0,53	0,12	0,30	0,50	0,44	0,45	0,10
DBO	-	-	-	-	0,78	0,81	0,42	0,15	0,64	0,77	0,19	0,43	0,75	0,41	0,45	0,16
Grasas	-	-	-	-	-	0,75	0,47	0,43	0,67	0,85	0,30	0,39	0,83	0,35	0,37	0,21
SST	-	-	-	-	-	-	0,43	0,16	0,57	0,63	0,26	0,50	0,67	0,36	0,38	0,23
Fosfat os	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,36	0,39	0,86	0,14	0,80	0,05	0,05	0,81
Fósfor o Total	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,30	0,05	0,04	0,22	0,44	0,44	0,02
Deterg entes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,71	0,18	0,22	0,60	0,25	0,25	0,08
Amoni o	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,24	0,77	0,38	0,42	0,12
Nitrito s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,53	0,00	0,00	0,95
Nitrato s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,03	0,05	0,03
NKT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,29	0,47
Coli. Fecales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	0,001
Coli. Totales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,002
Entero cocos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



De acuerdo con lo anterior, se puede observar que la relación del pH con las demás variables es negativa, a excepción de su relación con el Oxígeno Disuelto, el cual presenta un 47% de proporción de variabilidad. Así como el Oxígeno Disuelto mantiene una relación negativa con todas variables (a excepción del pH, mencionado inicialmente) principalmente con los Sólidos Suspendidos Totales con el que resultó con el mayor porcentaje de proporción de variabilidad (63%), esto ocurre gracias a que el oxígeno es responsable de dos fenómenos indispensables, la respiración de los seres vivos y la descomposición de la materia orgánica; esta descomposición se produce por su capacidad oxidante mediante bacterias y hongos que necesitan oxígeno para consumir y degradar los desechos como la materia en suspensión, la materia sedimentable y la materia disuelta (Universidad Católica de Manizales, 2015). Por otra parte, la proporción de variabilidad entre el Oxígeno Disuelto y la Demanda Biológica de Oxígeno es de 69% ya que si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumido (Crites, Tchobanoglous, Camargo, & Pardo, 2000).

La correlación entre nitratos, nitritos y amonio es positiva como lo muestra la Tabla 41, en consecuencia, de que la presencia de nitrógeno en forma de nitratos y nitritos en agua costeras es un indicativo de contaminación antropogénica, así como el amonio es considerado como el nitrógeno procedente de la descomposición de materia orgánica y/o excreción producida por organismos (Laura López Martínez, 2010).

Ahora bien, los compuestos de Fosfato que se encuentran en las aguas residuales o se vierten directamente a las aguas superficiales provienen de fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza (Pütz, 2008) lo que es consecuente con los altos coeficientes de correlación con Detergentes, Sólidos Suspendidos Totales y Grasas, 60, 66 y 68 respectivamente.

También se presenta una correlación positiva entre los Coliformes Totales y Coliformes Fecales con un 95% de proporción de variabilidad lo que corresponde a que las características del ambiente acuático están en gran medida determinadas por las propiedades y la actividad de los microorganismos sobre todo en las zonas donde vierten aguas residuales



(M Martínez, 1993).

Finalmente, para el cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación, se obtiene información representativa de cada una de las épocas analizadas (Tabla 43) con el fin de observar el cambio en las mediciones de los parámetros de calidad de agua. Para ello se calcularon medidas estadísticas de posición como media aritmética y medida de dispersión como desviación estándar, valor máximo y valor mínimo para salida de la ETAR, campo cercano y campo lejano (Tabla 44-52) así:

- Época Húmeda: Se promediaron los datos obtenidos durante los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre.
- Época Seca: Se promediaron los datos obtenidos durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo.

Donde se pudo observar que el pH se mantuvo entre 7.0 y 9.1 unidad de pH en ambas épocas, presentando la más alta medición en el período del 2015-2016 en la época seca, mientras que el Oxígeno Disuelto se mantuvo bajo en todos los períodos exceptuando en el 2017 donde presentó una mejoría obteniendo un 10.41 mg/L en la época seca del Campo cercano. Los parámetros como Grasas, Sólidos Suspendedos Totales, Fósforo, Nitratos, Nitritos y Amonio presentaron una disminución de concentración en el Campo cercano y lejano para ambas épocas lo cual puede ser consecuencia de la capacidad del agua de mar, que desarrolla a través de la biocenosis, capaz de transformar los elementos químicos en orgánicos y biodisponibles para la nutrición de peces y humanos, lo que confirma los poderes del agua de mar como disolvente universal y descontaminante (Gracia, 2003).

4.5. Dilución de contaminantes

Con el fin de verificar el porcentaje de dilución, se realizó el siguiente cálculo a partir de la ecuación:

$$\%Dilución\ de\ contaminantes = \left(1 - \left(\frac{Datos\ de\ concentraciones\ de\ la\ Salida\ de\ la\ EBAR}{Datos\ de\ concentraciones\ de\ la\ Entrada\ de\ la\ EBAR}\right)\right) * 100 \quad [Ec. 6]$$



Donde los datos de Salida son las concentraciones de los parámetros en la Salida de la ETAR y los datos de Entrada son las concentraciones del Campo Lejano y Campo cercano. Se obtuvo que la mayoría de los datos están por encima del 95% de dilución de los contaminantes, lo que verifica la capacidad del mar de auto depurar los contaminantes vertidos mediante las aguas residuales como se muestra en la Tabla 52 y 53.

Tabla 51. Porcentaje de dilución de contaminantes para campo lejano

Parámetro	CAMPO LEJANO							
	EPOCA HÚMEDA				EPOCA SECA			
	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2017	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
DBO	99,37	96,88	99,24	98,68	99,59	99,23	98,82	99,11
Grasas	x	x	80,47	54,9	96,97	88,49	x	x
SST	96,47	94,21	97,23	97,58	90,88	94,67	95,38	94,72
Fosfatos	100	98,43	97,40	86,09	99,77	99,71	99,53	97,34
Fósforo Total	100	99,91	100	95,64	100	98,96	97,59	100
Detergentes	100	86,59	84,03	100	100	100	83,74	100
Amonio	100	98,44	97,86	97,25	100	99,25	59,96	97,76
Nitritos	100	93,82	95,49	x	100	98,17	71,82	72,24
Nitratos	100	88,88	40,74	x	x	97,87	94,68	x
NKT	x	84,62	84,04	94,98	99,29	x	x	x
Coli. Fecales	x	x	x	x	x	x	x	x
Coli. Totales	x	x	x	x	x	x	x	x
Enterococos	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 52. Porcentaje de dilución de contaminantes para campo lejano

Parámetro	EPOCA HÚMEDA				EPOCA SECA			
	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2017	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
DBO	99,72	96,35	99,30	98,56	98,59	98,92	98,60	99,12
Grasas	x	x	x	54,16	95,37	x	x	x
SST	96,93	98,25	97,21	97,72	78,46	94,22	92,98	91,94
Fosfatos	x	97,91	96,42	87,53	99,60	99,56	99,53	97,34
Fósforo Total	x	99,66	96,59	95,58	99,78	99,18	97,59	77,86
Detergentes	x	92,87	84,08	95,11	98,17	x	82,34	79,70
Amonio	x	98,47	97,87	97,25	x	99,26	98,90	97,77
Nitritos	x	x	x	x	x	x	x	x
Nitratos	x	93,26	23,51	x	x	98,58	95,56	x
NKT	x	x	x	x	x	x	x	x
Coli. Fecales	x	x	x	x	x	x	x	x
Coli. Totales	x	x	x	x	x	x	x	x
Enterococos	x	x	x	x	x	x	x	x

Sería importante corroborar la remoción de los contaminantes microbiológicos con mediciones de T90 o la tasa de decaimiento de Coliformes, por lo que es más importante determinar la calidad del cuerpo de agua en Punta Canoa con el tratamiento preliminar



existente a sugerir si es necesario un tratamiento secundario. En América Latina no se debe adoptar, a priori, prácticas de algunos países desarrollados que, obedeciendo a razones políticas en vez de técnicas, exigen el tratamiento secundario de aguas residuales; e una situación de mar abierto, no compleja, los emisarios submarinos en combinación con el tratamiento primario o pretratamiento solo para la remoción de material flotante y grasa y aceite, posee muchas ventajas sobre las soluciones convencionales que utilizan tratamiento secundario de aguas residuales con descargas más cercanas al litoral (Salas H. , 2000).

Además las constituyentes de aguas negras, tales como DBO, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, salinidad y nutrientes, no son de significancia cuando los efluentes son descargados al mar abierto a través de emisarios submarinos largos diseñados apropiadamente y equipados con sistemas difusivos adecuados, en los que se alcanzan inmediatamente valores de la dilución inicial de un mínimo de 100 a 1 (Ludwig R. G., 1988) por lo que el emisario submarino en Cartagena no ha generado mayor impacto del que se había estudiado previo a su construcción.



5. CONCLUSIONES

Luego de obtener el análisis de los parámetros fisicoquímicos y biológicos medidos entre el 2011 a 2016 en Punta Canoa – Cartagena de Indias, se empleó el índice de calidad del agua ICAM_{PFF} para determinar el tipo de agua que se encuentra en el lugar de estudio, mediante la realización del análisis multi-temporal con el fin de verificar que se han cumplido a cabalidad los objetivos trazados al inicio del proyecto, siguiendo la metodología propuesta al inicio del estudio se concluyó lo siguiente:

- ✓ En el período 2014-2015, el cual no superó el 50% de calidad de acuerdo al ICAM_{PFF}; para el período del 2013-2014 obtuvo calidad “aceptable” en ambas épocas en ambos campos, pero en el campo cercano en la época húmeda obtuvo calidad “inadecuada” con un 27%.
- ✓ En el período 2015-2016 la zona de estudio obtuvo “adecuada” calidad para la época seca. El campo cercano osciló entre 66% a 85% de calidad y el campo lejano osciló entre 56% al 74% en el que mostró calidad “aceptable” para los períodos 2012-2013, 2014-2015 y 2017.
- ✓ En el período 2017 en época seca para campo cercano presentó “pésima” calidad debido a la concentración de Coliformes Totales en el punto de vertimiento según los datos obtenidos por Aguas de Cartagena S.A E.S.P
- ✓ Cabe destacar que ICAM_{PFF} no fue el indicador más conveniente para realizar un análisis de los datos obtenidos en esta investigación, porque requiere ingresar al menos cinco parámetros y algunas veces se logró ingresar cuatro de ellos, lo ideal sería ingresar todos los datos que solicita para aumentar el porcentaje de confiabilidad.
- ✓ Se resalta que se presentó limitaciones para un óptimo análisis de los datos porque hubo escasez de datos, sobre todo en las mediciones de Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Enterococos en el Campo cercano y Lejano, así como



mediciones de Demanda Biológica de Oxígeno y Oxígeno Disuelto.

- ✓ A partir de la comparación matricial de las mediciones en la salida de la planta de tratamiento preliminar de la empresa Aguas de Cartagena S.A E.S.P con la Resolución 0883 se puede concluir que en su mayoría los cuatro parámetros en estudio se encuentran en niveles dentro de lo aceptable por la legislación Colombiana, por lo que se determina que el agua residual que se propaga en el Mar Caribe luego de pasar por una serie de flotamantes y desarenadores se encuentra en estado óptimo para el vertido, sin embargo cabe resaltar que existe un aumento de Grasas y Aceites en el periodo 2015-2015 y DBO5 en el periodo 2013-2014 que no se encuentra dentro del rango de valores admisibles.
- ✓ Se pudo determinar que el agua de mar en Punta Canoa tiene la capacidad de auto depurarse del vertimiento de aguas domésticas y el agua en la zona de mezcla, en campo lejano, se encuentra apta para el uso recreativo de contacto primario a partir del análisis del Decreto 1594, el cual arrojó deducciones positivas en materia de concentraciones de Oxígeno Disuelto, Coliformes Totales, Tensoactivos y pH, sin embargo, el campo cercano se ve afectado por altas concentraciones de Coliformes Fecales y Totales lo que determina que el cuerpo de agua en este área no es idóneo para el contacto recreativo.
- ✓ Según el CEPIS en América Latina no se deben adoptar prácticas de algunos países desarrollados que exigen el tratamiento secundario de aguas residuales ya que el tratamiento preliminar extiende el efluente en condiciones óptimas, por lo anterior se concluye que la estación de tratamiento de aguas residuales de Punta Canoa posee los elementos de remoción de residuos sólidos necesarios para el posterior vertimiento en el mar.
- ✓ A partir del análisis comparativo con la legislación de Chile se concluye que los criterios y valores límites permisibles de los parámetros físicos, químicos y biológicos medidos en el campo lejano en el Mar Caribe cumplen con la normativa



vigente en ese país, pero el campo cercano presentó violación en concentración de materia orgánica que limita el uso de este sector del cuerpo de agua para el uso recreacional del recurso hasta el año 2016, a partir del año 2017 y hasta la actualidad presenta valores positivos que denotan la permisividad para la realización de actividades de contacto directo.



6. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda a Aguas de Cartagena S.A E.S.P realizar mediciones de T90 para conocer el decaimiento de los Coliformes remanentes presentes en la zona de mezcla de Punta Canoa.
- ✓ Se recomienda continuar la investigación con mediciones propias para corroborar el estado actual del cuerpo de agua en Punta Canoa de todos los parámetros que influyan en la calidad de agua, enfatizando en Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, Enterococos Y Oxígeno Disuelto.
- ✓ Se recomienda a Aguas de Cartagena S.A E.S.P realizar la medición de los parámetros que no se pudieron ingresar para el cálculo del ICAMPPF para aumentar el porcentaje de confiabilidad, como los Coliformes Termotolerantes (CTE), Hidrocarburos Disueltos y Dispersos (HDD), Fosfatos (PO₄) y Nitratos (NO₃).



7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

The Royal Society. (2005). *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*.

Achen, C. (1982). *Interpreting and Using Regression*. London.

ACUACAR. (2013). *Aguas de Cartagena*. Obtenido de <https://www.acuacar.com/Acuacar/EmisarioSubmarino/PlanSocialEmisario.aspx>

Agencia Catalana del agua. (2003). *Índices de Calidad*.

Aguas-Vivas, Obando, P. S., & Carillo, L. (2014). *Hoja metodológica del indicador. Índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM). Versión 1.0*. Bogotá.

Alcaldía de Cartagena, I. d. (2010). *Valoración de los Niveles de Riesgos Ambientales en el Distrito de Cartagena*.

Alonso-Rodríguez R, P.-O. F.-A. (2000). *Trophic conditions and stoichiometric nutrient balance in subtropical waters influenced by municipal sewage effluents in Mazatlán Bay (SE Gulf of California)*. Mexico.

Alvarado, R. T., Mendieta, F. G., & Espinosa, F. C. (2001). *Degradación microbiana del Detritus en ecosistemas estuarino-lagunares*. Revista Contactos.

Ambiente, M. d. (1991). *Directiva 91/271/CEE del consejo, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas*. Union Europea.

Argandoña, L., & Macías, R. (2013). *Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia Colón, Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013*. Portoviejo.

Arnau, J. (2013). *Implicaciones de la reducción de los niveles de uso de nitratos y nitritos*.



Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (Catalunya).

Ball R., C. R. (1980). Water quality indexing and scoring. Journal of the Environmental Engineering Division. *American Society of Civil Engineers*.

Banco Mundial. (2014). *Restauración del ambiente costero de Cartagena*.

CARDIQUE y Conservación Internacional Colombia. (2014). *Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de la Ciénaga de la Virgen*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/7096498/01-Plan-to-y-Manejo-Cuenca-Cienaga-de-La-Virgen>

Carlos Camacho Vara de Rey. (2016). *Análisis de datos en psicología*. Sevilla.

Carlos Severiche, M. C. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*.

Catalogues, H. (2005). *Sólidos Suspendidos Totales. Método 94. Resumen del modelo*.

Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía. (2016). *CELADE*. Obtenido de http://www.cepal.org/cgi-bin/getprod.aspxml=/celade/noticias/paginas/2/40392/P40392.xml&xsl=/celade/tpl/p18f.xsl&base=/celade/tpl/top-bottom_ind.xsl

CEPIS, C. P. (1981). *Parámetros y Características de las aguas residuales. Curso regional sobre lagunas para estabilización de aguas residuales. Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado*. Lima.

CETESB. (2006). *Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo*. São Paulo.

CIOH. (2011). *Estudio de la cinética de degradación de materia orgánica en la bahía de Tumaco*.



CIOH, Universidad de Cartagena - IHSA & SPD. (2009).

Comisión Nacional del Agua. (16 de Diciembre de 2016). *Monitoreo calidad del agua: escalas de clasificación de la calidad del agua superficial*. Obtenido de <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf>

Contraloría Distrital de Cartagena. (2009). *Informe de auditoría gubernamental con enfoque integral modalidad especial Recursos Hídricos*. Obtenido de <http://contraloriadecartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Informe-Definitivo-Recursos-Hidricos-2009-1.pdf>

Crites, R., Tchobanoglous, G., Camargo, M., & Pardo, L. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá.

Deaner, D. (1969). *Regrowth of fecal coliforms*. *Journal of American Waters Work Association*.

Dinius, S. H. (1987). *Design of a Index of Water Quality*.

ECM, E. (2016). *El oxígeno disuelto y la vida en el mar*. Valparaíso.

Eljaiek, M., Quiñonez, E., & Moreno, D. (2016). *Variación espaciotemporal de la calidad ambiental de las aguas costeras en el área de influencia del emisario submarino de la ciudad de Cartagena de Indias*. Universidad de Cartagena.

Engineers, H. a. (9 de Abril de 1999). *Estudio de factibilidad para el tratamiento de las aguas residuales de Cartagena y para la disposición final del efluente al mar adyacente a través de un emisario submarino: Informe final*. Obtenido de http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/cgi-bin/wxis.exe?IsisScript=OPAC_SCRIPT/opac.xis&base=MARC&opcion=buscar&descriptor=Emisario%20submarino&link=1&formato=ficha.

Ezmer, Y. A. (s.f.). *Previo tensoactivos, superficies y coloides*.



- F. Khan, T. H. (2003). *“Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada.*
- Giribaldo, D. (2010). El pH, el pR y la temperatura . En *Anales de la A. de química y farmacia de Uruguay.*
- Gómez, M., & María, V. (1999). *Determinacion y diferenciacion de escherichia coli y coliformes totales usando un sustrato cromogeno.* Galicia.
- Goyenola, G. (2007). *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos.*
- Gracia, Á. (2003). *Desinformación internacional sobre contaminación y E. Coli. Congreso Internacional "El agua como fuente de Salud y Vida".*
- Grupo San José. (2004). *Emisario Submarino en San Cibrao - Cervo.* Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=c6q-oJDUwFo>
- H. Sampieri, C. F. (1991). *Metodología de la investigación.* Naucalpan de Juárez, Estado de México: McGraw Hill.
- Hayes, P. R. (1993). *Microbiología e higiene de los alimentos.* Zaragoza.
- Hazen and Sawyer. (1999). *Diagnostico Ambiental Alternativas Emisario.* Cartagena de Indias.
- INN, I. (1983). *Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.* Santiago de Chile.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. (2006). *INVEMAR.* Obtenido de Consideraciones Técnicas para el Emisario Submarino de Cartagena: <www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/996EmisarioCartagena.rtf>
- International, N. (2006). *“WQI - National Sanitation Foundation, Consumer Information”.*
- INVEMAR. (1996). *Consideraciones Técnicas para el Emisario Submarino de Cartagena.*



- INVEMAR. (2014). *Protocolo Indicador Calidad de Agua ICAMFF*.
- L. Zao, Z. C. (2011). *Modelling the dispersion of wastewater discharges from offshore outfalls: a review*. Environmental Reviews.
- Lapointe, B., Barile, P., & Matzie, W. (2004). *Anthropogenic nutrient enrichment of seagrass and coral reef communities in the Lower Florida Keys: discrimination of local versus regional nitrogen sources*.
- Laura López Martínez, A. P. (2010). *Análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos en las aguas*. Cartagena.
- Ludwig, R. G. (1988). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL - INFORME NÚMERO 43 DE MARC*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS).
- Ludwig, R. G. (1988). *Evaluación del impacto, ambiental, ubicación y diseño de emisarios*.
- M Martínez, M. T. (1993). *Caracterización bacteriológica del río Bío Bío, VII región, Chile, bacterias aeróbicas heterotróficas, biomasa y productividad bacteriana*.
- Maldonado W., B. I. (2011). Evaluación de la calidad del agua en la Ciénega de la Virgen (Cartagena, Colombia). En *Guillermo de Ockham - Ciencias exactas y aplicadas* (págs. 79-87). Dialnet.
- Millán, F. M. (1990). Contribución al estudio del efecto hidrófobo en la proteína colagénica mediante su interacción con sustancias tensioactivas.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Resolución 0883*. Bogotá.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Resolucion 0883*.
- Ministerio de Salud. (1984). *Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Ley 2811 de 1974 en cuaTítulo VI – Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III*



– Libro I – del Decreto –. Bogotá.

Morales Hernández, M. F. (2003). *Metales pesados en Sedimentos y Langosta (Panulirus gracilis) del Área de Descarga del Desagüe Submarino en la Bahía de Mazatlán (SE Golfo de California)*. Mexico.

Naciones Unidas. (2008). *Percentage of total population living in coastal areas*. Obtenido de http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology_sheets/oceans_seas_coasts/pop_coastal_areas.pdf

Naciones Unidas. (2010). *Human Settlements on the Coast*. Obtenido de <http://www.oceansatlas.org/servlet/CDSServlet?status=ND0xODc3JjY9ZW4mMzM9KiYzNz1rb3M>

Ohrel, R., & Register, K. (2006). *Volunteer Estuary Monitoring Volunteer Estuary Monitoring. Second Edition*. Washington: The Ocean Conservancy and EPA.

Ott, W. (1978). *Environmental quality indices: Theory and*.

Ott, W. (1978). *Environmental Indices., Theory and Practice.*, Michigan.

P. Tate, S. S. (2016). *Springer Handbook of Ocean Engineering*. Marine outfalls. En: M. Dhanak & N. Xiros, edits.

Patricia Torres, C. H. (2009). *ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA*. Medellín.

Pedhazur, E. (1997). *Multiple Regression in Behavioral Research*. Orlando.

Pérez, G. R., & Restrepo, J. J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical. 2da Edición*. Medellín: Universidad de Antioquia.



- Pütz, P. (2008). *ANALÍTICA DE LABORATORIO Y SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO*.
- R. Behar, M. Z. (1997). *Análisis y Valoración del Índice de Calidad de Agua (ICA) de la NSF: Casos Ríos Cali y Meléndez*.
- Roberts. (2010). *Ocean outfalls*. Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two.
- Roberts, P. (2006). *Threedimensional modeling of bacterial transport for the Cartagena ocean outfall*.
- Ros, A. (2011). *El agua, calidad y contaminación*.
- Salas, H. (2000). *Emisarios subamrinos, alterativa viable para la disposición de aguas negras de ciudades costeras en América Latina y el Caribe*. Centro Panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (CEPIS).
- Salas, H. (2000). *Submarine outfalls: A viable alternative for sewage disposal of coastal cities in Latin America and the*.
- Sami Maalouf, D. R.-G. (2013). *Optimal planning and design of seawater RO brine outfalls under environmental uncertainty*. Obtenido de journal homepage: www.elsevier.com/locate/desal
- Scannell, P. W., & Jacobs, L. (2007). *Effects of Total Dissolved Solids on Aquatic Organisms: A Literature Review*. American Journal of Environmental Sciences.
- Schneider, M. S. (2015). *Biología Marina y oceanografía: Conceptos y procesos*.
- Secretaría de la Salud. (2004). *LINEAMIENTOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE AGUA DE MAR PARA USO RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO*. Cuba.
- Serje, N. (2015). *Variación de la calidad del agua de la Ciénaga de la Virgen de Cartagena producto de la implementación del emisario submarino*. Cartagena.



- Sierra, M. B. (2015). Consideraciones sobre surfactantes 2.
- U.S EPA, U. (2012). *Recreational Water Quality Criteria*.
- U.S EPA, U. S. (2002). *Federal Water Pollution Control Act*.
- Universidad Católica de Manizales. (2015). *Descripción de indicadores de calidad*.
- Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. (2002). *Ecología de microorganismos*.
- Universidad Nacional de Colombia. (2009). *Diseño del programa de seguimiento ambiental permanente del estados de los recursos naturales en varias áreas portuarias del país*. Medellín.
- USCB, U. (2014). *Florida Passes New York to Become the Nation's Third Most Populous State*.
- Vázquez, E. V. (2003). *Ingeniería de los sistema de tratamientos y disposición de aguas residuales*.
- Vázquez, M. (2007). *Cualidades del agua* . Aguas Globe.
- Velázquez, A. L. (2001). *Serie autodidáctica de medición de la calidad de agua*. Mexico.
- Ying Wang, L. X. (2012). Analysis of Pollutants of Sewage of Oceanic Outfall on the Water Quality .
- Yuan Li, Y. W. (2017). Multi-criteria Evaluation Method for Site Selection of Industrial Wastewater Discharge in Coastal Regions. *Journal of Cleaner Production*.
- Zapata-Pinedo. (2016). *Emisario submarino: un eficaz sistema de tratamiento de aguas residuales*.
- Zirino A., H. A.-B. (1997). Estimaciones superficiales de PCO₂ en el Golfo de California a partir de mediciones continuas de pH e imágenes de satélite. En *Cienc. Mar.* (págs.



1–22).

Zirino, A. F.-G. (1986). pH-temperature-nutrient relationships in the eastern tropical Pacific Ocean.



ANEXOS



Tabla 53. Promedio anual de las variables de calidad de agua medidos por ACUACAR

Variables	Unidad	CAMPO LEJANO										CAMPO CERCANO							
		8,10	8,17	8,42	8,20	8,43	8,19	8,14	9,18	7,83	8,09	8,18	8,38	8,16	8,42	8,22	8,13	8,85	7,83
pH	Unidad	8,10	8,17	8,42	8,20	8,43	8,19	8,14	9,18	7,83	8,09	8,18	8,38	8,16	8,42	8,22	8,13	8,85	7,83
Temperatura	°C	29,98	30,22	29,36	30,23	26,32	27,33	26,97	28,68	28,85	29,92	30,21	29,61	30,11	26,12	27,18	26,91	28,62	28,90
O. Disuelto	mg/L	2,86	5,35	5,26	6,04	6,50	8,42	5,73	5,54	9,94	2,87	5,49	5,15	5,81	6,43	8,20	5,55	5,61	10,41
DBO	mg/L	1,87	4,36	1,51	2,03	1,01	2,03	2,93	2,06	2,13	0,83	5,10	1,41	2,20	3,48	2,86	3,49	2,05	2,84
Grasas	mg/L	0,00	0,00	7,76	2,26	1,77	6,10	0,00	0,00	2,34	0,00	0,00	0,00	2,29	2,70	0,00	0,00	0,00	4,00
SST	mg/L	2,33	3,35	4,08	2,81	17,47	9,41	6,55	7,57	6,94	2,03	1,81	4,11	2,66	41,25	10,20	9,95	11,55	4,50
Fosfatos	mg/L	0,00	0,02	0,05	0,39	0,04	0,02	0,02	0,04	0,00	0,00	0,02	0,08	0,35	0,07	0,03	0,02	0,04	0,00
Fósforo Total	mg/L	0,00	0,03	0,00	0,11	0,00	0,07	0,15	0,00	0,05	0,00	0,12	0,15	0,11	0,02	0,05	0,15	0,15	0,01
Detergentes	mg/L	0,00	0,28	0,79	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,15	0,79	0,08	0,05	0,00	0,48	0,10	0,00
Amonio	mg/L	0,00	0,34	0,57	0,21	0,00	0,29	15,79	0,58	0,00	0,00	0,43	0,58	0,21	0,00	0,29	0,44	0,58	0,00
Nitritos	mg/L	0,00	0,00	0,0025	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitratos	mg/L	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00
NKT	mg/L	0,00	5,00	4,27	0,95	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00
Coli. Fecales	NMP/100	0,E+00	0,00E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00								
Coli. Totales	NMP/100	0,E+00	0,00E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00								
Enterococos	UFC/100	0,E+00	0,00E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00								



Tabla 54. Estadísticos de las variables de calidad de agua (2012-2013)

Variables	Unidad	ÉPOCA HÚMEDA										ÉPOCA SECA											
		Vertimiento - Salida de ETAR					CAMPO CERCANO					Vertimiento - Salida de ETAR				CAMPO LEJANO			CAMPO CERCANO				
		Prom	Min	Máx	Des Est.	Coef. Var.	Prom	Min	Máx.	Coef. Var.	Prom	Min.	Máx.	Desv Est.	Máx.	Desv Est.	Coef. Var.	Prom	Min.	Máx.	Desv Est.	Coef. Var.	
pH	Unidad	7,00	6,74	7,32	0,29	4,17	8,42	8,15	8,70	4,66	7,32	7,05	7,81	0,34	8,70	0,38	4,53	8,42	8,15	8,70	0,39	4,66	
Temperatura	°C	29,78	28,56	30,88	1,17	3,91	26,12	26,10	26,14	0,11	28,16	25,73	29,88	1,94	26,35	0,04	0,16	26,12	26,10	26,14	0,03	0,11	
O. Disuelto	mg/L	0,50	0,19	0,93	0,38	76,96	6,43	6,30	6,55	2,75	0,28	0,22	0,41	0,09	6,56	0,08	1,31	6,43	6,30	6,55	0,18	2,75	
DBO	mg/L	173,11	126,67	218,00	45,69	26,39	3,48	2,55	4,40	37,64	247,24	198,00	284,50	35,99	1,06	0,08	7,74	3,48	2,55	4,40	1,31	37,64	
Grasas	mg/L	29,25	26,75	32,50	2,95	10,07	2,70	2,30	3,10	20,95	58,29	44,14	69,00	11,44	1,87	0,15	8,41	2,70	2,30	3,10	0,57	20,95	
SST	mg/L	186,13	172,57	208,50	19,51	10,48	41,25	32,50	50,00	30,00	191,54	148,00	230,00	38,46	19,11	2,33	13,32	41,25	32,50	50,00	12,37	30,00	
Fosfatos	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,14	0,00	17,42	15,39	19,31	1,74	0,08	0,00	0,00	0,07	0,00	0,14	0,00	0,00	
Fósforo Total	mg/L	1,33	0,00	4,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	6,73	5,73	7,38	0,77	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	
Detergentes	mg/L	0,69	0,00	2,08	0,00	0,00	0,05	0,00	0,11	0,00	2,87	0,00	5,23	2,20	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,11	0,00	0,00	
Amonio	mg/L	4,33	0,00	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,07	0,00	40,52	19,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Nitritos	mg/L	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	1,84	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Nitratos	mg/L	1,64	0,00	4,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,88	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
NKT	mg/L	8,59	0,00	25,77	0,00	0,00	0,53	0,00	1,05	0,00	82,98	0,00	230,00	100,92	1,17	0,00	0,00	0,53	0,00	1,05	0,00	0,00	
Coli. Fecales	NMP/100	5,49E+06	0,00E+00	8,80E+06	4,79E+06	8,72E+01	1,03E+06	1,60E+05	1,90E+06	1,19E+02	4,30E+06	0,00E+00	1,70E+07	8,47E+06	2,10E+04	1,48E+04	7,07E+01	1,E+06	2,E+05	2,E+06	1,E+06	1,E+02	
Coli. Totales	NMP/100	6,85E+06	0,00E+00	1,11E+07	6,00E+06	8,75E+01	1,48E+06	1,60E+05	2,80E+06	1,26E+02	4,61E+06	0,00E+00	1,80E+07	8,93E+06	3,10E+04	2,19E+04	7,07E+01	1,E+06	2,E+05	3,E+06	2,E+06	1,E+02	
Enterococos	UFC/100	1,39E+06	0,00E+00	2,60E+06	1,31E+06	9,44E+01	5,63E+02	5,00E+02	6,25E+02	1,57E+01	9,03E+07	0,00E+00	2,70E+08	1,27E+08	8,26E+01	4,95E+00	6,26E+00	6,E+02	5,E+02	6,E+02	9,E+01	2,E+01	



Tabla 55. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época húmeda (2013-2014)

Variables	Unidad	Vertimiento - Salida de ETAR					CAMPO LEJANO					CAMPO CERCANO				
		Prom	Min.	Máx.	Desv Est.	Coef Var.	Prom	Min.	Máx.	Desv Est.	Coef. Var.	Prom	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.
pH	Unidad	7,16	7,00	7,32	0,23	3,18	8,10	8,10	8,10	0,00	0,00	8,09	8,09	8,09	0,00	0,00
Temperatura	°C	30,05	29,98	30,12	0,10	0,33	29,98	29,71	30,25	0,38	1,27	29,92	29,69	30,15	0,33	1,09
O. Disuelto	mg/L	0,24	0,00	0,49	0,00	0,00	2,86	0,00	5,72	0,00	0,00	2,87	0,00	5,73	0,00	0,00
DBO	mg/L	298,00	136,00	460,00	229,10	76,88	1,87	1,60	2,13	0,37	20,09	0,83	0,00	1,65	1,00	121,21
Grasas	mg/L	33,50	11,00	56,00	31,82	94,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SST	mg/L	66,00	0,00	132,00	0,00	0,00	2,33	2,30	2,36	0,04	1,82	2,03	1,90	2,15	0,18	8,73
Fosfatos	mg/L	3,34	0,00	6,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fósforo Total	mg/L	2,80	2,80	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Detergentes	mg/L	2,31	0,00	4,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amonio	mg/L	21,77	10,64	32,90	15,74	72,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitritos	mg/L	0,03	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitratos	mg/L	0,64	0,23	1,04	0,57	90,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NKT	mg/L	32,50	26,00	39,00	9,19	28,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coli. Fecales	NMP/100	1,60E+07	1,50E+07	1,70E+07	1,41E+06	8,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coli. Totales	NMP/100	1,60E+07	1,50E+07	1,70E+07	1,41E+06	8,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Enterococos	UFC/100	2,70E+06	1,30E+06	4,10E+06	1,98E+06	73,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Tabla 56. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época seca (2013-2014)

Variables	Unidad	Vertimiento - Salida de ETAR					CAMPO LEJANO					CAMPO CERCANO				
		Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.
pH	Unidad	7,09	6,95	7,14	0,09	1,27	8,19	8,12	8,32	0,09	1,11	8,22	8,13	8,38	0,11	1,35
Temperatura	°C	30,32	29,68	30,80	0,57	1,89	27,33	26,09	29,33	1,40	5,12	27,18	26,06	29,35	1,49	5,48
O. Disuelto	mg/L	0,67	0,33	1,01	0,29	43,26	8,42	7,79	9,26	0,64	7,57	8,20	7,52	9,50	0,89	10,79
DBO	mg/L	264,75	198,00	299,00	45,31	17,11	2,03	1,18	3,19	0,84	41,49	2,86	1,35	5,45	1,79	62,69
Grasas	mg/L	53,00	41,00	70,00	12,52	23,62	6,10	6,10	6,10	3,05	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
SST	mg/L	176,50	141,00	202,00	26,49	15,01	9,41	5,32	13,37	3,64	38,67	10,20	6,15	12,35	2,76	27,07
Fosfatos	mg/L	5,94	1,40	16,04	6,81	114,72	0,02	0,00	0,04	0,02	117,80	0,03	0,00	0,07	0,03	121,84
Fósforo Total	mg/L	6,35	5,80	6,70	0,40	6,36	0,07	0,00	0,21	0,09	143,14	0,05	0,00	0,15	0,08	144,90
Detergentes	mg/L	4,87	0,00	13,89	6,44	132,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Amonio	mg/L	38,81	35,82	45,08	4,36	11,24	0,29	0,00	0,58	0,33	115,47	0,29	0,00	0,58	0,33	115,47
Nitritos	mg/L	0,06	0,06	0,06	0,03	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	0,00	0,00	0,00	0,00	117,12
Nitratos	mg/L	0,95	0,46	1,67	0,53	55,51	0,02	0,00	0,05	0,03	125,61	0,01	0,00	0,04	0,02	135,66
NKT	mg/L	48,18	42,70	51,00	3,74	7,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coli. Fecales	NMP/100	9,93E+06	4,50E+06	2,30E+07	8,76E+06	8,82E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Coli. Totales	NMP/100	1,29E+07	5,60E+06	2,30E+07	7,40E+06	5,75E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Enterococos	UFC/100	2,13E+06	7,00E+05	5,00E+06	1,95E+06	9,16E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00



Tabla 57. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época húmeda (2014-2015)

Variables	Unidad	Vertimiento - Salida de ETAR					CAMPO LEJANO					CAMPO CERCANO				
		Prom.	Min	Máx.	Desv. Est.	CoefV ar.	Prom.	Min	Máx.	Desv Est.	Coef Var.	Prom	Min.	Máx	Desv. Est.	Coef. Var.
pH	Unidad	7,17	7,13	7,22	0,04	0,55	8,17	8,06	8,27	0,09	1,10	8,18	8,07	8,28	0,09	1,08
Temperatura	°C	30,68	29,78	31,76	0,83	2,71	30,22	29,67	31,04	0,59	1,96	30,21	29,85	30,95	0,51	1,68
O. Disuelto	mg/L	0,53	0,28	0,90	0,27	52,19	5,35	5,08	5,60	0,24	4,51	5,49	5,32	5,59	0,13	2,38
DBO	mg/L	140,00	102,00	180,00	33,11	23,65	4,36	2,00	6,89	2,50	57,31	5,10	1,75	6,55	2,28	44,74
Grasas	mg/L	57,75	27,00	122,00	43,46	75,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SST	mg/L	103,75	82,00	124,00	19,19	18,50	3,35	2,06	6,18	1,92	57,28	1,81	1,60	2,25	0,30	16,30
Fosfatos	mg/L	0,96	0,72	1,11	0,19	19,54	0,02	0,00	0,03	0,02	100,00	0,02	0,00	0,03	0,01	66,83
Fósforo Total	mg/L	34,80	4,50	124,00	59,47	170,89	0,03	0,03	0,03	0,02	50,00	0,12	0,03	0,15	0,06	52,63
Detergentes	mg/L	2,07	0,00	4,54	2,41	116,54	0,28	0,22	0,40	0,09	30,63	0,15	0,00	0,22	0,10	67,66
Amonio	mg/L	28,38	19,96	32,51	5,81	20,49	0,34	0,00	0,68	0,34	100,00	0,43	0,00	0,59	0,29	66,67
Nitritos	mg/L	0,05	0,03	0,06	0,03	61,99	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,01	0,00	0,02	0,01	156,35
Nitratos	mg/L	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,02	76,04	0,01	0,00	0,03	0,01	91,98
NKT	mg/L	32,50	13,00	52,00	16,34	50,28	5,00	5,00	5,00	2,50	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coli. Fecales	NMP/100	4,47E+07	7,80E+06	7,90E+07	3,97E+07	8,87E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Coli. Totales	NMP/100	4,47E+07	7,80E+06	7,90E+07	3,97E+07	8,87E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Enterococos	UFC/100	8,50E+05	2,00E+05	1,60E+06	5,97E+05	7,03E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00



Tabla 58. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época seca (2014-2015)

Variables	Unidad	Vertimiento - Salida de ETAR					CAMPO LEJANO					CAMPO CERCANO				
		Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.
pH	Unidad	7,11	6,79	7,22	0,21	3,00	8,14	8,08	8,26	0,08	1,03	8,13	8,06	8,26	0,09	1,08
Temperatura	°C	30,42	29,99	30,85	0,39	1,27	26,97	25,40	28,63	1,33	4,92	26,91	25,60	28,20	1,07	3,96
O. Disuelto	mg/L	0,45	0,39	0,48	0,04	8,54	5,73	5,46	6,12	0,32	5,65	5,55	5,15	5,89	0,38	6,93
DBO	mg/L	248,75	199,00	308,00	54,52	21,92	2,93	1,56	6,58	2,44	83,45	3,49	1,65	8,24	3,18	91,19
Grasas	mg/L	55,25	35,00	65,00	13,67	24,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SST	mg/L	141,75	125,00	164,00	16,96	11,96	6,55	0,00	11,84	5,07	77,30	9,95	2,85	18,10	6,33	63,67
Fosfatos	mg/L	5,15	1,42	14,07	6,00	116,38	0,02	0,00	0,03	0,02	66,78	0,02	0,00	0,04	0,02	71,04
Fósforo Total	mg/L	6,23	5,90	6,40	0,22	3,56	0,15	0,15	0,15	0,08	50,00	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00
Detergentes	mg/L	2,69	0,00	4,46	1,96	72,75	0,44	0,27	0,61	0,15	33,35	0,48	0,21	0,71	0,22	46,43
Amonio	mg/L	39,43	35,55	44,38	4,09	10,36	15,79	0,00	62,00	30,81	195,13	0,44	0,00	0,59	0,29	66,68
Nitritos	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	57,74	0,00	0,00	0,01	0,00	74,96	0,00	0,00	0,00	0,00	72,89
Nitratos	mg/L	0,81	0,00	3,22	0,00	0,00	0,04	0,00	0,08	0,03	74,67	0,04	0,00	0,08	0,03	91,30
NKT	mg/L	60,25	56,00	65,00	4,43	7,34	2,72	0,00	5,43	2,72	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coli. Fecales	NMP/100	2,38E+07	2,30E+06	4,90E+07	1,92E+07	8,05E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Coli. Totales	NMP/100	3,15E+07	2,20E+07	4,90E+07	1,28E+07	4,05E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Enterococos	UFC/100	1,14E+06	3,60E+05	2,90E+06	1,19E+06	1,04E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00



Tabla 59. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época húmeda (2015-2016)

Variables	Unidad	Vertimiento - Salida de ETAR					CAMPO LEJANO					CAMPO CERCANO				
		Prom	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.
pH	Unidad	7,69	7,25	7,90	0,31	3,97	8,42	8,22	8,84	0,29	3,43	8,38	8,08	8,86	0,34	4,08
Temperatura	°C	31,92	31,57	32,11	0,26	0,80	29,37	29,03	29,82	0,35	1,19	29,61	29,15	29,90	0,34	1,16
O. Disuelto	mg/L	0,41	0,00	0,57	0,27	67,03	5,26	4,96	5,37	0,20	3,84	5,15	4,74	5,68	0,39	7,60
DBO	mg/L	200,50	144,00	255,00	45,33	22,61	1,52	0,39	2,23	0,83	55,00	1,41	0,21	2,27	0,95	67,42
Grasas	mg/L	39,75	32,00	45,00	5,56	13,99	7,77	6,70	8,83	4,57	58,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SST	mg/L	147,25	97,00	213,00	56,24	38,19	4,08	2,52	6,40	1,76	43,05	0,00	2,45	8,25	2,77	0,00
Fosfatos	mg/L	2,17	1,95	2,80	0,42	19,55	0,06	0,04	0,10	0,03	52,02	0,08	0,04	0,19	0,08	96,77
Fósforo Total	mg/L	4,40	4,40	4,40	2,20	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00
Detergentes	mg/L	4,95	4,00	6,13	0,90	18,19	0,79	0,78	0,80	0,01	1,03	0,79	0,75	0,84	0,05	5,71
Amonio	mg/L	27,05	24,28	28,24	1,86	6,86	0,58	0,58	0,58	0,00	0,35	0,58	0,58	0,58	0,00	0,00
Nitritos	mg/L	0,06	0,02	0,08	0,04	68,74	0,00	0,00	0,00	0,00	31,25	0,00	0,00	0,00	0,00	10,75
Nitratos	mg/L	0,05	0,01	0,08	0,04	86,16	0,03	0,01	0,06	0,02	73,13	0,04	0,01	0,07	0,03	78,92
NKT	mg/L	26,75	5,00	42,00	16,58	61,98	4,27	4,27	4,27	2,14	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coli. Fecales	NMP/100	1,93E+07	1,30E+07	2,80E+07	7,50E+06	3,90E+01	90	2	1300	225,47	2,49	4667	33	9300	5360	1,15
Coli. Totales	NMP/100	1,23E+07	2,80E+05	2,30E+07	9,31E+06	7,56E+01	90	2	1700	244,59	2,71	4675	49	9300	5355	1,15
Enterococos	UFC/100	8,25E+05	3,00E+05	1,20E+06	3,77E+05	4,58E+01	46	0,00	158	46,25	1,00	25	0,00	43	22,3	0,89



Tabla 60. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época seca (2015-2016)

Variables	Unidad	Vertimiento - Salida de ETAR					CAMPO LEJANO					CAMPO CERCANO				
		Prom	Min	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom	Min	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom	Min	Máx	DesvEst.	Coef. Var.
pH	Unidad	7,13	7,07	7,16	0,04	0,57	9,18	9,18	9,18	0,00	0,00	8,85	8,85	8,85	0,00	0,00
Temperatura	°C	31,25	30,62	32,58	0,93	2,96	28,68	28,68	28,68	0,00	0,00	28,62	28,62	28,62	0,00	0,00
O. Disuelto	mg/L	0,42	0,36	0,51	0,07	17,12	5,54	5,54	5,54	0,00	0,00	5,61	5,61	5,61	0,00	0,00
DBO	mg/L	231,25	180,00	276,00	40,29	17,42	2,06	2,06	2,06	0,00	0,00	2,05	2,05	2,05	0,00	0,00
Grasas	mg/L	31,50	0,00	61,00	26,64	84,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SST	mg/L	143,25	116,00	186,00	31,64	22,09	7,57	7,57	7,57	0,00	0,00	11,55	11,55	11,55	0,00	0,00
Fosfatos	mg/L	1,50	0,00	4,60	2,17	144,38	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00
Fósforo Total	mg/L	0,68	0,00	1,80	0,82	121,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00
Detergentes	mg/L	0,49	0,00	1,20	0,54	110,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Amonio	mg/L	25,85	0,00	63,40	31,34	121,24	0,58	0,58	0,58	0,00	0,00	0,58	0,58	0,58	0,00	0,00
Nitritos	mg/L	0,01	0,00	0,03	0,01	121,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitratos	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
NKT	mg/L	26,55	0,00	46,60	19,47	73,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coli. Fecales	NMP/100	2,55E+07	2,30E+07	3,30E+07	5,00E+06	1,96E+01	81,59	2,00	1300	215,73	2,644	43843,33	230	130000	74615,78	1,70
Coli. Totales	NMP/100	3,83E+07	2,30E+07	7,90E+07	2,73E+07	7,13E+01	44,43	0,00	490	100,48	2,26	74063,33	490	220000	126386,309	1,70
Enterococos	UFC/100	1,43E+07	1,10E+07	1,80E+07	3,30E+06	2,32E+01	45,86	0,00	158,00	46,25	1,00	56,33	8,00	105,00	48,0	0,86



Tabla 61. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época húmeda (2017)

Variables	Unidad	Vertimiento - Salida de ETAR					CAMPO LEJANO					CAMPO CERCANO				
		Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.
pH	Unidad	7,26	7,21	7,33	0,06	0,78	7,83	7,83	7,83	0,00	0,00	8,16	8,02	8,25	0,10	1,24
Temperatura	°C	30,72	29,89	31,56	0,70	2,28	28,85	28,85	28,85	0,00	0,00	30,11	29,31	30,95	0,68	2,27
O. Disuelto	mg/L	0,50	0,25	0,74	0,21	41,40	9,94	9,94	9,94	0,00	0,00	5,81	5,65	6,13	0,22	3,77
DBO	mg/L	153,25	129,00	192,00	30,40	19,84	2,13	2,13	2,13	0,00	0,00	2,20	1,77	2,70	0,47	21,46
Grasas	mg/L	5,00	0,00	20,00	0,00	0,00	2,34	2,34	2,34	0,00	0,00	2,29	1,40	3,19	0,77	33,50
SST	mg/L	116,40	91,40	173,30	38,19	32,81	6,94	6,94	6,94	0,00	0,00	2,66	1,44	3,44	0,90	33,75
Fosfatos	mg/L	2,77	0,00	11,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,46	0,23	66,67
Fósforo Total	mg/L	2,47	2,09	2,92	0,34	13,86	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,11	0,01	0,19	0,09	86,52
Detergentes	mg/L	1,53	0,00	6,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,10	0,05	66,67
Amonio	mg/L	7,64	0,00	30,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,28	0,14	66,67
Nitritos	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,10	0,05	156,35
Nitratos	mg/L	0,03	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NKT	mg/L	18,99	0,00	41,33	22,09	116,37	0,69	0,69	0,69	0,00	0,00	0,80	0,53	1,15	0,27	33,75
Coli. Fecales	NMP/100	4,55E+07	0,00E+00	1,10E+08	4,74E+07	1,04E+02	104,18	0,00	1100	245,26	2,35	3,96E+02	8,00E+02	1,10E+03	611,00	1,54
Coli. Totales	NMP/100	4,55E+07	0,00E+00	1,10E+08	4,74E+07	1,04E+02	206,85	13,00	1700,00	421,07	2,03	3,96E+02	8,00E+02	1,10E+03	611,00	1,54
Enterococos	UFC/100	2,53E+06	0,00E+00	6,50E+06	3,11E+06	1,23E+02	43,54	0,00	116,00	37,75	0,86	1,59E+02	5,60E+01	2,20E+02	89,47	0,56



Tabla 62. Estadísticos de las variables de calidad de agua en época seca (2017)

Variables	Unidad	CAMPO LEJANO					CAMPO CERCANO				
		Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.	Prom.	Min.	Máx.	Desv. Est.	Coef. Var.
pH	Unidad	7,83	7,83	7,83	0,00	0,00	7,83	7,83	7,83	0,00	0,00
Temperatura	°C	28,85	28,85	28,85	0,00	0,00	28,90	28,90	28,90	1,00	3,46
O. Disuelto	mg/L	9,94	9,94	9,94	0,00	0,00	10,41	10,41	10,41	2,00	19,21
DBO	mg/L	2,13	2,13	2,13	0,00	0,00	2,84	2,84	2,84	3,00	105,82
Grasas	mg/L	2,34	2,34	2,34	0,00	0,00	4,00	4,00	4,00	4,00	100,00
SST	mg/L	6,94	6,94	6,94	0,00	0,00	4,50	4,50	4,50	5,00	111,11
Fosfatos	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,00
Fósforo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	7,00	1,E+05
Detergentes	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00
Amonio	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00
Nitritos	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00
Nitratos	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00	0,00
NKT	mg/L	0,69	0,69	0,69	0,00	0,00	1,09	1,09	1,09	12,00	1100,92
Coli. Fecales	NMP/100	396,87	12,00	1100,00	421,45	1,06	3,96E+02	8,00E+00	1,10E+03	611,00	1,54
Coli. Totales	NMP/100	363,68	0,00	1100,00	402,52	1,10	4,35E+03	7,90E+02	7,90E+02	5027,5292	1.57
Enterococos	UFC/100	51,95	2,00	160,00	41,78	0,80	1,59E+02	1,59E+02	5,60E+01	2,20E+02	89,47