



Universidad  
Tecnológica  
de Bolívar

CARTAGENA DE INDIAS



ACREDITADA  
INSTITUCIONALMENTE  
Resolución MEN 1166 de 2011

# CALIDAD DE LAS AGUAS DE LAS PLAYAS DEL SECTOR TURISTICO DE CARTAGENA DE INDIAS, NORTE DE COLOMBIA

**CALIDAD DE LAS AGUAS DE LAS PLAYAS DEL SECTOR TURÍSTICO DE  
CARTAGENA DE INDIAS, NORTE DE COLOMBIA**

**RODRIGO ALFONSO BLANCO CAMPO  
JOSÉ ROBERTO SIERRA SALCEDO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMAS DE INGENIERÍA AMBIENTAL - CIVIL  
CARTAGENA DE INDIAS  
2016**

**CALIDAD DE LAS AGUAS DE LAS PLAYAS DEL SECTOR TURÍSTICO DE  
CARTAGENA DE INDIAS, NORTE DE COLOMBIA**

**RODRIGO ALFONSO BLANCO CAMPO  
JOSÉ ROBERTO SIERRA SALCEDO**

**Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental**

**Directora:**

**Rosa Acevedo Barrios Ph.D(c)**

**Co-director:**

**Álvaro González Álvarez Ph.D**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMAS DE INGENIERÍA AMBIENTAL - CIVIL  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Primero, me gustaría agradecer a Dios por alcanzar mis logros que son el resultado de su ayuda.*

*Mis más sinceras gracias a mis amados padres Rodrigo Alfredo Blanco Cardozo y Paulina Campo Thorné por regalarme la oportunidad de ser una gran persona, íntegra, profesional, responsable e inculcarme altos valores familiares.*

*A mi tutora de Tesis, Dra. Rosa Acevedo Barrios, su esfuerzo y dedicación. Todos sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación como investigador y como persona.*

*Al profesor Álvaro González Álvarez por brindarnos sus más sinceras ganas por querer formar parte de este gran equipo y brindarnos su ayuda.*

*A mi compañero de Tesis, Jose Sierra Salcedo con los que he compartido grandes momentos de superación, ante las adversidades que tuvimos, las cuales nos formaron para ser un ingeniero.*

*A María Daniela Carreño Castellar por aguantarme demasiado, por darme tanto cariño, amor y felicidad, por brindarme su apoyo incondicional, darme fuerzas y energías en los momentos más difíciles.*

*A mis hermanos por creer en mí y demostrarme que la familia es lo primero ante muchas cosas, los amo a todos y con mucho cariño.*

**Rodrigo A. Blanco Campo**

*Le doy gracias a Dios por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.*

*A mi madre María Claudia Salcedo Arrieta por tu amor y devoción, por el apoyo que siempre me has dado, por tener siempre la fortaleza de seguir adelante sin importar los obstáculos, por haberme formado como una persona de bien, y por ser la mujer que me dio la vida.... No hay palabras en este mundo para agradecerte, mamá.*

*A mi padre por estar presente en mi vida, y sé que está orgulloso en la persona en que me he convertido.*

*A mi tutora de Tesis, Dra. Rosa Acevedo Barrios por su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de este proyecto, sino también en mi formación como persona.*

*Al profesor Álvaro González Álvarez por brindarnos sus conocimientos y su empeño en este grupo de trabajo.*

*Al Ingeniero Rafael H. Rosales Montero por el apoyo en el transcurso de mi carrera universitaria y ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir*

*A mi compañero de Tesis, Rodrigo Blanco Campo por haberme acompañado en este proceso. Gracias por tu paciencia y, sobre todo, por el apoyo en las buenas y en las malas... Nadie dijo que sería fácil, pero lo logramos!*

*A mis hermanos por el amor que me han brindado, gracias por compartir sus vidas y por ser parte importante de la mía.*

**Jose R. Sierra Salcedo**

## I. ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	3
<b>I. ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	5
<b>II. ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	8
<b>III. ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	10
<b>IV. RESUMEN</b> .....	13
<b>V. ABSTRACT</b> .....	14
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN     E HIPÓTESIS</b> .....	15
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	17
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	19
<b>2.1. CALIDAD DEL AGUA</b> .....	19
<b>2.2. DEFINICIONES RELACIONADAS CON CALIDAD DEL AGUA</b> .....	20
<b>2.2.1. Contaminación del ambiente acuático</b> .....	20
<b>2.2.2. Calidad del ambiente acuático</b> .....	20
<b>2.2.4. Monitoreo de la calidad del agua</b> .....	20
<b>2.2.5. Criterio de calidad del agua para uso recreativo</b> .....	21
<b>2.2.6. Criterio de calidad microbiológica de aguas costeras para uso         recreativo (OMS)</b> .....	21
<b>2.3. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS</b> .....	23
<b>2.3.1. Nitritos y Nitratos</b> .....	23
<b>2.3.2. Ortofosfatos</b> .....	24
<b>2.3.3. Oxígeno Disuelto</b> .....	24
<b>2.3.4. Sólidos Suspendidos</b> .....	24
<b>2.3.5. Salinidad</b> .....	25
<b>2.3.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b> .....	25
<b>2.3.7. pH</b> .....	25
<b>2.3.8. Hidrocarburos Disueltos y Dispersos</b> .....	26

2.3.9.	Metales pesados.....	26
2.4.	PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	27
2.4.1.	Coliformes fecales y totales.....	27
2.5.	ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	28
2.5.1.	Indicadores ambientales.....	28
2.5.2.	Indicadores de calidad del agua.....	28
2.5.3.	Determinación de subíndices: curvas de función.....	31
2.5.3.1.	Curva de función de Oxígeno Disuelto.....	32
2.5.3.2.	Curva de función de pH.....	33
2.5.3.3.	Curva de función de Sólidos Suspendidos Disueltos.....	34
2.5.3.4.	Curva de función de Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO <sub>5</sub> 35	
2.5.3.5.	Curva de función de Coliformes Termotolerantes (Fecales).....	36
2.5.3.6.	Curva de función de Hidrocarburos de Petróleo.....	37
2.5.3.7.	Curva de función de Nitratos.....	38
2.5.3.8.	Curva de función de Fosfatos.....	39
2.5.4.	Clasificación del indicador.....	40
2.6.	SISTEMAS DE ALERTA PARA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	41
3.	ESTADO DEL ARTE.....	43
4.	OBJETIVOS.....	48
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	48
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	48
5.	METODOLOGÍA.....	49
5.1.	RUTA DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	50
5.2.	ANÁLISIS FISCOQUÍMICO.....	51
5.2.1.	Toma de muestras.....	51
5.2.2.	Análisis de parámetros fisicoquímicos.....	52
5.3.	ANÁLISIS DE METALES E HIDROCARBUROS EN AGUA.....	53
5.3.1.	Toma de muestras.....	54
5.3.2.	Procedimiento de análisis.....	54
5.4.	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.....	55

5.4.1.	Toma de muestras.....	55
5.4.2.	Preservación de muestras.....	56
5.4.3.	Determinación de coliformes totales y fecales.....	56
5.5.	DETERMINACIÓN DEL INDICADOR DE CALIDAD (ICAM).....	56
5.5.1.	Procedimiento en detalle:.....	57
5.5.1.1.	Ejemplo de un cálculo del indicador.....	59
5.6.	ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGO DE ZONAS CRÍTICAS Y VULNERABLES DE PLAYAS DE LA CIUDAD DE CARTAGENA .....	61
6.	RESULTADOS.....	62
6.1.	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS .....	62
6.1.1.	Hidrocarburos.....	66
6.1.2.	Metales trazas.....	67
6.2.	PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.....	69
6.3.	INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA MARINA Y ESTUARINA (ICAM).....	71
6.4.	MAPA DE RIESGO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA .....	71
7.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	73
8.	CONCLUSIONES .....	77
9.	TRABAJO FUTURO .....	78
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	79
11.	ANEXOS .....	91
11.1.	ANEXO 1: RESULTADOS DE LABORATORIO .....	91
11.1.1.	RESULTADOS DEL LABORATORIO SEPTIEMBRE 2015 .....	91
11.1.2.	RESULTADOS DEL LABORATORIO FEBRERO 2016 .....	98
11.1.3.	RESULTADOS DEL LABORATORIO MARZO 2016 .....	105
11.1.4.	RESULTADOS DEL LABORATORIO ABRIL 2016.....	112
11.1.5.	RESULTADOS DEL LABORATORIO METALES PESADOS E HIDROCARBUROS .....	119
11.2.	ANEXO 2: CÁLCULOS DEL INDICADOR (ICAM).....	122
11.2.1.	Cálculos ICAM – Autores .....	122
11.2.2.	Cálculos ICAM – Calculadora online REDCAM .....	125
11.3.	ANEXO 3: SALIDAS DE CAMPO.....	127

## II. ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Listado de variables, métodos y valores de referencia de calidad de agua marina.....	22
<b>Tabla 2.</b> Metales Pesados.....	26
<b>Tabla 3.</b> Descriptores del Indicador de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia.....	29
<b>Tabla 4.</b> Métodos y fórmulas de agregación de los subíndices (ICAM). ....	30
<b>Tabla 5.</b> Categorías y escala de valoración para Oxígeno Disuelto.....	32
<b>Tabla 6.</b> Categorías y escala de valoración para pH.....	33
<b>Tabla 7.</b> Categorías y escala de valoración para SST.....	34
<b>Tabla 8.</b> Categorías y escala de valoración para DBO <sub>5</sub> .....	35
<b>Tabla 9.</b> Categorías y escala de valoración para Coliformes Fecales.....	36
<b>Tabla 10.</b> Categorías y escala de valoración para HAT.....	37
<b>Tabla 11.</b> Categorías y escala de valoración para Nitratos.....	38
<b>Tabla 12.</b> Categorías y escala de valoración para Ortofosfatos.....	39
<b>Tabla 13.</b> Ecuaciones de función de las curvas para determinar el subíndice (Ic) del ICAM.....	40
<b>Tabla 14.</b> Valores indicativos del grado de contaminación de las aguas marinas colombianas.....	41
<b>Tabla 15.</b> Extensión de playa por cada punto de muestreo.....	50
<b>Tabla 16.</b> Punto de muestreo y tipo de agua colectada para análisis fisicoquímico.....	52
<b>Tabla 17.</b> Parámetros fisicoquímicos analizados.....	52
<b>Tabla 18.</b> Metales pesados y HDD determinados en los diferentes puntos de muestreo.....	54
<b>Tabla 19.</b> Estandarización de los datos.....	59
<b>Tabla 20.</b> Cálculo del Índice.....	59
<b>Tabla 21.</b> Ajuste del Índice.....	59
<b>Tabla 22.</b> Resultado final del cálculo.....	60
<b>Tabla 23.</b> Descripción de resultados.....	60
<b>Tabla 24.</b> Resultados online – Boquilla.....	125
<b>Tabla 25.</b> Resultados online – Crespo.....	125
<b>Tabla 26.</b> Resultados online – Marbella.....	126
<b>Tabla 27.</b> Resultados online – Cabrero.....	126
<b>Tabla 28.</b> Resultados online – Bocagrande.....	126

<b>Tabla 29.</b> Resultados online – Laguito.....	126
<b>Tabla 30.</b> Resultados online – Castillogrande. ....	127

### III. ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Curva o subíndice de Oxígeno Disuelto.....	32
<b>Figura 2.</b> Curva o subíndice de pH.....	33
<b>Figura 3.</b> Curva o subíndice de Sólidos Suspendidos Totales. ....	34
<b>Figura 4.</b> Curva o subíndice de DBO <sub>5</sub> . ....	35
<b>Figura 5.</b> Curva o subíndice de Coliformes Fecales.....	36
<b>Figura 6.</b> Curva o subíndice de Hidrocarburos de Petróleo. ....	37
<b>Figura 7.</b> Curva o subíndice de Nitratos. ....	38
<b>Figura 8.</b> Curva o subíndice de Ortofosfatos.....	39
<b>Figura 9.</b> Número de artículos publicados sobre calidad ambiental en playas entre 2006 y 2016 según registro de ScienceDirect.....	47
<b>Figura 10.</b> Número de artículos publicados sobre calidad ambiental en playas entre 2006 y 2016 según registro de SpringerLink. ....	47
<b>Figura 11.</b> Metodología de las actividades realizadas.....	49
<b>Figura 12.</b> Ruta de muestreo.....	50
<b>Figura 13.</b> Metodología utilizada para el análisis fisicoquímico.....	51
<b>Figura 14.</b> Metodología utilizada para el análisis de metales e hidrocarburos. ....	53
<b>Figura 15.</b> Metodología utilizada para el análisis microbiológico.....	55
<b>Figura 16.</b> Procedimiento para el cálculo del ICAM. ....	57
<b>Figura 17.</b> Calculadora online de la REDCAM. ....	60
<b>Figura 18.</b> Valores de Oxígeno Disuelto en cada playa. ....	62
<b>Figura 19.</b> Valores de pH en cada playa. ....	63
<b>Figura 20.</b> Valores de Ortofosfatos en cada playa. ....	63
<b>Figura 21.</b> Valores de Nitritos en cada playa.....	64
<b>Figura 22.</b> Valores de Nitratos en cada playa. ....	64
<b>Figura 23.</b> Valores de Salinidad en cada playa.....	65
<b>Figura 24.</b> Valores de Temperatura en cada playa. ....	65
<b>Figura 25.</b> Valores de Sólidos Totales en cada playa. ....	66
<b>Figura 26.</b> Valores totales de Hidrocarburos Dispersos en cada playa.....	67
<b>Figura 27.</b> Valores totales de Plomo. ....	68
<b>Figura 28.</b> Valores totales de Cromo.....	68
<b>Figura 29.</b> Valores totales de Cadmio. ....	69
<b>Figura 30.</b> Valores de Coliformes Fecales en cada playa. ....	70
<b>Figura 31.</b> Valores de Coliformes Totales en cada playa. ....	70
<b>Figura 32.</b> Indicador de Calidad de Agua Marina y Estuarina – ICAM. ....	71

<b>Figura 33.</b> Mapa de riesgo de las playas turísticas de Cartagena de India, Bolívar - Colombia.....	72
<b>Figura 34.</b> Muestreo 1 – Boquilla. ....	91
<b>Figura 35.</b> Muestreo 1 – Crespo.....	92
<b>Figura 36.</b> Muestreo 1 – Marbella. ....	93
<b>Figura 37.</b> Muestreo 1 – Cabrero. ....	94
<b>Figura 38.</b> Muestreo 1 – Bocagrande.....	95
<b>Figura 39.</b> Muestreo 1 – Laguito. ....	96
<b>Figura 40.</b> Muestreo 1 – Castillogrande. ....	97
<b>Figura 41.</b> Muestreo 2 – Boquilla ....	98
<b>Figura 42.</b> Muestreo 2 – Crespo.....	99
<b>Figura 43.</b> Muestreo 2 – Marbella. ....	100
<b>Figura 44.</b> Muestreo 2 – Cabrero. ....	101
<b>Figura 45.</b> Muestreo 2 – Bocagrande.....	102
<b>Figura 46.</b> Muestreo 2 – Laguito. ....	103
<b>Figura 47.</b> Muestreo 2 – Castillogrande. ....	104
<b>Figura 48.</b> Muestreo 3 – Boquilla. ....	105
<b>Figura 49.</b> Muestreo 3 – Crespo.....	106
<b>Figura 50.</b> Muestreo 3 – Marbella. ....	107
<b>Figura 51.</b> Muestreo 3 – Cabrero. ....	108
<b>Figura 52.</b> Muestreo 3 – Bocagrande.....	109
<b>Figura 53.</b> Muestreo 3 – Laguito. ....	110
<b>Figura 54.</b> Muestreo 3 – Castillogrande. ....	111
<b>Figura 55.</b> Muestreo 4 – Boquilla. ....	112
<b>Figura 56.</b> Muestreo 4 – Crespo.....	113
<b>Figura 57.</b> Muestreo 4 – Marbella. ....	114
<b>Figura 58.</b> Muestreo 4 – Cabrero. ....	115
<b>Figura 59.</b> Muestreo 4 – Bocagrande.....	116
<b>Figura 60.</b> Muestreo 4 – Laguito. ....	117
<b>Figura 61.</b> Muestreo 4 – Castillogrande. ....	118
<b>Figura 62.</b> Muestreo de HDD y Metales trazas (A).....	119
<b>Figura 63.</b> Muestreo de HDD y Metales trazas (B).....	120
<b>Figura 64.</b> Muestreo de HDD y Metales trazas (C). ....	121
<b>Figura 65.</b> Boquilla. ....	122
<b>Figura 66.</b> Crespo. ....	122
<b>Figura 67.</b> Marbella. ....	123
<b>Figura 68.</b> Cabrero.....	123
<b>Figura 69.</b> Bocagrande.....	124
<b>Figura 70.</b> Laguito. ....	124

<b>Figura 71.</b> Castillogrande. ....	125
<b>Figura 72.</b> Grupo de trabajo, playa Boquilla. ....	127
<b>Figura 73.</b> Muestra fisicoquímica, playa Crespo. ....	128
<b>Figura 74.</b> Muestra microbiológica, playa Boquilla. ....	128
<b>Figura 75.</b> Preservación de muestras (nevera portátil). ....	129
<b>Figura 76.</b> Punto de muestreo, playa Castillogrande. ....	129
<b>Figura 77.</b> Equipo de medición In - Situ. ....	130
<b>Figura 78.</b> Medición In - Situ, playa Marbella. ....	130
<b>Figura 79.</b> Toma de muestra, playa Laguito. ....	131

#### IV. RESUMEN

El establecimiento de un sistema de alerta temprana de contaminación en las playas tiene un efecto muy importante en la protección de la calidad ambiental de los ambientes marino-costeros. Este estudio evaluó la calidad ambiental de las playas de Cartagena de Indias, mediante la caracterización del agua mediante la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos *“in situ”* (temperatura, pH, salinidad y oxígeno disuelto) y *“ex situ”* (nitritos, nitratos, fosfatos, sólidos totales, DBO<sub>5</sub>, Coliformes totales y fecales, metales pesados e hidrocarburos totales). Se calculó el Indicador de Calidad de Agua Marina y Estuarina (ICAM) del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) y se estableció un mapa de riesgos para identificar puntos críticos y zonas de mayor vulnerabilidad en playas. Los resultados del estudio contribuyeron con la evaluación del estado ambiental de las playas de Cartagena, aportando bases científicas y recomendaciones conducentes a la gestión integral de estos ecosistemas estratégicos.

## V. ABSTRACT

The establishment of an early warning system for beach pollution has a very important effect on the protection of the environmental quality of coastal marine environments. This study evaluated the environmental quality of the beaches of Cartagena de Indias, by characterizing the water quality through measurements of physical-chemical and microbiological parameters both "*in situ*" (temperature, pH, salinity and dissolved oxygen) and "*ex situ*" (nitrites, nitrates, phosphates, total solids, BOD<sub>5</sub>, total and fecal coliforms, heavy metals and total hydrocarbons). The Indicator of Marine and Estuarine Water (ICAM) of the Institute of Coastal and Marine Research (INVEMAR) was calculated. Also, a risk map was established to identify critical points and areas of vulnerability on the beaches. The results of the study contributed to the assessment of the environmental status of the beaches of Cartagena, which provides both scientific support and recommendations for formulating an integrated management of these strategic ecosystems.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

La contaminación ambiental es un problema de gran repercusión mundial. El deterioro de los ecosistemas marinos trae consigo la pérdida de la calidad ambiental, la cual sigue incrementando cada día más con la actividad humana (Bonaventura & Johnson, 1997). Las playas turísticas están sometidas a un constante estrés ambiental, dado, principalmente, por: (a) las descargas no controladas de desagües industriales y domésticos no tratados, (b) el contacto directo con la materia fecal de animales terrestres y (c) la mala disposición de residuos sólidos por parte de la población humana que hace parte de su entorno como residentes y/o turistas (Morales & Esquivia, 2015). Estos ecosistemas soportan una enorme presión humana, principalmente, a raíz del desarrollo de la actividad turística en las últimas décadas (Rubio, 2005; Williams & Micallef, 2009; Saltaren et al., 2014).

Este fenómeno tuvo sus inicios en el siglo XIX, cuando las élites europeas empezaron a descubrir las playas como un lugar atractivo para el esparcimiento y recreación, reemplazando su función medicinal (Corbin, 1993; Saltaren et al., 2014). Con el paso del tiempo, la actividad turística fue cada vez mayor, hasta consolidarse un producto denominado “turismo de sol y playa”, o de las 3S por sus siglas en inglés (sun, sea and sand) (Rangel-Buitrago et al., 2012; Saltaren et al., 2014).

Dentro de los países latinoamericanos, Colombia es uno de los muchos destinos en el Caribe que experimenta un incremento de la actividad turística, convirtiendo a las playas del país en parte esencial de las economías locales concentradas en el mercado de “sol y playa” (Botero et al, 2013a; Gavio et al, 2010; Botero et al., 2015). En el país se han adelantado algunos esfuerzos para abordar el problema de la

contaminación de estos ecosistemas marinos estratégicos, a pesar de que existe un conocimiento limitado de la calidad ambiental de las playas debido a la escasa disponibilidad de datos, la ausencia de mecanismos de vigilancia estandarizados y falta de recursos económicos que garanticen el continuo monitoreo y seguimiento. A pesar de los impactos negativos asociados con el turismo, en la actualidad no se implementan a cabalidad las regulaciones que se encuentran en las normas colombianas de turismo sostenible (NTS-TS-001-2).

Si bien a nivel internacional y nacional se han adoptado medidas para prevenir las descargas de plásticos y otros contaminantes en ambientes marinos, se estima que aproximadamente el 80% de ellos proceden de la tierra (Castro & Valdés, 2012).

Las playas de la ciudad de Cartagena son afectadas por agentes de contaminación química y microbiológica que contribuyen a su deterioro (Restrepo et al., 2013), impactos que son generados por actividades antrópicas. Estos constituyen un problema de gran relevancia ambiental. Por eso, en los últimos años las investigaciones se han centrado en determinar la calidad ambiental de las aguas marinas; debido a la preocupación por la presencia de gran cantidad de contaminantes de origen químico y biológico (presencia de sedimentos y arena generados por los usuarios de las playas o por los sólidos depositados por las mareas), lo que conlleva a generar riesgos potenciales de salud pública y a afectar la calidad ambiental de estos ecosistemas marinos (Márquez & Rosado, 2011).

La calidad ambiental del agua de mar se refiere no solo a la composición de esta, sino también a la medida en que se ve afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo si no se hace referencia al uso para el cual el agua es destinada. De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para: consumo humano, uso agrícola, uso industrial, recreación, mantenimiento de la calidad ambiental, etc. (Montoya, 2008).

Por tanto, los mapas de riesgos y los índices de calidad ambiental permiten determinar el grado de contaminación de los ecosistemas marinos. Asimismo, dan a conocer el grado de exposición a contaminación ambiental de los usuarios de las playas turísticas. Esto conlleva a la necesidad de monitorear los ambientes marinos mediante la determinación de parámetros físico-químicos y microbiológicos de las aguas de las playas. Para Cartagena, se propone establecer los puntos críticos y las zonas de mayor vulnerabilidad de alteración ambiental. La pregunta problema de esta investigación se centra entonces en: ¿De qué manera la calidad de las aguas de las playas turísticas de la ciudad de Cartagena de Indias se ve afectadas por la contaminación?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Cartagena de Indias es uno de los mayores destinos turísticos en Latinoamérica para diversas actividades como vacaciones, reuniones, bodas, entre otros. Esto se debe a sus playas, paisajes e historia que han hecho de Cartagena el destino preferido de muchos extranjeros. En la última década, la ciudad también registró un crecimiento de turistas nacionales del 6,4% y un 22,7% internacionales a finales del año 2014 (SITCAR, 2015). Por otro lado, teniendo en cuenta que las actividades portuarias contribuyen a la contaminación de las playas, en un estudio realizado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el volumen de carga movilizado durante el año 2015 fue cercano a los 47 millones de Teus (Tráfico Marítimo de Contenedores), un 1,3% más que en 2013. Esto evidencia un aumento significativo en sus actividades comerciales y portuaria (Semana, 2015).

Dado que el turismo es una actividad económica social y cultural y, debido a la importancia del uso recreativo de las playas, se hace necesario desarrollar esta investigación para conocer la calidad ambiental del agua de los ecosistemas marinos de la ciudad. Cabe anotar que a estas playas llega el aporte de agua dulce a través del Canal del Dique, con lo cual la bahía de Cartagena pasó de ser un

ecosistema marino para convertirse en uno estuario. Estos aportes, junto con los vertimientos de aguas negras, las descargas industriales, los vertimientos de hidrocarburos en sus diferentes formas provenientes de actividades portuarias y el transporte y las descargas de buques han influido en la contaminación de la bahía y de las playas (Cañón et al., 2007; INVEMAR, 2015).

El trabajo se desarrolla con información primaria. Se explica el fundamento analítico de los indicadores y la utilidad de su aplicación.

La importancia de conocer la calidad ambiental de las aguas de las playas de Cartagena de Indias permitirá el establecimiento de un sistema de alerta temprana (mapa de riesgo ambiental) e identificación de riesgos ambientales potenciales en los ecosistemas marinos-costeros de la ciudad, lo que servirá de base para la toma de medidas de mitigación pertinentes para la conservación o recuperación de las zonas afectadas; debido a que el deterioro de las playas turísticas puede causar daños irreversibles en estos ecosistemas, además de presentar riesgos a la salud humana afectando la biodiversidad, la actividad económica, turística, cultural y social de la ciudad de Cartagena (Vivas, 2012).

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CALIDAD DEL AGUA**

Es un término que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada. Esta describe tanto la composición del agua como la medida en que es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades antropogénicas. De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua varían dependiendo de la actividad a la cual es aplicada (Montoya, 2008; Severiche et al., 2013). La calidad de agua para uso recreativo es un factor fundamental para garantizar la protección de la salud de los usuarios y, adicionalmente, de mucho interés para el sector turístico, dado que las playas adquieren un valor agregado al cumplir con los estándares mínimos establecidos en la normatividad ambiental pertinente.

Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna a aquel destinado a actividades relacionadas con: (a) la conservación y preservación de la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres (y de sus ecosistemas asociados), sin causar alteraciones sensibles en ellos y/o (b) la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura (MinAmbiente, 1984).

Los criterios de calidad para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas o estuarinas de Colombia se detallan en Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984 (MinAmbiente, 1984).

## **2.2. DEFINICIONES RELACIONADAS CON CALIDAD DEL AGUA**

### **2.2.1. Contaminación del ambiente acuático**

Sustancias o energías, de origen antropogénico y/o natural, introducidas directa o indirectamente, las cuales dan lugar a efectos dañinos, tales como (Silva, 2011):

- Ocasionar riesgos para la salud humana.
- Afectar los recursos vivos.
- Dificultar las actividades acuáticas como la pesca.
- Deteriorar la calidad del agua con respecto a su uso en actividades agrícolas, industriales y frecuentemente las actividades económicas.

### **2.2.2. Calidad del ambiente acuático**

La calidad del medio acuático puede determinarse a través de: (a) mediciones cuantitativas (determinaciones fisicoquímicas en el agua, material particulado o tejidos biológicos, pruebas biológicas/bioquímicas (p. ej. DBO<sub>5</sub>) y pruebas de toxicidad) y (b) mediciones cualitativas (índices bióticos, parámetros organolépticos, inventario de especies, etc.).

Las actividades de monitoreo para la recolección de muestras (y algunas de las mediciones de ciertos parámetros) se llevan a cabo tanto en el campo como en el laboratorio (Silva, 2011).

### **2.2.3. Evaluación de la calidad del agua**

Se refiere al proceso a través del cual se comparan las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua en relación con: (a) la calidad natural del agua y (b) los efectos en las personas, los usos del agua y los ecosistemas (Silva, 2011).

### **2.2.4. Monitoreo de la calidad del agua**

Es la recopilación de la información dispuesta en lugares establecidos y de forma regular a fin de proporcionar los datos que puedan ser utilizados para definir las condiciones actuales, establecer tendencias, etc. La evaluación de la calidad del agua incluye el uso de monitoreo para definir el estado del agua, para proporcionar

la base para detectar tendencias y proporcionar la información que permita el establecimiento de relaciones de causa-efecto. Los aspectos importantes de una evaluación son la interpretación y la notificación de los resultados del monitoreo y la elaboración de recomendaciones para acciones futuras. Así pues, existe una secuencia lógica que consta de tres componentes: control, seguido de la evaluación, seguida de gestión (Silva, 2011).

#### **2.2.5. Criterio de calidad del agua para uso recreativo**

Se define como una relación cuantificable de exposición-efecto basada en evidencias científicas entre el nivel de algún indicador de la calidad del agua en cuestión y los riesgos potenciales para la salud asociados con el uso del agua con fines recreativos (Silva, 2011).

Una guía de calidad de agua basada en dicho criterio es una densidad máxima sugerida del indicador en el agua que está asociada con riesgos inaceptables de salud. El concepto de aceptación indica que están involucrados factores sociales, culturales, económicos y políticos, así como de salud. Un estándar o norma de calidad del agua obtenida del criterio es una guía establecida por ley (Salas, 1994; Silva, 2011).

#### **2.2.6. Criterio de calidad microbiológica de aguas costeras para uso recreativo (OMS)**

Se definen como una serie de valores del indicador asociados con un aumento en la frecuencia de diferentes tipos de enfermedad. La información que contribuye a la definición de los valores proviene de (Silva, 2011):

- Valores umbrales y niveles de efectos adversos principalmente para gastroenteritis y otros efectos sobre la salud publicados en estudios epidemiológicos individuales.
- Tasas de incidencia de enfermedades derivadas de las curvas típicas de distribución de enfermedades y de funciones de densidad de probabilidad para organismos indicadores. Estos estudios indican que los síntomas

gastrointestinales y las enfermedades respiratorias febriles agudas y los estreptococos/enterococos pueden brindar una base científica lo suficientemente sólida para asociar un efecto sobre la salud humana con la calidad del agua recreativa. La mayoría de estudios han identificado a los estreptococos y enterococos fecales como los indicadores más estrechamente relacionados con los efectos sobre la salud en aguas costeras (Silva, 2011).

**Tabla 1.** Listado de variables, métodos y valores de referencia de calidad de agua marina.

Parámetro	Variable	Método	Unidad de medida	Valores de referencia
Fisicoquímicos	Nitritos	Espectrofotometría	$\mu\text{g/L}$	Conservación de arrecifes coralino: 14 $\mu\text{g/L}$ (Lapointe, 1997)
	Nitratos	Espectrofotometría	$\mu\text{g/L}$	Conservación de corales: 14-280 $\mu\text{g/L}$ (Fabricius, 2005)
	Ortofosfatos	Espectrofotometría	$\mu\text{g/L}$	Conservación de corales: 62 $\mu\text{g/L}$ (Fabricius, 2005)
	Oxígeno disuelto	Electrométrico	mg/L	>4 mg/L (MinAmbiente, 1984)
	Sólidos totales y disueltos	Electrométrico	mg/L	Preservación de coral: 50 mg/L (Fabricius, 2005)
	Salinidad	In-situ	%	-
	pH	In-situ	Unidad	6,5-8,5 (MinAmbiente, 1984)
	DBO5	Incubación 5 días	mg/L	-
	Hidrocarburos disueltos y dispersos	Cromatografía de gases	$\mu\text{g/L}$	10 $\mu\text{g/L}$ (UNESCO, 1984)
	Metales Traza (Plomo, Cadmio y Cromo)	Absorción atómica	$\mu\text{g/L}$	Pb: 210 $\mu\text{g/L}$ (Buchman, 2008) Cd: 40 $\mu\text{g/L}$ (Buchman, 2008; NOAA, 2008) Cr: 50 $\mu\text{g/L}$ (CONAMA, 2005)

Microbiológicos	Coliformes fecales	Filtro de membrana	NMP/100mL	< 200 NMP/100mL (MinAmbiente, 1984)
	Coliformes totales	Filtro de membrana	NMP/100mL	<1000 NMP/100 mL (MinAmbiente, 1984)

*Fuente: Autores.*

*NOTA: La tabla anterior fue construida con varias legislaciones de distintos países: Colombia, EEUU y Brasil.*

## **2.3. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS**

Cuando se habla de la calidad de aguas sean para su vertido, tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, es indispensable determinar una serie de parámetros fisicoquímicos mediante métodos normalizados, con objeto de conocer si el valor de estos parámetros se encuentra dentro del intervalo que marca la legislación actual. Dentro de los parámetros se encuentra:

### **2.3.1. Nitritos y Nitratos**

Son iones que están presentes en forma natural en el agua como consecuencia de la deposición atmosférica, la escorrentía superficial y subterránea, disolución de depósitos geológicos ricos en nitrógeno, descomposición biológica de la materia orgánica y la fijación de nitrógeno por organismos procariontes.

La entrada en exceso de nutrientes en áreas pequeñas o cerradas puede llegar a producir eutrofización y aumento de la comunidad fitoplanctónica, causando disminución de los niveles de oxígeno, mortandad de especies hidrobiológicas e incluso florecimiento de algas tóxicas, favoreciendo enfermedades en la población costeras por uso de estos cuerpos de agua.

La acción tóxica de los nitratos se debe a la conversión de las hemoproteínas (hemoglobina, hemocianina) en formas que son incapaces de transportar y liberar oxígeno (meta-hemoglobina, meta-hemocianina), lo cual puede causar asfixia y en último término la muerte para los animales acuáticos. Sin embargo, el nitrato presenta una menor toxicidad que el nitrito como resultado de su baja permeabilidad branquial, lo cual hace que su absorción a través de las branquias sea más limitada (Camargo et al., 2006; Suárez et al., 2015).

Las concentraciones de nitratos favorecen los procesos de eutrofización (Pérez & Rodríguez, 2008; INVERMAR, 2011). La presencia de niveles altos de nitrato en algunos cuerpos de agua indica aportes antropogénicos, ya que el nitrato es el producto final de estabilización de los desechos (Furnas, 1992; INVERMAR, 2011).

### **2.3.2. Ortofosfatos**

En las aguas naturales y residuales, el fósforo se presenta mayoritariamente en forma de fosfatos, siendo los ortofosfatos los más ampliamente distribuidos en la naturaleza (Romero, 2009; Severiche et al., 2013). Su presencia es fundamental en los organismos vivos y, en exceso en los cuerpos de agua, puede contribuir a la eutrofización de los mismos. Asimismo, es un indicador de descargas de desechos orgánicos o abonos agrícolas (Vivas, 2011).

### **2.3.3. Oxígeno Disuelto**

Las concentraciones de oxígeno disuelto en los ambientes costeros tropicales pueden exhibir importantes variaciones espaciales y temporales, reflejando cambios en la salinidad, la temperatura, la profundidad, la turbulencia, la hora del día y época del año, y la actividad biológica (Chapman & Kimstach, 1996; Chiappone, 2001; INVERMAR, 2011).

La solubilidad del oxígeno en el agua depende de la temperatura por ejemplo, siendo inversamente proporcional la relación entre ellas: a mayor temperatura, menos oxígeno se disuelve. Generalmente, concentraciones altas de oxígeno disuelto (mayores a 6 mg/L) indican un agua de buena calidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos. Cuando los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Esta baja en la concentración en el agua presenta un alto contenido de materia orgánica y los procesos de descomposición disminuyen el oxígeno disuelto (Vivas, 2011).

### **2.3.4. Sólidos Suspendidos**

Los sólidos suspendidos en el agua pueden proceder de partículas erosionadas del suelo que son arrastradas al agua junto con otros materiales en suspensión por las

prácticas agrícolas y el transporte de material durante la escorrentía de aguas de lluvia o de riego. La turbidez que provocan dificulta la vida de algunas especies que dependen de los procesos de fotosíntesis y, además, los sedimentos que se acumulan, por ejemplo, destruyen sitios de alimentación o desove de los peces (Solano, 2009; Suárez et al., 2015). Existe una estrecha relación entre la concentración de los sólidos suspendidos y la calidad del agua, debido a su capacidad de adsorción de contaminantes como plaguicidas, metales pesados y nutrientes, al control que ejercen sobre la turbiedad del agua y a su absorción de calor que aumenta la temperatura del agua (Dagne et al., 2005; INVERMAR, 2011). Los sólidos suspendidos aumentan el área disponible para el crecimiento de hongos y bacterias, por lo que podría incrementar el potencial de enfermedades en el sistema acuático.

#### **2.3.5. Salinidad**

Expresión porcentual o en peso por unidad de volumen de las sales disueltas en el agua. La salinidad es un factor ecológico de mucha importancia, ya que influye en la presencia o no de diferentes tipos de organismos que viven en los cuerpos de agua. Dependiendo de las características del sistema acuático, la salinidad puede ser una variante relevante (Vivas, 2007).

#### **2.3.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Es un indicador de contaminación orgánica. La DBO es una prueba que se usa para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas residuales. Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores (IDEAM, 2002; INVERMAR, 2011).

#### **2.3.7. pH**

El pH indica la concentración de iones  $H^+$  en una solución expresada en términos logaritmo negativo. Se expresa en una escala que va de 0 a 14. Es un indicador de la condición química de las aguas. En los estuarios el pH se controla generalmente

por la mezcla de solutos de agua salada con el flujo de agua dulce. Un factor importante que influye en el pH de las aguas estuarinas es la solubilidad del CO<sub>2</sub>, el cual está en función principalmente de la salinidad y luego de la temperatura (Solano, 2009; Suárez et al., 2015).

El pH de las aguas estuarinas se ve afectado por: la deposición ácida provocada por la contaminación atmosférica, residuos de minería, eutrofización causada por descargas excesivas de nutrientes, actividad bacteriana, turbidez y procesos naturales como la fotosíntesis y respiración de los organismos (Padau, 2008; Suárez et al., 2015).

### **2.3.8. Hidrocarburos Disueltos y Dispersos**

Los hidrocarburos son compuestos bioquímicos formados únicamente por carbono e hidrógeno. En el agua, la mancha generada por los hidrocarburos vertidos flota por diferencia de densidades impidiendo la entrada de luz y el intercambio gaseoso, dando comienzo a la solubilización de compuestos hidrosolubles y a la afección de diferentes poblaciones: la primera población afectada por un derrame es el plancton, en segundo lugar son afectados los macroinvertebrados, y la última población afectada son los bentos o población de macroinvertebrados que viven en los fondos del mar, ríos y ciénagas (Bento et al., 2003; Benavides et al., 2006; INVERMAR, 2011).

### **2.3.9. Metales pesados**

La contaminación del medio ambiente por metales pesados es un serio problema reconocido en el ámbito mundial. Los metales pesados se destacan por su capacidad de concentración y bioacumulación, razón que le facilita ingresar en la cadena trófica (Motas et al., 2003; Manjarrez et al., 2008).

**Tabla 2. Metales Pesados**

<b>Metales pesados</b>	
<b>Cadmio</b>	La presencia de Cadmio en las estructuras calcáreas como los corales, debe considerarse como una amenaza a la preservación de sus arrecifes

	que son albergue transitorio de peces, moluscos y crustáceos en crecimiento y que de igual manera estos se ven amenazados de ser contaminados, situación que demanda de toda la atención, pues a corto plazo se convertirán en fuente alimenticia de las comunidades costeros que encuentran en estas especies la única fuente de sustento (Ramírez et al., 1986).
<b>Plomo</b>	El Plomo ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en este son el resultado de las actividades humanas (Vivas, 2007). El agua de mar contiene entre 0,003 y 0,20 mg/L de plomo por lo que las concentraciones de este metal en aguas marinas contribuyen a la contaminación de los peces que habitan en ellas (Rubio et al., 2004).
<b>Cromo</b>	Se encuentran en rocas, en el suelo, en animales y en las plantas, en concentraciones variables. Presenta valencia tres (III) y seis (VI). En estado trivalente es esencial para los seres humanos, en los que promueve la acción de la insulina (Lora et al., 2010; Severiche et al., 2013). El cromo es encontrado en el ambiente, en dos formas diferentes, siendo la forma hexavalente la más soluble, tóxica y de mayor interés en el ambiente. El Cr+6 causa estrés oxidativo, daño al ADN y perturbación de la expresión genética de las especies acuáticas asociadas (Roling et al., 2006; Lacma et al., 2007).

Fuente: Autores.

## 2.4. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

### 2.4.1. Coliformes fecales y totales

Los microorganismos indicadores de contaminación fecal deben de cumplir con ciertos criterios y características para ser considerados como tal. Por ejemplo, deben: (a) encontrarse en las heces fecales de animales o de humanos, (b) ser igual de resistentes a los microorganismos que van a indicar en condiciones adversas (como salinidad, pH, presión, temperatura, luz, etc.), (c) tener una fuerte asociación con microorganismos patógenos y (d) ser de fácil aislamiento en el laboratorio. Los Coliformes totales y fecales (*E. coli*) han sido utilizados históricamente por muchos estudios para la predicción de microorganismos patógenos en agua (Savichtcheva et al., 2006; Salcedo, 2013).

El control de la calidad sanitaria del agua se efectúa a través de los análisis de los indicadores de contaminación fecal que establece la normativa colombiana (Decreto N°1594 de 1984 del Ministerio de Ambiente) y los valores guía de la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2003) que corresponden a los siguientes microorganismos: Coliformes totales (CTT), Coliformes fecales (CFS) y Enterococos fecales (EFE) (Vivas, 2007).

## **2.5. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA**

### **2.5.1. Indicadores ambientales**

Son aquellos que están determinados por unas características físicas, químicas y microbiológicas. Para el caso de cuerpos de aguas marinos y estuarinos, describen su estado en relación con las condiciones ambientales que propician la preservación de la flora y la fauna. Son adaptados a las condiciones ambientales específicas del medio estudiado y a la vez de acuerdo a las actividades contaminantes y su interacción con el medio para adaptarlos a un plan de monitoreo (Rendón et al., 2010). Es decir, describen las condiciones finales del medio, cuyo objetivo es informar sobre el estado del medio ambiente y su evolución espacio temporal (Pino, 2001).

### **2.5.2. Indicadores de calidad del agua**

Los indicadores de calidad de aguas son usados por la mayoría de países en el mundo; más aún, aquellos que cuentan con zonas de cuerpos de agua. La conversión de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en términos de cantidad y expresarlos en términos de calidad fácilmente entendible para el ciudadano sin entrenamiento ni conocimientos técnicos resulta importante y debe ser una estrategia básica para el manejo y preservación de los recursos hídricos (Hakanson et al., 2000; Severiche et al., 2013).

#### **2.5.2.1. Indicador de Calidad de Aguas Marinas (ICAM)**

Fue diseñado por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). Es un instrumento de referencia utilizado para evaluar la calidad fisicoquímica y

microbiológica de las aguas marinas y costeras del país. Está definido como un Indicador Ambiental según el Artículo 2 de la Resolución 0643 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Sus resultados están orientados a monitorear los cambios en la calidad de recursos naturales y el medio ambiente para determinar el efecto de las acciones antrópicas o naturales sobre estos recursos.

Para su determinación se necesita analizar varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, a los cuales se le han asignado una serie de pesos ponderados, cuyo valor depende de la importancia de cada parámetro. El ICAM oscila entre un rango de 0 a 100 y, además, se han asignado una serie de sub-rangos que los asocian con una variable cualitativa (pésimo, inadecuada, aceptable, adecuada y óptima), lo que facilita su interpretación y/o entendimiento para aquellas personas que no están familiarizadas con los conceptos técnicos de concentraciones y qué quiere decir un valor determinado (Tabla 3) (Straskraba & Gnauck, 1985; Troncoso et al., 2008; Severiche et al., 2013).

**Tabla 3.** *Descriptor del Indicador de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia.*

No.	Descriptor	Rango de Representación Numérica del Indicador ICAM %
1	Pésima	0 – 25
2	Inadecuada	25 – 50
3	Aceptable	50 – 70
4	Adecuada	70 – 90
5	Óptima	90 – 100

*Fuente: INVEMAR, 2014.*

A través del ICAM, puede definirse la calidad de una zona determinada usando sus condiciones con el fin de establecer el grado de contaminación. Funciona de una manera sencilla y sus resultados pueden ser puntuales. Además, es de fácil manejo e interpretación. El indicador es un fundamento que puede utilizarse para la aplicación e implementación de medidas que conlleven al mejoramiento de la calidad de las zonas marinas y costeras afectadas (Severiche et al., 2013).

La estructura de cálculo de la mayoría de los ICA se fundamenta en la normalización de las variables y su posterior ponderación en función de la importancia y el cálculo mediante la integración de subíndices a través de diferentes funciones matemáticas (Torres et al., 2009). Una vez homogeneizada la información, se debe escoger la manera de integrar la información usando el ICA. Puede llevarse a cabo por medio de fórmulas de agregación matemática que comúnmente tienen dos enfoques: (a) el producto ponderado y (b) la suma ponderada (Tabla 4).

**Tabla 4.** Métodos y fórmulas de agregación de los subíndices (ICAM).

Grupo	Método	Formula
1	Promedio aritmético ponderado	$ICAM = \sum_{i=1}^n (q_i w_i)$
2	Promedio geométrico ponderado	$ICAM = \left( \prod_{i=1}^n x_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum w_i}}$

Fuente: INVEMAR, 2011.

Varios autores han demostrado que el cálculo de los ICAM mediante técnicas multiplicativas es superior a las aritméticas, es decir, son mucho más sensibles a la variación de los parámetros (Abbasi, 2002; Fernández et al., 2004; Samboni et al., 2007). Se resalta que la mejor opción como ecuación de agregación para el ICAM es el promedio geométrico ponderado de la ecuación (1) porque es más sensible a los cambios.

$$ICAM = \left( \prod_{i=1}^n x_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum w_i}} \quad (1)$$

Donde  $X_i$  es el subíndice de la calidad de la variable  $i$  y  $W_i$  es el factor de ponderación (peso) para la variable  $i$ . Finalmente, el ICAM de la ecuación (1), como se dijo anteriormente, es un número entre cero y cien (Marín et al., 2003; Severiche et al., 2013).

### **2.5.3. Determinación de subíndices: curvas de función**

Para la determinación de los subíndices se utilizan funciones de calidad (curvas) o relaciones de calidad que dependen de la magnitud de la variable. Se estiman conforme a los subíndices (gráficos y/o ecuaciones) construidos con el propósito de hacer la transformación de variables de una escala dimensional (mg/L, µg/L, porcentajes, etc.) a una escala adimensional que permite su agregación (Fernández et al., 2004; Jiménez & Vélez, 2006; Samboni et al., 2007; INVERMAR, 2011). Pueden utilizarse varios métodos para la construcción de estas curvas (y/o ecuaciones), entre los que están: (a) valor nominal o numérico (compara el valor del parámetro con un estándar o criterio teórico) y (b) parámetro en número decimal, diagramas o tablas de calibración (desarrolla diagramas que indiquen la correlación del valor en una escala de calidad definida). Para el segundo método, comúnmente, se utiliza una escala entre 0 y 100; aunque también se acostumbra escalarlos entre 0 y 1.

Por otra parte, Del Río (1986) plantea que las curvas construidas pueden realizarse a través de varios métodos:

- Método basado en la experiencia propia: es subjetivo.
- El método Delphi: opinión de expertos.
- Curvas basadas en ecuaciones matemáticas: fórmula matemática con series de datos.
- Curvas basadas en la normatividad: objetividad y la aceptación por parte de expertos.
- Parámetro bajo formulación matemática: convertir los valores del parámetro de acuerdo a varias escalas con las que los valores del parámetro conservan sus unidades originales.

Para las variables del ICAM, la Red de Monitoreo de la Calidad de Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM) elaboró unas curvas de función de la calidad para cada parámetro basadas en ecuaciones matemáticas consignadas en la Tabla

13 (INVEMAR, 2011), teniendo en cuenta que en algunas de ellas existen criterios o normas de calidad nacional (MinAmbiente, 1984).

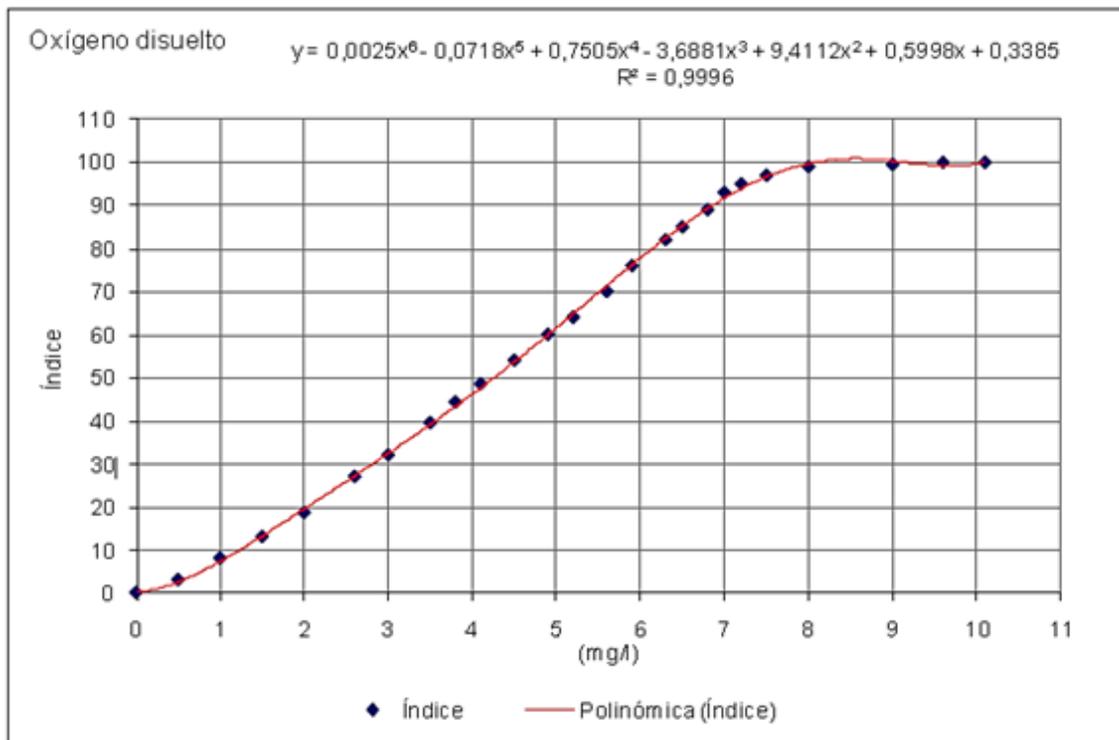
### 2.5.3.1. Curva de función de Oxígeno Disuelto

La curva de Oxígeno Disuelto para el ICAM (Figura 1) se construyó teniendo en cuenta la escala de valoración definida en la Tabla 5 y la normatividad colombiana (MinAmbiente, 1984; REDCAM, 2001).

**Tabla 5.** Categorías y escala de valoración para Oxígeno Disuelto.

Categorías	Índice	OD (mg/L)
Óptima	90 – 100	7,0 – 10,0
Adecuada	70 – 90	6,0 – 7,0
Aceptable	50 – 70	4,0 – 6,0
Inadecuada	25 – 50	2,0 – 4,0
Pésima	0 – 25	0,0 – 2,0 > 10,0

*Nota:* Las concentraciones de OD superiores a 10 mg/L se consideran inadecuadas en agua de mar.  
*Fuente:* INVEMAR, 2011.



**Figura 1.** Curva o subíndice de Oxígeno Disuelto.

*Fuente:* INVEMAR, 2011.

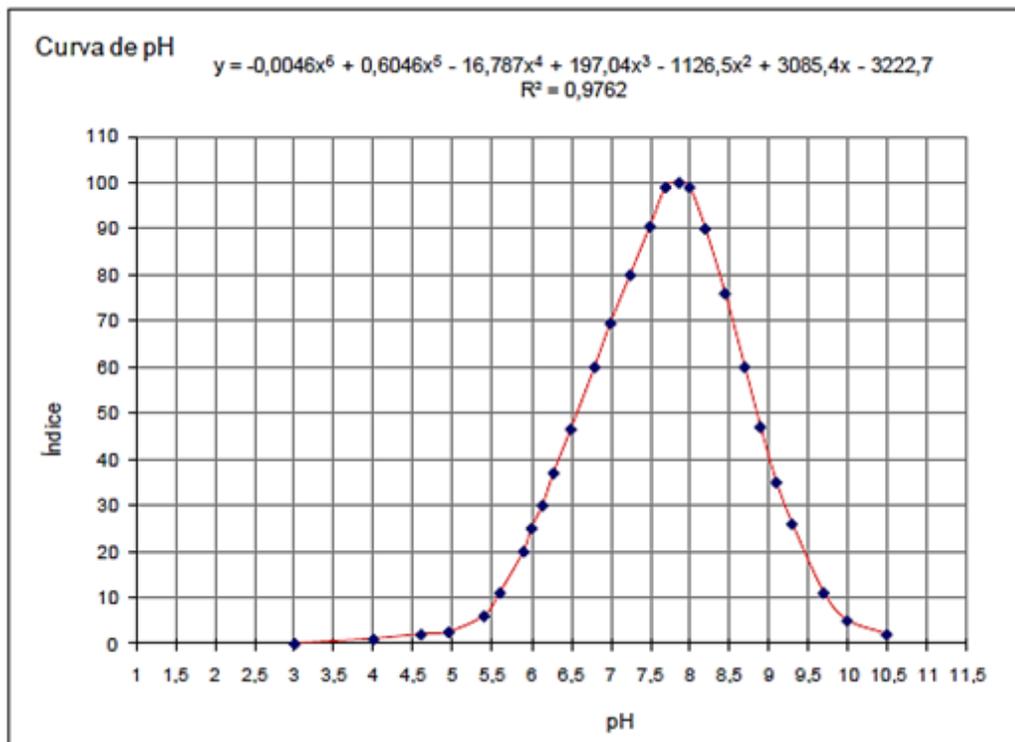
### 2.5.3.2. Curva de función de pH

La curva se construyó según la escala de valoración definida, la normatividad colombiana (MinAmbiente, 1984), los datos de la REDCAM y los resultados del IV taller nacional de expertos (Tabla 6 y Figura 2).

**Tabla 6.** Categorías y escala de valoración para pH.

Categorías	Índice	pH
Óptima	90 – 100	7,5 – 8,5
Adecuada	70 – 90	7,0 – 7,5 = 7,8 – 8,3
Aceptable	50 – 70	6,5 – 7,0 = 8,0 – 8,5
Inadecuada	25 – 50	6,5 – 6,0 = 8,5 – 9,0
Pésima	0 – 25	< 6,0 ≥ 9,0

Fuente: INVEMAR, 2011.



**Figura 2.** Curva o subíndice de pH.

Fuente: INVEMAR, 2011.

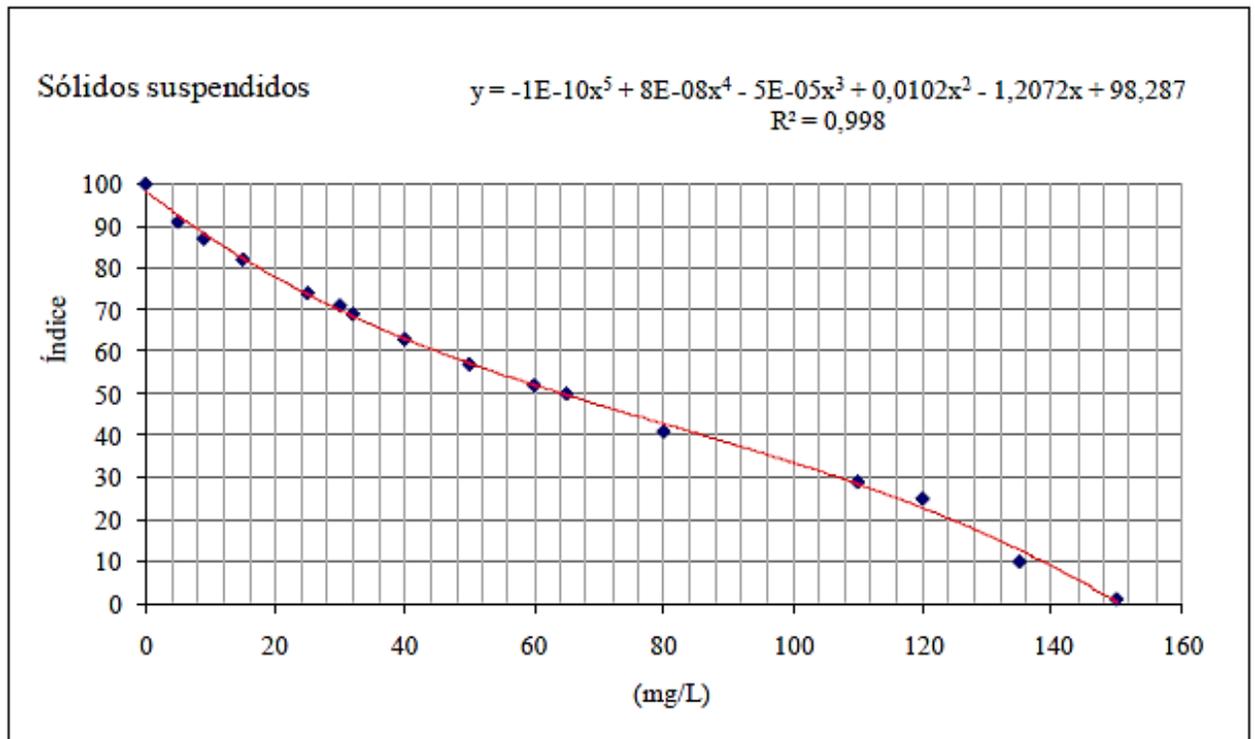
### 2.5.3.3. Curva de función de Sólidos Suspendidos Disueltos

La curva de Sólidos Suspendidos para el ICAM se construyó teniendo en cuenta la escala de valoración definida, los datos de la REDCAM (Tabla 7 y Figura 3).

**Tabla 7.** Categorías y escala de valoración para SST.

Categorías	Índice	SST (mg/L)
Óptima	90 – 100	> 5,0
Adecuada	70 – 90	5,0 – 30,0
Aceptable	50 – 70	30,0 – 65,0
Inadecuada	25 – 50	65,0 – 120,0
Pésima	0 – 25	≥ 120,0

Fuente: INVEMAR, 2011.



**Figura 3.** Curva o subíndice de Sólidos Suspendidos Totales.

Fuente: INVEMAR, 2011.

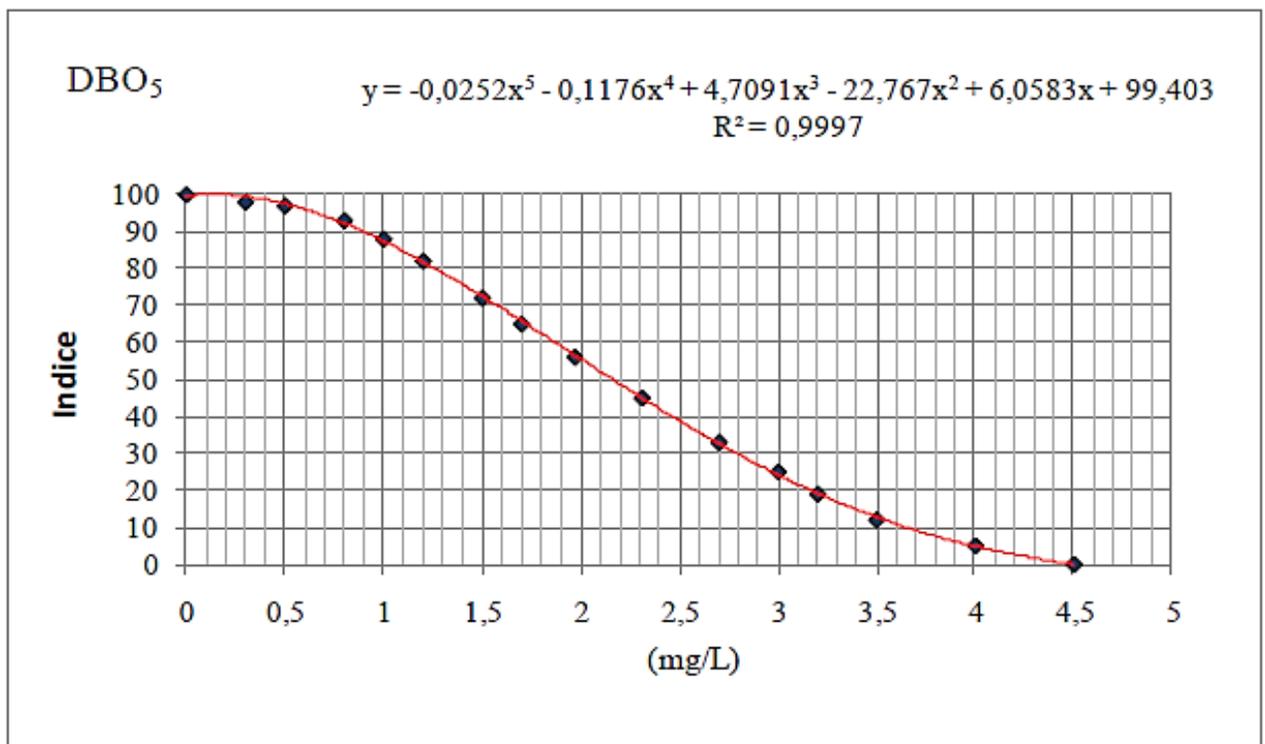
### 2.5.3.4. Curva de función de Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO<sub>5</sub>

La curva de DBO<sub>5</sub> para el ICAM se construyó teniendo en cuenta la escala de valoración definida, las curvas teóricas y los resultados del IV Taller Nacional de Expertos (Tabla 8 y Figura 4).

**Tabla 8.** Categorías y escala de valoración para DBO<sub>5</sub>.

Categorías	Índice	DBO (mg/L)
Óptima	100 – 90	0,0 – 1,0
Adecuada	90 – 70	1,0 – 1,5
Aceptable	70 – 50	1,5 – 2,0
Inadecuada	50 – 25	2,0 – 3,0
Pésima	25 – 0	≥ 3,0

Fuente: INVEMAR, 2011.



**Figura 4.** Curva o subíndice de DBO<sub>5</sub>.

Fuente: INVEMAR, 2011.

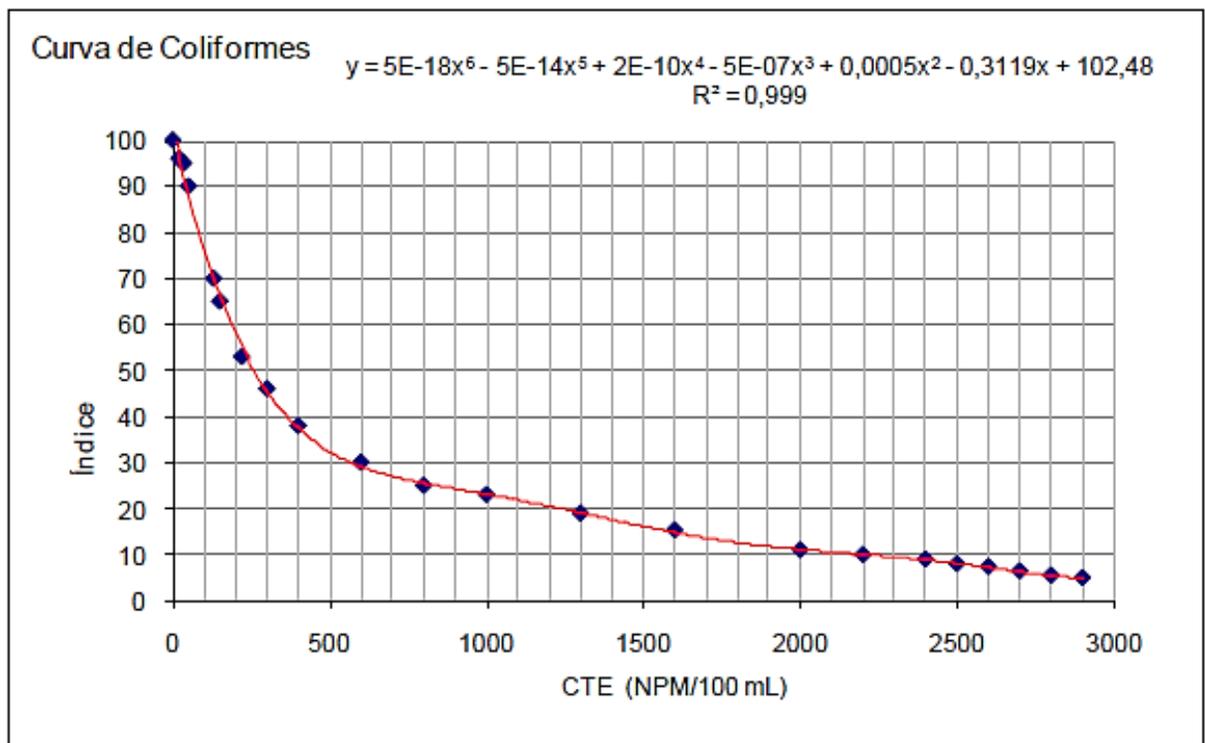
### 2.5.3.5. Curva de función de Coliformes Termotolerantes (Fecales)

La curva de Coliformes Termotolerantes para el ICAM se construyó teniendo en cuenta la escala de valoración definida, la normatividad vigente (MinAmbiente, 1984), curvas teóricas, datos de la REDCAM y los resultados del IV Taller Nacional de Expertos (Tabla 9 y Figura 5).

**Tabla 9.** Categorías y escala de valoración para Coliformes Fecales.

Categorías	Índice	CTE (NMP/100mL)
Óptima	90 – 100	0,0 – 50,0
Adecuada	70 – 90	50,0 – 100,0
Aceptable	50 – 70	100,0 – 200,0
Inadecuada	25 – 50	200,0 – 2000,0
Pésima	0 – 25	≥ 2000,0

Fuente: INVEMAR, 2011.



**Figura 5.** Curva o subíndice de Coliformes Fecales.

Fuente: INVEMAR, 2011.

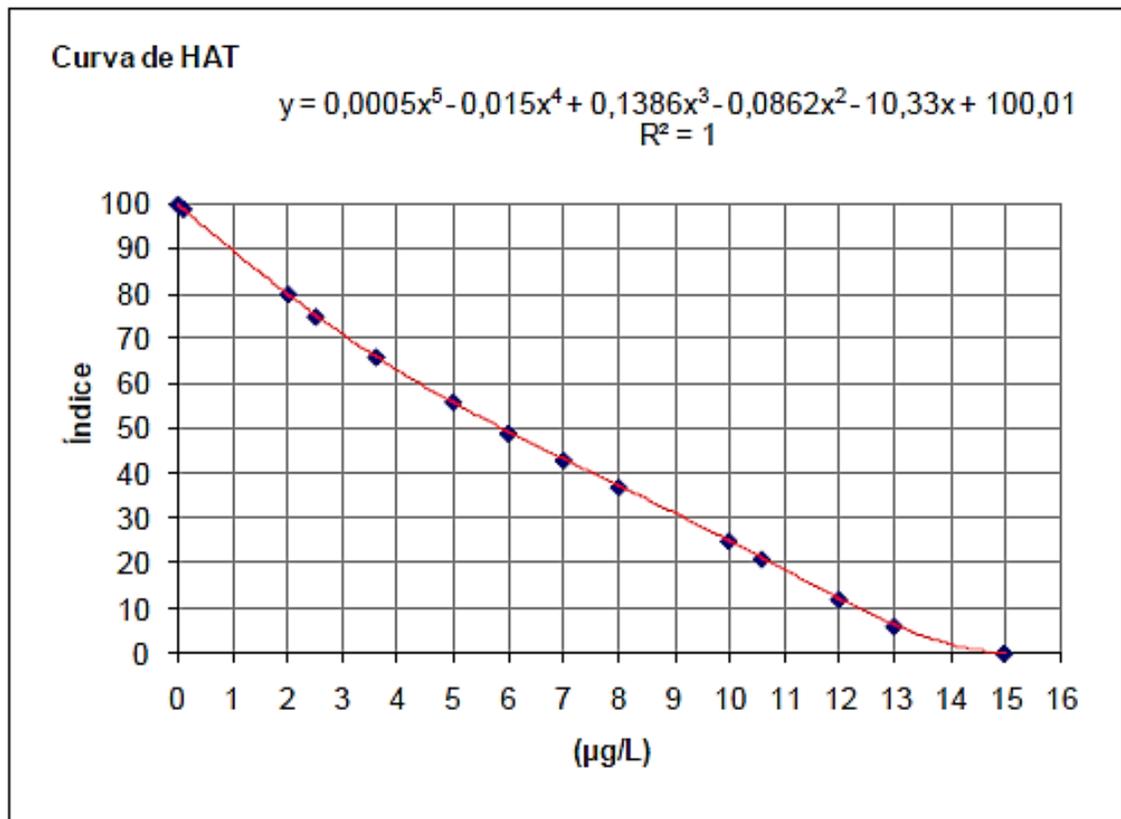
### 2.5.3.6. Curva de función de Hidrocarburos de Petróleo

La curva de HAT para el ICAM se construyó teniendo en cuenta los valores de referencia de Unesco 1984, datos de la REDCAM, la escala de valoración definida y los resultados del IV Taller Nacional de Expertos (Tabla 10 y Figura 6).

**Tabla 10.** Categorías y escala de valoración para HAT.

Categorías	Índice	HAT (µg/L)
Óptima	90 – 100	0,0 – 1,0
Adecuada	70 – 90	1,0 – 2,5
Aceptable	50 – 70	2,5 – 5,0
Inadecuada	25 – 50	5,0 – 10,0
Pésima	0 – 25	≥ 10,0

Fuente: INVEMAR, 2011.



**Figura 6.** Curva o subíndice de Hidrocarburos de Petróleo.

Fuente: INVEMAR, 2011.

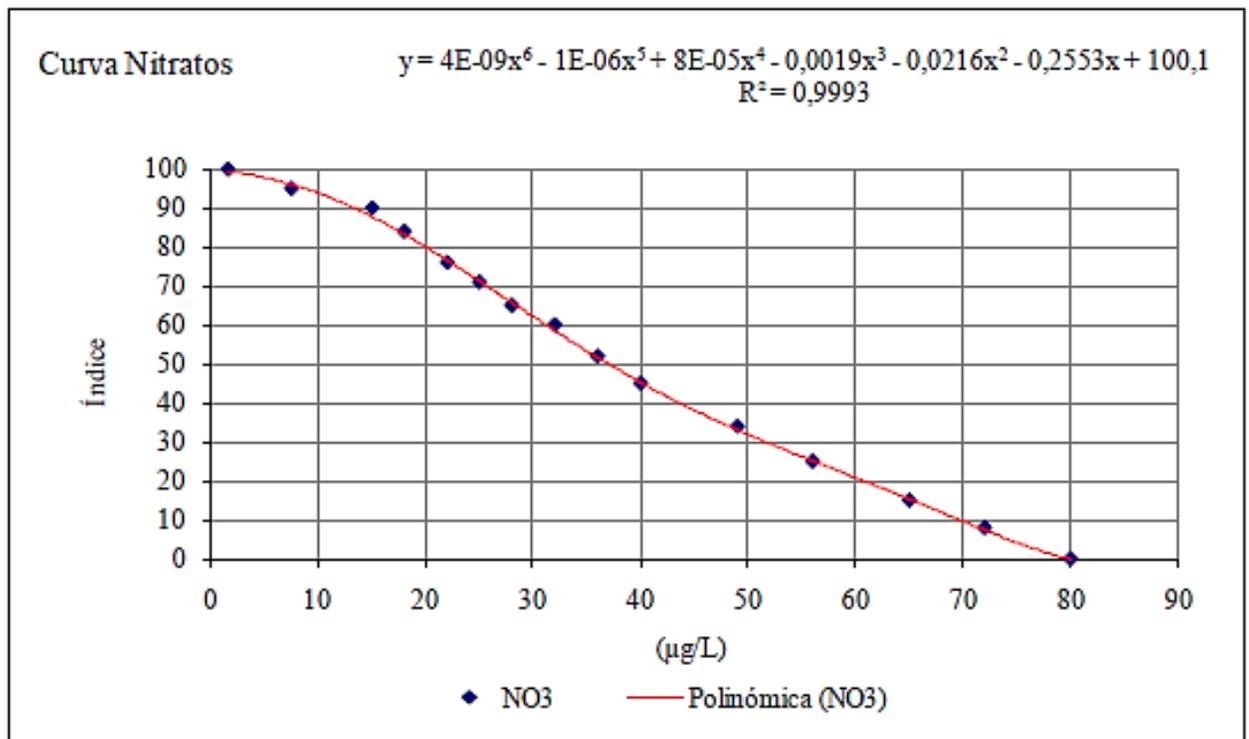
### 2.5.3.7. Curva de función de Nitratos

La curva de NO<sub>3</sub> para el ICAM se construyó teniendo en cuenta la escala de valoración definida, los valores de referencia para sitios eutróficos de aguas marinas y costeras tropicales, datos de la REDCAM y los resultados del IV Taller Nacional de Expertos (Tabla 11 y Figura 7).

**Tabla 11.** Categorías y escala de valoración para Nitratos.

Categorías	Índice	NO <sub>3</sub> (µg/L)
Óptima	100 – 90	1,5 – 15,0
Adecuada	90 – 70	15,0 – 25,0
Aceptable	70 – 50	25,0 – 35,0
Inadecuada	50 – 25	35,0 – 70,0
Pésima	25 – 0	≥ 70,0

Fuente: INVEMAR, 2011.



**Figura 7.** Curva o subíndice de Nitratos.

Fuente: INVEMAR, 2011.

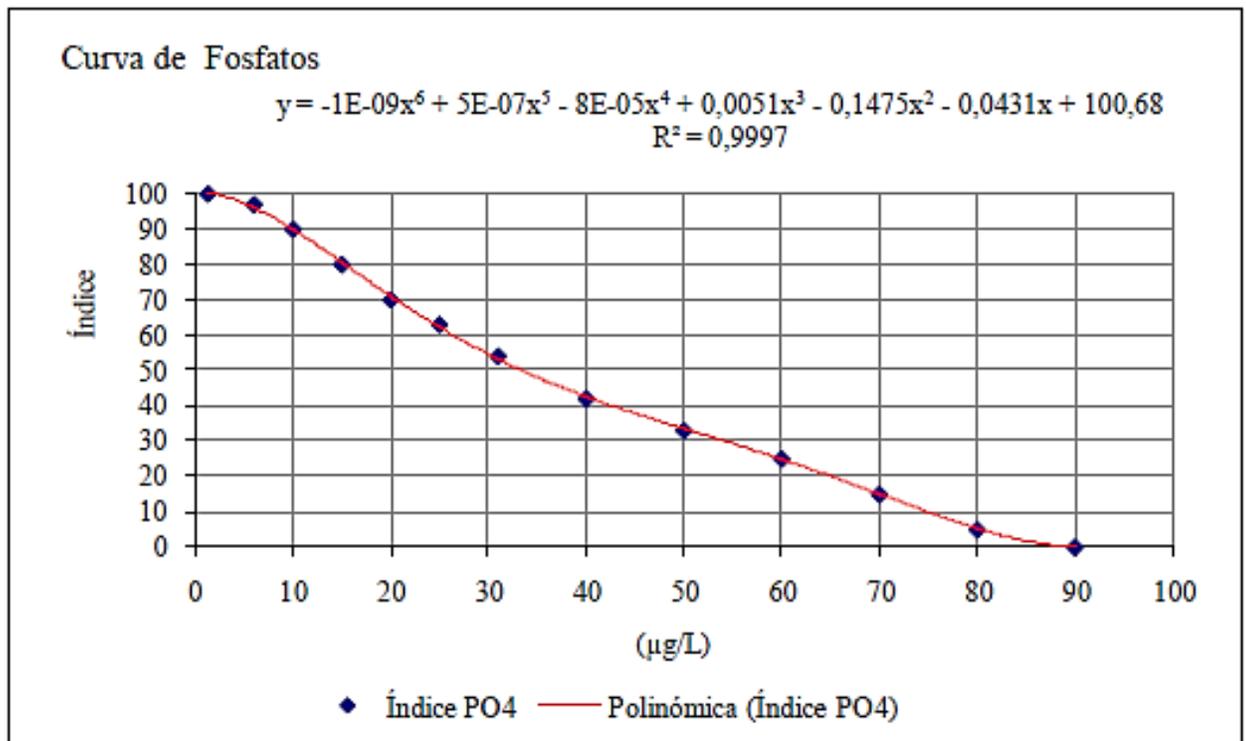
### 2.5.3.8. Curva de función de Fosfatos

La curva de Fosfatos (ortofosfatos, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) para el ICAM se construyó teniendo en cuenta la escala de valoración definida, los valores de referencia para sitios eutróficos de aguas marinas y costeras tropicales (Tabla 12 y Figura 8).

**Tabla 12.** Categorías y escala de valoración para Ortofosfatos.

Categorías	Índice	PO <sub>4</sub> (µg/L)
Optima	100 – 90	1,3 – 10,0
Adecuada	90 – 70	10,0 – 20,0
Aceptable	70 – 50	20,0 – 30,0
Inadecuada	50 – 25	30,0 – 80,0
Pésima	25 – 0	≥ 80,0

Fuente: INVEMAR, 2011.



**Figura 8.** Curva o subíndice de Ortofosfatos

Fuente: INVEMAR, 2011.

La Tabla 13 resume las ecuaciones para todos los parámetros del ICAM.

**Tabla 13.** Ecuaciones de función de las curvas para determinar el subíndice (Ic) del ICAM.

Variable	Ecuaciones de función
Oxígeno Disuelto	$X_{OD} = 0,0025 (OD)^6 - 0,0718 (OD)^5 + 0,7505 (OD)^4 - 3,6881 (OD)^3 + 9,4112 (OD)^2 + 0,5998 (OD) + 0,3385$ $R^2 = 0,9996$
pH	$X_{pH} = -0,0046(pH)^6 + 0,6046 (pH)^5 - 16,787 (pH)^4 + 197,04 (pH)^3 - 1126,5(pH)^2 + 3085,4 (pH) - 3222,7$ $R^2 = 0,9762$
Sólidos Suspendidos	$X_{SST} = -1E-10 (SST)^5 + 8E-08 (SST)^4 - 5E-05 (SST)^3 + 0,0102 (SST)^2 - 1,2072 (SST) + 98,287$ $R^2 = 0,998$
DBO <sub>5</sub>	$X_{DBO} = -0,0252 (DBO)^5 - 0,1176 (DBO)^4 + 4,7091 (DBO)^3 - 22,767 (DBO)^2 + 6,0583 (DBO) + 99,403$ $R^2 = 0,997$
Coliformes termotolerantes	$X_{CTE} = 5E-18 (CTE)^6 - 5E-14 (CTE)^5 + 2E-10 (CTE)^4 - 5E-07 (CTE)^3 + 0,0005 (CTE)^2 - 0,3119 (CTE) + 102,48$ $R^2 = 0,999$
Hidrocarburos	$X_{HAT} = 0,0005 (HAT)^5 - 0,015 (HAT)^4 + 0,1386 (HAT)^3 - 0,0862 (HAT)^2 + -10,33 (HAT) + 100,01$ $R^2 = 1$
Nitratos	$X_{NO3} = 4E-09 (NO3)^6 - 1E-06 (NO3)^5 + 8E-05 (NO3)^4 - 0,0019 (NO3)^3 - 0,0216 (NO3)^2 - 0,2553 (NO3) + 100,1$ $R^2 = 0,9993$
Fosfatos	$X_{PO4} = -1E-09 (PO4)^6 + 3E-07 (PO4)^5 - 5E-05 (PO4)^4 + 0,0038 (PO4)^3 - 0,11520 (PO4)^2 - 0,2198 (PO4) + 100,81$ $R^2 = 0,999$

Fuente: INVERMAR, 2011.

#### 2.5.4. Clasificación del indicador

El valor del ICAM permite clasificar el recurso a partir de rangos establecidos que son definidos considerando el o los usos a evaluar. Las categorías, esquemas o escalas de clasificación son un punto de igual o mayor interés que el cálculo en sí del índice (ver Tabla 14), pues es aquí donde finalmente el valor obtenido es transformado en una característica que define la calidad final del agua (Escala: optima, muy buena, buena, aceptable, inadecuada y pésima). En la literatura los rangos de calificación de los ICAM varía con cada índice y criterio del autor (Fernández et al., 2004; Samboni et al., 2007; Torres et al., 2009; INVERMAR, 2011), sin embargo, la mayoría presenta rangos similares y escalas de 4 a 5 categorías.

**Tabla 14.** Valores indicativos del grado de contaminación de las aguas marinas colombianas.

Valoración	Categorías	Nivel de riesgo	Medida a adoptar	Frecuencia
Óptima	100 – 90	No hay	Caracterización/ Diagnóstico	Anual
Adecuada	90 – 70	No hay	Caracterización/ Diagnóstico/ Verificación	Anual
Aceptable	70 – 50	Bajo	Monitoreo/ Evaluación Físico - químicos y Tóxicos	Semestral
Inadecuada	50 – 25	Medio	Monitoreo/ Bioensayos/ Medidas de control y vigilancia/ Evaluación Físico - químicos y Tóxicos Plan de Contingencia	Mensual Trimestral
Pésima	25 – 0	Alto	Monitoreo y Seguimiento/ Bioensayos/ Evaluación Físico - químicos y Tóxicos/ Plan de Contingencia/ Aplicación de medidas de choques	Mensual Trimestral

Fuente: INVEMAR, 2011.

## 2.6. SISTEMAS DE ALERTA PARA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Los primeros mapas de sensibilidad ambiental (MASA) fueron mapas sobre el papel codificados por colores, de distribución limitada (debido principalmente al costo de la producción) y sin capacidad de fácil actualización. Con la llegada de los sistemas de información geográfica (SIG) informatizados, la automatización de la información recogidas en los MASA y su integración con otras herramientas útiles como los programas de predicción de la trayectoria de las manchas de hidrocarburo, se ha abierto un nuevo campo de posibilidades y mejora. De este modo, estos han pasado de ser un producto estático de distribución limitada a una herramienta útil, eficaz y versátil para la planificación y respuesta frente a los derrames de hidrocarburo en ambientes marinos (Vargas, 2008).

Las Metodologías de Ordenamiento Ambiental (MOA) para la Zona Costera-Marina, se basan en el diagnóstico de la condición actual y en la construcción de una visión de futuro. Las propuestas de ordenamiento ambiental deben incluir la zonificación de los ámbitos continental y marino según sus condiciones generales de uso, la

identificación de las unidades de gestión ambiental, la determinación de las categorías de ordenación ambiental y la formulación de lineamientos de política ambiental para el desarrollo integral de la zona de playas (Ayala, 2006).

Diversos estudios sugieren que los actuales modelos de desarrollo económico de algunas ciudades costeras, basados en el turismo de masas, pueden estar favoreciendo el aumento de la intensidad de presiones asociadas a contaminación, desarrollo urbano e infraestructura, reclamación de la tierra y sobreexplotación de recursos costeros. Los beneficiarios de los servicios de este socio-ecosistema podrían verse afectados por estos tensores, lo que repercutiría en la posibilidad de que gran número de ellos no vuelva a dichos ecosistemas (Guerra et al., 2015).

### 3. ESTADO DEL ARTE

La medición de la calidad ambiental en playas turísticas se ha realizado durante años identificando y proponiendo un grupo mínimo de variables que deben ser medidas en los planes de monitoreo de la calidad de agua, sedimentos y suelos con el fin de mejorar la gestión, los cuales deberán estudiarse, validarse e implementarse para ser implementados como indicadores, buscando representar mejor las condiciones ambientales en la que se encuentran los cuerpos marinos, sedimentos y los suelos en zonas portuarias (Rendón et al., 2010).

En el 2011, Jonathan  desarrolló una encuesta sobre las concentraciones de metales (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, V, Zn) en el agua de las playas y los sedimentos. Se informó desde el destino turístico de la ciudad de Acapulco, en el Costa Pacífica de México. La concentración de metales traza disueltos (MDT) en agua de las playas y de ácido trazas de metales lixiviables (ALMTs) en los sedimentos indica que son antropogénicos en la naturaleza debido al aumento de la actividad turística en los lugares de la playa que se encuentran llenos de personas. El análisis estadístico indica que el hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) juegan un papel importante como eliminadores de metales, tanto en el medio (agua y sedimento) como el valor más alto de otros metales en el sitio específico o área de estudio, lo que indica que son transportados desde el área local. Los resultados de la comparación indican que la calidad del agua de las playas se han deteriorado más de sedimentos y se deben tener especial atención para restaurar la calidad de las playas (Jonathan et al., 2011).

Con el fin de facilitar la interpretación de los datos fisicoquímicos y microbiológicos cada vez más agencias medioambientales, universidades e institutos recurren a los índices de calidad y contaminación del agua (ICA e ICO), los cuales mediante una

expresión matemática que representa todos los parámetros valorados permiten evaluar el recurso hídrico. La elaboración y aplicación de cualquier indicador es específica para cada región o fuente en particular; pero su construcción básicamente consta de tres pasos fundamentales: la selección de las variables, la determinación de los subíndices para cada parámetro y la elección de la fórmula de agregación. Las variables que más se tienen en cuenta en este proceso son: pH, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), una forma de Nitrógeno, Fosfatos y Sólidos Totales (SST). Por lo tanto, su uso no puede ser generalizado ya que se podría terminar realizando juicios subjetivos, además bajo un solo indicador no se puede evaluar la dinámica de un sistema, por lo que es importante también el estudio de cada variable individualmente. Este artículo presenta una revisión de los indicadores ICA e ICO más utilizados en algunos países de América y Europa, así como su diseño e interpretación, que se basan en parámetros fisicoquímicos para su evaluación (Samboni et al., 2007).

Para el 2010, Beamonte y colaboradores, midieron la calidad del agua utilizando un índice estocástico construido con herramientas de teoría de la probabilidad. Su gran ventaja es que muestra la incertidumbre subyacente en la calidad de la clasificación que resulta de las variaciones en los datos de las características individuales físicas y químicas, considerándolos como variables aleatorias. Compararon los resultados obtenidos de la calidad del agua con un índice (el índice probabilístico, PI) y un índice clásico determinista (el índice de calidad general, GqI). También hicieron una comparación con otros índices habituales con el fin de validar el índice PI. Para demostrar la aplicación de PI y los índices de GqI, utilizaron información de la Confederación Hidrográfica del Júcar (España) para el período entre 1990 y 2005. El análisis mostró que el GqI correlacionó positivamente con el de PI en todo el período de estudio. Debido a su alto potencial, el índice de PI podría utilizarse para analizar posibles cambios temporales en la calidad del agua, así como para determinar la influencia de cada variable en la calidad del agua. Los resultados sugieren una mejora en la calidad del agua en el tiempo. Cinco de

las nueve variables de calidad de agua del cálculo de PI mejoraron significativamente la calidad del agua. La novedad de este trabajo es el diseño de un índice que toma en cuenta la incertidumbre inherente a los datos y su aplicación para medir la calidad del agua desde una perspectiva general (Beamonte et al. 2010).

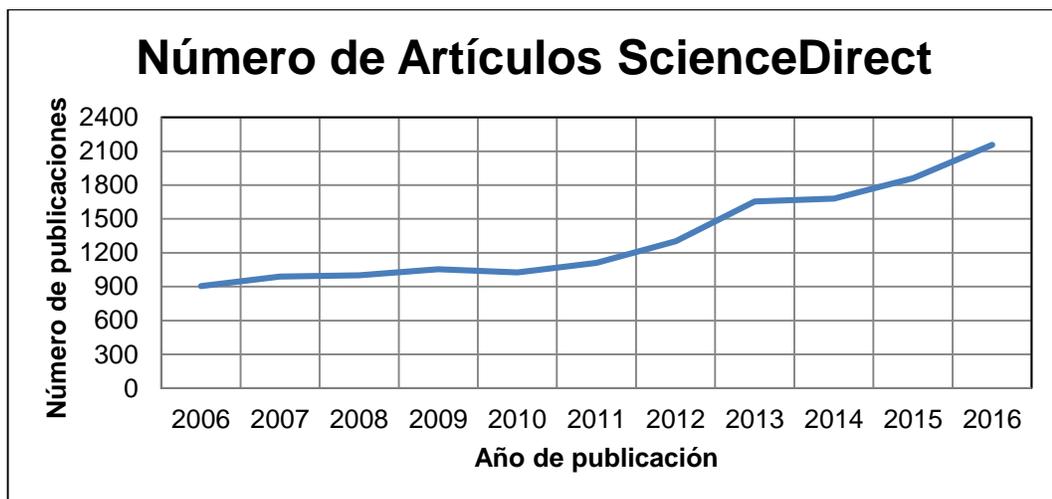
Más adelante en el 2016, Chung-ling y colaboradores identificaron los factores que afectan a los entornos de las playas para establecer una estructura de evaluación multicriterio de playas turísticas. Esta estructura está destinada a informar a los administradores de playas en dónde y cómo deben invertir recursos para lograr el turismo sostenible de estas. Se realizó una revisión crítica de la literatura relacionada con los criterios de calidad de playas. Las entrevistas con expertos se llevaron a cabo en la identificación de factores con respecto a una playa turística de gran uso en el sur de Taiwan. Cuatro dimensiones principales fueron extraídas de una serie de factores, utilizando el análisis factorial: limpieza de ambiente de playas, seguridad, protección de playas y la gestión y las instalaciones y servicios. El enfoque del proceso de Jerarquía Analítica Difusa (AHP), es un método de toma de decisiones sobre la base de comparaciones por pares entre los criterios. Se utilizó para construir una estructura de tres niveles de evaluación, con criterios y pesos asociados para los administradores de playas. Los resultados muestran que la limpieza del ambiente de las playas y la seguridad se consideran factores relativamente importantes en el segundo nivel. Entre los 15 atributos: las normas de calidad del agua, playas limpias, el acceso seguro a las playas, la gestión de los diferentes usos, sedimentos y manejo del hábitat, la provisión de información, descarga de residuos controlado y un comité de gestión de las playas, son la mitad en el tercer nivel. Se discuten las implicaciones de gestión de los resultados con énfasis en la gestión de la playa de una manera integrada. El modelo paso a paso se destacó como una manera práctica de ayudar a las autoridades para encontrar factores prioritarios y participar en la gestión eficaz de las playas (Chung-ling et al. 2016).

En ese mismo año (2016), Barbosa y colaboradores realizaron un diagnóstico visual de la contaminación de residuos sólidos de una playa turística: Pernambuco, Brasil. Los patrones de acumulación de residuos sólidos en la playa de Tamandaré, Estado de Pernambuco (Brasil), se evaluó a partir de febrero de 2001 y julio de 2002. Esta es de fácil acceso, de uso frecuente y hay un servicio de limpieza pública. Ella se encuentra bajo la influencia de tres pequeñas cuencas hidrográficas costeras. El estudio divide visualmente la playa en 15 segmentos de acuerdo con el nivel de contaminación de residuos sólidos: en ausencia (A), trace (B), inaceptable (C) y objetables (D). Los niveles más bajos de contaminación se encontraron en la parte media de la zona de estudio que son los más vulnerables con respecto a la erosión costera que presenta numerosas intervenciones en la playa, la ausencia de vegetación nativa y en menor anchura. Los niveles más altos de contaminación fueron en los extremos norte y sur de la zona, donde no hay evolución, la morfología de ella deposita sedimentos, hay vegetación nativa y la playa es más ancha. El nivel D no estuvo presente en la zona (Barbosa. 2016).



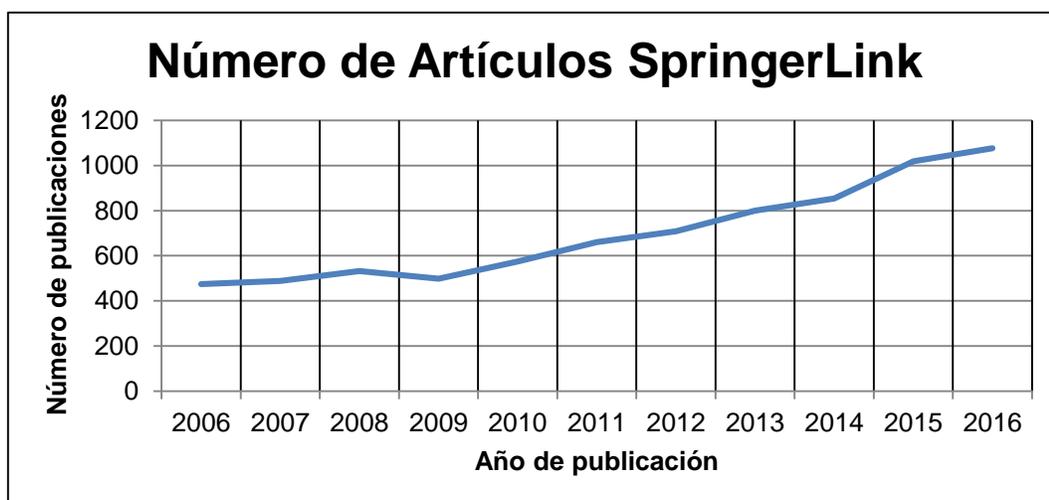
Sumado a esto, se ha encontrado una variedad muy amplia de parámetros utilizados para determinar la calidad ambiental, así como una alta concentración de investigaciones en condiciones sanitarias de las playas turísticas desarrolladas por pocos grupos de investigación, indicando limitaciones en la difusión o en el alcance y el nivel de detalle del conocimiento alcanzado en esta área de investigación. Brasil encabeza los trabajos realizados, seguido de México y Colombia. La necesidad de incrementar el desarrollo de esta temática es alta, partiendo de una homogenización en la terminología y los parámetros utilizados para determinar la calidad ambiental. En los últimos diez años, se ha encontrado un incremento de producción de documentos relacionados con la calidad ambiental en playas, lo que refleja un interés creciente por el estado de las playas de parte de investigadores, que se presume es en respuesta al aumento en la actividad turística, así como el efecto que tiene la calidad ambiental de las playas en la promoción y desarrollo de los destinos (Saltaren et al., 2013).

Luego de una búsqueda realizada el 10 de diciembre de 2016 en las bases de datos ScienceDirect ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)) y SpringerLink (<http://link.springer.com/>), utilizando las palabras claves “Environmental Quality on Beaches”, se evidenció un aumento de artículos publicados desde el 2006 hasta la actualidad (Figura 9 y Figura 10), esto se debe a una creciente conciencia ambiental en nuestra sociedad que ha sido paralela con el desarrollo e implementación de sistemas de gestión ambiental en las playas turísticas (Mir Grual et al., 2015).



**Figura 9.** Número de artículos publicados sobre calidad ambiental en playas entre 2006 y 2016 según registro de ScienceDirect.

Fuente: Autores.



**Figura 10.** Número de artículos publicados sobre calidad ambiental en playas entre 2006 y 2016 según registro de SpringerLink.

Fuente: Autores.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la calidad en aguas de las playas del sector turístico de Cartagena de Indias, mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos e implementación de índices ambientales para la elaboración de un mapa de riesgo en época seca.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas de las playas.
- Calcular el Indicador de Calidad de Agua Marina y Estuarina (ICAM) para las playas del sector turístico de Cartagena.
- Establecer, en un mapa de riesgo, los puntos críticos y las zonas de mayor vulnerabilidad de alteración ambiental en aguas de las playas del sector turístico de Cartagena.

## 5. METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- a) Localización de zona de estudio y puntos de muestreo.
- b) Seleccionar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y cantidad de muestras a tomar.
- c) Identificación de parámetros “*in situ*” y “*ex situ*”.
- d) Recolección de muestras y medición de variables “*in situ*”.
- e) Preservación de muestras “*ex situ*”.
- f) Transporte de muestras al laboratorio para su respectivo análisis.
- g) Entrega de resultados por parte del laboratorio.
- h) Aplicación de ecuación del ICAM.
- i) Análisis y discusión de resultados.
- j) Construcción de mapa de riesgo de la ciudad de Cartagena.

La Figura 11 muestra el flujograma de las actividades realizadas durante este proyecto



**Figura 11.** Metodología de las actividades realizadas.

Fuente: Autores.

## 5.1. RUTA DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Actualmente, la ciudad de Cartagena cuenta con una extensión de playa de 17 Km, de los cuales se tomó una ruta de recolección de 14,6 Km (85% de estas). La localización de los puntos de muestreo se realizó con base en los diferentes sectores que tiene la extensión de playa de la ciudad (Tabla 15 y Figura 12).

**Tabla 15.** Extensión de playa por cada punto de muestreo.

Punto de muestreo (Playa)	Longitud (Km)
Boquilla	6,00
Crespo	2,50
Marbella	1,30
Cabrero	0,75
Bocagrande	2,50
Laguito	0,25
Castillogrande	1,30

Fuente: Autores.

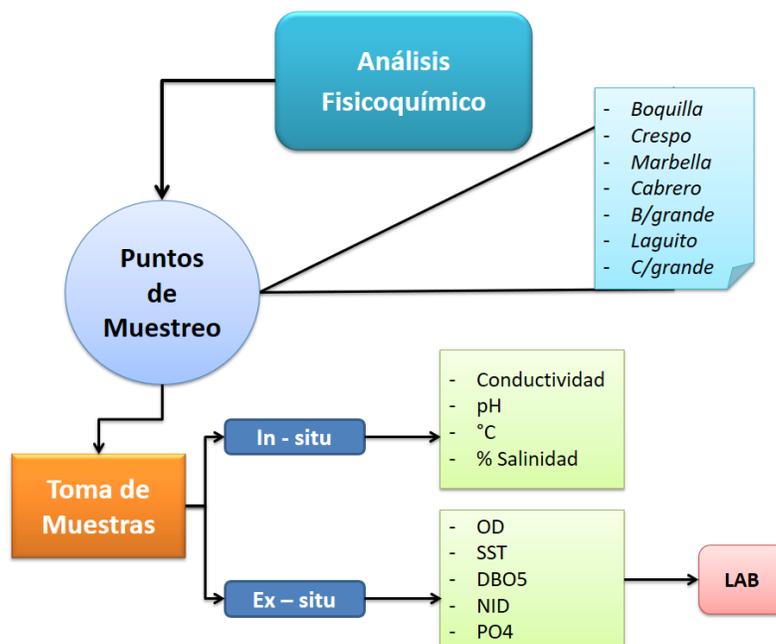


**Figura 12.** Ruta de muestreo.

Fuente: Autores.

## 5.2. ANÁLISIS FISCOQUÍMICO

La Figura 13 explica de manera general la metodología utilizada en el análisis fisicoquímico.



**Figura 13.** Metodología utilizada para el análisis fisicoquímico.

Fuente: Autores.

Los parámetros fisicoquímicos se dividieron en dos categorías: (a) los *“in situ”* (fueron medidos en el lugar del muestreo) y (b) los *ex-situ* (se transportaron hacia el Laboratorio Departamental de Salud Pública).

*“In situ”*: temperatura, pH y salinidad.

*“Ex situ”*: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, DBO<sub>5</sub>, nitritos, nitratos y ortofosfatos.

### 5.2.1. Toma de muestras

El régimen pluviométrico del Caribe colombiano está dividido en 3 épocas: seca (de diciembre a abril), de transición o veranillo de San Juan (mayo a agosto) y lluviosa (septiembre a noviembre). Las muestras fueron recolectadas

mensualmente tanto en época lluviosa (en el mes de septiembre de 2015) y época seca (durante los meses de febrero, marzo y abril de 2016). Donde septiembre de 2015, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estados Atmosféricos (IDEAM), se consideró seco ya que se presentó un déficit de precipitaciones causadas por el fenómeno de “El Niño” (IDEAM, 2015).

En cada uno de los 7 puntos (ver Tabla 16 y Figura 12), se tomó una muestra de agua de mar en el transcurso de las horas de la mañana (7:00 – 10:00 am). En cada playa se extrajo 1L de agua en una bolsa de polietileno (Ziploc).

**Tabla 16.** Punto de muestreo y tipo de agua colectada para análisis fisicoquímico.

Punto de muestreo	Coordenadas		Tipo de muestra
	Latitud (N)	Longitud (W)	
Boquilla	10°28'07,9"	75°30'04,5"	Agua de mar
Crespo	10°26'21,2"	75°31'53,4"	Agua de mar
Marbella	10°26'08,7"	75°32'17,8"	Agua de mar
Cabrero	10°26'00,3"	75°32'32,4"	Agua de mar
Bocagrande	10°24'14,9"	75°33'22,2"	Agua de mar
Laguito	10°23'47,9"	75°33'52,0"	Agua de mar
Castillogrande	10°23'37,3"	75°33'12,2"	Agua de mar

Fuente: Autores.

### 5.2.2. Análisis de parámetros fisicoquímicos

**Tabla 17.** Parámetros fisicoquímicos analizados.

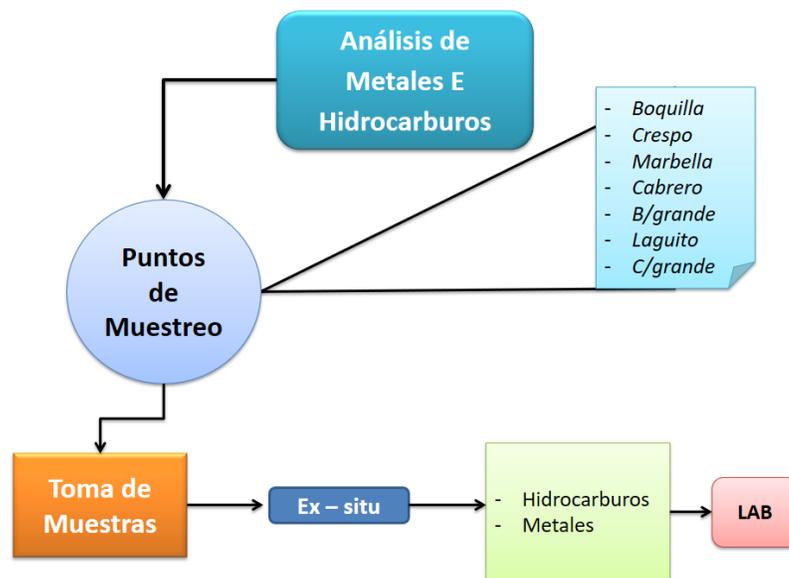
Análisis de parámetros fisicoquímicos	
Temperatura	La temperatura se midió en el lugar del muestreo con una sonda multiparámetro marca YSI.
pH	El pH se midió en el lugar del muestreo con una sonda multiparámetro, marca YSI, según lo estipulado en manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas (Severiche et al., 2013).

<b>Oxígeno Disuelto (OD)</b>	Para la determinación de Oxígeno Disuelto se utilizó el método electrométrico (IDEAM, 2007).
<b>Salinidad</b>	La salinidad se midió en el lugar del muestreo con una sonda multiparámetros marca YSI.
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	Para la determinación de Sólidos Suspendidos Totales se midió en laboratorio por medio de un equipo Hach Sension 7, mediante un electrodo de conductividad.
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	Para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se utilizó el método de incubación de 5 días (INVEMAR, 2003).
<b>Nitritos y nitratos</b>	Para la determinación de nitritos y nitratos se utilizó el método de espectrofotometría (INVEMAR, 2003).
<b>Ortofosfatos</b>	Para la determinación de fosfatos se utilizó el método de espectrofotometría (INVEMAR, 2003).

Fuente: Autores.

### 5.3. ANÁLISIS DE METALES E HIDROCARBUROS EN AGUA

La siguiente figura explica de manera general la metodología utilizada en el análisis de metales e hidrocarburos.



**Figura 14.** Metodología utilizada para el análisis de metales e hidrocarburos.

Fuente: Autores.

### 5.3.1. Toma de muestras

Las muestras fueron recolectadas solamente en el mes de septiembre del 2015. Se extrajo una muestra puntual de agua de mar en cada una de las 7 playas, en los mismos puntos donde se muestrearon los parámetros fisicoquímicos (ver Tabla 16 y Figura 12). Se tomó aproximadamente 1L de muestra de agua de mar para hacer la determinación de metales. Las muestras fueron transportadas a 0°C y en total oscuridad.

### 5.3.2. Procedimiento de análisis

Las muestras fueron llevadas a los laboratorios del INVEMAR y se analizaron mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica para metales y cromatografía de gases para hidrocarburos disueltos y dispersos (INVEMAR, 2003), ver Tabla 18.

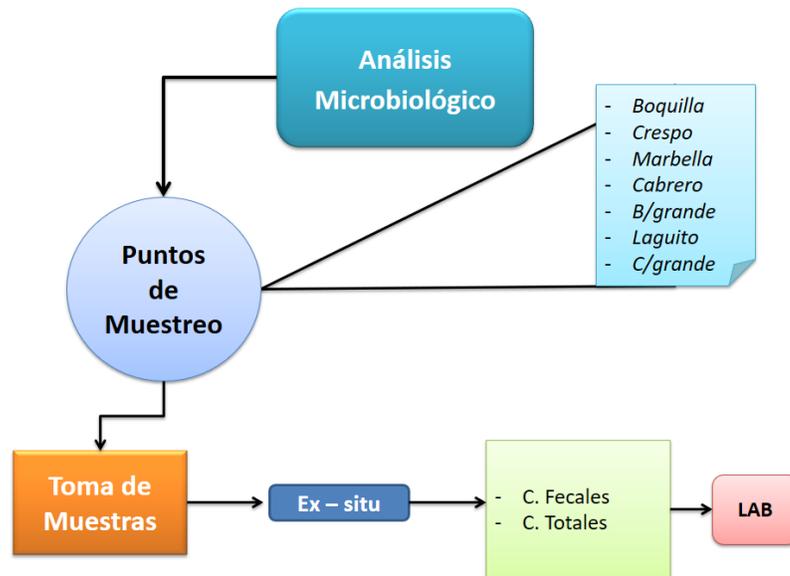
**Tabla 18.** Metales pesados y HDD determinados en los diferentes puntos de muestreo.

Metales	Método	Hidrocarburos disueltos y dispersos	Método
Cobre (Cu)	Absorción atómica	Alifáticos	Cromatografía de gases
Plomo (Pb)			
Mercurio (Hg)			
Níquel (Ni)			
Hierro (Fe)			
Cromo (Cr)			
Cadmio (Cd)			
Arsénico (As)			
Zinc (Zn)			

Fuente: Autores.

## 5.4. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

La siguiente figura explica de manera general la metodología utilizada en el análisis microbiológico.



**Figura 15.** Metodología utilizada para el análisis microbiológico.

Fuente: Autores.

El procedimiento realizado para determinación de organismos indicadores de contaminación fecal, se describen a continuación:

### 5.4.1. Toma de muestras

El régimen pluviométrico del Caribe colombiano está dividido en 3 épocas: seca (de diciembre a abril), de transición o veranillo de San Juan (mayo a agosto) y lluviosa (septiembre a noviembre). Las muestras fueron recolectadas mensualmente tanto en época lluviosa (en el mes de septiembre de 2015) y época seca (durante los meses de febrero, marzo y abril de 2016).

Para la determinación de coliformes fecales y totales, en cada uno de los 7 puntos, se tomó una muestra de agua de mar en el transcurso de las horas de la mañana

(7:00 – 9:00 am). En cada playa se extrajeron 500 mL de agua en un recipiente con Tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) y etiquetada. De acuerdo al manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos del INVEMAR, la recolección se puede hacer manualmente introduciendo la botella colectora bajo la superficie, procurando siempre hacerlo a la misma profundidad (25 cm aproximadamente). Las muestras se tomaron de acuerdo a las consideraciones estipuladas en la norma NTC - ISO 5667-2.

#### **5.4.2. Preservación de muestras**

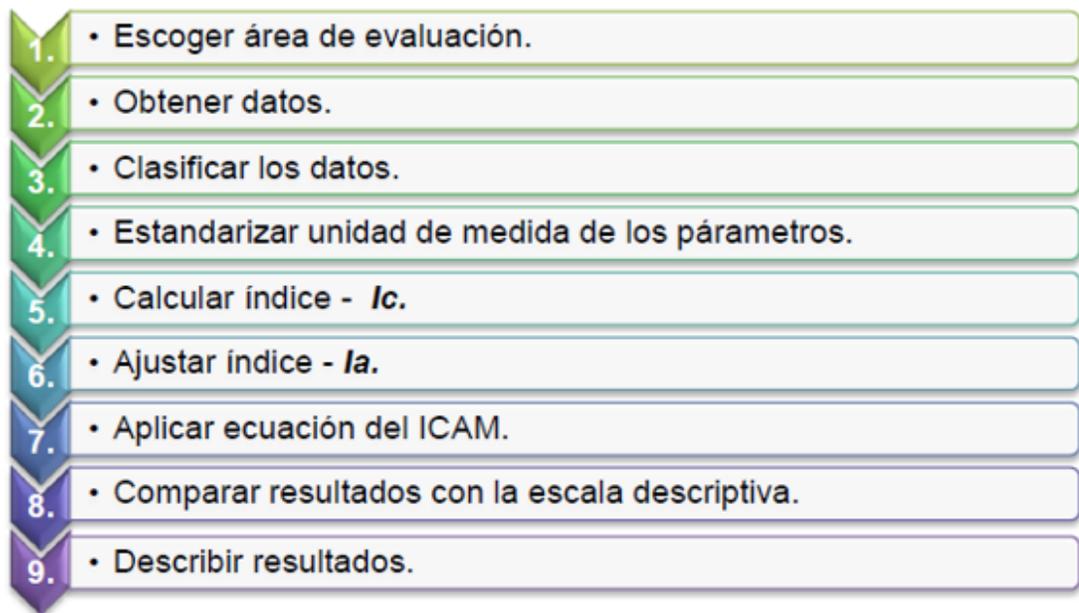
Las muestras de agua de mar fueron preservadas con Tiosulfato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) en una cava con hielo a temperaturas de 0 °C y a la oscuridad durante su transporte hacia el Laboratorio de Química de la Universidad Tecnológica de Bolívar y el Laboratorio Departamental de Salud Pública de Bolívar.

#### **5.4.3. Determinación de coliformes totales y fecales**

Para la determinación de coliformes totales y fecales se llevaron las muestras al laboratorio departamental de salud pública en donde utilizaron el método de filtración por membrana (Romero, 2009).

### **5.5. DETERMINACIÓN DEL INDICADOR DE CALIDAD (ICAM)**

La metodología utilizada para la determinación del ICAM se muestra de manera general en la Figura 16 y se describe detalladamente en el apartado 2.5.2.



**Figura 16.** Procedimiento para el cálculo del ICAM.

Fuente: Autores.

#### 5.5.1. Procedimiento en detalle:

1. Selección del área de evaluación. Consiste en seleccionar el área donde se pretende aplicar el indicador y el uso potencial de la misma, en este caso se escogieron las playas del sector turístico la ciudad de Cartagena de Indias (Tablas 15, 16 y Figura 12).
2. Obtención datos. Lo que se hace en esta etapa es una consulta de los datos útiles de los parámetros requeridos, conforme al nivel de agregación proyectado en el área de evaluación seleccionada, para este caso se obtuvieron datos *in situ* y *ex situ* nombrados en los apartados 5.2, 5.3 y 5.4.
3. Clasificación los datos. Aquí se catalogan los datos arrojados por la consulta y se verifica su disponibilidad según el tipo de agua (marina o estuarina). En el caso de este proyecto: agua marina (Tabla 16).

4. Estandarización los datos de los parámetros. Es la acción de organizar y convertir los datos de los parámetros a las unidades de medida de cada parámetro, de acuerdo a las curvas de funcionamiento. Se ajustaron los valores de los parámetros de acuerdo a las unidades correspondientes.
5. Cálculo del índice –  $I_c$ . Es aplicar la fórmula de la curva de funcionamiento de cada parámetro  $I_c$ , nombradas en la Tabla 13.
6. Ajuste índice –  $I_a$ . Consiste en hacer concordar el índice calculado con la escala predeterminada de cero a cien (0 - 100), utilizando una ecuación con funciones condicionales de Excel. Para este caso, los valores negativos se ajustaron a 1 y lo positivos por encima de 100 se ajustaron a este mismo valor.
7. Aplicación de la ecuación (1) del indicador – ICAM de acuerdo al apartado 2.5.2.1. Se utilizan los factores de ponderación asignados para cada parámetro respectivo, aplicando las funciones condicionales necesarias y sin dejar de evaluar las celdas vacías.
8. Comparación de resultados con escala descriptiva. Después de obtener el resultado final del cálculo del indicador se utiliza la escala descriptiva para encasillarlo en alguno de los rangos de representación numérica conforme a la Tabla 14 y determinar el color característico de esa calidad.
9. Descripción los resultados. Siendo consecuentes con el objetivo de cálculo de los indicadores de calidad de aguas marinas es preciso describir los resultados obtenidos para evaluar el estado de la calidad del agua y adoptar medidas para el recurso hídrico en cuestión.

### 5.5.1.1. Ejemplo de un cálculo del indicador

Se estandarizan los datos según las especificaciones del cálculo. Para el siguiente ejemplo se escogieron los datos del segundo muestreo (Febrero de 2016) de la playa de Bocagrande. Cabe anotar que el siguiente procedimiento se repite para todas las playas y muestreos realizados:

**Tabla 19. Estandarización de los datos.**

Parámetro							
ST	OD	pH	(PO <sub>4</sub> ) <sup>-</sup>	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>	CF <sub>s</sub>	HDD	DBO
mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
35200	6,4	8,64	60	110	0	490	6

Fuente: Autores.

Se aplica la fórmula de la curva de funcionamiento de cada parámetro  $I_c$ , mostradas en la Tabla 13.

**Tabla 20. Cálculo del Índice.**

Calibración ( $I_c$ )							
ST	OD	pH	(PO <sub>4</sub> ) <sup>-</sup>	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>	CF <sub>s</sub>	HDD	DBO
mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
-5,28E+12	82,86	77,25	-1,29E+07	1,05E+05	102,48	1,33E+10	-1,51E+01

Fuente: Autores.

Se ajustan los valores obtenidos del cálculo. Los valores negativos se ajustaron a 1 y lo positivos por encima de 100 se ajustaron a este mismo valor.

**Tabla 21. Ajuste del Índice.**

Ajuste ( $I_a$ )							
ST	OD	pH	(PO <sub>4</sub> ) <sup>-</sup>	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>	CF <sub>s</sub>	HDD	DBO
mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	82,86	77,25	1	1	100	1	1

Fuente: Autores.

Se utilizan los factores de ponderación asignados en cada parámetro respectivo para calcular la ecuación (1) y luego compararlo con la escala descriptiva de la Tabla 14.

**Tabla 22. Resultado final del cálculo.**

<b>ICAM</b>	Muestra	Categoría	Escala
	2	10,1	Pésima

Fuente: Autores.

**Tabla 23. Descripción de resultados.**

Rango de clasificación o evaluación de la calidad del agua del ICAM.		
Escala	Categorías	Descripción
Pésima	25-0	Las desventajas superan las ventajas.

Fuente: Autores.

Para agilizar el cálculo del ICAM, la REDCAM cuenta con una calculadora online donde se ingresan los datos estandarizados para luego ser evaluados.

Estas en: invemar.org.co > SIAM > REDCAM

Acerca del indicador Ingreso de datos

Seleccione el índice a aplicar, uso del mismo y sustrato donde se aplica:

Sustrato  Índice  Uso

El sistema hace los cálculos asumiendo que "su" información está en las unidades acá expresadas...

Oxígeno disuelto (OD)  (mg/L) Ejemplo:1.0 ó 9

Nitratos (NO3)  (µg/L) Ejemplo:10.30 o 34

Solidos Suspendidos Totales (SST)  (mg/L) Ejemplo:15.30 o

Coliformes Termotolerantes (CTE)  (NMP/100ml) Ej:20 o 200

pH (PH)  Unidad Ej:6.8 ó 6

Hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD)  (µg/L) Ejemplo:10 ó 15

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)  (mg/L) Ejemplo: 23.5 o 45

Fosfatos (PO4)  (µg/L) Ejmplo: 96.63 o 15

**Figura 17. Calculadora online de la REDCAM.**

Fuente: INVEMAR, 2016.

## **5.6. ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGO DE ZONAS CRÍTICAS Y VULNERABLES DE PLAYAS DE LA CIUDAD DE CARTAGENA**

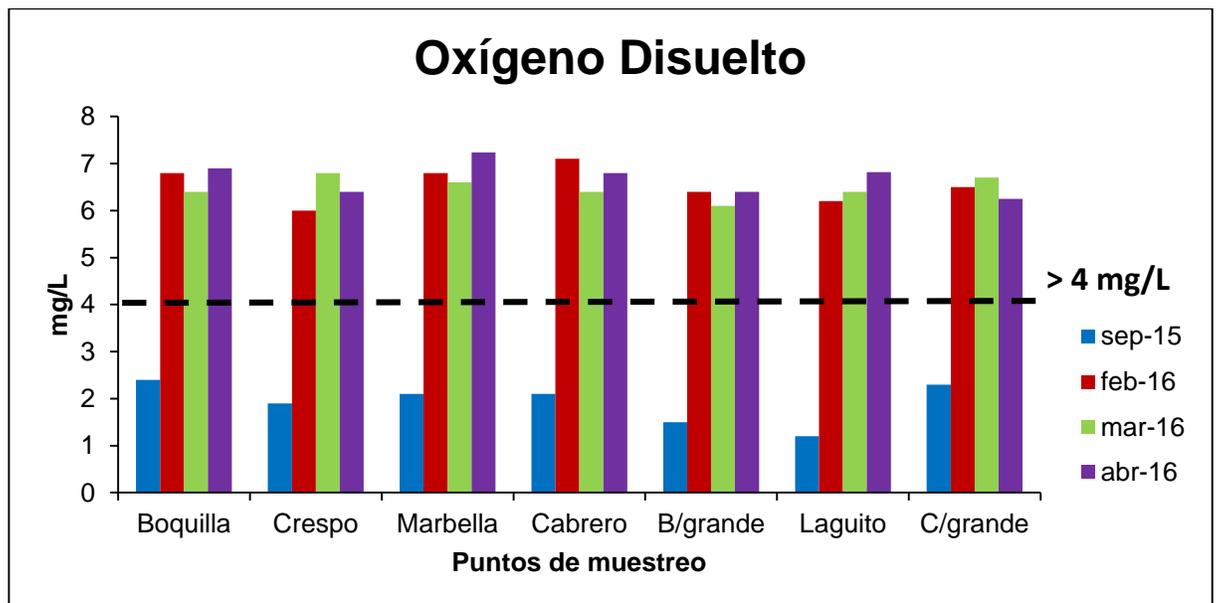
Para la elaboración de cada mapa se utilizó una base de datos georreferenciada con la información de valores de los índices de vulnerabilidad y riesgo calculados de la aplicación de los modelos lineales correspondientes y el software ArcMap de la plataforma del sistema de información geográfica Arc-GIS versión 9.3 (Torres et al., 2014).

## 6. RESULTADOS

### 6.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos de las estaciones de muestreo fueron evaluados y comparados mensualmente durante las cuatro jornadas realizadas (septiembre de 2015 y febrero, marzo y abril de 2016). Los resultados indicados en estos meses son asociados a periodo de sequía (verano). Como indican los resultados, las características fisicoquímicas del agua se encontraron directamente relacionadas con las condiciones climáticas.

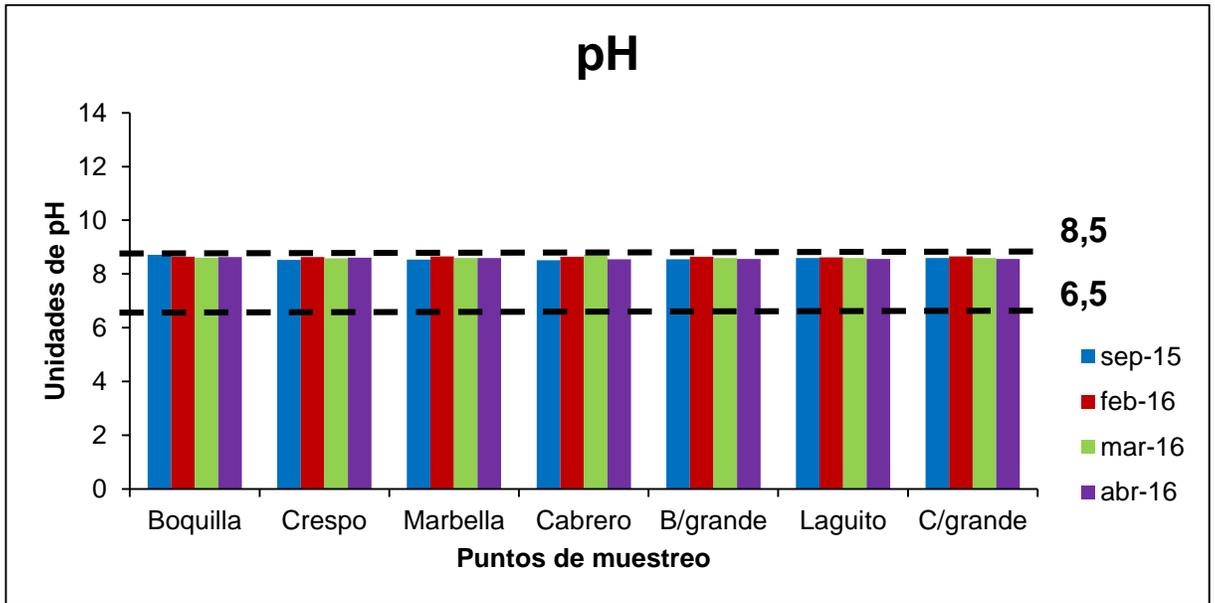
Las siguientes figuras reflejan los resultados fisicoquímicos realizados a las muestras de agua de mar, los cuales fueron comparados con el Decreto N° 1594 de 1984 y con informes del INVEMAR (NID: 14,0 - 280 µg/L; FRS: 62 µg/L) (INVEMAR, 2011), con el fin de verificar si estas muestras cumplen con las normas colombianas. Se encontró que el pH cumple con los límites establecidos. Contrario a esto, variables como  $(\text{PO}_4)^-$ ,  $(\text{NO}_2)^-$  y  $(\text{NO}_3)^-$  sobrepasan los valores de referencia.



**Figura 18.** Valores de Oxígeno Disuelto en cada playa.

Nota: La línea horizontal punteada con la etiqueta indica la correspondiente norma (---).

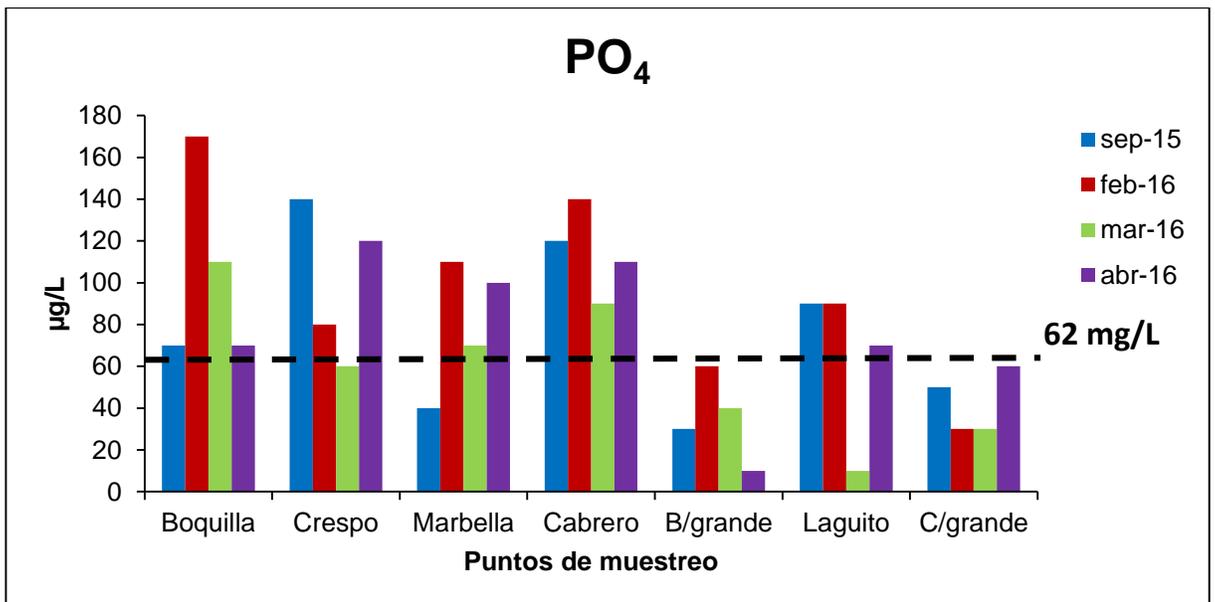
Fuente: Autores



**Figura 19.** Valores de pH en cada playa.

Nota: Las líneas horizontales punteadas con las etiquetas indican la correspondiente norma (---).

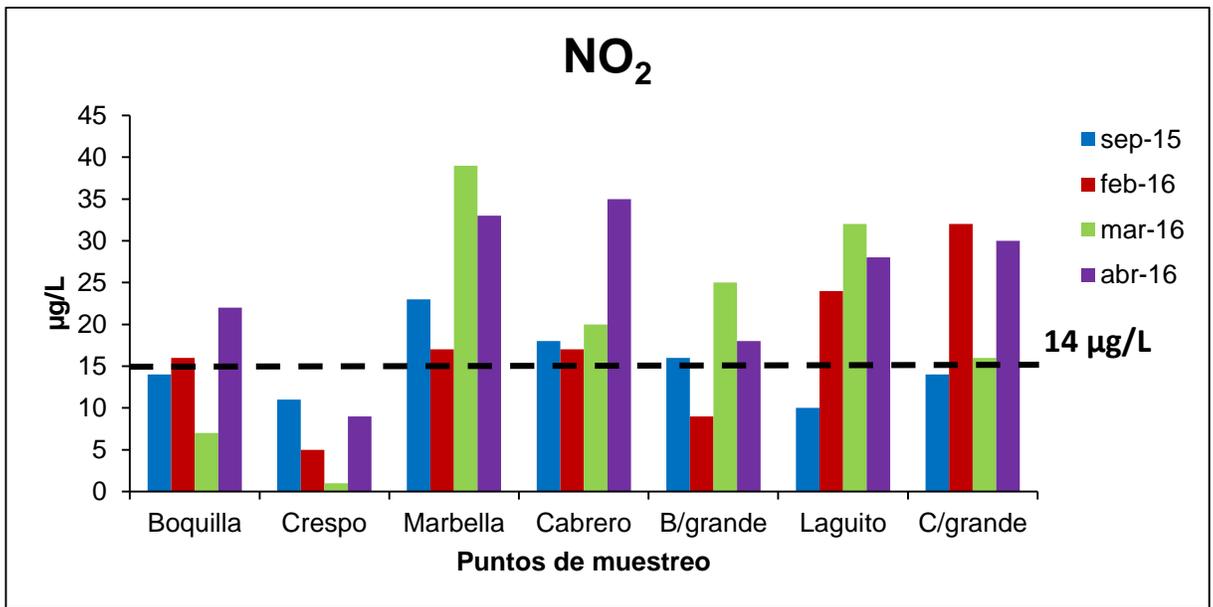
Fuente: Autores.



**Figura 20.** Valores de Ortofosfatos en cada playa.

Nota: La línea horizontal punteada con la etiqueta indica la correspondiente norma (---).

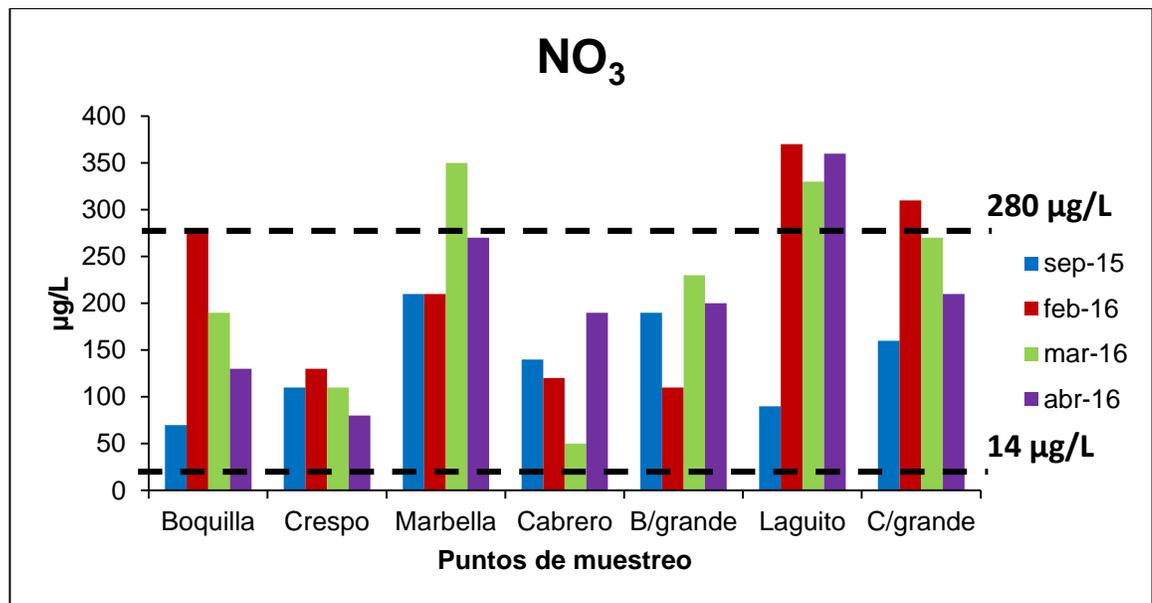
Fuente: Autores.



**Figura 21.** Valores de Nitritos en cada playa.

Nota: La línea horizontal punteada con la etiqueta indica la correspondiente norma (---).

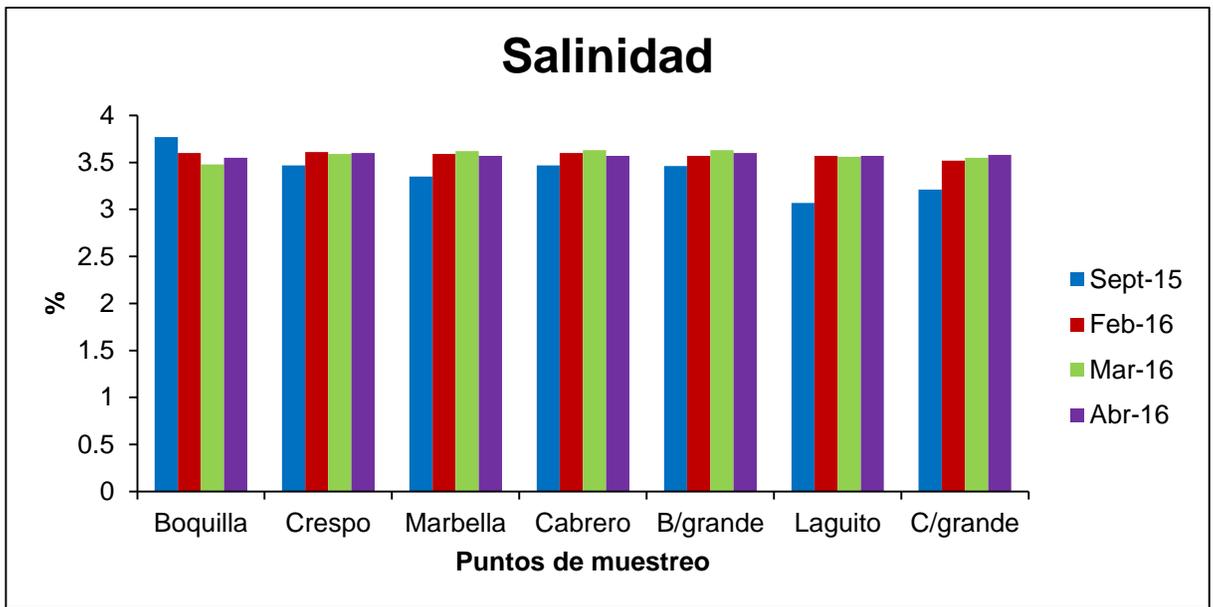
Fuente: Autores.



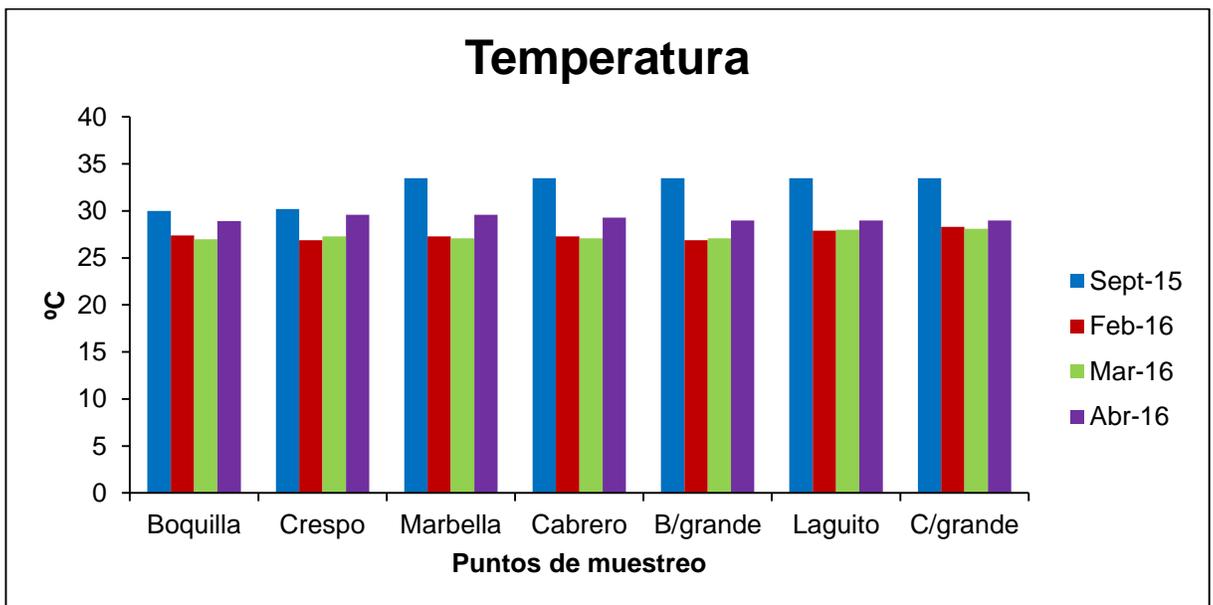
**Figura 22.** Valores de Nitratos en cada playa.

Nota: Las líneas horizontales punteadas con las etiquetas indican la correspondiente norma (---).

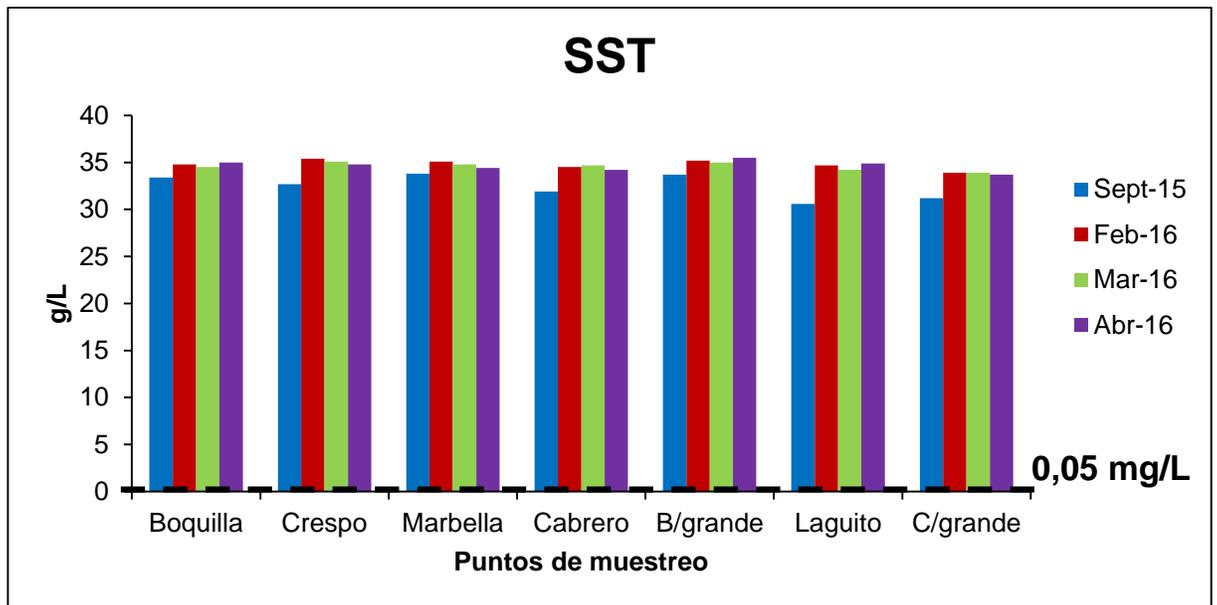
Fuente: Autores.



**Figura 23.** Valores de Salinidad en cada playa.  
Fuente: Autores.



**Figura 24.** Valores de Temperatura en cada playa.  
Fuente: Autores.



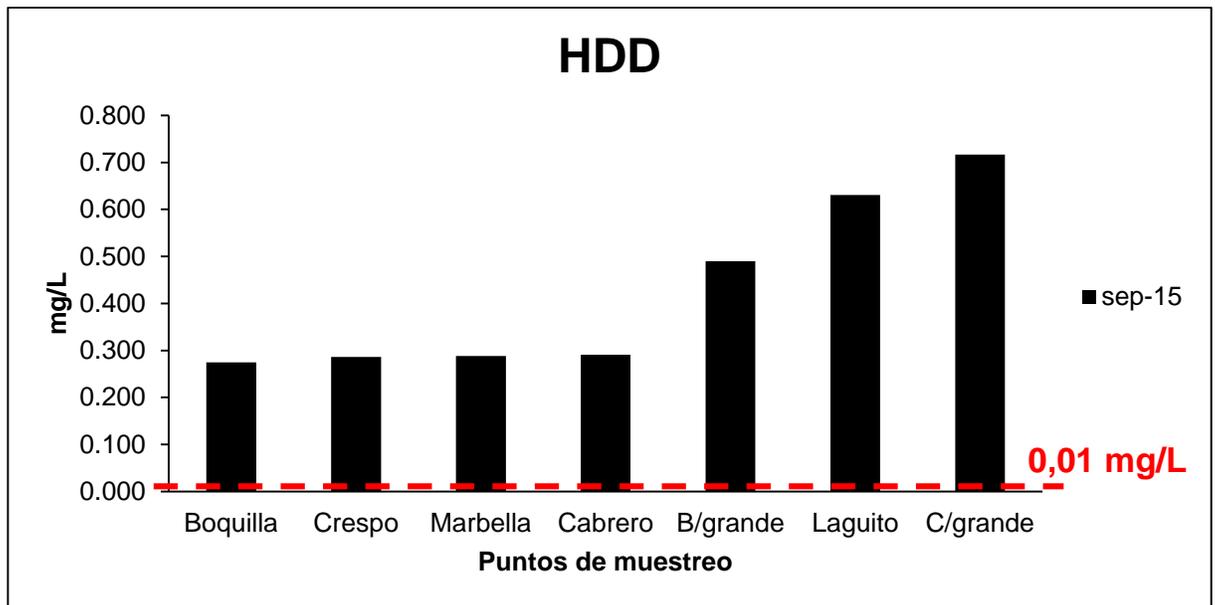
**Figura 25.** Valores de Solidos Totales en cada playa.

Nota: La línea horizontal punteada con la etiqueta indica la correspondiente norma (---).

Fuente: Autores.

### 6.1.1. Hidrocarburos

Los resultados de hidrocarburos realizados a las muestras de agua de mar, que fueron comparados con el valor de referencia de 10 µg/L (0,01 mg/L) para aguas contaminadas propuesto (UNESCO, 1984; INVEMAR, 2014) con el fin de verificar si estas muestras están contaminadas, y se encontró que los datos sobrepasan el límite establecido en gran magnitud (0,717 mg/L).



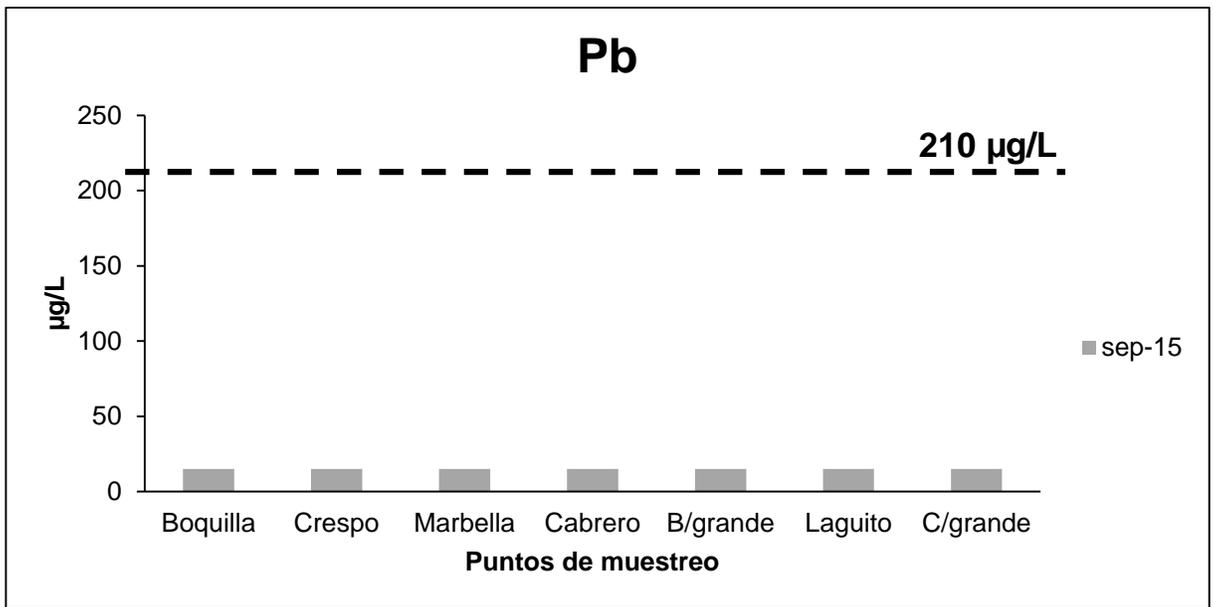
**Figura 26.** Valores totales de Hidrocarburos Dispersos en cada playa.

Nota: La línea horizontal punteada con la etiqueta indica la correspondiente norma (---).

Fuente: Autores.

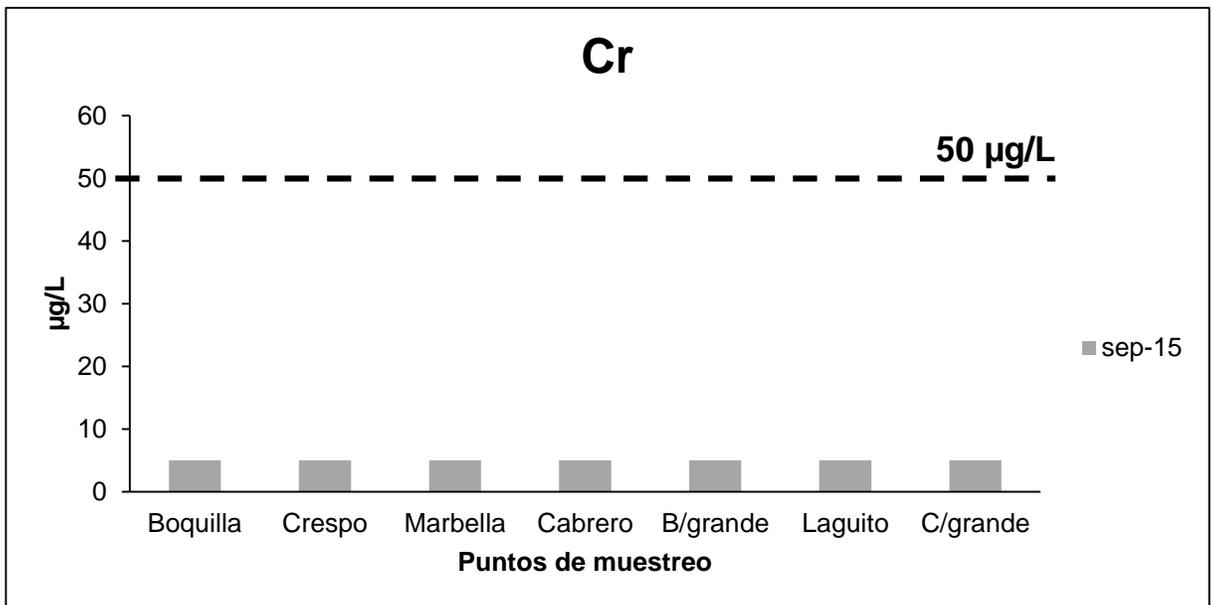
### 6.1.2. Metales trazas

En los monitoreos de metales pesados (Cadmio, Cd; Cromo, Cr; y Plomo, Pb) realizados a las muestras de agua de mar, no se encontraron concentraciones que superen los valores de referencias para efectos agudos del Cadmio (40 µg/L) (Buchman, 2008; INVEMAR, 2014), Plomo (210 µg/L) (Buchman, 2008; INVEMAR, 2014) y Cromo (50 µg/L) (CONAMA, 1986; INVEMAR, 2014).



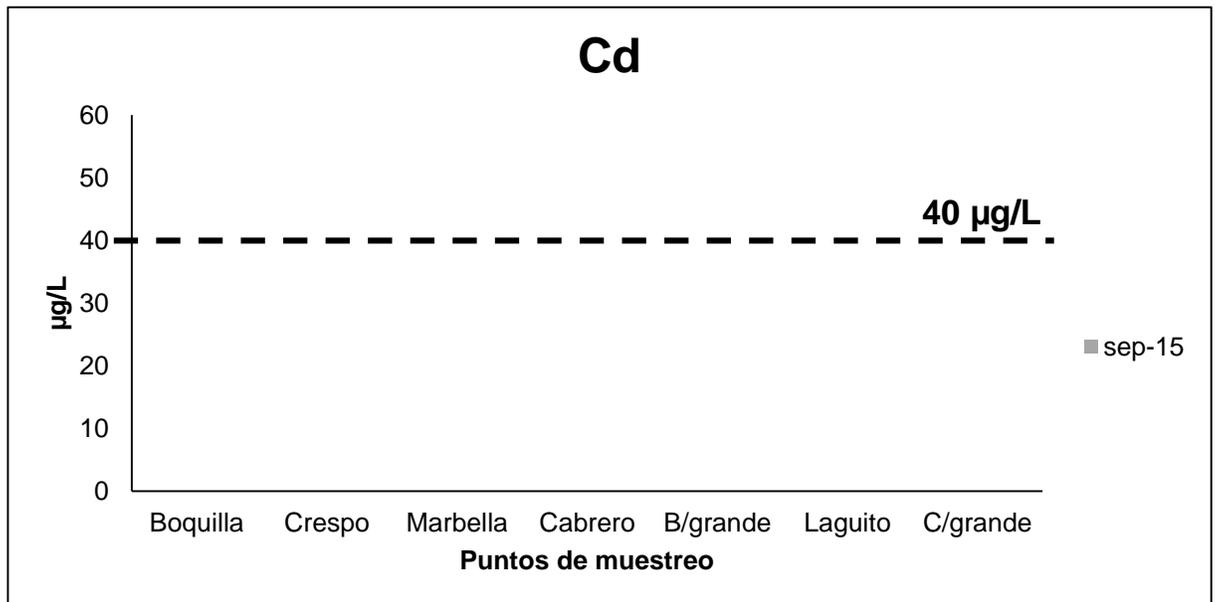
**Figura 27. Valores totales de Plomo.**

Nota: La línea horizontal punteada con la etiqueta indica la correspondiente norma (---).  
Fuente: Autores.



**Figura 28. Valores totales de Cromo.**

Nota: La línea horizontal punteada con la etiqueta indica la correspondiente norma (---).  
Fuente: Autores.



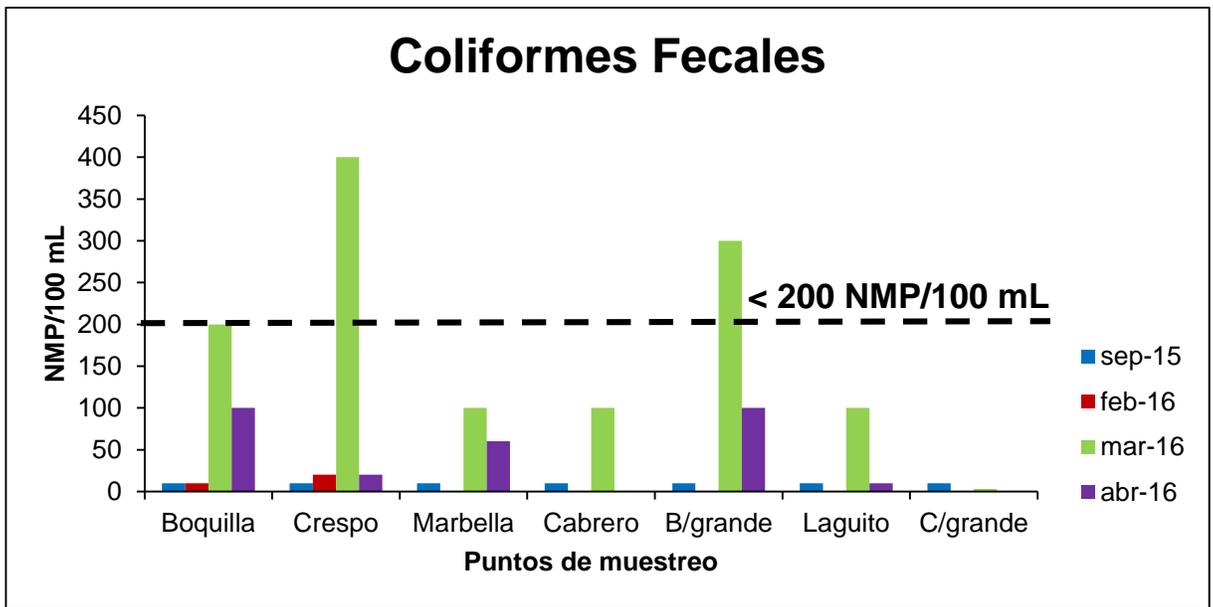
**Figura 29. Valores totales de Cadmio.**

*Nota: La línea horizontal punteada con la etiqueta indica la correspondiente norma (---).*

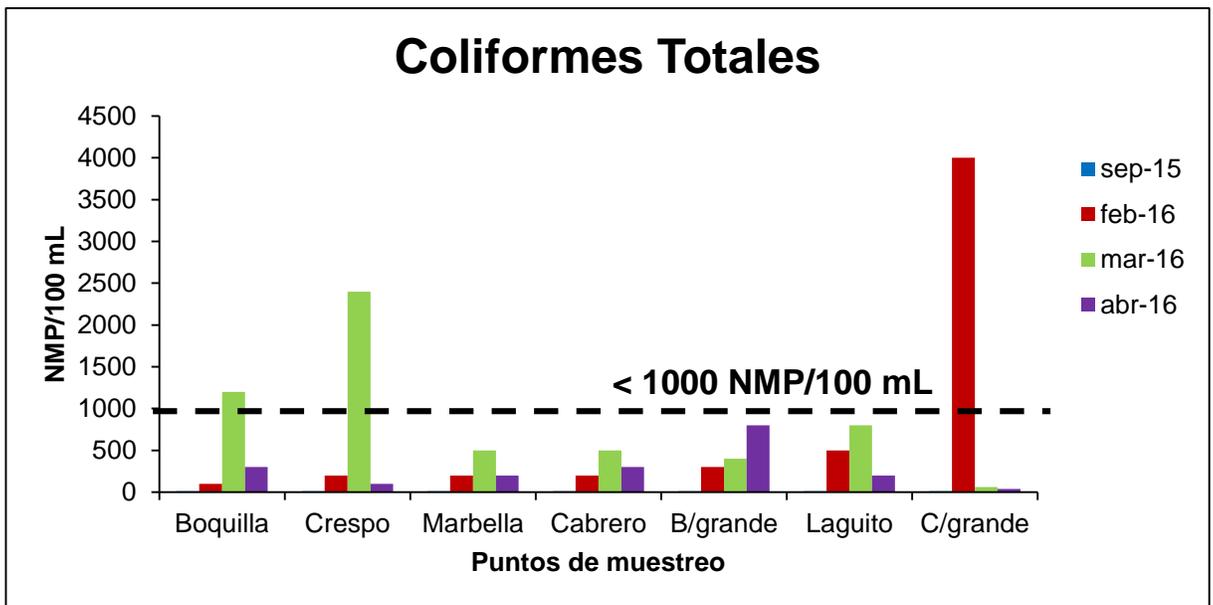
*Fuente: Autores.*

## 6.2. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Las siguientes figuras (Figura 30 y 31) reflejan los resultados microbiológicos realizados a las muestras de agua de mar, que fueron comparados con el Decreto N°1594 de 1984 (MinAmbiente, 1984). Se encontró que un 11% de los datos tanto en coliformes fecales como totales no cumplen con las especificaciones estipuladas en la normatividad colombiana.



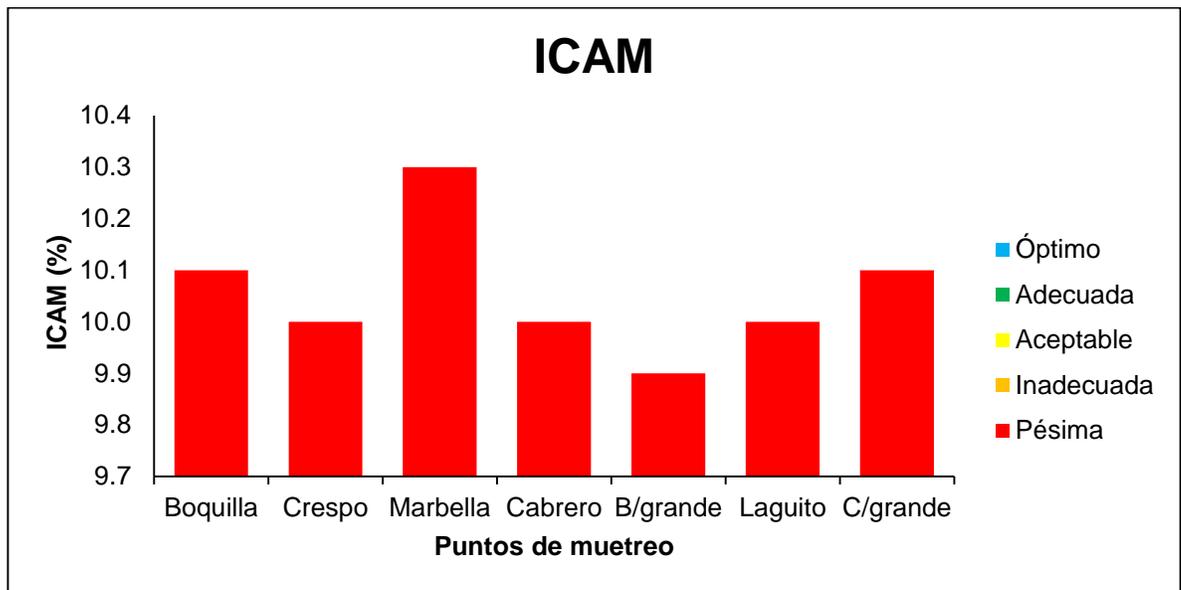
**Figura 30.** Valores de Coliformes Fecales en cada playa.  
 Nota: La línea horizontal punteada con la etiqueta indica la correspondiente norma (---).  
 Fuente: Autores.



**Figura 31.** Valores de Coliformes Totales en cada playa.  
 Nota: La línea horizontal punteada con la etiqueta indica la correspondiente norma (---).  
 Fuente: Autores.

### 6.3. INDICADOR DE CALIDAD DE AGUA MARINA Y ESTUARINA (ICAM)

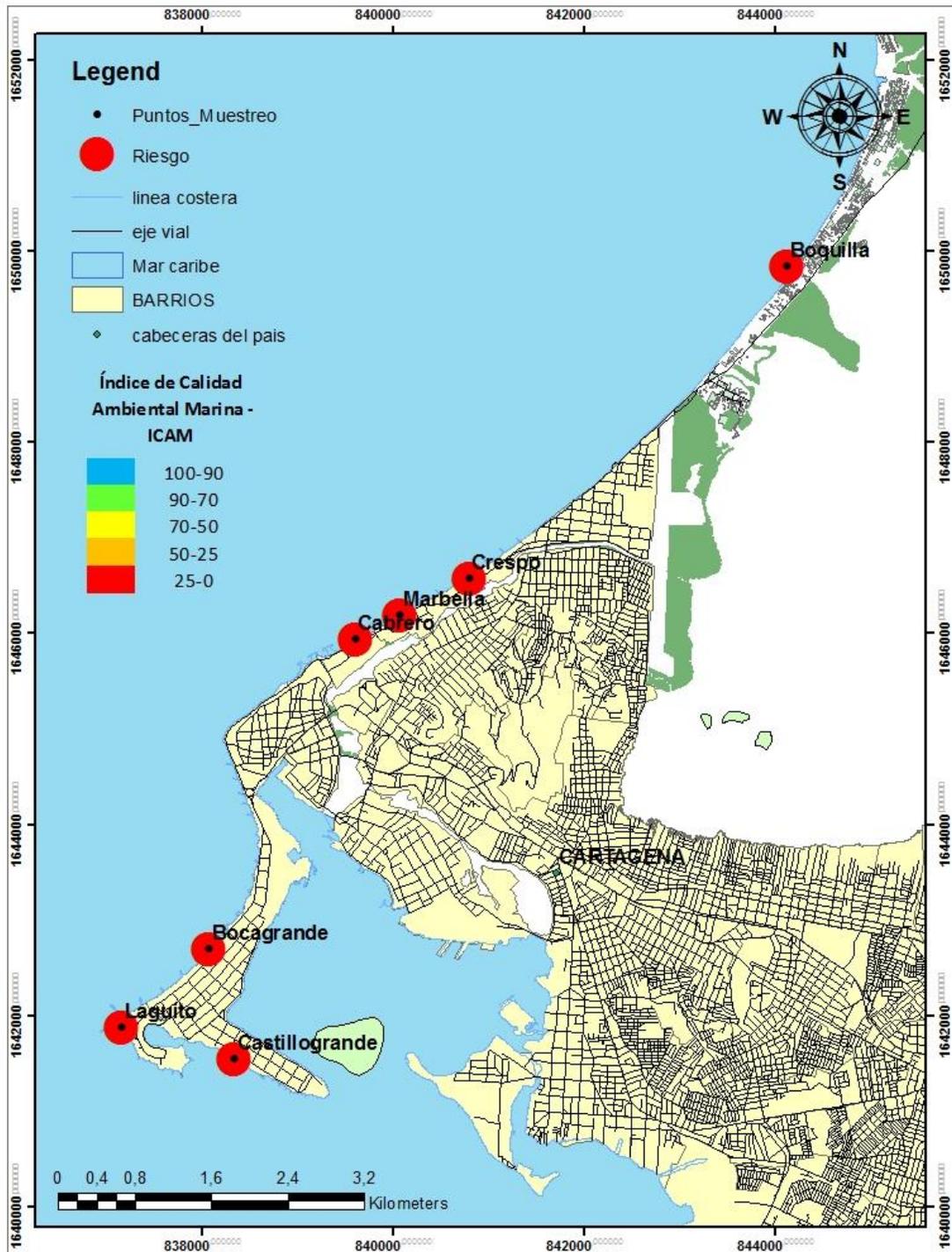
La siguiente gráfica (Figura 32) refleja los resultados de los cálculos realizados del ICAM a las muestras de agua de mar. Se encontró que los datos obtenidos en la ecuación del ICAM de las playas del sector turístico de la ciudad (La Boquilla, Crespo, Marbella, El Cabrero, Bocagrande, El Laguito y Castillogrande) presentan condiciones ambientales pésimas. En el *Anexo 2* se muestra a detalle los cálculos del indicador.



**Figura 32.** Indicador de Calidad de Agua Marina y Estuarina – ICAM.  
Fuente: Autores.

### 6.4. MAPA DE RIESGO DE LA CIUDAD DE CARTAGENA

En la Figura 33 se muestran los puntos de muestreo y las condiciones en las que se encuentran cada una de las playas de objeto de estudio (La Boquilla, Crespo, Marbella, El Cabrero, Bocagrande, El Laguito y Castillogrande), las cuales indican que no cumplen con las condiciones para el uso recreativo según los criterios de calidad admisibles para fines recreativos como los deportes náuticos, el transporte y la pesca, soportado por el Decreto N°1594 de 1984 (MinAmbiente, 1984).



**Figura 33.** Mapa de riesgo de las playas turísticas de Cartagena de India, Bolívar - Colombia.

Fuente: Autores.

## 7. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

De acuerdo a los resultados del monitoreo de la calidad de las aguas de las playas del sector turístico de Cartagena de Indias, teniendo en cuenta el régimen pluviométrico del caribe colombiano representado en 3 épocas: seca (diciembre a abril), de transición (mayo a agosto) y lluviosa (septiembre a noviembre). Se encontró inicialmente que los parámetros, pH, Oxígeno Disuelto y temperatura, estuvieron dentro de los criterios de calidad para aguas marinas permisibles según el Decreto N°1594 del 1984 (MinAmbiente, 1984).

Además, el pH oscila entre 7,31 y 8,93 en la época seca del 2015 según el informe de la Red de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM) (INVEMAR, 2016), por lo que se evidencia que los datos obtenidos en este proyecto se asemejan (8,5 – 8,65. Figura 19) a los reportados en la literatura; estos no sobrepasan el límite establecido por la normatividad colombiana (MinAmbiente, 1984). Lo anterior indica que el pH no se ve afectado por las altas concentraciones de nutrientes, turbidez y procesos naturales.

Así mismo el Oxígeno Disuelto fluctuó entre 1,2 y 7,24 mg/L, reportando las mediciones más bajas en el mes de septiembre y valores que se encontraron por encima del criterio de calidad para aguas marinas para los meses posteriores (febrero, marzo y abril de 2016). Comparando con el Decreto N°1594 de 1984, se determinó que los niveles de esta variable son adecuados y representan una producción de oxígeno que proviene de la actividad biológica del fitoplancton (INVEMAR, 2016). Sin embargo, cabe resalta que las mediciones más bajas, no cumplen con el criterio establecido ( $>4$  mg O<sub>2</sub>/L. Tabla 1). De lo anterior, se deduce que estos niveles de Oxígeno Disuelto se deben a las altas temperaturas presentadas en esta época que son producto del fenómeno de “El Niño” que hizo al mes de septiembre uno de los más calurosos del año 2015 (IDEAM, 2015),

afectando las concentraciones del parámetro, presentes en el agua de mar. Además, en el mes de octubre de 2015, los medios de comunicación reportaron una mortandad de peces en una de las playas de sector turístico de Cartagena (El Universal, 2015), lo cual podría tener relación en cuanto a los valores de Oxígeno Disueltos registrados en el mes anterior. Por otra parte, la temperatura se mantuvo constante durante los cuatro meses con valores que fluctúan entre 26,9 y 33,5 ± 2,29°C; siendo el mes de septiembre los valores máximos debido a las condiciones climáticas anteriormente mencionadas.

A pesar de que septiembre marca el inicio de la época lluviosa (aproximadamente inician durante la segunda quincena del mes), ante la presencia del fenómeno de “El Niño”, el aumento promedio en el volumen de lluvias no se presentó, lo que causó que las precipitaciones no alcanzaran los valores que normalmente se registran. El valor promedio de precipitaciones para el mes de septiembre desde el año 1941 al 2014 es de 131,9 mm y para el año 2015 fue de 84,2 mm, ambos valores registrados en la estación del aeropuerto Rafael Núñez (IDEAM, 2015).

Además, se encontró que los valores de Sólidos Suspendidos Totales oscilaron entre 30 y 35 g/L, es decir, los puntos de muestreo presentaron concentraciones superiores al criterio estándar: 50 mg/L (Fabricius, 2005). Resultan anormales estos datos puesto que en la literatura no se reportan valores tan altos. Lo anterior podría indicar que el ecosistema se encuentra alterado, lo cual afecta los resultados del Indicador de Calidad de Aguas Marinas y Estuarinas (ICAM). Los Sólidos Suspendidos Totales generan problemas de colmatación y sedimentación que pueden cambiar las características del agua e incluso alterar hábitats para los organismos acuáticos al disminuir la columna del agua (Pérez & Rodríguez, 2008). Del mismo modo, facilitan el transporte de nutrientes y contaminantes como pesticidas y metales, e interfieren en el proceso de fotosíntesis debido a que estos en exceso atenúan la luz solar en el agua (Manahan, 2007; Fabricius, 2005).

Por otro lado, se encontró que, en general, las playas presentan condiciones pésimas en nutrientes (nitritos, nitratos y ortofosfatos), los cuales no cumplen con los estándares establecidos: nitritos  $<14 \text{ mg NO}_2/\text{L}$  (Lapointe, 1997), nitrato  $14 - 280 \text{ mg NO}_3/\text{L}$  (Fabricius, 2005) y ortofosfatos (Fabricius, 2005). Los valores encontrados en su mayoría (ver Figuras 20, 21 y 22) son anormales y superan los valores reportados en la literatura, esto podría ser causa de la actividad socioeconómica que se desarrolla en las playas de la ciudad y a los vertimientos líquidos con desechos orgánicos que se generan sin control alguno (Troncoso et al., 2009; INVEMAR, 2016). Sumado a esto, el evento anormal que se presentó hasta mediados del año 2016: Fenómeno de “El Niño” (IDEAM, 2015).

Por otra parte, los hidrocarburos totales y dispersos fluctuaron entre  $275 \mu\text{g/L}$  y  $717 \mu\text{g/L}$ , es decir, estas concentraciones superaron el valor de referencia de  $10 \mu\text{g/L}$  para aguas no contaminadas (UNESCO, 1984; INVEMAR, 2014). Los residuos de hidrocarburos podrían deberse a las esorrentías con residuos oleosos, sumado al transporte y manejo de petróleo, actividad portuaria, transporte marítimo, turismo, aguas residuales de lavaderos y talleres de vehículos en la zona (Garay, 1993; INVEMAR, 2014). El aumento de este parámetro se evidenció a medida que el punto de muestreo se acercaba a la bahía de la ciudad, zona destinada para dichas actividades portuarias.

Con respecto a los metales trazas, ningún punto de muestreo y datos reportados en la literatura (INVEMAR, 2016) presentó alguna alteración que demuestren un impacto significativo en la calidad del agua, conforme a los límites y demás legislaciones utilizadas (Buchman, 2008; INVEMAR, 2014; CONAMA, 1986).

Los parámetros microbiológicos se mostraron aceptables, debido a que se encuentran debajo del límite establecido por la normatividad colombiana (MinAmbiente, 1984). Sin embargo, tanto en coliformes fecales como totales se presentaron tres datos que sobrepasan la norma. Esto indica que existen posibles

fuentes cercanas de contaminación que causan un impacto menor, como el emisario submarino que se encuentra en Punta Canoa donde las aguas vertidas pueden ser arrastradas por corrientes marinas y llegar a las playas del sector turístico de Cartagena, así como las actividades cotidianas de los asentamientos humanos que se encuentran cerca de las playas que pueden contribuir a la contaminación de estas.

Los resultados del cálculo del ICAM mostraron que, aunque las playas presenten algunas variables fisicoquímicas y microbiológicas adecuadas, en general el área de estudio se encuentra en condiciones pésimas que se deben a la alta cantidad de nutrientes, hidrocarburos y Sólidos Totales (SST). Así mismo, se estimó el ICAM usando la calculadora online de la REDCAM y los valores arrojados fueron similares a los calculados usando la metodología propuesta. Los resultados de la calculadora online de REDCAM pueden observarse detalladamente en el *Anexo 2*. Sin embargo, datos de la literatura de años anteriores demuestran que las playas son aceptables y adecuadas (INVEMAR, 2016), por ende se desconocen las razones de este comportamiento, por lo que se propone un estudio más detallado en otra investigación para tratar de establecer sus causas.

A través del mapa de riesgo pudieron establecerse los puntos críticos y zonas de vulnerabilidad de las playas de la ciudad de Cartagena de Indias (Figura 33), las cuales fueron: La Boquilla, Crespo, Marbella, El Cabrero, Bocagrande, El Laguito y Castillogrande. Se puede observar que la exposición de los usuarios a la contaminación ambiental de las aguas es alta, debido a que estas presentan condiciones no aptas para el baño y recreación, ya que no cumplen con las condiciones según los criterios de calidad admisibles sustentados por el Decreto N° 1594 de 1984 (MinAmbiente, 1984).

## 8. CONCLUSIONES

La calidad de las aguas de las playas del sector turístico de Cartagena de Indias cumple con los criterios de calidad fisicoquímica con base a las variables como: pH, temperatura, y metales pesados. Así mismo, se cumplen los criterios microbiológicos establecidos en la normatividad colombiana y demás legislaciones utilizadas en este proyecto. Cabe resaltar que durante esta investigación se presentó un fenómeno anormal, “El Niño”, ya que se extendió más tiempo de lo esperado e intensificándose durante el segundo periodo del año 2015 hasta inicios del segundo periodo del año 2016.

No obstante, La calidad en aguas de la ciudad determinada a partir del Indicador de Calidad de Aguas Marinas y Estuarinas (ICAM) en época seca, mostró que el área de estudio se encuentra en condiciones pésimas debido a la alta cantidad de nutrientes, hidrocarburos y sólidos totales.

Además, con el mapa de riesgo se pudo establecer los puntos críticos y zonas de vulnerabilidad de las playas de la ciudad de Cartagena de Indias; se encontró que la exposición de los usuarios a la contaminación ambiental es alta debido a que estas presentan condiciones no aptas para el baño y la recreación.

## 9. TRABAJO FUTURO

- Este diagnóstico sirve como base para futuros estudios e investigaciones ofreciendo un panorama sobre la calidad ambiental de las aguas, así como la realización de otros muestreos para determinar su calidad y seguir con el diagnóstico de las playas de la ciudad de Cartagena de Indias por más periodos de tiempo.
- Ampliar el grupo de parámetros y puntos de monitoreo a evaluar para lograr una visión más amplia que logre determinar el grado de contaminación de las playas por actividades antrópicas. Es importante que las actividades de monitoreo sean llevadas a cabo de manera continua.
- Se recomienda realizar un plan de seguimiento y monitoreo, por lo menos por dos años, que cubra todas las épocas del régimen pluviométrico. Esto permitiría establecer una línea base robusta con el fin de realizar un diagnóstico tendiente a la elaboración de las medidas y toma de decisiones para mejorar las condiciones de las playas de la ciudad, dada la relevancia para el sector turístico y, más importante, garantizar la salud de los bañistas y preservar los ecosistemas.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, S. A. (2002). Water quality indices, state of the art, centre for pollution control and energy technology.
- Acevedo- Barrios, R. L., & Severiche Sierra, C. A. (2013). Identificación de bacterias resistentes a di-bromo-mercurio aisladas de sedimentos en playas de Cartagena de Indias, caribe colombiano. *Revista Avances: Investigación en Ingeniería*, 10(2).
- Acevedo-Barrios, R., Severiche-Sierra, C. A., Castillo-Bertel, M. E. Libro "Biología y microbiología ambiental" En: España (2013). ed: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso para eumed.net ISBN: 978-84-15774-93-8 v. 1 pags. 89.
- Acevedo- Barrios, R. L., Severiche Sierra, C. A., Morales, J. (2015). Antibiotic resistant bacteria in aqueous ecosystems. *Producción + Limpia*, 10(2), 160-172.
- Aguirre Cordón, M. R., Vanegas Chacón, E. A., & García Álvarez, N. (2016). Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(2), 39-43.
- Anderson, D. M., Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 25(4), 704-726.
- IDEAM. (2015). *Anuario Climatológico*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Argumedo, C. D., & Vilorio, H. D. (2016). Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental (RIAA)*, 6(1), 123-131.
- Ayala Gutiérrez, M. (2006). Propuesta metodológica para el ordenamiento ambiental de la zona costera-marina del área metropolitana de Lima-Callao.

- Bento, F. M., Camargo, F. A. D. O., Okeke, B., & Frankenberger-Júnior, W. T. (2003). Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 34, 65-68.
- Bonaventura, C., & Johnson, F. M. (1997). Healthy environments for healthy people: bioremediation today and tomorrow. *Environmental health perspectives*, 105(Suppl 1), 5.
- Botero, C., Anfuso, G., Rangel-Buitrago, N., Correa, I., (2013a). Coastal erosion monitoring in Colombia: overview and study cases on Caribbean and Pacific coasts, in: Cipriani, L. E. (Ed.), Coastal erosion monitoring. Nuova Grafica Fiorentina, Florence, Italy, pp. 199-213.
- Botero, C., Pereira, C., Manjarrez, G., (2015). Índice de Calidad Ambiental en Playas Turísticas. *Libro Calidad Ambiental en Playas Turísticas: Aportes desde el caribe Norte Colombiano*. ISBN: 978-958-58454-7-3, 79-88.
- Brandalise, M. V., Nadal, F., Rodríguez, M. I., Larrosa, N., Ruiz, M., Halac, S., & Licera, C. (2007). Índice de Calidad de Agua para uso Recreativo en Ambientes con Cianobacterias.
- Buchman, M.F. (2008). Screening Quick Reference Tables (SQiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration, 34 p.
- Camargo, J. A., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 16(2).
- Castro Gabriel, Valdés Jorge. Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23°S, norte de Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 40(2): 267-281.
- Cazares, S., & Svetia, N. (2012). *Estudio comparativo de la calidad del agua de mar en las playas de acapulco* (Doctoral dissertation).

- Chapman, D. V. (Ed.). (1996). Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments, and water in environmental monitoring.
- Chiappone, M. (2001). Conservación de la calidad del agua en áreas marinas protegidas. Estudio del Parque Nacional del Este, República Dominicana. The Nature Conservancy. 149 p.
- Cervantes, C., Campos-García, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzmán, J. C., & Moreno-Sánchez, R. (2001). Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiology Reviews*, 25(3), 335-347.
- Chen, C. L., & Bau, Y. P. (2016). Establishing a multi-criteria evaluation structure for tourist beaches in Taiwan: A foundation for sustainable beach tourism. *Ocean & Coastal Management*, 121, 88-96.
- Colombia, I. NTC-ISO 5667-2/95. *Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo.*
- Colombia. Ministerio de Ambiente. (1984). Decreto N°1594 del 26 de junio de 1984.
- CONAMA - Conselho Nacional Do Meio Ambiente. (2005). Resolución No. 357 de 2005. Dispone sobre la clasificación de los cuerpos de agua y los parámetros de lanzamiento de efluentes. Brasil. 58- 63.
- Corbin, A. (1993). El territorio del vacío. Occidente y la invención de la playa, 1750-1840. Editorial Mondadori, Barcelona, 383 pp.
- De Araújo, M. C. B., & da Costa, M. F. (2007). Visual diagnosis of solid waste contamination of a tourist beach: Pernambuco, Brazil. *Waste Management*, 27(6), 833-839.
- De Medeiros, C. N., Gomes, D. D. M., & Albuquerque, E. L. S. (2014). Análise do Monitoramento do Índice Municipal de Alerta (IMA) no Estado do Ceará: Avanços e Desafios dos Municípios no Período de 2004 a 2010. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 18(2), 816-825.

- De Mesa, J. B. L., Quintero, G., Vizcaíno, A. L. G., Cáceres, D. C. J., Riaño, S. M. G., & García, J. M. (2006). Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova*, 4(5).
- El Universal. (18 de Octubre de 2015). Mortandad de peces en las playas por el túnel de Crespo. EL UNIVERSAL recuperado de: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/mortandad-de-peces-en-las-playas-por-el-tunel-de-crespo-208828>.
- Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2004). Physico-chemical water quality indices-a comparative review. *Bistua Revista De La Facultad De Ciencias Basicas*, 2(1).
- Furnas, M. J. (1992). The behavior of nutrients in tropical aquatic ecosystems. *Pollution in tropical aquatic systems*, 1(1), 30-65.
- Gadea Pérez, M. I. (2016). *Determinación de la influencia de los factores ambientales en las proliferaciones algales fitoplanctónicas en la zona costera de Gandía* (Doctoral dissertation).
- Garay, J. A., Castro, L. A., & Ospina, C. (1992) Contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo en el litoral Caribe Colombiano Bahía Cispatá hasta Rioacha. *Boletín científico CIOH*, (10) 13-26.
- Gavio, B., Palmer-Cantillo, S., Mancera, J. E., (2010). Historical analysis (2000–2005) of the coastal water quality in San Andrés Island, SeaFlower Biosphere Reserve, Caribbean Colombia. *Marine Pollution Bulletin* 60 (7), 1018-1030.
- Gnauck, A. H., & Straškraba, M. (2013). *Freshwater ecosystems: modelling and simulation* (Vol. 8). Elsevier.
- Gómez, A., Osorio, A. F., Toro, F. M., Osorio, J. D., & Álvarez, O. A. (2009). Efecto del cambio de los caudales del Canal del Dique sobre el patrón de transporte horizontal en la bahía de Barbacoas. *Boletín Científico CIOH*, (27), 90-111.

- Guerra Vargas, L. A., & Mancera-Pineda, J. E. (2015). Evaluación de amenazas antropogénicas en ecosistemas de playa en San Andrés, una isla pequeña del Caribe Suroccidental. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 44, 1.
- Håkanson, L., Parparov, A., Ostapenia, A., & Boulion, V. V. (2000). Development of a system of water quality as a tool for management. *INTAS, Brussels*.
- Hill, D. D., Owens, W. E., & Tchounwou, P. B. (2005). Comparative assessment of the physico-chemical and bacteriological qualities of selected streams in Louisiana. *International journal of environmental research and public health*, 2(1), 94-100.
- ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2007b. Norma Técnica Sectorial Colombiana NTS-TS-001-2 que establece los requisitos de sostenibilidad para destinos turísticos de playa. ICONTEC, Bogotá D.C.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2002). Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Anexo 5 Métodos analíticos para demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales. IDEAM/MAVDT. 25 p.
- Jairo, R. (2009). Calidad del agua. *Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Tercera edición. Bogotá*.
- Jiménez, M. A., & Vélez, M. V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en recursos hidráulicos*, (14).
- Jonathan, M. P., Roy, P. D., Thangadurai, N., Srinivasalu, S., Rodríguez-Espinosa, P. F., Sarkar, S. K., & Muñoz-Sevilla, N. P. (2011). Metal concentrations in water and sediments from tourist beaches of Acapulco, Mexico. *Marine pollution bulletin*, 62(4), 845-850.
- Lacma, J., Iannacone, J., & Vera, G. (2007). Toxicidad del cromo en sedimento usando *Donax obesulus* Reeve 1854 (Pelecypoda: Donacidae). *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 93-99.

- López, P., Salazar, S., Figueroa, Y., López, J., & Fuentes, J. (2009). Calidad bacteriológica y fisicoquímica de aguas y sedimentos de cuatro playas de las costas del estado Nueva Esparta. *Ciencia*, 17(4).
- Lora Silva, R., & Bonilla Gutiérrez, H. (2010). Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados cadmio y cromo. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 13(2), 61-70.
- Manjarrez Paba, G., Castro Angulo, I., & Utria Padilla, L. (2008). Bioacumulación de cadmio en ostras de la bahía de Cartagena: Bioaccumulation cadmium in oysters of Cartagena bay. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 7(13), 11-20.
- Marín, B., Martín, L., Garay, J., Troncoso, W., Betancourt, J., Gómez, M., & Vélez, A. (2003). Sistema de Indicadores de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia-SISCAM. Programa Calidad Ambiental Marina. Informe Técnico Final. *INVEMAR*. 184p.
- Márquez Guloso, Elin, & Rosado Vega, Jairo Rafael. (2011). Clasificación e impacto ambiental de los residuos sólidos generados en las playas de Riohacha, La Guajira, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (60), 118-128.
- Montoya, Y. (2008). Variaciones nictemerales de algunas variables climáticas, físicas y químicas en una laguna somera en Guatapé (Antioquia), Colombia Actual. *Biol.*, 30 (88): 83-96.
- Morales Aleans, M., & Esquivia Muñoz, V. (2015). Contaminación de playas turísticas de la ciudad de Cartagena de Indias con parásitos de importancia sanitaria 2012-2014.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. (2003). Guidelines for safe recreational water environments. Coastal and fresh waters, vol. 1. Ginebra. 219 p.
- Padau, S. (2008). *Evaluación de la calidad de agua en la reserva caño de tiburones* (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría en Gerencia Ambiental, en Evaluación y manejo de Riesgo Ambiental). Universidad Metropolitana.

San Juan, Puerto Rico. Recuperado de: [http://www.suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis\\_Ambientales/2009/SPa duaTorres170209.pdf](http://www.suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Ambientales/2009/SPa duaTorres170209.pdf)).

- Pérez-Castillo, A. G., & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 1905-1918.
- Pino, M. E. (2001). *Análisis de indicadores de sostenibilidad ambiental y urbana en las Agenda 21 Local y Ecoauditorias municipales. El caso de las regiones urbanas europeas* (Doctoral dissertation, Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, Barcelona).
- Portela, J. M. B., Granados, J. G. S. D., Ladino, L. M. M., & Cantera, J. R. (2011). Calidad de las Aguas Superficiales de Bahía Málaga, Pacífico Colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 175.
- Ramírez, A; I. B. de Ramírez & J. E. Correal. Ecología descriptiva de las llanuras madreporarias del Parque Nacional Submarino Los Corales del Rosario (Mar caribe), Colombia. Fondo FEN Colombia, Bogotá (1986), pág. 71.
- Rangel-Buitrago, N., Correa, I.D., Anfuso, G., Ergin, A., Williams, A.T. (2013). Assessing and managing scenery of the Caribbean Coast of Colombia. *Tourism Management* 35: 41-58.
- Rendón, L. A. Q., Agudelo, E. A., Hernández, Y. A. Q., Gallo, S. A. C., & Arias, A. F. O. (2010). Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. *Gestión y Ambiente*, 13(3), 51.
- Restrepo, Juan C, Franco, Diana, Escobar, Jaime, Correa, Iván Darío, Otero, Luis, & Gutiérrez, Julio. (2013). Bahía de Cartagena (Colombia): distribución de sedimentos superficiales y ambientes sedimentarios. *Latin american journal of aquatic research*, 41(1), 99-112.

- Rodríguez, C. (2012). Calidad de cuerpos de agua: Municipios Heres y Caroní del estado Bolívar, Venezuela marzo-abril 2010. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 16(62).
- Roling J.A., Bain L.J., Gardea-Torresdey J., Bader, J. & Baldwin W.S. (2006). Hexavalent chromium reduces larvae growth and alters gene expression in mummichog (*Fundulus heteroclitus*). *Environmental Toxicology and Chemistry*. 25: 2725-2733.
- Rubio, C., Gutiérrez, A. J., Martín-Izquierdo, R. E., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de toxicología*, 21(2-3), 72-80.
- Rubio, D. (2005). Gestión integral de playas. Agencia Valenciana de Turismo, Editorial Síntesis, Madrid. 203 pp.
- Salas, H. J. (1994). Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. In *Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 24. CEPIS.
- Salcedo Heredia, G. (2014). Calidad del agua de la Bahía de Cartagena en relación con la distribución espacial de Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus* sp durante la temporada seca del 2013.
- Saltaren, C. B., Pomarico, C. I. P., & Cervantes, O. (2014). Estudios de calidad ambiental de playas en Latinoamérica: revisión de los principales parámetros y metodologías utilizadas. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 5(2).
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- Savichtcheva, O., & Okabe, S. (2006). Alternative indicators of fecal pollution: relations with pathogens and conventional indicators, current methodologies for direct pathogen monitoring and future application perspectives. *Water research*, 40(13), 2463-2476.

- Semana. (6 de Octubre de 2015). *Buen puerto y buena mar*. Recuperado el 29 de Octubre de 2016, de [www.semana.com/especiales-comerciales/articulo/buen-puerto-buena-mar/444776-3](http://www.semana.com/especiales-comerciales/articulo/buen-puerto-buena-mar/444776-3).
- Serrano Martinez, A. R. (2013). *Propuesta de normativa para aguas recreativas de El Salvador* (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
- Severiche-Sierra, C., & García, H. G. (2013). Verificación analítica para las determinaciones de cromo hexavalente en aguas por espectrofotometría. *Revista Ingenierías USBmed*, 4(1), 22-26.
- Severiche-Sierra, C. A., Acevedo-Barrios, R. "Efecto De Las Lluvias Sobre La Calidad Del Agua En La Ciénaga Grande De Santa Marta, Colombia". En: Colombia. Revista Avances Investigación En Ingeniería. ISSN: 1794- 4953. Ed: Universidad Libre Bogotá, V.10, No.1, p. 58 – 67, 2013 <http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/index.php/9-publicaciones/generales/39-efecto-de-las-lluvias-sobre-la-calidad-del-agua-en-la-ci%C3%A9naga-grande-de-santa-marta-colombia.html>.
- Severiche-Sierra, C. A., Acevedo-Barrios, R. Libro de Investigación "Calidad del agua para consumo humano: municipio de Turbaco-Bolívar, norte de Colombia" En: España (2015). ed: Universidad De Malaga Espana ISBN: 13:978-84-16399-18-5 v. pags 90.
- Severiche Sierra, C. A., & Barreto Lezama, A. J. (2013). Efecto de las lluvias sobre la calidad del agua en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano en periodo 2006-2009.
- Severiche Sierra, C. A., Castillo-Bertel, M. E., & Acevedo-Barrios, R. L. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en agua. *Fund. Univ. Andaluza*.
- Sierra, C. A. S., Jara, J. Y. L., & García, H. G. (2013). Evaluación analítica para la determinación de fósforo total en aguas por el método del ácido ascórbico. *Ingenium*, 7(17), 37-41.

- Sierra, J., Jaime, A., & Mora, A. (2016). Monitoreo de parámetros fisicoquímicos, en la cuenca alta del río Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 12(1), 23-30.
- Smith, V. H. (2003). Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problema. *Environmental Science and Pollution Research*, 10(2), 125-139.
- Solano Barros, J. (2009). Simulación, evaluación y diagnóstico de la contaminación de las aguas del Río Guayas, desde el extremo sur del Malecón 2000 (2° 12' latitud sur) hasta el Estero Cobina (2° 12' 30'' latitud sur), aplicando el modelo exams y recomendaciones.
- Suárez Peláez, R. J., & Rivera Vidal, F. G. (2015). Evaluación de la calidad del agua del estero Cobina, sector la Playita del Guasmo ubicada en la Cooperativa San Felipe de la ciudad de Guayaquil febrero abril 2015.
- Torres Díaz, María Concepción, Basulto Solis, Yanet Yahaira, Cortés Esquivel, Jorge, García Uitz, Karla, Koh Sosa, Ángel, Puerto Romero, Franklin, & Pacheco Ávila, Julia Guadalupe. (2014). Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación del agua subterránea en Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(3), 189-203.
- Troncoso, W., Vivas, L. J., Acosta, J., Ramírez, G., Betancourt, J., Parra, J. P., & Cadavid, B. (2008). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. *Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia-REDCAM. Informe técnico. INVEMAR. Santa Marta.*
- UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (1984). Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. Manuales y guías No. 13 de la COI. 87 p.
- Ureta Cevallos, R. (2002). Estudio de la calidad de agua, sedimentos y organismos del ecosistema circundante al Balneario La Playita en El Estero Salado (Estero Cobina).

- Vargas-Machuca, D. J. A. P. (2008). Mapas de sensibilidad ambiental: una herramienta contra la contaminación marina. In *XXVI Semana de Estudios del Mar* (pp. 167-182). Asociación de Estudios del Mar.
- Vivas-Aguas L.J., M. Tomic, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt. Parra, M. Carvajalino y L. Espinosa. (2012). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. –REDCAM. Informe técnico 2011. INVEMAR. Santa Marta, 229 p.
- Vivas-Aguas, L.J. (2007). Manual de Uso de Indicadores de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia. Hojas Metodológicas. Contrato de servicios de consultoría No. 0550-06. Convenio No. 001/04 OEI – MAVDT-IDEAM- INVEMAR. Santa Marta. 37 p.
- Vivas-Aguas, L. J. (2011). Formulación del índice de calidad de aguas costeras para los países del Proyecto Spincam: Documento Metodológico. Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la gestión integrada del área costera (SPINCAM). Invemar-Programa Calidad Ambiental Marina, Santa Marta. 42 p.
- Vivas-Aguas L.J., M. Tomic, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt. Parra, M. Carvajalino y L. Espinosa. (2012). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano. Red de vigilancia para conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. –REDCAM. Informe técnico 2011. INVEMAR. Santa Marta, 229 p.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra, J. Sánchez, M. Martínez, Y. Nieto, Y. Moreno, I. Cuadro, p. Obando, O. Garces, D. Sánchez, M. Villarraga y O. Sierra. (2015). Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones periódicas Invemar No. 4, 2015. Red de vigilancia para la conservación de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe técnico 2014. Santa Marta, 320 p.

- Vives, J. B. (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). *Available in: Consulted*, 14(03), 2014.
- Williams, A. y Micallef, A. (2009). *Beach Management Principles and Practice*. Earthscan, London–Sterling, 444 pp.
- Zouboulis, A. I., Kydros, K. A., & Matis, K. A. (1995). Removal of hexavalent chromium anions from solutions by pyrite fines. *Water Research*, 29 (7), 1755-1760.

## 11. ANEXOS

### 11.1. ANEXO 1: RESULTADOS DE LABORATORIO

#### 11.1.1. RESULTADOS DEL LABORATORIO SEPTIEMBRE 2015



**Bolívar Ganador**  
SECRETARÍA DE SALUD

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

---

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

---

**MUESTRA No 1**

FECHA DE TOMA	2015-09-16
FECHA DE ANÁLISIS	2015-09-16
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2015-09-17
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	33,4	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	2,4	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,07	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,014	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,07	Espectrofotometría
Coliformes Fecales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana
Coliformes Totales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

---

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

---

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.

---



GOBIERNO DE BOLÍVAR

Centro, Barrio San Diego # 19-113 -Después del antiguo circo teatro  
Tel.: 6648974-6604175  
Cartagena - Bolívar

**Figura 34. Muestreo 1 – Boquilla.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 2**

FECHA DE TOMA	2015-09-16
FECHA DE ANÁLISIS	2015-09-16
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2015-09-17
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	32,7	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	1,9	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,14	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,011	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,11	Espectrofotometría
Coliformes Fecales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana
Coliformes Totales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 35. Muestreo 1 – Crespo.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 3**

FECHA DE TOMA	2015-09-16
FECHA DE ANÁLISIS	2015-09-16
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2015-09-17
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	33,8	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	2,1	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,04	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,023	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,21	Espectrofotometría
Coliformes Focales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana
Coliformes Totales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 36. Muestreo 1 – Marbella.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 4**

FECHA DE TOMA	2015-09-16
FECHA DE ANÁLISIS	2015-09-16
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2015-09-17
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	31,9	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	2,9	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,12	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,018	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,14	Espectrofotometría
Coliformes Fecales /100 mL	10	Filtración por Membrana
Coliformes Totales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 37. Muestreo 1 – Cabrero.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 5**

FECHA DE TOMA	2015-09-16
FECHA DE ANÁLISIS	2015-09-16
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2015-09-17
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	33,7	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	1,5	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,03	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,016	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,19	Espectrofotometría
Coliformes Focales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana
Coliformes Totales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 38. Muestreo 1 – Bocagrande.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 6**

FECHA DE TOMA	2015-09-16
FECHA DE ANÁLISIS	2015-09-16
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2015-09-17
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	30,6	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	1,2	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,09	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,010	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,09	Espectrofotometría
Coliformes Focales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana
Coliformes Totales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



Centro. Barrio San Diego # 19-113 - Después del antiguo circo teatro  
Tel.: 6648974-6604175  
Cartagena - Bolívar

**Figura 39. Muestreo 1 – Laguito.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 6**

FECHA DE TOMA	2015-09-16
FECHA DE ANÁLISIS	2015-09-16
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2015-09-17
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	30,6	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	1,2	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,09	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,010	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,09	Espectrofotometría
Coliformes Fecales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana
Coliformes Totales /100 mL	< 10	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 40.** Muestreo 1 – Castillogrande.  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

## 11.1.2. RESULTADOS DEL LABORATORIO FEBRERO 2016



**Bolívar Ganador**  
SECRETARÍA DE SALUD

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

---

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 1 (Boquilla)**

FECHA DE TOMA	2016-02-18
FECHA DE ANÁLISIS	2016-02-19
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-02-25
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,8	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,80	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,17	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,016	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,28	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	7,00	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	10	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	100	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

---

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

---

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.

---



Centro: Barrio San Diego # 19-113 - Después del antiguo circo teatro  
Tel.: 6648974-6604175  
Cartagena - Bolívar

**Figura 41. Muestreo 2 – Boquilla**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 2 (Crespo)**

FECHA DE TOMA	2016-02-18
FECHA DE ANÁLISIS	2016-02-19
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-02-25
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	35,4	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,00	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,08	Espectrofotometría
Nitrilo mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,005	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,13	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	6,50	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	20	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	200	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.

**Figura 42. Muestreo 2 – Crespo.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 3 (Marbella)**

FECHA DE TOMA	2016-02-18
FECHA DE ANÁLISIS	2016-02-19
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-02-25
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	35,1	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,80	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,11	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,017	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,21	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	5,00	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	Cero	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	200	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 43. Muestreo 2 – Marbella.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

MUESTRA No 4 (Cabrero)

FECHA DE TOMA	2016-02-18
FECHA DE ANÁLISIS	2016-02-19
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-02-25
MUNICIPIO	Cartagena

RESULTADOS

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,5	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	7,10	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,14	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,012	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,17	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	4,50	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	Cero	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	200	Filtración por Membrana

CODIGO 02

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

CODIGO 04

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.

**Figura 44.** Muestreo 2 – Cabrero.  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

MUESTRA No 5 (Bocagrande)

FECHA DE TOMA	2016-02-18
FECHA DE ANÁLISIS	2016-02-19
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-02-25
MUNICIPIO	Cartagena

RESULTADOS

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	35,2	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,40	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,06	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,009	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,11	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	6,00	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	Cero	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	300	Filtración por Membrana

CODIGO 02

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

CODIGO 04

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 45. Muestreo 2 – Bocagrande.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 6 (Laguito)**

FECHA DE TOMA	2016-02-18
FECHA DE ANÁLISIS	2016-02-19
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-02-25
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,7	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,20	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,09	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,024	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,37	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	8,00	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	Cero	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	500	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.

**Figura 46. Muestreo 2 – Laguito.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 7 (Castillo Grande)**

FECHA DE TOMA	2016-02-18
FECHA DE ANÁLISIS	2016-02-19
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-02-25
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	33,9	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,50	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,03	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,032	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,31	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	6,00	Incubación 5 Días
Coliformes Fecales ufc/100 mL	Cero	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	4000	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 47. Muestreo 2 – Castillogrande.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

### 11.1.3. RESULTADOS DEL LABORATORIO MARZO 2016



**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

---

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 1 (Boquilla)**

FECHA DE TOMA	2016-03-16
FECHA DE ANÁLISIS	2016-03-17
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-03-22
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,5	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,40	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,11	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,007	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,19	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	6,00	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	200	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	1200	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

---

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

---

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



Centro, Barrio San Diego # 19-113 - Después del antiguo circo teatro  
Tel.: 6648974-6604175  
Cartagena - Bolívar

**Figura 48. Muestreo 3 – Boquilla.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 2 (Crespo)**

FECHA DE TOMA	2016-03-16
FECHA DE ANÁLISIS	2016-03-17
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-03-22
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	35,1	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,80	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,06	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,001	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,11	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	4,00	Incubación 5 Días
Coliformes Fecales ufc/100 mL	400	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	2400	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.

**Figura 49. Muestreo 3 – Crespo.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

MUESTRA No 3 (Marbella)

FECHA DE TOMA	2016-03-16
FECHA DE ANÁLISIS	2016-03-17
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-03-22
MUNICIPIO	Cartagena

RESULTADOS

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,8	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,60	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,07	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,029	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,35	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	4,00	Incubación 5 Días
Coliformes Fecales ufc/100 mL	100	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	500	Filtración por Membrana

CODIGO 02

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

CODIGO 04

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 50. Muestreo 3 – Marbella.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 4 (Cabrero)**

FECHA DE TOMA	2016-03-16
FECHA DE ANÁLISIS	2016-03-17
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-03-22
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,7	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,40	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,09	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,020	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,15	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	6,50	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	100	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	500	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 51. Muestreo 3 – Cabrero.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 5 (Bocagrande)**

FECHA DE TOMA	2016-03-16
FECHA DE ANÁLISIS	2016-03-17
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-03-22
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	35,0	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,10	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,04	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,025	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,23	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	9,00	Incubación 5 Días
Coliformes Fecales ufc/100 mL	300	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	400	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 52. Muestreo 3 – Bocagrande.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 6 (Laguito)**

FECHA DE TOMA	2016-03-16
FECHA DE ANÁLISIS	2016-03-17
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-03-22
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,2	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,40	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,01	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,032	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,33	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	7,00	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	100	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	800	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 53. Muestreo 3 – Laguito.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

MUESTRA No 7 (Castillo Grande)

FECHA DE TOMA	2016-03-16
FECHA DE ANÁLISIS	2016-03-17
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-03-22
MUNICIPIO	Cartagena

RESULTADOS

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	33,9	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,70	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,03	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,016	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,27	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	5,00	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	3	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	60	Filtración por Membrana

CODIGO 02

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

CODIGO 04

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los Informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 54.** Muestreo 3 – Castillogrande.  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

#### 11.1.4. RESULTADOS DEL LABORATORIO ABRIL 2016



**Bolívar Ganador**  
SECRETARÍA DE SALUD

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

---

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 1 (Boquilla)**

FECHA DE TOMA	2016-04-27
FECHA DE ANÁLISIS	2016-04-27
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-05-04
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	35,0	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,90	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,07	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,022	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,13	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	4,00	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	100	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	300	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.

---



GOBIERNO  
DE BOLÍVAR

Centro. Barrio San Diego # 19-113 - Después del antiguo circo teatro  
Tel.: 6648974-6604175  
Cartagena - Bolívar

**Figura 55. Muestreo 4 – Boquilla.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 2 (Crespo)**

FECHA DE TOMA	2016-04-27
FECHA DE ANÁLISIS	2016-04-27
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-05-04
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,8	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,40	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0,12	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,009	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,08	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	7,00	Incubación 5 Días
Coliformes Fecales ufc/100 mL	20	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	100	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 56. Muestreo 4 – Crespo.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 3 (Marbella)**

FECHA DE TOMA	2016-04-27
FECHA DE ANÁLISIS	2016-04-27
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-05-04
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,4	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	7,24	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,10	Espectrofotometría
Nitrógeno mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,033	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,27	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	3,00	Incubación 5 Días
Coliformes Focales ufc/100 mL	60	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	200	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



Centro, Barrio San Diego # 19-113 - Después del antiguo circo teatro  
Tel.: 6648974-6604175  
Cartagena - Bolívar

**Figura 57. Muestreo 4 – Marbella.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 4 (Cabrero)**

FECHA DE TOMA	2016-04-27
FECHA DE ANÁLISIS	2016-04-27
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-05-04
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,2	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,80	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,11	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,025	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,19	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	5,50	Incubación 5 Días
Coliformes Fecales ufc/100 mL	CERO	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	300	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 58. Muestreo 4 – Cabrero.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 5 (Bocagrande)**

FECHA DE TOMA	2016-04-27
FECHA DE ANÁLISIS	2016-04-27
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-05-04
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	35,5	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,44	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,01	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,018	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,20	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	8,00	Incubación 5 Días
Coliformes Fecales ufc/100 mL	100	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	800	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



**Figura 59. Muestreo 4 – Bocagrande.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 6 (Laguito)**

FECHA DE TOMA	2016-04-27
FECHA DE ANÁLISIS	2016-04-27
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-05-04
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	34,9	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,82	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,07	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,028	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,36	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	7,00	Incubación 5 Días
Coliformes Fecales ufc/100 mL	10	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	200	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



Centro. Barrio San Diego # 19-113 - Después del antiguo circo teatro  
Tel.: 6648974-6604175  
Cartagena - Bolívar

**Figura 60. Muestreo 4 – Laguito.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

**LABORATORIO DEPARTAMENTAL DE SALUD PÚBLICA**

**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA**

**MUESTRA No 7 (Castillo Grande)**

FECHA DE TOMA	2016-04-27
FECHA DE ANÁLISIS	2016-04-27
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO	2016-05-04
MUNICIPIO	Cartagena

**RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADOS	METODO
Sólidos Totales g/L	33,7	Electrométrico
Oxígeno Disuelto mg O <sub>2</sub> /L	6,25	Electrométrico
Fosfato mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,06	Espectrofotometría
Nitrito mg/L de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,030	Espectrofotometría
Nitrato mg/L de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,21	Espectrofotometría
DBO <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /L	6,00	Incubación 5 Días
Coliformes Fecales ufc/100 mL	CERO	Filtración por Membrana
Coliformes Totales ufc/100 mL	40	Filtración por Membrana

**CODIGO 02**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**CODIGO 04**

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
BACTERIOLOGA

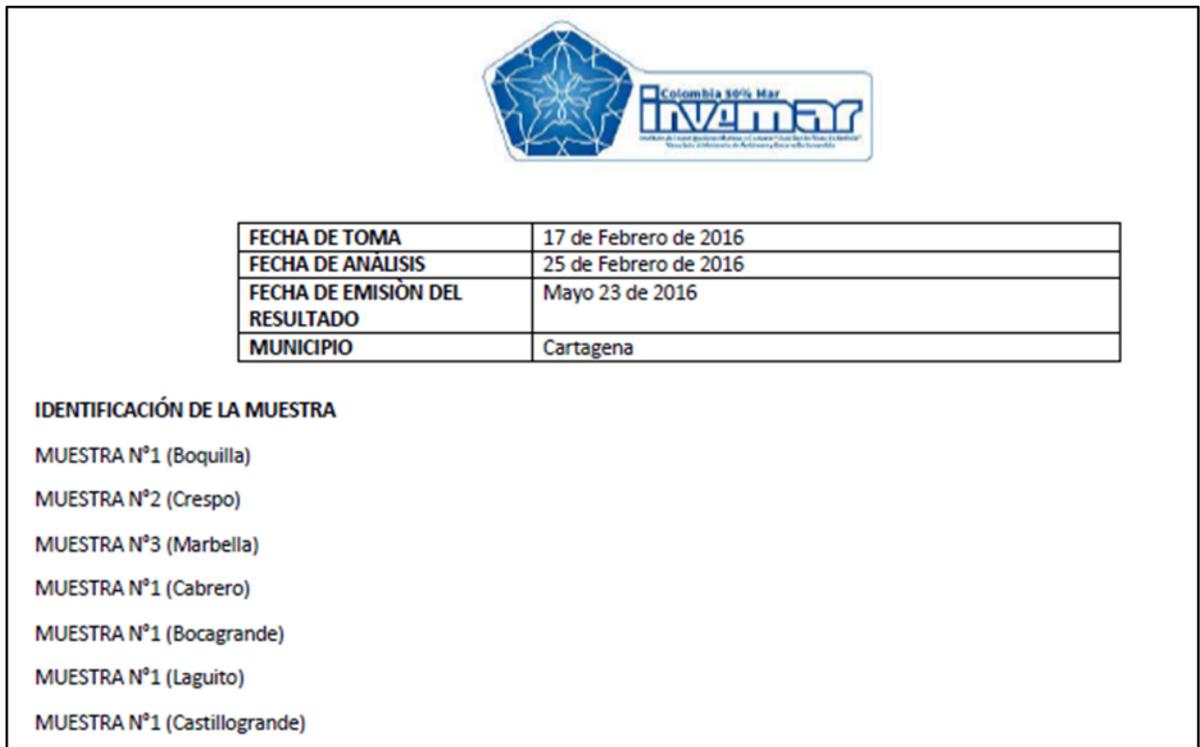
**FIN DEL INFORME:** Estos resultados son válidos para las muestras analizadas en los parámetros analizados. Estos resultados no pueden ser reproducidos parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio. La confidencialidad de los informes transmitidos por vía fax queda sujeta a la responsabilidad del cliente.



Centro, Barrio San Diego # 19-113 - Después del antiguo circo teatro  
Tel.: 6648974-6604175  
Cartagena - Bolívar

**Figura 61. Muestreo 4 – Castillogrande.**  
Fuente: Laboratorio Departamental de Salud Pública.

### 11.1.5. RESULTADOS DEL LABORATORIO METALES PESADOS E HIDROCARBUROS



**Figura 62. Muestreo de HDD y Metales trazas (A).**  
Fuente: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras.



RESULTADOS

ANÁLISIS RESULTADOS METODO	ANÁLISIS RESULTADOS METODO (M1) mg/L	ANÁLISIS RESULTADOS METODO (M2) mg/L	ANÁLISIS RESULTADOS METODO (M3) mg/L	ANÁLISIS RESULTADOS METODO (M4) mg/L	ANÁLISIS RESULTADOS METODO (M5) mg/L	ANÁLISIS RESULTADOS METODO (M6) mg/L	ANÁLISIS RESULTADOS METODO (M7) mg/L	ANÁLISIS RESULTADOS METODO Cromatografía de Gases acoplada a masas (GC/MS)
Alifáticos C6-C8	0.020	0.020	0.020	0.020	0.030	0.040	0.060	GC/MS
Alifáticos C8-C10	0.025	0.025	0.025	0.025	0.055	0.065	0.075	GC/MS
Alifáticos C10-C12	0.025	0.028	0.027	0.029	0.048	0.068	0.087	GC/MS
Alifáticos C12-C16	0.025	0.027	0.028	0.027	0.047	0.067	0.087	GC/MS
Alifáticos C16-C21	0.026	0.026	0.026	0.026	0.046	0.076	0.066	GC/MS
Aromáticos C8-C10	0.020	0.030	0.022	0.024	0.047	0.060	0.070	GC/MS
Aromáticos C10-C12	0.020	0.020	0.020	0.030	0.040	0.070	0.060	GC/MS
Aromáticos C12-C16	0.030	0.030	0.030	0.030	0.040	0.055	0.060	GC/MS
Aromáticos C16-C21	0.020	0.020	0.020	0.020	0.060	0.060	0.070	GC/MS
Aromáticos C21-C35	0.020	0.020	0.020	0.020	0.026	0.020	0.022	GC/MS
Alifáticos C16-C21	0.024	0.020	0.024	0.020	0.027	0.030	0.040	GC/MS
Alifáticos C21-C34	0.020	0.020	0.026	0.020	0.024	0.020	0.020	GC/MS

**Figura 63. Muestreo de HDD y Metales trazas (B).**

Fuente: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras.



ANÁLISIS RESULTADOS METODO	ANÁLISIS RESULTADOS METODO M1 ppm	ANÁLISIS RESULTADOS METODO M2 ppm	ANÁLISIS RESULTADOS METODO M3 ppm	ANÁLISIS RESULTADOS METODO M4 ppm	ANÁLISIS RESULTADOS METODO M5 ppm	ANÁLISIS RESULTADOS METODO M6 ppm	ANÁLISIS RESULTADOS METODO M7 ppm	ANÁLISIS RESULTADOS METODO Absorción Atómica (AA)
Cobre (Cu)	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	AA
Plomo (Pb)	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	AA
Mercurio (Hg)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.230	0.130	0.240	AA
Níquel (Ni)	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	AA
Hierro (Fe)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	AA
Cromo (Cr)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	AA
Cadmio (Cd)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	AA
Arsénico (As)	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	AA
Zinc (Zn)	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	AA

CODIGO 01

PROFESIONAL UNIVERSITARIO  
QUIMICO

**Figura 64. Muestreo de HDD y Metales trazas (C).**  
Fuente: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras.

## 11.2. ANEXO 2: CÁLCULOS DEL INDICADOR (ICAM)

### 11.2.1. Cálculos ICAM – Autores

Muestra	Parámetro							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	33400	2.4	8.71	70	70	9.9	275	5.67
2	34800	6.8	8.64	170	280	10	275	7
3	34500	6.4	8.61	110	190	200	275	4
4	35000	6.9	8.63	70	130	100	275	6

Muestra	Ajuste (Ia)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	1	24.66	73.97	1	1	99.44	1	1
2	1	87.88	77.25	1	1	99.41	1	1
3	1	82.86	78.59	1	1	56.40	1	4.86
4	1	88.99	77.70	1	1	75.81	1	1

Factor de ponderación									
Wi	0.13	0.16	0.12	0.13	0.09	0.14	0.12	0.13	

Calibración (Ic)									
Muestra	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO	
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L	mg/L
1	-4.06E+12	24.66	73.97	-2.40E+07	1.73E+04	99.44	7.03E+08	-8.95E+00	
2	-4.99E+12	87.88	77.25	-8.23E+08	5.08E+06	99.41	7.03E+08	-6.45E+01	
3	-4.78E+12	82.86	78.59	-1.46E+08	9.69E+05	56.40	7.03E+08	4.86E+00	
4	-5.13E+12	88.99	77.70	-2.40E+07	2.06E+05	75.81	7.03E+08	-1.51E+01	

Rango de clasificación o evaluación de la calidad del agua del ICAM.		
Escala	Categorías	Descripción
Óptimo	100-90	Calidad de agua deseada
Adecuada	90-70	Buenas condiciones y pocas limitaciones
Aceptable	70-50	Conserva buenas condiciones pero muchas limitaciones
Inadecuada	50-25	Presenta muchas limitaciones y desventajas
Pésima	25-0	Las desventajas superan las ventajas.

Muestra	ICAM		
	Muestra	Categoría	Escala
1	9.8	Pesima	
2	10.2	Pesima	
3	10.2	Pesima	
4	10.1	Pesima	

Figura 65. Boquilla.

Fuente: Autores.

Muestra	Parámetro							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	32700	1.9	8.52	140	110	9.9	287	5.83
2	35400	6	8.63	80	130	20	286	6.5
3	35100	6.8	8.58	60	110	400	286	7
4	34800	6.4	8.61	120	80	20	286	4

Muestra	Ajuste (Ia)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	1	18.28	82.33	1	1	99.44	1	1
2	1	77.10	77.70	1	1	96.44	1	1
3	1	87.88	79.88	1	1	30.35	1	1
4	1	82.86	78.59	1	1	96.44	1	4.86

Factor de ponderación									
Wi	0.13	0.16	0.12	0.13	0.09	0.14	0.12	0.13	

Calibración (Ic)									
Muestra	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO	
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L	mg/L
1	-3.65E+12	18.28	82.33	-3.80E+08	1.05E+05	99.44	8.75E+08	-1.16E+01	
2	-5.44E+12	77.10	77.70	-4.08E+07	2.06E+05	96.44	8.60E+08	-3.22E+01	
3	-5.21E+12	87.88	79.88	-1.29E+07	1.05E+05	30.35	8.60E+08	-6.45E+01	
4	-4.99E+12	82.86	78.59	-2.06E+08	2.95E+04	96.44	8.60E+08	4.86E+00	

Rango de clasificación o evaluación de la calidad del agua del ICAM.		
Escala	Categorías	Descripción
Óptimo	100-90	Calidad de agua deseada
Adecuada	90-70	Buenas condiciones y pocas limitaciones
Aceptable	70-50	Conserva buenas condiciones pero muchas limitaciones
Inadecuada	50-25	Presenta muchas limitaciones y desventajas
Pésima	25-0	Las desventajas superan las ventajas.

Muestra	ICAM		
	Muestra	Categoría	Escala
1	9.7	Pesima	
2	10.1	Pesima	
3	9.9	Pesima	
4	10.3	Pesima	

Figura 66. Crespo.

Fuente: Autores.

Muestra	Parámetro							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	33800	2.1	8.54	40	210	9.9	288	4
2	35100	6.8	8.65	110	210	0	288	5
3	34800	6.6	8.6	70	350	100	288	3
4	34400	7.24	8.6	100	270	60	288	4

Muestra	Ajuste (Ia)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	1	20.82	81.54	1	1	99.44	1	4.86
2	1	87.88	76.79	1	1	100	1	1
3	1	85.48	79.02	1	1	75.81	1	24.20
4	1	92.23	79.02	1	1	85.46	1	4.86

Muestra	Calibración (Ic)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	-4.31E+12	20.82	81.54	-2.56E+06	1.47E+06	99.44	8.91E+08	-4.86E+00
2	-5.21E+12	87.88	76.79	-1.46E+08	1.47E+06	102.48	8.91E+08	-3.08E+00
3	-4.99E+12	85.48	79.02	-2.40E+07	1.40E+07	75.81	8.91E+08	2.42E+01
4	-4.71E+12	92.23	79.02	-9.95E+07	4.33E+06	85.46	8.91E+08	4.86E+00

Factor de ponderación								
Wi	0.13	0.16	0.12	0.13	0.09	0.14	0.12	0.13

ICAM	Muestra	Categoría	Escala
	1	10.0	Pesima
	2	10.2	Pesima
	3	10.6	Pesima
	4	10.3	Pesima

Rango de clasificación o evaluación de la calidad del agua del ICAM.		
Escala	Categorías	Descripción
Óptimo	100-90	Calidad de agua deseada
Adecuada	90-70	Buenas condiciones y pocas limitaciones
Aceptable	70-50	Conserva buenas condiciones pero muchas limitaciones
Inadecuada	50-25	Presenta muchas limitaciones y desventajas
Pésima	25-0	Las desventajas superan las ventajas.

**Figura 67. Marbella.**  
Fuente: Autores.

Muestra	Parámetro							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	31900	2.1	8.51	120	140	10	291	5.5
2	34500	7.1	8.64	140	120	0	291	4.5
3	34700	6.4	8.72	90	50	100	291	5.5
4	34200	6.8	8.55	110	190	0	291	6.5

Muestra	Ajuste (Ia)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	1	20.82	82.73	1	1	99.41	1	1
2	1	91.00	77.25	1	1	100	1	0.04
3	1	82.86	73.49	1	1	75.81	1	1
4	1	87.88	81.13	1	1	100	1	1

Muestra	Calibración (Ic)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	-3.2E+12	20.82	82.73	-2.1E+08	2.8E+05	99.41	9.4E+08	-6.9E+00
2	-4.8E+12	91.00	77.25	-3.8E+08	1.5E+05	102.48	9.4E+08	4.4E-02
3	-4.9E+12	82.86	73.49	-6.5E+07	4.5E+03	75.81	9.4E+08	-6.9E+00
4	-4.6E+12	87.88	81.13	-1.5E+08	9.7E+05	102.48	9.4E+08	-3.2E+01

Factor de ponderación								
Wi	0.13	0.16	0.12	0.13	0.09	0.14	0.12	0.13

ICAM	Muestra	Categoría	Escala
	1	9.8	Pesima
	2	9.9	Pesima
	3	10.1	Pesima
	4	10.2	Pesima

Rango de clasificación o evaluación de la calidad del agua del ICAM.		
Escala	Categorías	Descripción
Óptimo	100-90	Calidad de agua deseada
Adecuada	90-70	Buenas condiciones y pocas limitaciones
Aceptable	70-50	Conserva buenas condiciones pero muchas limitaciones
Inadecuada	50-25	Presenta muchas limitaciones y desventajas
Pésima	25-0	Las desventajas superan las ventajas.

**Figura 68. Cabrero.**  
Fuente: Autores.

Muestra	Parámetro							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	33700	1.5	8.55	30	190	9.9	490	7.67
2	35200	6.4	8.64	60	110	0	490	6
3	35000	6.1	8.6	40	230	300	490	8
4	35500	6.4	8.56	10	200	100	490	9

Muestra	Ajuste (Ia)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	1	13.25	81.13	1	1	99.44	1	1
2	1	82.86	77.25	1	1	100	1	1
3	1	78.59	79.02	1	1	41.91	1	1
4	1	82.86	80.72	1	1	75.81	1	1

Muestra	Calibración (Ic)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	-4.25E+12	13.25	81.13	-8.10E+05	9.69E+05	99.44	1.33E+10	-1.44E+02
2	-5.28E+12	82.86	77.25	-1.29E+07	1.05E+05	102.48	1.33E+10	-1.51E+01
3	-5.13E+12	78.59	79.02	-2.56E+06	2.16E+06	41.91	1.33E+10	-2.06E+02
4	-5.51E+12	82.86	80.72	-9.91E+03	1.20E+06	75.81	1.33E+10	-5.17E+02

Factor de ponderación								
Wi	0.13	0.16	0.12	0.13	0.09	0.14	0.12	0.13

ICAM	Muestra	Categoría	Escala
	1	9.7	Pesima
	2	10.1	Pesima
	3	9.9	Pesima
	4	10.1	Pesima

Rango de clasificación o evaluación de la calidad del agua del ICAM.		
Escala	Categorías	Descripción
Óptimo	100-90	Calidad de agua deseada
Adecuada	90-70	Buenas condiciones y pocas limitaciones
Aceptable	70-50	Conserva buenas condiciones pero muchas limitaciones
Inadecuada	50-25	Presenta muchas limitaciones y desventajas
Pésima	25-0	Las desventajas superan las ventajas.

Figura 69. Bocagrande.

Fuente: Autores.

Muestra	Parámetro							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	30600	1.2	8.6	90	90	9.9	631	7.3
2	34700	6.2	8.62	90	370	0	631	8
3	34200	6.4	8.6	10	330	100	631	7
4	34900	6.82	8.56	70	360	10	631	7

Muestra	Ajuste (Ia)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	1	9.62	79.02	1	1	99.44	1	1
2	1	80.05	78.15	1	1	100	1	1
3	1	82.86	79.02	1	1	75.81	1	1
4	1	88.11	80.72	1	1	99.41	1	1

Factor de ponderación								
Wi	0.13	0.16	0.12	0.13	0.09	0.14	0.12	0.13

ICAM	Muestra	Categoría	Escala
	1	9.6	Pesima
	2	10.1	Pesima
	3	10.1	Pesima
	4	10.2	Pesima

Rango de clasificación o evaluación de la calidad del agua del ICAM.		
Escala	Categorías	Descripción
Óptimo	100-90	Calidad de agua deseada
Adecuada	90-70	Buenas condiciones y pocas limitaciones
Aceptable	70-50	Conserva buenas condiciones pero muchas limitaciones
Inadecuada	50-25	Presenta muchas limitaciones y desventajas
Pésima	25-0	Las desventajas superan las ventajas.

Figura 70. Laguito.

Fuente: Autores.

Muestra	Parámetro							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	31200	2.3	8.59	50	160	9.9	717	5.67
2	33900	6.5	8.65	30	310	0	717	6
3	33900	6.7	8.59	30	270	3	717	6
4	33700	6.25	8.56	60	210	0	717	5

Muestra	Ajuste (Ia)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	1	23.38	79.45	1	1	99.44	1	1
2	1	84.19	76.79	1	1	100	1	1
3	1	86.71	79.45	1	1	100	1	1
4	1	80.77	80.72	1	1	100	1	1

Muestra	Calibración (Ic)							
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L
1	-2.88E+12	23.38	79.45	-6.24E+06	4.78E+05	99.44	9.08E+10	-8.95E+00
2	-4.37E+12	84.19	76.79	-8.10E+05	8.02E+06	102.48	9.08E+10	-1.51E+01
3	-4.37E+12	86.71	79.45	-8.10E+05	4.33E+06	101.55	9.08E+10	-1.51E+01
4	-4.25E+12	80.77	80.72	-1.29E+07	1.47E+06	102.48	9.08E+10	-3.08E+00

Factor de ponderación								
Wi	0.13	0.16	0.12	0.13	0.09	0.14	0.12	0.13

ICAM	Muestra	Categoría	Escala
	1	9.8	Pesima
	2	10.1	Pesima
	3	10.2	Pesima
4	10.1	Pesima	

Rango de clasificación o evaluación de la calidad del agua del ICAM.		
Escala	Categorías	Descripción
Óptimo	100-90	Calidad de agua deseada
Adecuada	90-70	Buenas condiciones y pocas limitaciones
Aceptable	70-50	Conserva buenas condiciones pero muchas limitaciones
Inadecuada	50-25	Presenta muchas limitaciones y desventajas
Pésima	25-0	Las desventajas superan las ventajas.

**Figura 71. Castillogrande.**

Fuente: Autores.

### 11.2.2. Cálculos ICAM – Calculadora online REDCAM

**Tabla 24. Resultados online – Boquilla.**

Muestra	Calculadora REDCAM								ICAM	Escala
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO		
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L		
1	1	23,64	61,28	15,97	1	97,83	1	0,65	6,81	Pésima
2	1	87,67	65,42	1	1	97,76	1	0,11	4,82	Pésima
3	1	82,76	67,26	3,68	1	55,77	1	6,92	8,88	Pésima
4	1	88,82	66,08	15,97	1	69,27	1	0,37	7,52	Pésima

Fuente: REDCAM.

**Tabla 25. Resultados online – Crespo.**

Muestra	Calculadora REDCAM								ICAM	Escala
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO		
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L		
1	1	17,28	72,43	1,43	1	97,86	1	0,47	4,74	Pésima
2	1	77,4	66,08	11,01	1	91,65	1	0,2	6,75	Pésima
3	1	87,67	69,01	22,97	1	40,8	1	0,11	6,25	Pésima
4	1	82,76	67,26	2,62	1	91,65	1	6,98	9,14	Pésima

Fuente: REDCAM.

**Tabla 26. Resultados online – Marbella.**

Muestra	Calculadora REDCAM								ICAM	Escala
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO		
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L		
1	1	19,75	71,3	44,71	1	97,83	1	6,98	10,38	Pésima
2	1	87,67	64,89	6,38	1	100	1	1,58	7,98	Pésima
3	1	85,28	67,84	15,27	100	69,27	1	24,1	19,52	Pésima
4	1	92,43	67,84	5,25	1	77,76	1	6,98	9,89	Pésima

Fuente: REDCAM.

**Tabla 27. Resultados online – Cabrero.**

Muestra	Calculadora REDCAM								ICAM	Escala
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO		
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L		
1	1	19,75	72,98	2,62	1	97,76	1	0,75	5,54	Pésima
2	1	91	65,48	1,43	1	100	1	3,37	7,92	Pésima
3	1	82,76	60,68	7,58	29,45	69,27	1	0,75	10	Pésima
4	1	87,67	70,73	3,68	1	100	1	0,2	6,16	Pésima

Fuente: REDCAM.

**Tabla 28. Resultados online – Bocagrande.**

Muestra	Calculadora REDCAM								ICAM	Escala
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO		
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L		
1	1	12,67	70,73	59,38	1	97,83	1	0,07	5,49	Pésima
2	1	82,76	65,48	22,97	1	100	1	0,37	8,17	Pésima
3	1	78,77	67,84	44,71	61,69	47,1	1	0,05	8,86	Pésima
4	1	82,76	70,16	89,97	1	69,27	1	0,03	6,65	Pésima

Fuente: REDCAM.

**Tabla 29. Resultados online – Laguito.**

Muestra	Calculadora REDCAM								ICAM	Escala
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO		
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L		
1	1	9,53	67,84	7,58	1	97,83	1	0,09	4,21	Pésima
2	1	80,13	66,67	7,58	100	100	1	0,05	8,32	Pésima
3	1	82,76	67,84	87,97	100	69,27	1	0,11	11,86	Pésima
4	1	87,9	70,16	15,97	100	97,76	1	0,11	10,76	Pésima

Fuente: REDCAM.

**Tabla 30. Resultados online – Castillogrande.**

Muestra	Calculadora REDCAM								ICAM	Escala
	ST	OD	pH	PO4	NO3	CFS	HDD	DBO		
	mg/L	mg/L	Unidad de pH	µg/L	µg/L	NMP/100mL	µg/L	mg/L		
1	1	22,32	68,43	32,47	1	97,83	1	0,65	7,04	Pésima
2	1	84,03	64,89	59,38	100	100	1	0,37	13,87	Pésima
3	1	86,49	68,43	59,38	1	100	1	0,37	9,27	Pésima
4	1	80,8	70,16	22,97	1	100	1	1,58	9,91	Pésima

Fuente: REDCAM.

### 11.3. ANEXO 3: SALIDAS DE CAMPO.



**Figura 72. Grupo de trabajo, playa Boquilla.**



**Figura 73.** Muestra fisicoquímica, playa Crespo.



**Figura 74.** Muestra microbiológica, playa Boquilla.



**Figura 75.** *Preservación de muestras (nevera portátil).*



**Figura 76.** *Punto de muestreo, playa Castillogrande.*



**Figura 77.** Equipo de medición In - Situ.



**Figura 78.** Medición In - Situ, playa Marbella.



**Figura 79.** Toma de muestra, playa Laguito.