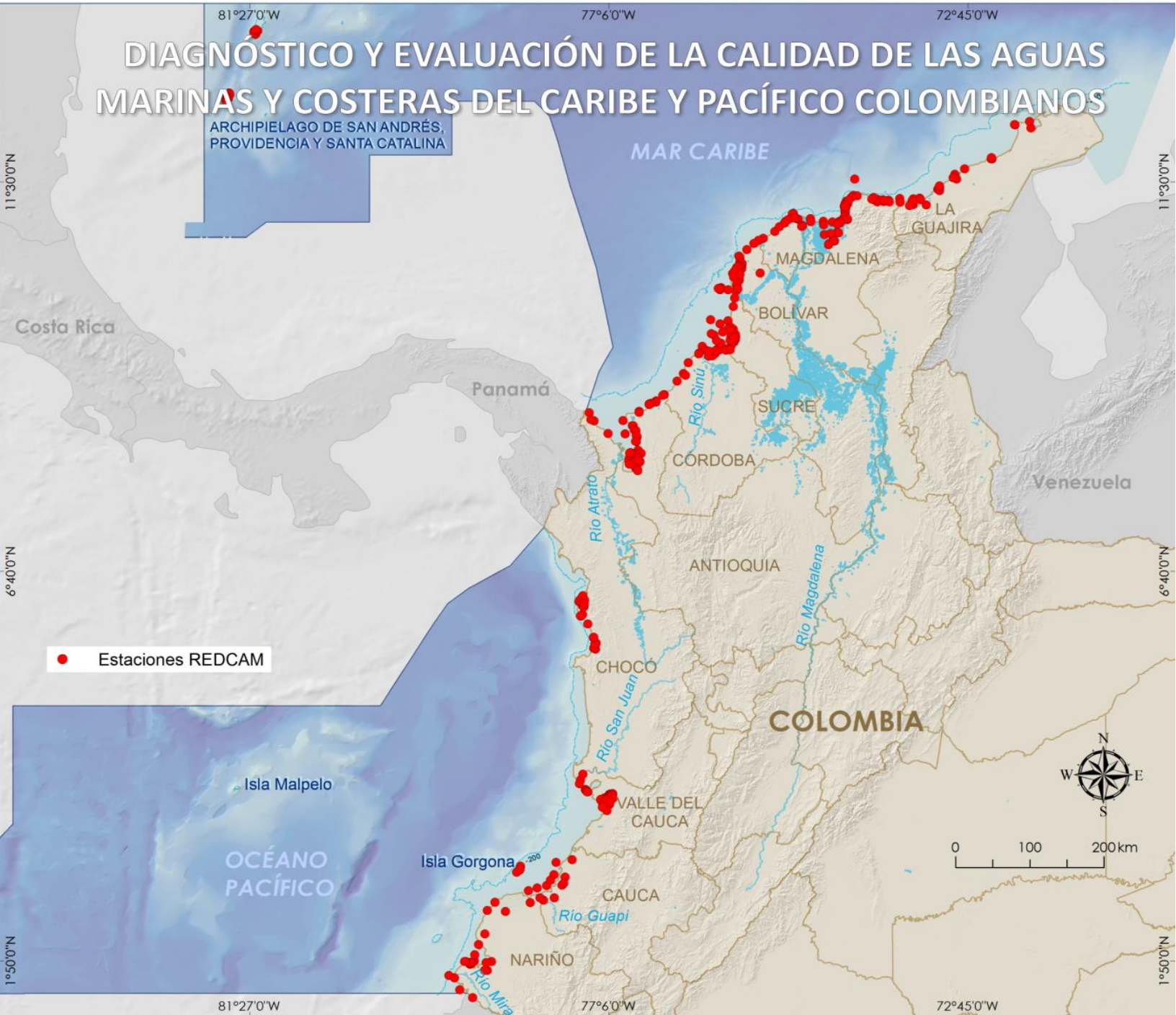


**Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”**  
Vinculado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible



# Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico Colombianos



**Informe Técnico  
REDCAM  
2015**

# DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS DEL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANOS

## INFORME TÉCNICO 2015

### Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM



### Entidades nodos que participan en la REDCAM

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés -  
INVEMAR  
Vinculado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Santa Marta, mayo de 2016

## DIRECTIVOS INVEMAR

**FRANCISCO ARMANDO ARIAS ISAZA**  
Director General

**JESÚS ANTONIO GARAY TINOCO**  
Subdirector Coordinación de Investigaciones

**SANDRA RINCÓN CABAL**  
Subdirectora Administrativa

**PAULA CRISTINA SIERRA CORREA**  
Coordinadora Coordinación de Investigación e información para la Gestión Marina y Costera (GEZ)

**DAVID ALONSO CARVAJAL**  
Coordinador Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)

**LUISA FERNANDA ESPINOSA DÍAZ**  
Coordinadora Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)

**MARIO ENRIQUE RUEDA HERNÁNDEZ**  
Coordinador Programa Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos y Costeros (VAR)

**CONSTANZA RICAURTE VILLOTA**  
Coordinadora Programa Geociencias Marinas y Costeras (GEO)

**JULIÁN MAURICIO BETANCOURT PORTELA**  
Coordinador Coordinación de Servicios Científicos (CSC)

## EQUIPO TÉCNICO INVEMAR

**LIZBETH JANET VIVAS-AGUAS**  
Jefe Línea Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros - Responsable de la REDCAM

**CÉSAR BERNAL**  
Jefe Laboratorio Calidad Ambiental Marina

**Asesores**  
LUISA F. ESPINOSA, JOSÉ SÁNCHEZ y JESÚS A. GARAY

## INVESTIGADORES

Ostín Garcés-Ordóñez - Biólogo  
Max Martínez Campo - Microbiólogo  
Tania Córdoba Meza - Microbióloga  
Paola Obando Madera - Ing. Ambiental  
Mary Ríos Marmol - Ing. Ambiental y Sanitaria  
Alex Contreras Guerrero - Químico  
Yadi Moreno Pardo - Ing. Química  
Yoselin Nieto Gil - Química  
Johan Muñoz Cabral - Ing. Químico  
Diana Sánchez Rodríguez - Bióloga

## APOYO TÉCNICO

**Laboratorio de Calidad Ambiental Marina (LABCAM)**  
César Bernal, Karen Ibarra, Lilia Ibañez, José Vega, Halbin Serrano, Yully Ruiz, Josimar Barranco, Gustavo Lara, César Herrera, Paula Domínguez y Omar Cantillo.

**Laboratorio de Servicios de Información (LABSIS)**  
Leonardo Arias, Daniel González, Venus Rocha y Liliana Barreto.

## INFORME TÉCNICO 2015

### COMPILACIÓN Y EDICIÓN GENERAL

Ostín Garcés Ordóñez  
Lizbeth Janet Vivas Aguas

### NODOS, ENTIDADES PARTICIPANTES Y COLABORADORES

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
**Andrea Ramírez**  
CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CHOCÓ - CODECHOCO  
**Iván Restrepo**  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA - CVC  
**Luisa Marina Baena**  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - CRC  
**Luz Marina Prieto y Julio Cesar Rodríguez**  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO - CORPONARIÑO  
**Marcela Caviedes y Dario López**  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA GUAJIRA - CORPOGUAJIRA  
**Jaiker Gómez Sierra y Lianis Charry Molina**  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL MAGDALENA - CORPAMAG  
**Eliana Álvarez**  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO - CRA  
**Efrain Leal**  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE - CARDIQUE  
**Mady García e Ildelfonso Castro**  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SUCRE - CARSUCRE  
**Tulio Rafael Ruiz Álvarez**  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LOS VALLES DEL SINÚ Y SAN JORGE - CVS  
**Rafael Espinosa, María Luisa Sánchez y Lina María García**  
CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE URABÁ - CORPOURABA  
**Diana Andrade y Diana Cuervo**  
CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA - CORALINA  
**Nacor Bolaños, Tomás Guerrero y Cindy Fortune**

### ESTUDIANTES

Katerin Santana, Diana Triada, Kelvin Varela y Brayan Cantillo



### Cítese como:

Garcés-Ordóñez, O., L.J. Vivas-Aguas, M. Martínez, T. Córdoba, A. Contreras, P. Obando, Y. Moreno, J. Muñoz, Y. Nieto, M. Ríos, J. Sánchez y D. Sánchez. 2016. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No. 4 (2016). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe técnico 2015. INVEMAR, MADS y CAR costeras. Santa Marta. 377 p.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2. GENERALIDADES .....</b>	<b>9</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	9
2.2 METODOLOGÍA.....	11
2.3 FORTALECIMIENTO DEL PROGRAMA REDCAM .....	14
<b>3. FUENTES TERRESTRES Y MARINAS DE CONTAMINACIÓN AL MAR .....</b>	<b>61</b>
3.1 RESIDUOS DE LA POBLACIÓN COSTERA.....	64
3.2 DESCARGAS DE TRIBUTARIOS .....	72
3.3 TURISMO EN PLAYAS .....	74
3.4 ACTIVIDAD PORTUARIA.....	76
3.5 CASO ESTUDIO: ISLA DE SAN ANDRÉS .....	80
<b>4. DIAGNÓSTICO NACIONAL CON EL ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS.....</b>	<b>87</b>
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	88
4.2 CONCLUSIONES.....	92
<b>5. CALIDAD DE LAS AGUAS EN LA COSTA CARIBE.....</b>	<b>95</b>
<b>6. CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA COSTA CARIBE .....</b>	<b>101</b>
6.1 ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA .....	105
6.2 LA GUAJIRA.....	125
6.3 MAGDALENA .....	147
6.4 ATLÁNTICO.....	173
6.5 BOLÍVAR .....	195
6.6 SUCRE .....	215
6.7 CÓRDOBA.....	239
6.8 ANTIOQUIA.....	259
<b>7. CALIDAD DE LAS AGUAS EN LA COSTA PACÍFICA.....</b>	<b>271</b>
<b>8. CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA COSTA PACÍFICA .....</b>	<b>277</b>
8.1 CHOCÓ .....	281
8.2 VALLE DEL CAUCA .....	303
8.3 CAUCA .....	325
8.4 NARIÑO.....	345
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>361</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM), es un programa interinstitucional con 15 años de operación, que surgió en el año 2000 del proyecto “*Diagnostico y evaluación de la calidad ambiental marina del Caribe y Pacifico colombiano*”, con el propósito de establecer un sistema para la vigilancia permanente de la calidad ambiental marina de la franja marino-costera colombiana. Este programa lo integran las entidades encargadas de la investigación, manejo y control de los recursos y ambientes marinos y costeros, tales como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) y las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) con jurisdicción costera e insular, entre otras instituciones, las cuales participan como nodos del sistema.

Para la operación de la REDCAM, las instituciones nodo han unido recursos técnicos y económicos, para levantar información actualizada sobre el estado de la calidad del agua marina y costera del Caribe y Pacífico colombiano. Este programa además es considerado un instrumento de gestión y de apoyo para atender las metas de país, planes, programas y políticas nacionales e internacionales de carácter ambiental, tales como el Plan Estratégico Nacional de Investigación Ambiental, (PENIA), el Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de las Fuentes Marinas y Terrestres de Contaminación al Mar (PNICM), la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia (PNAOCI; [MMA, 2000](#)), la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH; [MAVDT, 2010](#)), la Cumbre de la Tierra (1992), el convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (2001), Protocolo para la Protección contra la Contaminación marina Proveniente de Fuentes Terrestre ([CPPS, 1983](#)) y su plan de acción ([PNUMA, 2001](#)), el Convenio de Cartagena ([ONU, 1983](#)), entre otros.

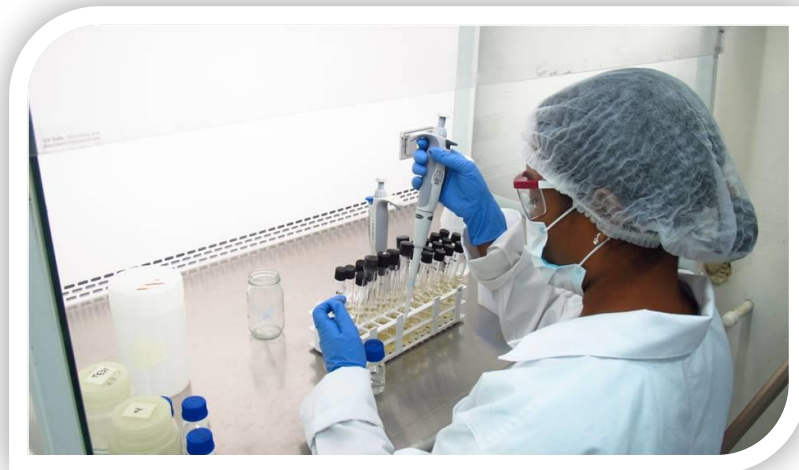
En el presente informe diagnóstico 2015, se muestran los resultados de la evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y el Pacífico colombiano durante las épocas lluviosa del 2014 y seca del 2015, en base a las condiciones fisicoquímicas, microbiológicas, y las concentraciones de contaminantes orgánicos (plaguicidas e hidrocarburos) e inorgánicos (metales pesados) en sitios de interés ambiental, presentados en un contexto nacional, regional y departamental. Además, se muestran los resultados de contaminantes en sedimentos marinos en algunas estaciones, como complemento al monitoreo.

El informe también incluye las actividades de fortalecimiento de la REDCAM, que comprende las actividades de capacitación, articulación interinstitucional, y actualización del sistema de información. El capítulo de Fuentes Terrestres y Marinas de contaminación al Mar, donde se presenta un inventario nacional actualizado de la población costera y actividades humanas que generan contaminantes, y los principales ríos que facilitan el transporte de los mismos hacia el mar Caribe y océano Pacífico, y el caso estudio San Andrés Isla; y el Diagnóstico nacional con el Índice de Calidad de las aguas marinas y costeras (ICAM), que permite cuantificar el estado de conservación o deterioro del agua marina y estuarina para la preservación de flora y fauna.

# Generalidades



Toma de muestra en campo. Foto: Ostin Garcés



Análisis en el laboratorio de Calidad Ambiental Marina del INEMAR. Foto: Miguel Ospino.





## 2. GENERALIDADES

El programa nacional REDCAM comprende una serie de actividades técnicas, académicas y administrativas como monitoreo, capacitación, fortalecimiento, asesoría, actualización del sistema de información y gestión de convenios para la ejecución de las actividades conjuntas entre el INVEMAR y otros nodos del programa nacional, con el propósito de contribuir con información básica sobre temas relacionados con la calidad ambiental marina colombiana, y mantener en funcionamiento la REDCAM, como una herramienta que soporte la gestión ambiental y toma de decisiones por parte de las autoridades competentes, que posibilite el manejo integrado y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico marino y la biota asociada.

### 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

Durante las épocas lluviosa de 2014 y seca de 2015, se monitorearon en total 339 estaciones ubicadas en sitios estratégicos de importancia económica y ambiental (Figura 2.1), en donde existe influencia o presencia de factores como asentamientos humanos, vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas e industriales, turismo en playas, inadecuado manejo de basuras, escorrentías agropecuarias, actividad portuaria, entre otros, que pueden afectar la calidad del agua y causar el deterioro de sus ecosistemas.



Figura 2.1. Estaciones REDCAM. Arriba) Izquierda: vertimiento en el río Magdalena, Atlántico; derecha: Salahonda, Nariño. Abajo) Izquierda: playa Blanca, Magdalena; derecha: Sociedad Portuaria Tumaco, Nariño. Fotografías: Programa CAM.

En el Caribe se ubicaron 219 estaciones distribuidas en la zona costera de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina; y en la costa Pacífica 120 estaciones en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño, incluidas las islas de Gorgona y Gorgonilla (Figura 2.2). Las estaciones de muestreo se establecieron en sitios de interés como golfos, bahías, lagunas costeras, ciénagas, playas, los frentes y la cuenca baja de los principales ríos que drenan al mar Caribe y al océano Pacífico, con el propósito de vigilar la calidad de las aguas marino-costeras para su conservación y protección de las fuentes terrestres y marinas de contaminación. También se tomaron 24 muestras de sedimentos en estaciones de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño para medir contaminantes y complementar el diagnóstico.



**Figura 2.2. Ubicaciones de las estaciones de muestreo de la REDCAM en las zonas costeras del Caribe y Pacífico Colombianos.**

## 2.2 METODOLOGÍA

### 2.2.1 FASE DE CAMPO

Los muestreos de la época lluviosa 2014 se realizaron entre julio y noviembre y los de la época seca de 2015 entre febrero y junio. Cabe aclarar que en el departamento de Nariño el segundo muestreo se ejecutó en septiembre de 2015, por tanto, en este informe se tomarán estos resultados para el diagnóstico. En los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño, los muestreos fueron realizados por el personal de INVEMAR, con el apoyo de funcionarios de la corporación de cada departamento. Los muestreos en San Andrés, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca fueron realizados por los laboratorios de CORALINA, CARDIQUE, CORPOURABÁ y CVC respectivamente, quienes cuentan con la logística, equipos y profesionales capacitados para hacer el monitoreo marino de manera autónoma.

En todas las estaciones de muestreo se midieron *in situ* temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH usando equipos portátiles previamente calibrados (Figura 2.3a) y se recolectaron muestras de agua (Figura 2.3b) para analizar en el laboratorio las variables fisicoquímicas, microbiológicas, contaminantes orgánicos (hidrocarburos y plaguicidas) e inorgánicos (metales pesados). Adicionalmente, se tomaron muestras de sedimentos en algunas estaciones para medir materia orgánica, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados. El personal técnico de CORPOGUAJIRA se encargó de tomar los datos *in situ* para el monitoreo REDCAM en La Guajira.



Figura 2.3. Salida de campo REDCAM. Medición de parámetros *in situ* (a), foto: Mary Ríos; recolección de muestras de agua (b), fotos: Ostin Garcés.

### 2.2.2 FASE DE LABORATORIO

CORALINA, CARDIQUE, CORPOURABÁ y CVC realizaron los análisis de las muestras colectadas en las estaciones de sus departamentos, teniendo en cuenta los procedimientos internos de sus laboratorios.

En el Laboratorio de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR se analizaron las muestras de agua y sedimento colectadas en los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño, así como los metales pesados de

Antioquia, y los hidrocarburos y plaguicidas de Bolívar, siguiendo diferentes metodologías nacionales e internacionales estandarizadas ([Garay et al., 2003](#); [APHA et al., 2012](#); [UNESCO, 1984](#); [PNUMA, 2008](#) y [Strickland y Parsons, 1972](#)), las cuales se describen a continuación:

### 2.2.2.1 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los sólidos suspendidos totales (SST) son partículas sólidas que se encuentran suspendidas en el agua y que son retenidas por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103 – 105 °C hasta peso constante. Aguas con altos contenidos de sólidos pueden afectar su calidad para consumo humano, uso industrial, estético y preservación de flora y fauna ([Garay et al., 2003](#); [Fabricius, 2005](#)). Para determinar las concentraciones de SST en las muestras colectadas se utilizó el método gravimétrico (Standard Methods N° 2540-D, [APHA, et al., 2012](#)). Los resultados se expresaron en miligramos por litro de muestra (mg/L), y se analizaron con los registros históricos de la REDCAM y con valores de referencia descritos en la literatura científica (50 mg/L; [Fabricius, 2005](#)) en áreas con presencia de arrecifes coralinos.

### 2.2.2.2 NUTRIENTES INORGÁNICOS DISUELTOS

Los nutrientes inorgánicos disueltos (amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) y ortofosfatos ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) se determinaron con métodos colorimétricos ([Strickland y Parsons, 1972](#)) y se expresaron en microgramos por litro de muestra ( $\mu\text{g/L}$ ). Estos iones son variables importantes de calidad de aguas y tienen diversos orígenes como disolución geológica, arrastre de los depósitos atmosféricos por las lluvias, escorrentías y descomposición de la materia orgánica por acción de microorganismos ([Torres et al., 2001](#)). También pueden ser de origen antropogénicos por el uso de agroquímicos, vertimiento de aguas residuales domésticas o industriales ([Escobar, 2002](#); [Lapointe et al., 2004](#); [Cárdenas y Sánchez, 2013](#)). Si bien son fundamentales para los procesos biológicos, dependiendo de sus formas químicas pueden tener impactos directos o indirectos de significancia sobre el crecimiento del fitoplancton, concentración de oxígeno y tasas de sedimentación, que afectarían la calidad del agua ([Lapointe et al., 2004](#); [Davidson et al., 2014](#)).

### 2.2.2.3 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Para determinar la calidad microbiológica del agua se usaron como indicadores de contaminación fecal los coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) de acuerdo con los criterios de calidad de la legislación colombiana ([MinSalud, 1984](#)), y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud ([OMS, 2003](#)) para enterococos como un ejercicio académico.

Los CTT y CTE se determinaron con el método de fermentación en tubos múltiples (Standard Methods 9221-B; [APHA, et al., 2012](#)), expresándose en número más probable por cien mililitros de muestra (NMP/100 mL); y los EFE se midieron con el método de filtración por membrana (Standard Methods N° 9230 C, [APHA et al., 2012](#)) y se expresaron en unidades formadoras de colonias por cien mililitros de muestra (UFC/100 mL).

Debido al crecimiento exponencial de los microorganismos, los resultados se normalizaron con el logaritmo en base 10 para disminuir la dispersión y graficarlos en una misma escala ([Lester y Birkett, 1999](#)), posteriormente los datos se compararon con los criterios de calidad para aguas de uso recreativo por contacto primario (p.e. natación y buceo) y para contacto secundario (p.e. deportes náuticos y pesca) descritos en el Decreto 1594 de 1984 ([Minsalud,](#)

1984). Este decreto establece para contacto primario un máximo de 1.000 NMP de CTT /100 mL y de 200 NMP de CTE /100 mL; y para contacto secundario un máximo de 5.000 NMP de CTT/100 mL.

En el análisis de los EFE se emplearon los valores guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que no establece límites obligatorios, sino medidas para un ambiente seguro en aguas costeras de uso recreativo, basados en múltiples estudios epidemiológicos y evaluaciones de riesgo de contraer enfermedades dependiendo del tipo de exposición, directa o indirecta (Tabla 2.1; OMS, 2003). La OMS utiliza las categorías desde A hasta la D definidas según el percentil 95 de la concentración de EFE en el agua marina y de acuerdo a la probabilidad de riesgo de contagio por exposición de los bañistas.

Tabla 2.1. Valores guía de *Enterococos Fecales* para la calidad microbiológica de aguas costeras recreativas de acuerdo a la OMS (2003). EIG: Enfermedades gastrointestinal; ERFA: Enfermedades Respiratorias Febriles Agudas.

Categoría	Concentración de Enterococos fecales	Riesgo estimado por exposición
A	≤40 UFC/100 mL	<1% de contraer EGI. <0,3% de contraer ERFA.
B	41–200 UFC/100 mL	1–5% de EGI. 0,3 a 1,9% de ERFA.
C	201–500 UFC/100 mL	5–10% de EGI. 1,9–3,9% de ERFA.
D	>500 UFC/100 mL	>10% de EGI. >3,9% de ERFA

#### 2.2.2.4 HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO

Las muestras de agua fueron tratadas siguiendo el manual de técnicas analíticas del INVEMAR (Garay et al., 2003) y el manual de la UNESCO (UNESCO, 1984). Debido a la ausencia de límites permisibles en Colombia, los resultados se analizaron con el valor de referencia de la UNESCO (1984) que propone una concentración menor a 10 µg/L para aguas no contaminadas.

#### 2.2.2.5 RESIDUOS DE PLAGUICIDAS

Para determinar los plaguicidas Organoclorados: Hexaclorociclohexano total, Aldrín, Heptacloro, Organoclorados totales, Sumatoria del DDT y sus metabolitos (cuyo uso está actualmente restringido, pero que siguen siendo de interés ambiental porque tienen una vida media de muchos años) y plaguicidas de uso actual como Diuron, Diazinón, Clorotalonil, Metil Paratión, Bromacil, Clorpirifós, Fenamifos, Cis- Permetrina y trans-Permetrina, se siguió la metodología descrita en la guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales: agua, suelos/sedimentos y biota del PNUMA (2008). La cuantificación se realizó en cromatógrafo de gases asociado a un detector de espectrometría de masas, con un sistema de inyección “split/splitless”, siguiendo los procedimientos de control de calidad. Los resultados se contrastaron con los valores de referencia propuestos por EPA (2015) para causar efectos agudos en la biota acuática expuesta, y valores PEL del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME, 1999) para sedimentos.

### 2.2.2.6 METALES PESADOS

Para la determinación de metales pesados en aguas se aplicaron los procedimientos descritos en el manual de técnicas analíticas del INVEMAR ([Garay et al., 2003](#)). La cuantificación se realizó mediante la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica con llama en un equipo marca Shimadzu, AA 6300. Los resultados se analizaron con los valores de referencia de la NOAA ([Buchman, 2008](#)) que proponen una concentración mínima de cada metal capaz de producir un efecto crónico o agudos en aguas marinas, y los valores PEL de la NOAA para sedimentos marinos.

### 2.2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

Los datos fueron analizados con estadística descriptiva principalmente. Se aplicó el análisis de Kruskal Wallis para datos no paramétricos para conocer la significancia estadística entre las épocas climáticas usando el el programa Infostat ®. Adicionalmente se aplicó un análisis de conglomerados para conocer la similitud de las estaciones entre sí teniendo en cuenta los resultados de las variables fisicoquímicas *in situ* que caracterizan las aguas marinas, estuarinas y fluviales.

## 2.3 FORTALECIMIENTO DEL PROGRAMA REDCAM

### 2.3.1 SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN: BASE DE DATOS Y CARTOGRAFÍA

Con el desarrollo y fortalecimiento del sistema de información de la REDCAM, se ha logrado integrar en un gran reservorio de datos central, toda la información de los monitoreo de aguas marino-costeras y sedimentos marinos recolectados en los 15 años de operación, y construir una serie de aplicaciones y funcionalidades acorde con los requerimientos y evolución de la red, siendo una herramienta de apoyo para las entidades del SINA.

Durante el 2015, para actualizar e integrar la información, se estandarizaron e ingresaron los datos generados y obtenidos por los nodos de la REDCAM, durante los muestreos para las épocas lluviosa 2014, seca 2015 y parte de la lluviosa 2015, en los 12 departamentos costeros, los cuales se pueden consultar desde la página principal del INVEMAR a través de <http://www.invemar.org.co/> y <http://siam.invemar.org.co/siam/index.jsp> (Figura 2.4). Además, se efectuó el mantenimiento de los servicios que ofrece la plataforma, módulos de consulta estadística, variables monitoreadas, indicadores y geovisor disponibles de forma online y permanente para el público en general y nodos REDCAM (Figura 2.5).

Los usuarios interesados en consultar la REDCAM, pueden visualizar de manera fácil los datos de 2001 a 2015, teniendo acceso a la información y ubicación geográfica de estaciones de muestreo, el listado de variables, módulo de estadísticas, el índice de calidad de aguas y cartografía dinámica en línea.

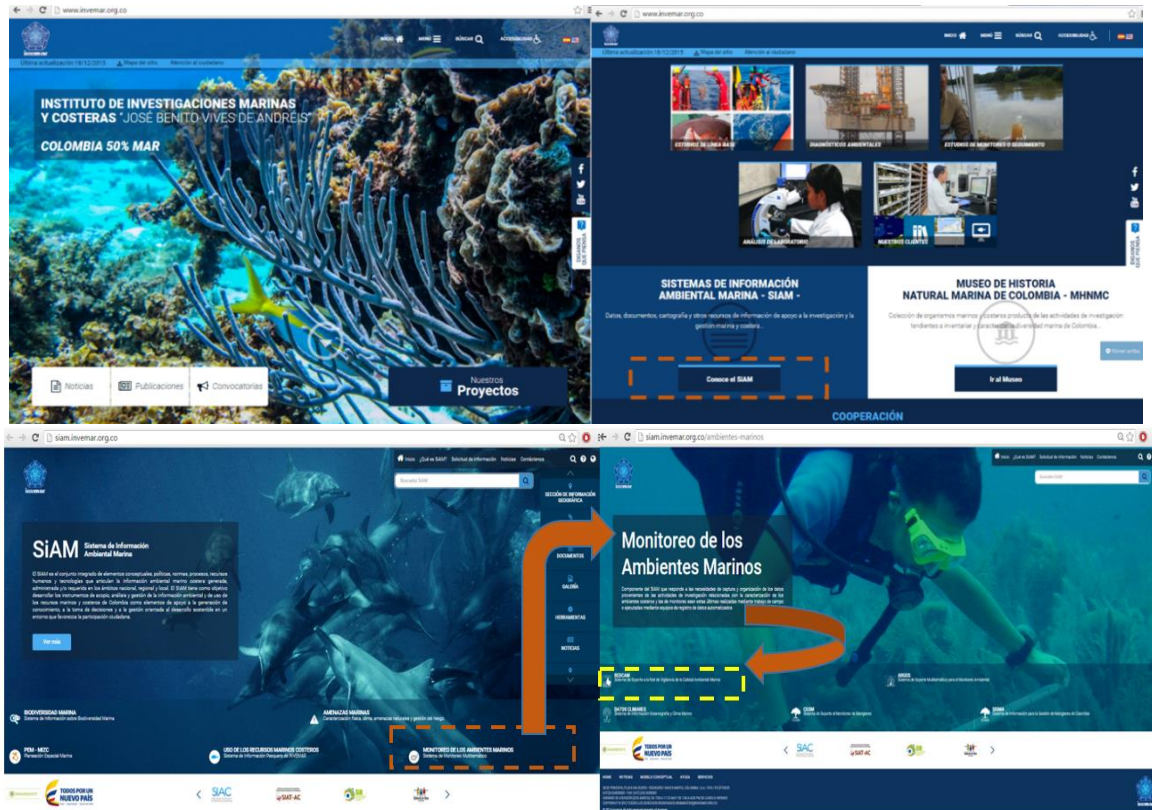


Figura 2.4. Ingreso al Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM.

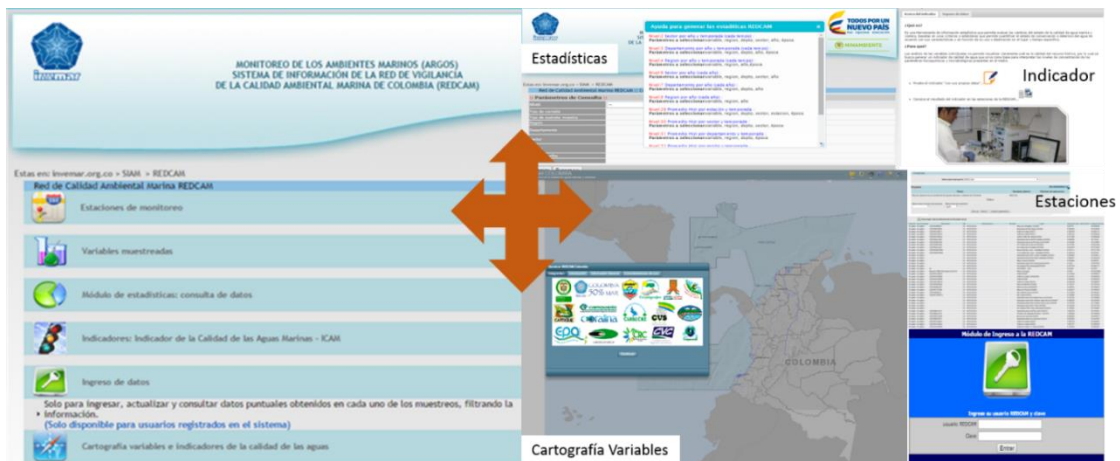


Figura 2.5. Servicios de la plataforma online de la REDCAM.

En la Tabla 2.2 se detalla el crecimiento del sistema en sus 15 años de funcionamiento. En el año 2015 la base de datos se incrementó en 33 estaciones nuevas estaciones en el sistema para un total de 1.084 (Tabla 2.2). Los registros incrementaron en un 5 % comparado con 2014 con un total de 401.750 datos medidos 18.164 muestras analizadas en los departamentos costeros durante los años 1993 y 2015, soportando la red de datos históricos de proyectos y monitoreo de la REDCAM (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2. Crecimiento del Sistema de Información de la REDCAM a diciembre 2015.**

Año de operación	Estaciones	Muestras analizadas	Registros almacenados	VARIABLES
2001	276	361	4.515	42
2002	412	1.376	18.114	53
2003	779	5.164	109.230	56
2004	826	5.974	122.590	56
2005	826	6.860	137.042	57
2006	976	8.595	164.173	57
2007	976	9.229	173.734	57
2008	981	10.324	191.230	57
2009	981	11.282	277.564	57
2010	999	13.198	222.684	101
2011	1.008	13.293	239.873	101
2012	1.028	14.379	264.311	102
2013	1.032	15.823	285.846	104
2014	1.051	17.145	383.279	105
2015	1.084	18.164	401.750	105

Adicionalmente y como parte de la mejora continua, se visionó una renovación tecnológica del sistema de información de la REDCAM contemplada en dos fases, la primera ejecutada en 2015 consistió en la evaluación integral del Programa nacional de monitoreo REDCAM, lo que incluyó un análisis retrospectivo de los 15 años de operación, teniendo en cuenta el número de variables medidas, tipos de agua y ubicación de la red de estaciones. Se utilizaron herramientas de análisis espacial, para efectuar una integración de la información a manera de mapas multicriterio permitiendo identificar las áreas prioritarias para el monitoreo en los 12 departamentos costeros donde convergen ecosistemas estratégicos y se desarrollan diferentes actividades socioeconómicas.

## **2.3.2 ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN**

### **2.3.2.1 DISEÑO DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL EN ZONAS MARINO – COSTERAS**

Anualmente, bajo la coordinación del INVEMAR se realiza un curso de capacitación dirigido a los técnicos y profesionales de las CAR costeras y de las demás entidades vinculadas de forma directa o indirecta a la REDCAM. Estos cursos que hacen parte de las estrategias que se vienen desarrollando para apoyar el fortalecimiento de las capacidades técnicas de las CAR costeras.

Entre los días 26 y 28 de agosto de 2015 se desarrolló en las instalaciones del INVEMAR en la ciudad de Santa Marta, el curso Taller REDCAM “*Diseño de Monitoreo de Calidad Ambiental en Zonas Marino – Costeras*”, cuyo objetivo fue brindar conceptos sobre la interpretación de los parámetros indicadores de calidad y contaminación de aguas marinas y costeras, y aplicaciones en casos prácticos que faciliten la gestión ambiental de las CAR costeras, el MADS y otras entidades relacionadas con el manejo del recurso hídrico marino y costero. Se contó con la participación de profesionales responsables de la gestión del recurso hídrico marino de las CAR costeras, el MADS, la DIMAR y la Universidad de La Guajira (Figura 2.6).





**Figura 2.6. Asistentes al curso-taller REDCAM 2015, desarrollado en la sede principal de INVEMAR.**

En el curso se trataron temas relacionados con la dinámica costera y los procesos físicos que ocurren en el mar, así como la utilización e interpretación de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, y contaminantes orgánicos e inorgánicos en la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras en el contexto de la legislación vigente y la gestión ambiental (Figura 2.7). Con esta actividad ya son 12 los cursos relacionados con la temática de la calidad ambiental marina, que han sido ofrecidos por la REDCAM, y en la cual se han capacitado 328 personas pertenecientes a las entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA) de Colombia.



**Figura 2.7. Actividades desarrolladas en el curso-taller REDCAM 2015.**

### **2.3.2.2 APOYO AL PROCESO DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO DE CORPOGUAJIRA**

Del 22 al 25 de junio de 2015 la microbióloga de INVEMAR Tania Córdoba, realizó una auditoría interna en el Laboratorio Ambiental de CORPOGUAJIRA, con el fin de apoyar el proceso de extensión de la acreditación del laboratorio en la norma ISO/IEC 14025:2005, en el marco del convenio de asociación y cooperación No. 005 de 2015.

Durante la auditoría se evaluó el cumplimiento de los requisitos del sistema de gestión, aplicados a varios parámetros en la matriz agua (sólidos suspendidos totales, sólidos totales, DBO<sub>5</sub>, DQO, pH, conductividad, alcalinidad y dureza total), por medio de entrevistas al personal involucrado, muestreo y rastreo de la información, y observaciones a las actividades de los analistas.

### **2.3.2.3 CURSO “TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS DE AGUAS Y SEDIMENTOS MARINOS, Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN”. CORALINA, ENERO 2015**

En el marco del convenio interadministrativo No. 016 de 2013 suscrito entre la - CORALINA y el INVEMAR; se realizó del 26 al 30 de enero 2015 el curso “Toma y preservación de muestras de aguas y sedimentos marinos, y manejo de la información”, que contó con la participación de 11 funcionarios de la Corporación (Figura 2.8a).

La capacitación se desarrolló con el propósito de continuar con el fortalecimiento de las capacidades del personal técnico relacionado con el monitoreo de aguas y manejo de sistemas de información de la REDCAM en la corporación. El entrenamiento tuvo dos fases, una teórica donde se desarrollaron aspectos básicos del monitoreo de aguas y sedimentos, y se presentó el sistema de información REDCAM (módulos, consultas y carga de datos), además la sesión práctica se realizó en campo (Figura 2.8b), para que los asistentes conocieran como se toman las muestras desde la lancha o en tierra, dependiendo del objetivo del monitoreo.



a) b)  
Figura 2.8. Participantes capacitación (a) y salida de campo (b) en la Isla de San Andrés. Fotos: Janet Vivas.

### **2.3.2.4 ENTRENAMIENTO EN LOS ENSAYOS DE ENTEROCOCOS Y COLIFORMES EN ARENAS EN CORALINA**

En el marco del convenio de asociación No. 005 de 2015 suscrito entre CORALINA y el INVEMAR, se realizó en la Isla de San Andrés, del 16 al 19 de junio de 2015, el entrenamiento en los ensayos de arenas para determinar Enterococos y Coliformes. La actividad contó con la participación de cinco funcionarios de la Corporación y fue orientada por el profesional de INVEMAR, José Sánchez.

Durante el entrenamiento se realizó una salida de campo (Figura 2.9a) para la toma de muestras en arenas, en donde se mostró la forma de tomar, almacenar y preservar las muestras para análisis microbiológicos. Estas fueron llevadas a las instalaciones del laboratorio de CORALINA y se efectuó el montaje para el análisis correspondiente (Figura 2.9b).



a) b)  
Figura 2.9. Toma de muestras en arenas (a) y actividades en laboratorio de CORALINA (b), Isla de San Andrés. Foto: programa CAM.

#### **2.3.2.5 APOYO EN EL PROCESO DE VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE PLAGUICIDAS EN MUESTRAS DE AGUA (COSTERAS Y DE RÍOS), EN CARDIQUE**

En el marco del convenio No. 271 de 2014 suscrito entre CARDIQUE y el INVEMAR, se desarrolló satisfactoriamente la actividad de apoyo en el proceso de validación y análisis de plaguicidas en muestras de agua en el Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE en la ciudad de Cartagena (Figura 2.10), la cual se realizó en dos jornadas programadas (primera 17 y 18 y la segunda del 24 al 27 de noviembre del presente 2015). En esta capacitación participaron tres de los profesionales encargados de la realización de los ensayos dentro de la Corporación y un investigador del Laboratorio de Calidad Ambiental del INVEMAR –LABCAM, donde se abordaron las siguientes actividades:

- ✓ Socialización del procedimiento analítico para la determinación de plaguicidas en aguas
- ✓ Socialización de las etapas contenidas en el plan de validación.
- ✓ Acondicionamiento del cromatógrafo de gases- masas y creación y desarrollo del método SIM-PLAGUICIDAS-OC.
- ✓ Preparación y análisis de estándares certificados para la construcción de las curvas de calibración.
- ✓ Planificación del proceso de validación con el tratamiento de las respectivas muestras programadas.



Figura 2.10. Entrenamiento para el análisis y validación de técnica de plaguicidas en CARDIQUE.

### 2.3.2.6 ENTRENAMIENTO EN MUESTREO, TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS DE AGUAS MARINAS, SEDIMENTOS MARINOS, Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN REDCAM EN CVS

En el marco del convenio especial de cooperación suscrito entre la CVS y el INVEMAR, los días 3 y 4 de septiembre de 2015 en las instalaciones del laboratorio de aguas de la CVS, en la ciudad de Montería y en la sede de INVEMAR en Cispatá, se llevó a cabo el “entrenamiento en muestreo, toma y preservación de muestras de aguas y sedimentos marinos, y manejo de la información REDCAM”. La capacitación contó con una sesión teórica, presentando los aspectos básicos del monitoreo de aguas y sedimentos marinos como el diseño, preparación y tipos de muestreo; el proceso de recolección y preservación de las muestras y su cadena de custodia; y una sesión práctica desarrollada en campo en el municipio de San Antero, Córdoba; mostrando la toma de datos *in situ*, purga de materiales para la toma de las muestras de aguas y sedimentos desde la lancha. En la capacitación participaron 4 funcionarios de la Corporación (Figura 2.11).



Figura 2.11. Desarrollo del entrenamiento en la ciudad de Montería (sesión teórica) y San Antero (sesión práctica), departamento de Córdoba.

### **2.3.2.7 APOYO EN EL PROCESO DE VALIDACIÓN DE TÉCNICAS MICROBIOLÓGICAS EN MUESTRAS DE AGUA EN CORPOGUAJIRA**

Conforme a las actividades comprometidas en el convenio de asociación No. 005 de 2015, entre el INVEMAR y CORPOGUAJIRA, para el apoyo en el fortalecimiento del Laboratorio Ambiental de la corporación, se realizó entre los días 26 y 30 de octubre de 2015 los primeros ensayos de validación de la técnica microbiológica de fermentación en tubos múltiples para determinar coliformes totales y termotolerantes en agua (Figura 2.12). Este proceso estuvo a cargo del investigador Max Martínez del INVEMAR, con el acompañamiento de la microbióloga Lianis Charry y la bacterióloga Carol García, del laboratorio de Microbiología de CORPOGUAJIRA. Durante el desarrollo de la actividad se revisó el esquema del montaje de la técnica y se definieron los criterios a detener en cuenta para ajustar la primera versión del plan de validación.



**Figura 2.12. Ensayos de validación de la técnica de fermentación tubos múltiples en CORPOGUAJIRA.**

### **2.3.3 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA REDCAM**

En el marco del convenio No. 275 de 2015 suscrito entre el MADS y el INVEMAR se realizó una evaluación integral a escala nacional de la REDCAM, utilizando la información disponible y diferentes criterios de análisis como: ecosistemas marinos, los tensores ambientales, instrumentos de gestión ambiental y las capacidades técnicas de las corporaciones, con el propósito de fortalecer la Red de monitoreo, y proponer ajustes en el corto, mediano y largo plazo para articularse con el programa nacional de monitoreo del recurso hídrico y en particular con los usos y criterios para aguas marinas y costeras.

El procedimiento metodológico para el análisis y la evaluación de la REDCAM involucró la recopilación de información secundaria, uso de sistemas de información geográfica, métodos estadísticos con los registros históricos de la REDCAM, como herramientas que soportaron los análisis retrospectivo y espacial multicriterio de la Red de monitoreo, de acuerdo con los criterios técnicos definidos. Además se realizaron reuniones de trabajo y talleres con los nodos de la REDCAM y otras entidades para complementar las perspectivas y orientar la evaluación hacia los siguientes interrogantes:

1. ¿Cómo responde la REDCAM a los requerimientos de investigación y desarrollo de instrumentos de gestión ambiental?
2. ¿Qué podría asumir el programa REDCAM en el corto, mediano y largo plazo como Red nacional y sistema?

3. ¿Cómo podemos avanzar de manera integral en otras temáticas (sedimentos, organismos, playas)?
4. ¿Cómo articulamos la REDCAM con los instrumentos de gestión ambiental vigentes?

En el análisis retrospectivo de la REDCAM se utilizaron los registros históricos de la base de datos, información documental, ayudas de memorias, informes y análisis estadístico para conocer la evolución del programa de monitoreo en los años de operación, con relación al número de estaciones de muestreo, variables medidas, técnicas analíticas utilizadas, capacitaciones impartidas y producción bibliográfica.

Para el análisis espacial multicriterio por cuadrícula (Fishnet) se cruzó la información espacial de los criterios y subcriterios /atributos definidos, a los cuales se les asignaron pesos ponderados de acuerdo a su representatividad regional (Tabla 2.3) en el caso de los ecosistemas, las categorías de protección de los ambientes naturales y a la influencia de los diferentes tensores ambientales sobre la calidad de las marinas y costeras, con el fin de generar mapas semáforo donde se identifiquen las zonas con mayor o menor prioridad para el monitoreo REDCAM, siendo las casillas de color verde las de menor porcentaje de prioridad y las rojas de mayor porcentaje de prioridad para monitoreo.

**Tabla 2.3. Ponderación de los atributos para la aplicación del análisis de algebra de mapa.**

Criterio	Peso ponderado (%)	Subcriterio / capa vectorial	Peso ponderado (%)	Atributo de análisis	Peso ponderado (%)			
					Caribe	Pacífico	Nacional	
Conservación de Ecosistemas Marinos	35%	Ecosistemas	100%	Manglares	10%	30%		
				Corales	30%	5%		
				Playas de arena	20%	20%		
				Acantilados	5%	5%		
				Estuarios	5%	20%		
				Lagunas costeras	10%	5%		
				Planos intermareales de lodo	0%	15%		
Áreas naturales con figuras de protección	5%	Áreas naturales con figuras de protección	100%	Pastos Marinos	20%	0%		
				Nacional			40%	
				Regional			40%	
Sitios de importancia Pesquera	10%	Pesca artesanal	100%	Privada			20%	
				(Valores de Intensidad pesca en unidades de (faenas / nm <sup>2</sup> ))-EP	1 - 6			5%
				7 - 14			10%	
				15 - 27			20%	
				28 - 52			30%	
53 - 112			35%					
Tensores ambientales	50%	Vertimientos	30%	Vertimientos			100%	
		Descarga de tributarios	25%	Drenaje sencillo			30%	
				Drenaje doble			70%	
		Actividad portuaria	20%	Zonas portuarias			30%	
				Terminales Marítimos			70%	
		Turismo en playas	15%	Turismo en playa			100%	
Uso del suelo	10%	Agricultura			50%			
		Minería			50%			

### 2.3.3.1 RESULTADOS

#### Análisis retrospectivo de la REDCAM

Como base para entender el alcance del análisis retrospectivo en función del tiempo de operación de la REDCAM, se hizo necesario conocer los primeros lineamientos para la construcción de la red de estaciones que fue monitoreada en el 2001, a través del apoyo financiero del Banco Interamericano de desarrollo (BID), del Ministerio del Medio Ambiente (actualmente MADS), del INVEMAR y la participación de las CAR costeras, EPA Cartagena (anteriormente DAMARENA), CIOH y el IIAP.

Al inicio del proyecto se realizaron talleres con los co-ejecutores y entidades participantes para la formulación y diseño del programa de monitoreo, diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina del Caribe y Pacífico colombianos, con el propósito de concertar un plan de trabajo interinstitucional, la red de estaciones, variables a medir, homologación de técnicas analíticas, capacidad técnica de las instituciones participantes, control de calidad de los datos, entre otros aspectos.

Dentro de los lineamientos tenidos en cuenta para el diseño de la primera Red de monitoreo de calidad de aguas de la REDCAM, se encuentra la presencia de fuentes de contaminación en la franja costera del mar Caribe y el océano Pacífico colombiano, con las cuales se valoró de manera cualitativa la presencia de fuentes en cada uno de los departamentos costeros, donde uno (1) se consideraba ausente o nulo, y (4) fuerte o abundante la presión por tensor sobre la calidad del agua. Y de acuerdo a este criterio fue necesario definir puntos de muestreo cercanos para control y seguimiento (Tabla 2.4).

**Tabla 2.4. Valoración de la presencia de Fuentes de contaminación en la franja costera del mar Caribe y el océano Pacífico colombiano. Nulo (1), Escaso (2), Moderado (3), Abundante (4), No se conoce / No reportado (0).**

Región	Departamento	CAR	Desechos domésticos	Residuos industriales	Petróleo y derivados	Minería	Residuos agroindustriales	Moda
Caribe	San Andrés	CORALINA	4	2	3	3	1	3
	La Guajira	CORPOGUAJIRA	4	3	3	4	-	4
	Bolívar	CARDIQUE	4	4	4	3	3	4
	Atlántico	CRA	4	4	3	4	3	4
	Córdoba	CVS	4	3	3	3	-	3
	Sucre	CARSUCRE	4	3	3	3	2	3
	Magdalena	CORPAMAG	4	3	3	2	3	3
	Antioquia	CORPOURABÁ	3	2	2	2	4	2
Pacífico	Chocó	CODECHOCO	4	2	2	3	-	2
	Nariño	CORPONARIÑO	4	4	4	4	3	4
	Cauca	CRC	4	3	2	3	3	3
	Valle	CVC	4	4	3	2	-	4
<b>Moda</b>			<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

Los resultados de la Tabla 2.4 mostraron que entre las fuentes principales evaluadas, los desechos domésticos son los que ejercen mayor presión sobre los ecosistemas costeros, ya que para la mayoría de las Corporaciones es el tensor más abundante. En cuanto a la presencia de fuentes combinadas, los departamentos de La Guajira, Bolívar, Atlántico, Nariño y Valle del Cauca tienen zonas con múltiples actividades económicas ejerciendo presión sobre los recursos hídricos. De igual forma para la ubicación de las estaciones se tuvo en cuenta la presencia de ecosistemas costeros estratégicos, sitios de especial interés

como playas turísticas, cuenca baja de los ríos tributarios a la zona costera (río arriba, desembocadura y frente al río mar adentro), humedales costeros, áreas con figuras de protección (sin tener en cuenta que algunas están en jurisdicción de Parques Nacionales), zonas portuarias, vertimientos, entre otros aspectos.

Como resultado de los diferentes talleres de trabajo se definió una red de 289 estaciones de muestreo en los doce (12) departamentos costeros, las cuales variaron entre el primer y segundo muestreo del año 2001 (Figura 2.13). Además, como resumen de los talleres se definió incluir las siguientes modificaciones en la red de estaciones de muestreo de cada departamento (Tabla 2.5):

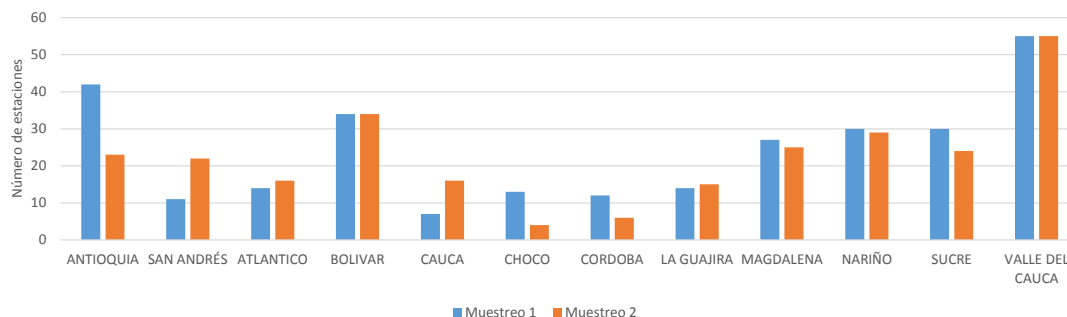


Figura 2.13. Número de estaciones monitoreadas en el año 2001, en cada uno de los muestreos.

Tabla 2.5. Resumen de las modificaciones en la red de estaciones de muestreo en el primer año de operación de la REDCAM.

Departamento	Ajuste propuesto	Apoyo requerido
<b>San Andrés, Providencia y Santa Catalina</b>	Ajustar las variables medidas.	INVEMAR apoyará la medición de metales, plaguicidas e hidrocarburos.
<b>La Guajira</b>	Incluir puntos de muestreo en bahía Portete.	INVEMAR apoyará la medición de Hidrocarburos y plaguicidas.
<b>Magdalena</b>	Se mantiene la red de muestreo, con modificaciones en cuanto a lugares y variables en la CGSM, principalmente lo relativo a metales pesados.	INVEMAR apoya el muestreo completo.
<b>Atlántico</b>	Aumentar los muestreos de análisis microbiológicos en las playas. Incluir estaciones más al sur para evaluar la influencia de contaminantes sobre Barranquilla.	INVEMAR apoyará la medición de Metales pesados en el río Magdalena y Bocas de Ceniza, y de Hidrocarburos en Puerto Velero.
<b>Bolívar</b>	Disminuir análisis en la zona norte, incluir línea base del emisario.	
<b>Sucre</b>	Incluir dos estaciones al norte para evaluar la influencia de camaronerías.	INVEMAR apoya el muestreo completo.
<b>Córdoba</b>		INVEMAR apoya en la evaluación de agroquímicos en los ríos Córdoba y Canalete
<b>Antioquia</b>	Red de estaciones continua, de igual forma el apoyo que se presta al departamento del Chocó zona Caribe.	
<b>Chocó</b>	Es necesario garantizar el apoyo que venía prestando CVC, lo cual está en consulta con los directivos de la	INVEMAR apoya el muestreo completo.



Departamento	Ajuste propuesto	Apoyo requerido
	corporación.	
Valle del Cauca	El monitoreo continua igual.	
Cauca	Se mantienen las estaciones de muestreo.	INVEMAR apoya el muestreo completo.
Nariño	Se incluirán dentro de las estaciones establecidas, los bancos de pesca.	INVEMAR apoya el muestreo completo

Como parte integral de las actividades propias del INVEMAR como eje coordinador de la REDCAM se diseñó e implementó el sistema de información de la REDCAM, y se plantearon las siguientes acciones a largo plazo:

- Trabajar en pro de la continuidad de la REDCAM.
- Responder por el funcionamiento de la Base de Datos (SIICAM).
- Garantizar el acceso de los usuarios a la información

En el proceso de estructuración del sistema de información, se realizaron entrevistas para dimensionar las entradas y salidas del sistema, donde se identificó que el sistema iba a recibir información general de las salidas de campo, información recolectada durante la preparación de los materiales de laboratorio para el análisis de las muestras, información de los resultados de obtenidos de las mediciones por medio de métodos analíticos, información de los muestreos realizados en épocas anteriores y en regiones diferentes, y datos de las legislaciones ambientales existentes para el manejo de la contaminación ambiental marina. Todos estos datos ingresarían al sistema con el fin de obtener resultados que indicaran de manera comparativa el grado de contaminación encontrado durante los monitoreos, que sirvan para definir medidas de gestión para mejorar o proteger las área de estudio (Figura 2.14).

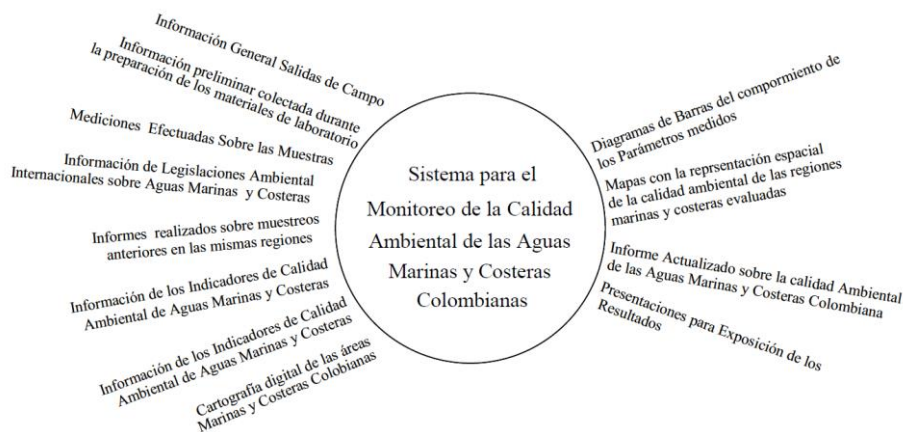


Figura 2.14. Diagrama Funcional del Sistema de Calidad Ambiental Marino, pensado en el 2001.

Aunque el diseño inicial pretendía incluir información preliminar de la colecta durante la preparación de los materiales de laboratorio y mediciones realizadas sobre las muestras, solo se incluyó en la base de datos los resultados de las variables medidas en cada una de las muestras analizadas en cada muestreo. Es decir que la información que se encuentra

actualmente en la base de datos corresponde a los datos de las variables medidas en cada estación, pero la información previa al resultado y que hace parte de la cadena de custodia del laboratorio que analiza el dato, se guarda en los registros del laboratorio para el control de calidad analítica y no llega al sistema.

Por tanto, al finalizar el primer año de operación de la REDCAM, el sistema de información contaba con 276 estaciones registradas, que aportaban información sobre 361 muestras tomadas de 42 variables analizadas con un total de 4.515 registros (Tabla 2.6). Este incremento en la base de datos se ha venido documentando y hasta el año 2014 la base de datos contaba con un total de 1.051 estaciones de muestreo y 105 variables, que correspondían a la información obtenida del monitoreo REDCAM, y de otros proyectos de calidad de aguas complementarios a la REDCAM, y que enriquecen el repositorio nacional de Calidad Ambiental Marina de Colombia.

**Tabla 2.6. Crecimiento del Sistema de información de la REDCAM a diciembre de 2014.**

<b>Año de operación</b>	<b>Estaciones</b>	<b>Muestras analizadas</b>	<b>Registros almacenados</b>	<b>VARIABLES</b>
2001	276	361	4.515	42
2002	412	1.376	18.114	53
2003	779	5.164	109.230	56
2004	826	5.974	122.590	56
2005	826	6.860	137.042	57
2006	976	8.595	164.173	57
2007	976	9.229	173.734	57
2008	981	10.324	191.230	57
2009	981	11.282	277.564	57
2010	999	13.198	222.684	101
2011	1.008	13.293	239.873	101
2012	1.028	14.379	264.311	102
2013	1.032	15.823	285.846	104
2014	1.051	17.145	383.279	105

Puntualmente, el programa REDCAM ha aportado al sistema de información aproximadamente 150.000 registros de los 383.000 reportados en la Tabla 2.6. La evolución puntual de este subconjunto de datos se puede apreciar en la Figura 2.15, resaltando algunas cosas interesantes, por ejemplo, que a partir del año 2010 se incrementó significativamente la cantidad de registros colectados, lo cual se puede explicar al analizar la composición de información temática de la base de datos (Figura 2.16) en donde se puede apreciar que en ese año, y con la participación de la REDCAM en proyectos de monitoreo de plaguicidas, este componente es el que jalona el crecimiento de registros en el sistema de información.

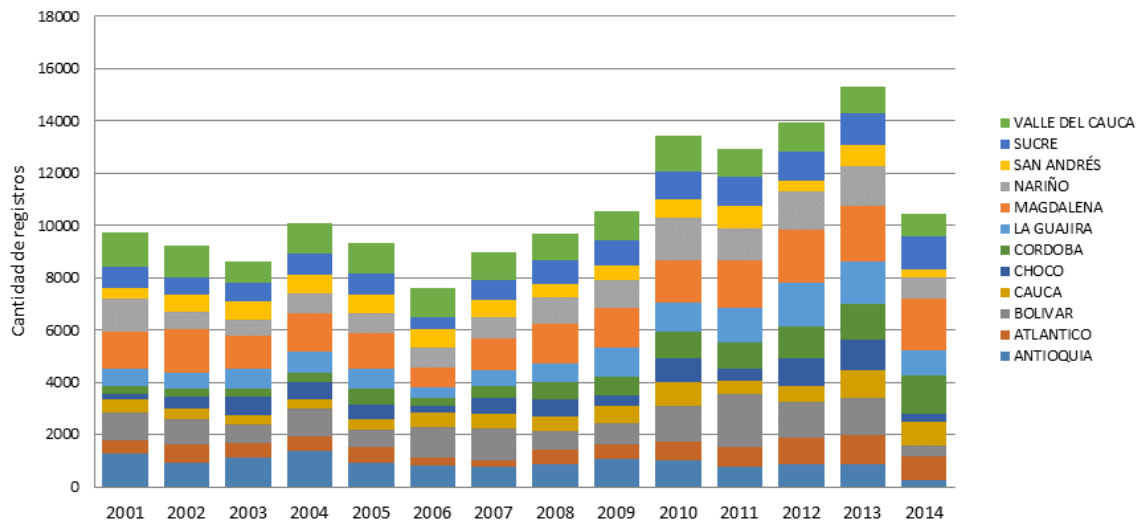


Figura 2.15. Evolución del volumen de datos almacenados en el sistema de información de la REDCAM.

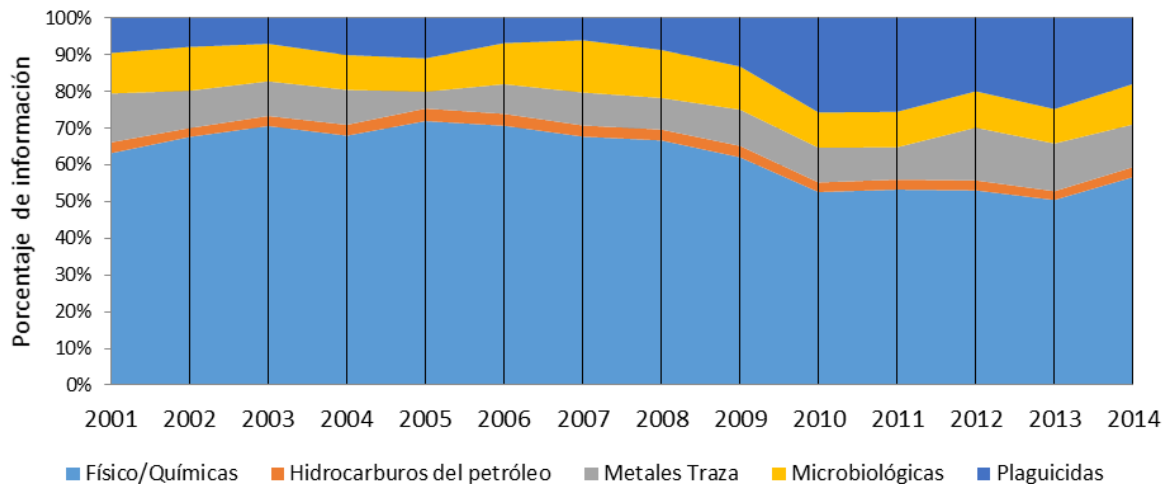
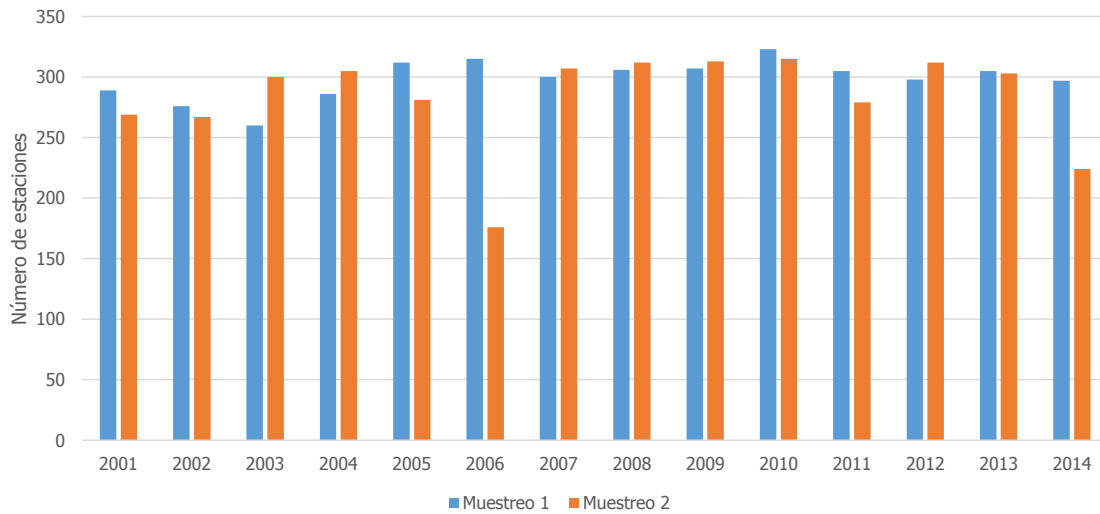


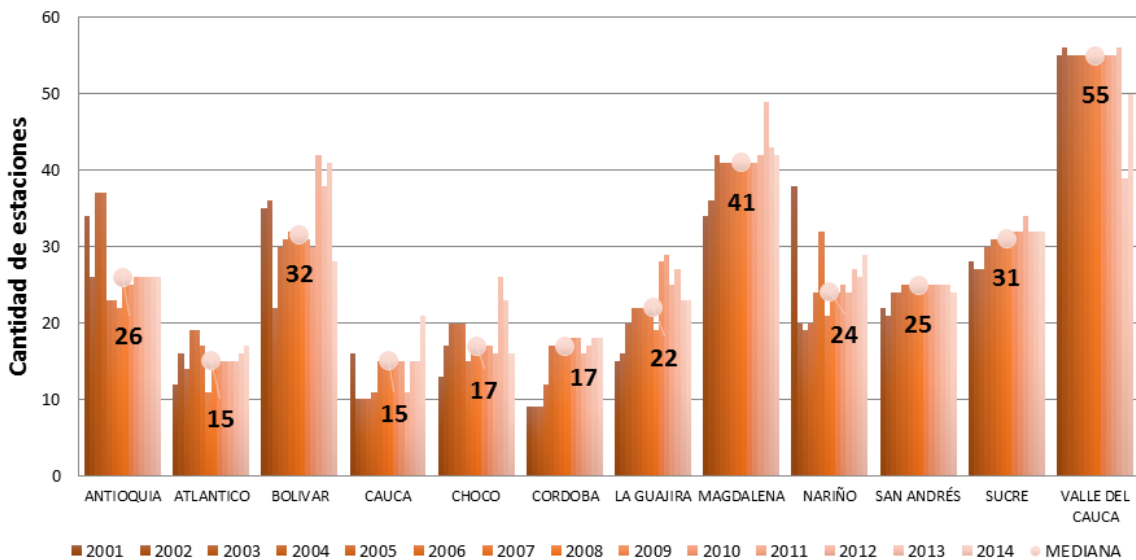
Figura 2.16. Evolución de la composición temática de la información almacenada en la base de datos asociada al monitoreo de la REDCAM.

El monitoreo de la Red entre el 2001 y 2015 ha mostrado modificaciones en el número total de estaciones debido a causas económicas, intereses particulares de investigación o monitoreo puntual de algunos sitios para el control y seguimiento que requieren las Corporaciones, por lo cual las estaciones han oscilado entre 176 a cerca de 350 estaciones (Figura 2.17 y Figura 2.18); y a 2014 la red tenía 301 estaciones ubicadas en sitios estratégicos que tienen importancia ecológica, turística y/o social o que presentan sensores como vertimientos directos de aguas residuales domésticas e industriales, inadecuado manejo de basuras, escorrentías agropecuarias, asentamientos humanos, entre otros que pueden afectar la calidad del agua y causar el deterioro de sus ecosistemas.



**Figura 2.17. Variación anual en el número total de estaciones monitoreadas en cada uno de los muestreos.**

Con una visión más amplia, se puede apreciar en la Figura 2.18 la tendencia en el número de estaciones de muestreo en los 12 departamentos costeros, resaltando como punto central la mediana como valor representativo de la cantidad de estaciones típicas o actualmente activas en cada jurisdicción. Los puntos de muestreo se establecieron en sitios de interés como golfos, bahías, lagunas costeras, Parques Nacionales Naturales, ciénagas, playas, los frentes y la cuenca baja de los principales ríos que drenan al mar Caribe y al océano Pacífico, confiriendo diferencias en el tipo de agua (Figura 2.19).



**Figura 2.18. Comportamiento histórico de los puntos de muestreo a nivel departamental, resaltando la “mediana” de las estaciones monitoreadas en cada uno.**

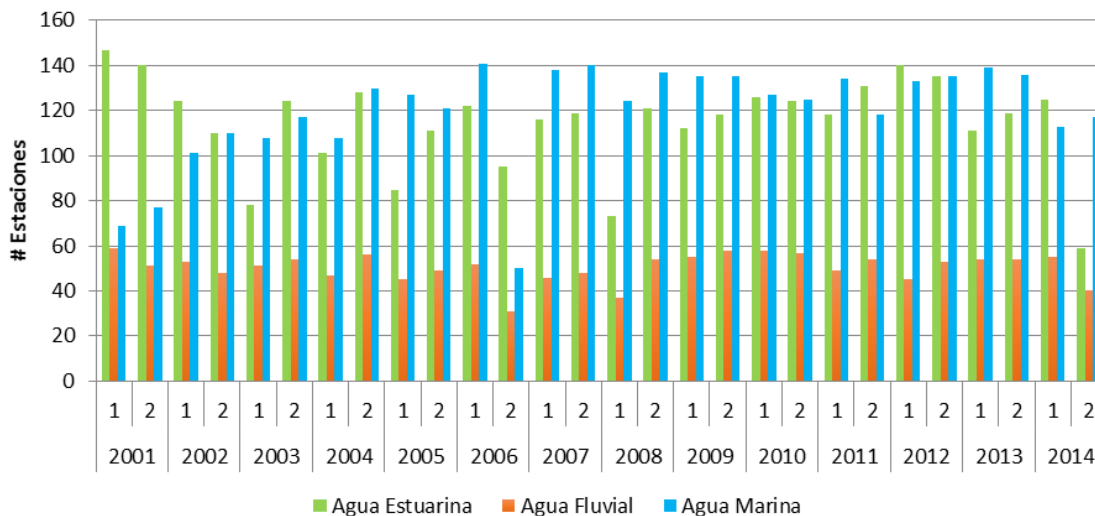


Figura 2.19. Variación anual en el número total de estaciones monitoreadas en cada uno de los muestreos discriminados por tipo de matriz de agua.

Es de resaltar también en este análisis retrospectivo, la importancia de los métodos analíticos utilizados para el monitoreo en la matriz de agua marina, dichos métodos y su adopción por parte de los laboratorios miembros de la red permiten tener una mayor precisión al momento de detectar la presencia de ciertos analitos en la matriz de estudio. La revisión de valores cuantificables detectados por encima del límite de detección (LD) se puede apreciar en la Figura 2.20, donde además se resalta que la mayor cantidad de datos no cuantificables (por debajo del límite detectables) se encuentra para los grupos temáticos de metales traza y plaguicidas.

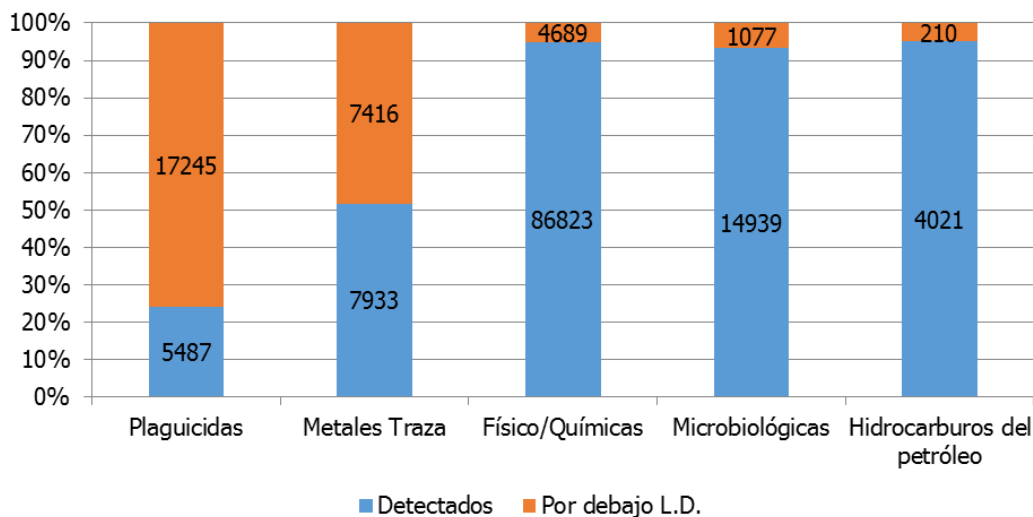


Figura 2.20. Composición de datos detectables y por debajo de límites de detección por grupo temático de variables almacenadas en la base de datos desde 2001-2014.

## ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS

Colombia cuenta con ecosistemas de alta biodiversidad y/o productividad como los arrecifes de coral, praderas de fanerógamas marinas, estuarios, lagunas costeras, manglares, playas y acantilados rocosos que tienen potencial para la pesca artesanal, turismo entre otros servicios ecosistémicos que estos proveen; sin embargo, las zonas costeras del país enfrentan múltiples problemáticas de diferente origen, entre ellas la contaminación ([Garay y Vélez, 2004](#)). En ese orden, dentro del presente análisis se incluyó el componente de ecosistemas marinos y costeros, con el propósito de identificar y cuantificar el número de estaciones activas y que de alguna forma permiten valorar el estado de los ecosistemas costeros y determinar la pertinencia de incluir nuevas estaciones en sitios donde no se registra información de calidad de agua. La evaluación se realizó con un análisis espacial, cruzando la distribución de las estaciones REDCAM y los ecosistemas presentes en cada uno de los departamentos costeros del Caribe y Pacífico colombiano.

Inicialmente para el ejercicio se identificaron los ecosistemas presentes en cada departamento, a partir de la información base del Geovisor de consulta interna diseñado para esta actividad e información publicada en los diferentes informes de los ambientes y recursos marinos y costeros elaborados por INVEMAR años 2008, 2010 y 2014, los resultados se presentan en la Tabla 2.7. En general, los ecosistemas más dominantes son las playas de arena, acantilados y manglares, los cuales son compartidos por la totalidad de los departamentos costeros. Por otro lado se evidenció que los planos intermareales lodosos solo están presentes en el Pacífico y las lagunas costeras su mayoría en el Caribe (Tabla 2.7).

**Tabla 2.7 Presencia de ecosistemas costeros a nivel nacional en cada uno de los 12 departamentos costeros.**

Departamento	Ecosistemas costeros								TOTAL
	Playas de arena	Acantilados	Manglares	Corales	Pastos marinos	Estuarios	Planos intermareales lodosos	Lagunas costeras	
San Andrés, Providencia y Santa Catalina	x	x	x	x	x	x	NR	x	7
La Guajira	x	x	x	x	x	NR	NR	x	6
Magdalena	x	x	x	x	x	NR	NR	x	6
Atlántico	x	x	x	NR	NR	x	NR	x	5
Bolívar	x	x	x	x	x	x	NR	x	7
Sucre	x	x	x	x	x	x	NR	x	7
Córdoba	x	x	x	x	x	x	NR	x	7

Departamento	Ecosistemas costeros								TOTAL
	Playas de arena	Acantilados	Manglares	Corales	Pastos marinos	Estuarios	Planos intermareales lodosos	Lagunas costeras	
Antioquia	x	x	x	NR	NR	x	NR	x	5
Chocó	x	x	x	x	x	x	x	NR	7
Valle del Cauca	x	x	x	x	NR	x	x	NR	6
Cauca	x	x	x	x	NR	x	x	NR	6
Nariño	x	x	x	NR	NR	x	x	x	6

NR= No hay registros de ese ecosistema ([INVEMAR, 2015a](#))

Teniendo en cuenta el análisis preliminar donde se valoró la presencia de estaciones de la REDCAM sobre ecosistemas costeros, se presenta a continuación el análisis de cuantas estaciones se encuentran ubicadas en cada uno de los ecosistemas. Es de resaltar que los acantilados es una de las unidades ecosistémicas con menor registro de estaciones de REDCAM, existiendo por tanto un vacío en datos de calidad de aguas en torno a este ecosistema. Según [Báez-Polo \(2013\)](#) este ecosistema, se encuentra sometido a gran variedad de impactos, como el causado por desarrollo de infraestructuras civiles (Construcción de puertos), por descargas directas de aguas servidas (industriales, domesticas o sustancias de interés comercial como aceites o hidrocarburos); actualmente solo están siendo valorado a través de las estaciones REDCAM en los departamentos de La Guajira, Córdoba, Antioquia y Chocó (Tabla 2.8).

Con el fin de contar con una cobertura total de los ecosistemas, en la Tabla 2.8, se indicaron el número de estaciones propuestas para incluir en la REDCAM, en donde se tuvo en cuenta la ausencia de estaciones REDCAM existentes y la importancia de evaluación de ese ecosistema. La evaluación de la calidad de aguas mediante la red de estaciones de los departamentos de La Guajira y Atlántico, no incluye estaciones sobre áreas coralinas, siendo importante revisar la distribución de las estaciones dada la presencia de importantes formaciones como son las de bahía Portete en La Guajira e isla Arena en el Atlántico.

**Tabla 2.8 Cobertura de las estaciones REDCAM en ecosistemas costeros presentes en los departamentos del Caribe y Pacífico Colombiano. Estaciones REDCAM existentes (E) y propuestas (P).**

Departamento	No. Estaciones REDCAM existentes y propuestas																	
	Playas de arena		Acantilados		Manglares		Corales		Pastos marinos		Estuarios		Planos intermareales lodosos		Lagunas costeras		TOTAL	
	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P
San Andrés, Providencia y Santa Catalina	4	5	3	1	2	0	4	0	5	0	0	1	NA	NA	0	1	18	8
La Guajira	6	0	2	0	1	1	0	1	3	1	NA	NA	NA	NA	1	3	13	5
Magdalena	11	0	0	1	4	8	1	1	2	1	NA	NA	NA	NA	3	0	21	11
Atlántico	2	0	0	1	2	1	NA	NA	NA	NA	1	0	NA	NA	0	1	5	3
Bolívar	6	4	1	1	9	4	5	8	4	0	0	1	NA	NA	3	NA	28	18
Sucre	7	2	0	1	2	2	2	4	1	0	1	0	NA	NA	0	NA	13	9
Córdoba	5	0	2	1	3	0	1	5	0	1	3	0	NA	NA	0	1	14	8
Antioquia	5	1	0	1	6	0	NA	NA	NA	NA	3	0	NA	NA	1	0	15	2
Chocó	7	1	1	1	4	4	1	1	1	0	1	4	1	NA	NA	NA	16	11
Valle del Cauca	4	0	1	1	6	2	0	1	NA	NA	12	2	7	0	NA	NA	30	6
Cauca	1	0	1	0	3	0	1	0	NA	NA	5	1	2	1	NA	NA	13	2
Nariño	6	0	0	1	5	0	NA	NA	NA	NA	4	0	7	0	0	1	22	2
<b>TOTAL Nacional</b>	<b>64</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>47</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>9</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>208</b>	<b>85</b>

NA: No Aplica.

## ÁREAS NATURALES CON FIGURAS DE PROTECCIÓN

El análisis para identificar si la REDCAM aporta información de la calidad de las aguas en áreas naturales con figura de protección, de carácter nacional, regional y local, se realizó identificando la presencia de estaciones REDCAM en cada una de las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia (SINAP), a través de la superposición de las capa del Geovisor del INVEMAR, que permite identificar la ubicación de las estaciones sobre la capa del SINAP. Cabe resaltar que para este trabajo solo se consideraron aquellas que se encuentran en las zonas marino costeras colombianas (Tabla 2.9).

En total se tienen 84 estaciones activas de la REDCAM en el SINAP, donde se destaca la región Caribe insular (San Andrés, Providencia y Santa Catalina) con 25 estaciones, seguida por Córdoba con 13 estaciones y ocho en Valle del Cauca.



Tabla 2.9 Relación estaciones REDCAM vigentes, históricas ubicada en Áreas con figura de protección y propuestas para aumentar la cobertura.

Departamento	Áreas con figura de protección		No. Estaciones REDCAM		
	Nombre	Tipo	Vigentes	Históricas	Propuestas
San Andrés Providencia y Santa Catalina	PNN Old Providence McBean Lagoon	Marino costero	2	2	1
	DMI "Área Marina Protegida de la Reserva de Biosfera Seaflower"	Marino costero	20	20	0
	PNR Johnny Cay	Marino costero	1	1	1
La Guajira	PNR Manglar Old Point	Marino costero	1	0	2
	PNN Bahía Portete	Marino costero	0	0	2
	SFF Los Flamencos	Costero	4	3	3
La Guajira, Magdalena y Cesar	DMI Musichi	Costero	0	0	1
	PNN Sierra Nevada de Santa Marta	Costero	6	2	0
	PNR Tayrona	Marino costero	4	4	2
Magdalena	SFF Ciénaga Grande de Santa Marta	costero	1	1	4
	Vía Parque Isla de Salamanca	Marino costero	4	3	4
Bolívar	PNN Corales de Profundidad	Submarino	0	0	0
Bolívar y Sucre	PNN Corales del Rosario y San Bernardo	Submarino	5	10	20
	SFF Corchal Mono Hernández	Costero	1	1	1
Sucre	PNR Boca de Guacamayas	Costero	0	0	0
	DMI Ciénaga de la Caimanera	Costero	2	3	2
Córdoba	DMI Bahía Cispatá , La Balsa, Tinajones y sectores vecinos al delta río Sinú	Costero	13	16	0
	DMI Ensenada Río Negro, los bajos aledaños, la Ciénaga de la Marimonda y Salado	Costero	5	5	0
Antioquia	PNR Humedales del Río León y Suriquí	Costero	1	2	1
	DRMI Lago azul-Los manatíes	Costero	0	0	2
Chocó-Caribe	SF Acandí, Playón y Playona	Marino costero	0	0	1
	DRMI La Playona - Loma de la Caleta	Costero	0	0	2
Chocó-Pacífico	PNN Utría	Marino costero	1	1	2
	DRMI Golfo De Tribugá- cabo corrientes	Marino			
	PNN Uramba Bahía Málaga	Marino	8	8	2
Valle del Cauca	SFF Malpelo	Marino	0	0	0
	PNR La Sierpe	Costero	0	0	2
Cauca	DMI La Plata	Costero	0	0	0
	PNN Gorgona	Marino	4	4	0
Nariño	PNN Sanquianga	Costero	2	6	4
<b>Total</b>			<b>79</b>	<b>82</b>	<b>55</b>

Ante la dinámica natural fluctuante de los ambientes marinos y costeros a lo largo del año y a los tensores de las zonas costeras que pueden amenazar la existencia de los ecosistemas, es necesario tener la información actualizada con el fin de poder realizar acciones de mitigación y restauración sobre ecosistema altamente sensibles como los pastos marinos ([Gómez-López et al., 2014](#)) y arrecifes de coral ([Gómez-Cubillos et al, 2015](#)). Otros ecosistemas cumplen servicios de importancia para las comunidades costeras al proveer hábitat para especies de importancia ecológica y comercial, y como soporte de actividades económicas como terminales y turismo ([Garay et al., 2004](#); [Báez-Polo, 2013](#)).

Se recomienda realizar un análisis más amplio, con el fin de determinar cuántas estaciones de REDCAM se deben adicionar para una adecuada evaluación de los efectos ambientales en los ecosistemas. Al respecto, incluir una serie de criterios físicos, ambientales, biológicos y sociales en un análisis (p.ej. representatividad del ecosistema a nivel nacional, extensión del ecosistema a nivel departamental, representatividad en el sistema de áreas protegidas, estado actual, potencial de restauración, inventario de fuentes de contaminación y riesgos) permitirá tener una visión más objetiva, sobre el número de estaciones necesarias para incluir en el monitoreo de la calidad ambiental según la distribución geográfica.

### Tensores ambientales

## VERTIMIENTOS

La base de datos del proyecto “Desarrollo de fundamentos para el establecimiento de los parámetros y los límites máximos permisibles de los vertimientos puntuales a las aguas marinas en Colombia” ([INVEMAR y MADS, 2011](#)), tiene registrado 72 puntos de vertimientos georreferenciados, los cuales se ubican en 11 de los 12 departamentos costeros del país (Figura 2.21), encontrándose en Bolívar, Magdalena y La Guajira en el Caribe, y en Nariño y Valle del Cauca en el Pacífico, los mayores números de vertimientos puntuales de aguas residuales.

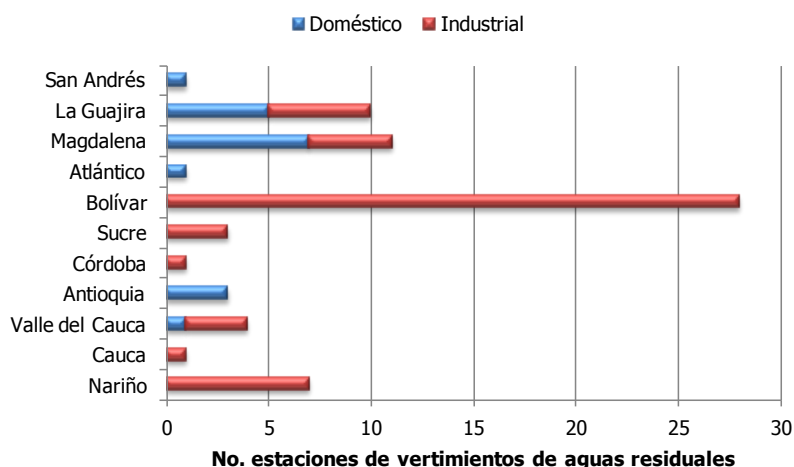


Figura 2.21. Vertimientos puntuales de aguas residuales doméstica e industrial registrados en los departamentos costeros de Colombia. Fuente: INVEMAR y MADS (2011).

Aunque en el proyecto [INVEMAR y MADS \(2011\)](#) se recopiló información de vertimientos a escala nacional, es importante aclarar que actualmente el número de vertimientos puntuales en la zona marino costera del país es aún mayor. No obstante, la REDCAM ha hecho un esfuerzo por monitorear desde el año 2000, algunas zonas donde se realizan vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes de los principales centros urbanos de los municipios costeros como San Andrés isla, Riohacha (La Guajira), Santa Marta (Magdalena), Cartagena (Bolívar) y Buenaventura (Valle del Cauca), que aportan alta carga de materia orgánicas y sustancias contaminantes al mar. También se cuenta con estaciones en cuerpos de aguas donde se verte aguas residuales industriales como en Cauca, Nariño, Bolívar y La Guajira (Figura 2.22).

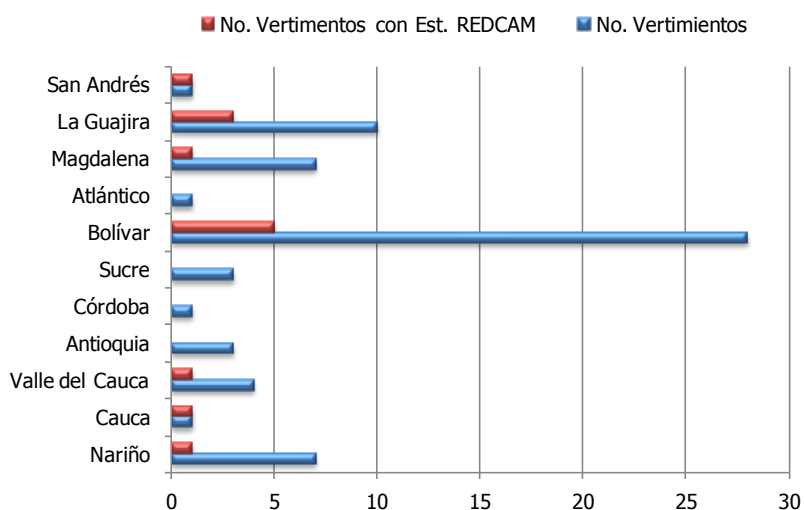


Figura 2.22. Cobertura del monitoreo REDCAM a vertimientos puntuales en los departamentos costeros de Colombia.

En estas estaciones se han medido históricamente (2001-2015) variables fisicoquímicas, microbiológicas, y de contaminantes orgánicos e inorgánicos con los cuales se ha realizado el diagnóstico de la calidad de las aguas receptoras de vertimientos. Sin embargo, es necesario aumentar la vigilancia y control sobre estas fuentes de contaminación, tal como lo estipula la legislación en el Decretos 1594 de 1984, Decreto 1323 de 2007 y Decreto 3930 de 2010, para propender por una mejor gestión del recurso hídrico marino, para la protección y conservación de los recursos naturales y la calidad ambiental marina.

## AGRICULTURA

Colombia es un país con una alta producción agrícola. En la zona costera del Caribe, los principales cultivos son de banano, maíz, tabaco, caña de azúcar, tagua y caucho ([Machado, 1993](#)). Estos cultivos se distribuyen en mayor proporción en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, al suroeste del departamento de La Guajira, en el municipio de Dibulla, al norte del Magdalena en los municipios de Santa Marta y Ciénaga, donde desembocan una serie de ríos como el Tapiá, Caña, Negro, Palomino, Don Diego, Buritaca, Guachaca, Mendihuaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Frío, Orihueca, Sevilla, Curinca, Aracataca y Fundación. Otras zonas agrícolas se encuentran en las riberas del río Magdalena, al sur de Bolívar y norte de Sucre principalmente en las riberas del Canal del Dique y sus brazos Matunilla y Bocacerrada, en las riberas del río Sinú, en la zona costera de Córdoba y en el golfo de Urabá (Figura 2.23).

La cobertura de la Red de estaciones en las áreas de influencia agrícola en el Caribe se podría considerar alta (Figura 2.24), principalmente en los sectores de Santa Marta (Magdalena) y del golfo de Urabá (Antioquia), donde hay una alta producción de cultivos de bananos y plátanos, que usan fertilizantes y plaguicidas que afectan la calidad de las aguas marinas y costeras y que se han evidenciado en los monitoreos realizados ([Espinosa y Betancourt, 2011](#); [Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). También se tiene alta cobertura en áreas agrícolas del departamento de Bolívar, en el golfo de Morrosquillo en Sucre y Córdoba. Cabe destacar que las estaciones de muestreo de Bolívar carecen de información sistemática de plaguicidas, aunque se han realizado mediciones muy puntuales en algunos proyectos. No obstante, a partir del año 2014 se están realizando mediciones de estas moléculas y CARDIQUE adquirió el equipo y la capacidad técnica para su análisis.

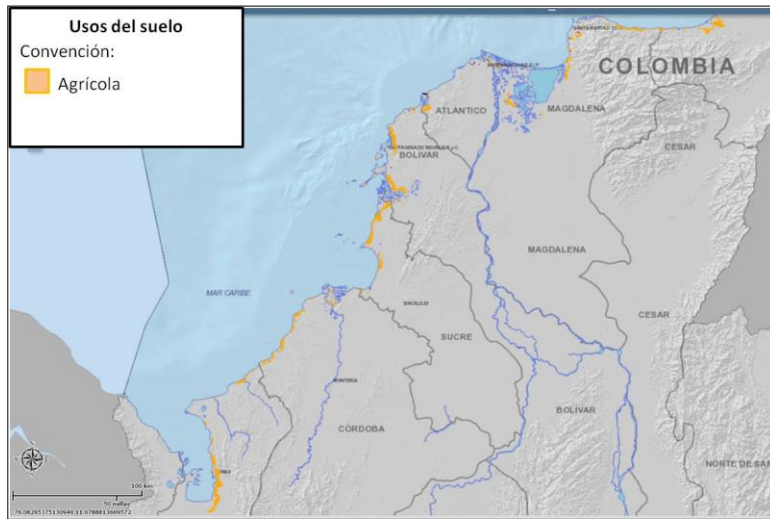


Figura 2.23. Suelos agrícolas en los departamentos costeros del Caribe colombiano. Fuente: [UPRA, 2014](#).

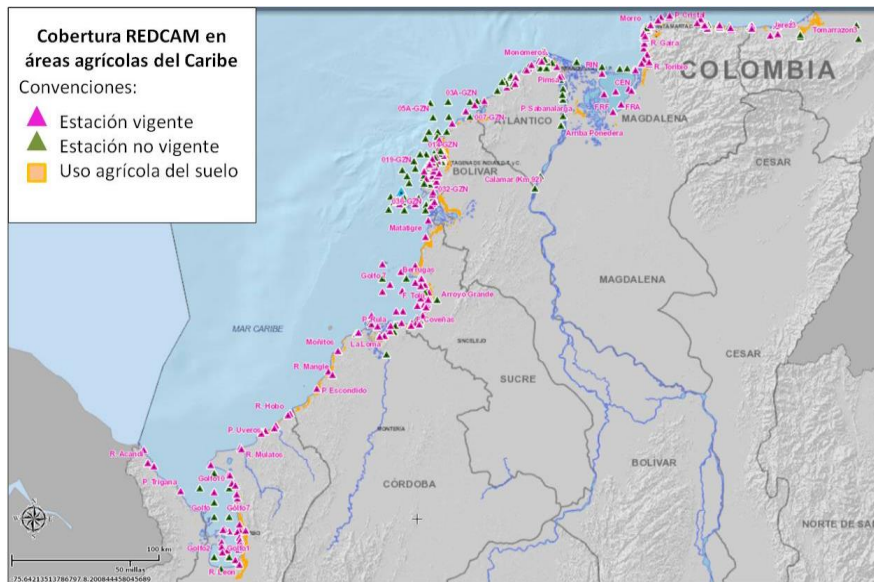


Figura 2.24. Cobertura de estaciones REDCAM en áreas agrícolas del Caribe colombiano.

En el Pacífico, la actividad agrícola presenta algunas dificultades debido a las condiciones ambientales de alta pluviosidad, sin embargo, se realizan cultivos tecnificados de palma africana, coco, caucho, cacao y chontaduro, mientras que los cultivos de plátanos, maíz y banano son a pequeña escala (Machado, 1993). Las áreas agrícolas identificadas en los departamentos costeros del Pacífico se ubican en la zona aluvial del río Mira, en los esteros que desembocan en la ensenada de Tumaco en Nariño, en las riberas de los ríos de los municipios de Guapi, Timbiquí y López de Micay en Cauca, en el delta del río San Juan límite entre el Valle del Cauca y Chocó, en el golfo de Tribugá y costa norte del departamento del Chocó.

La cobertura de la red de estaciones en las áreas agrícolas de los departamentos de Nariño y Cauca es adecuada, mientras que en el sur del departamento del Chocó, en la zona del delta del río San Juan, se tiene una baja o nula cobertura (Figura 2.25), al igual que en la zona agrícola del sur del departamento del Valle del Cauca, en donde no hay estaciones de monitoreo REDCAM. Cabe destacar que en estas zonas las estaciones de muestreo no incluyen las mediciones de plaguicidas, por tanto no se tiene registros de presencia de estas contaminantes al medio, solo se han realizado mediciones muy puntuales en algunos proyectos que no son el típico monitoreo REDCAM.

En el caso de los nutrientes inorgánicos disueltos la mayoría de las estaciones del Caribe y Pacífico incluye la medición de estos iones por tanto, se considera apropiada su representatividad en el muestreo, relacionada con el uso de fertilizantes.

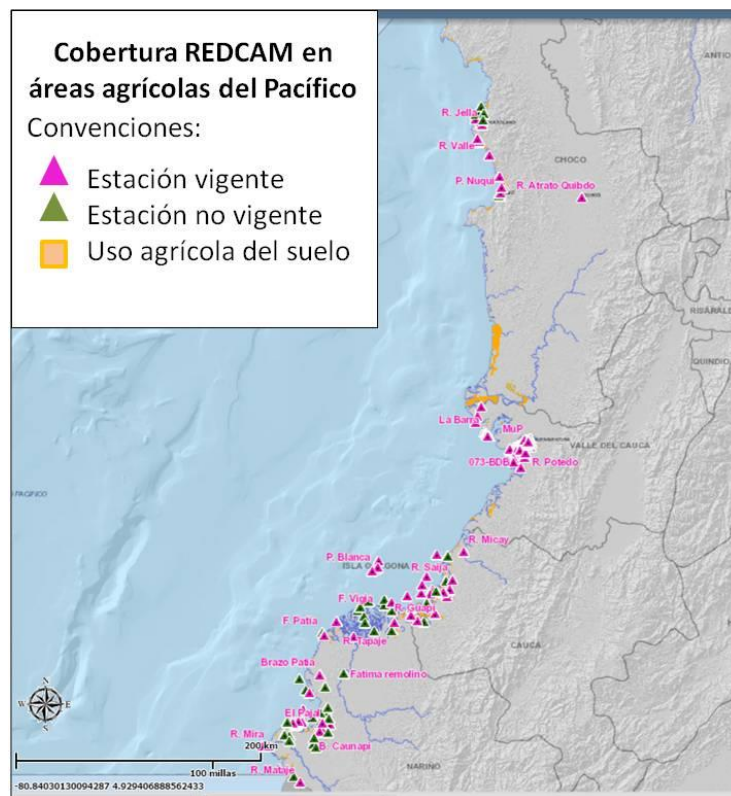
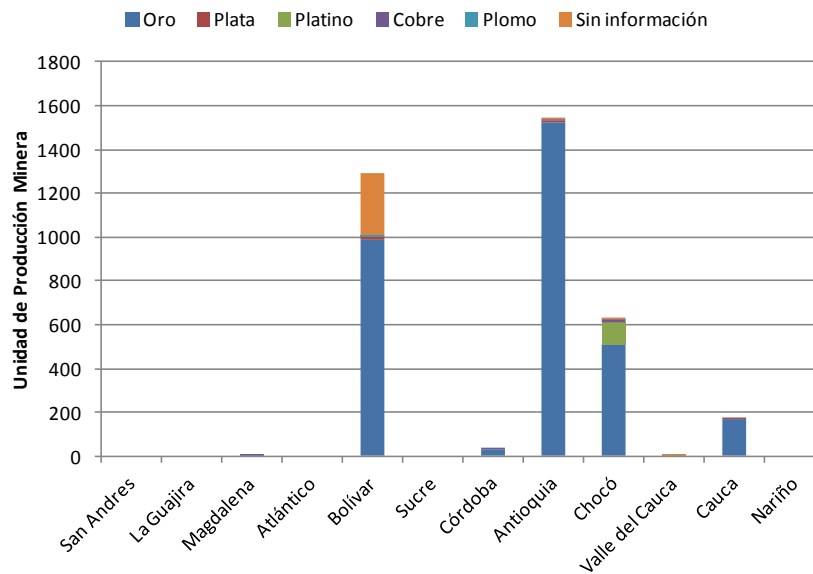


Figura 2.25. Cobertura de estaciones REDCAM en áreas agrícolas del Pacífico colombiano.

## MINERÍA

Las actividades mineras en los departamentos costeros constituyen una fuente importante de contaminación por el uso de mercurio (Hg), cianuro (CN<sup>-</sup>) y otras sustancias nocivas y potencialmente nocivas, en la extracción de elementos metálicos, generando aguas residuales que son vertidas a los ríos causando contaminación, situación que se presenta generalmente en los ríos del Pacífico colombiano y en el golfo de Urabá ([Rudas y Espitia, 2013](#)).

Según el Ministerio de Minas y Energía ([Minminas, 2012](#)), en los departamentos costeros existe 3.676 Unidades de Producción Minera (UPM), que extraen elementos como Pb, Cu, Pt, Ag y Au, siendo este último metal el de mayor interés de explotación, encontrándose en mayor proporción las UPM en los departamentos de Antioquia, Bolívar, Chocó, Cauca y Córdoba (Figura 2.26).



**Figura 2.26. Unidades de producción minera en los departamentos costeros de Colombia. Fuente: [Minminas \(2012\)](#).**

El programa REDCAM, desde sus inicios en el año 2001, definió la medición de metales pesados en aguas, y hasta la fecha entre todos los departamentos se han analizado tanto en el Caribe, como en el Pacífico, cerca de 8 metales pesados, tales como Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Magnesio (Mn), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Aluminio (Al) y Mercurio (Hg), este último, sólo lo venía midiendo CORPOURABÁ y CARDIQUE. En el Pacífico, históricamente se ha venido realizando minería artesanal, y en la actualidad el método de extracción ha cambiado al uso de grandes maquinarias, retroexcavadoras y dragas, ocasionando alteraciones en las condiciones naturales de los grandes ríos de los departamentos del Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño ([González et al., 2013](#)), en algunos de los cuales, se monitorean metales pesados en sus desembocaduras y bocanas.

## DESCARGA DE RÍOS

A escala nacional se identificaron 99 ríos principales que desembocan en las costas colombianas, de los cuales 43 tributan en el mar Caribe y 56 en el océano Pacífico. En este ejercicio sólo se consideraron los ríos que tienen drenaje doble (ríos caudalosos), porque la mayoría de los identificados con drenaje sencillo son intermitentes, sin embargo, sí se consideraron en el análisis espacial multicriterio. La cobertura de la REDCAM en estos ríos se presenta en la Figura 2.27. En el Pacífico, el departamento del Chocó cuenta con el mayor número de ríos, sin embargo, la cobertura en el monitoreo de estos cuerpos de agua es baja, debido a que el monitoreo no cubre toda la zona costera de este departamento. Caso contrario se presenta en el departamento del Cauca, en donde hay una cobertura alta, al igual que Nariño. En el Valle del Cauca la cobertura alcanza el 40% de los ríos, con déficit de cobertura en la costa sur del departamento, debido a la limitación del acceso a la zona como en el departamento del Chocó. En el Caribe, Antioquia cuenta con el mayor número de ríos, seguido por Magdalena, La Guajira y Córdoba. La cobertura en el monitoreo en los departamentos del Caribe es alta, principalmente por el fácil acceso a estos cuerpos de agua.

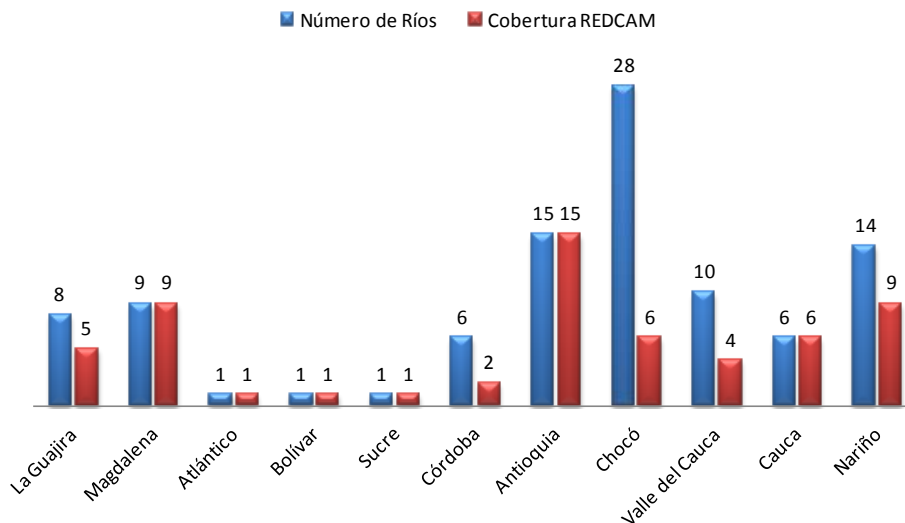


Figura 2.27. Cobertura de la REDCAM en los principales ríos de los departamentos costeros de Colombia.

## ACTIVIDAD PORTUARIA

En Colombia la actividad portuaria se lleva a cabo en 10 zonas (Figura 2.28) ubicadas estratégicamente en los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Antioquia, San Andrés isla, Valle del Cauca y Nariño ([MinTransporte, 2008](#)), en las cuales se reciben importaciones y se exportan, almacenan, cargan, descargan diferentes tipos de mercancías, las más comunes son carbón y petróleo, que se exportan a otros países a través de las Sociedades Portuarias de La Guajira, Morrosquillo y Magdalena ([Portafolio, 2015](#)).

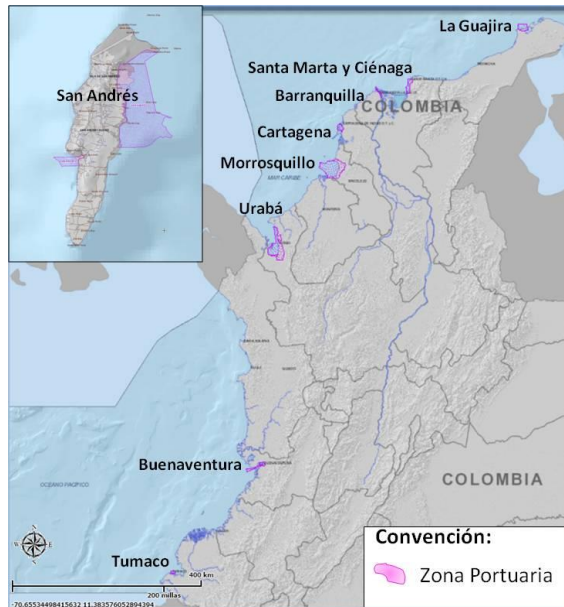


Figura 2.28. Zonas portuarias de Colombia.

La REDCAM cuenta con cobertura de monitoreo en las zonas portuarias del país, en las del Caribe se tiene 99 estaciones vigentes, de las cuales 33 se ubican en la zona portuaria del golfo de Morrosquillo, 22 en el golfo de Urabá, 24 en las zonas de Santa Marta y Ciénaga, 12 en la zona de Cartagena, 6 en Barranquilla, una en La Guajira y una en San Andrés. En las del Pacífico se tiene 46 estaciones REDCAM vigentes, 34 en la zona de Buenaventura y 12 en Tumaco (Figura 2.29).

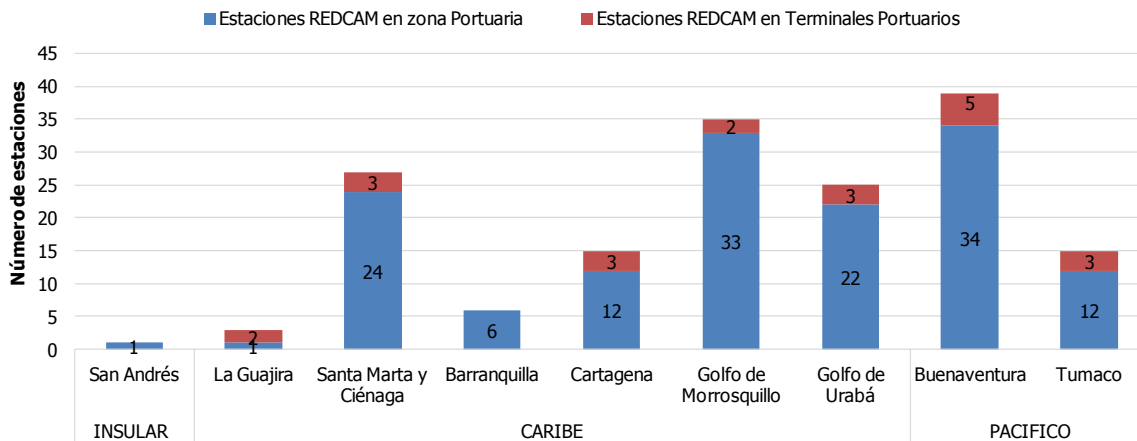


Figura 2.29. Número de estaciones de la REDCAM en zonas y terminales portuarios de Colombia.

En Colombia existen 153 terminales y/o puertos marítimos presentes en las diferentes zonas portuarias (MinTransporte, 2008), localizados en una gran proporción en las zonas portuarias de Barranquilla (64), Cartagena (48) y Buenaventura (15; Figura 2.30). En los terminales portuarios se realizan las actividades de cargue y descargue de mercancías de las embarcaciones, y el muestreo en estas áreas es restringido por seguridad. Sin embargo, la



REDCAM tiene al menos una estación de monitoreo en puertos de la mayoría de las zonas portuarias a excepción de la isla de San Andrés.

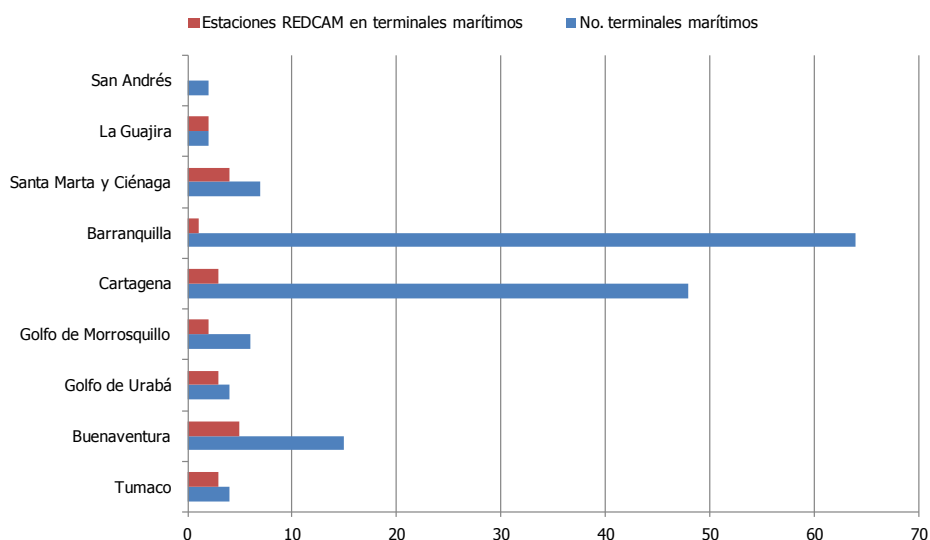


Figura 2.30. Número de terminales marítimos en zonas portuarias de Colombia.

En general, la REDCAM tiene un cubrimiento del 15 % de los terminales marítimos de las zonas portuarias a escala nacional, en donde se recolectan muestras de agua superficial, con frecuencia semestral para medir hidrocarburos, variables fisicoquímicas y microbiológicas para determinar la calidad de las aguas en estas zonas. Es importante involucrar a otros actores relacionados, como la capitania de puertos de departamento y concertar con ellos permisos para ingresar a los terminales marítimos para realizar el muestreo. Por otro lado, de acuerdo a la resolución 0477 de 2012, para el control del estado de las aguas jurisdiccionales colombianas, se necesita muestrear otras matrices como organismos en aguas de lastre y mediciones en sedimentos, que aporte mayor información sobre el impacto de la actividad portuaria sobre la calidad ambiental marina del país, que sirva como herramienta de gestión ambiental.

## TURISMO EN PLAYAS

Dentro del total de estaciones monitoreadas en la REDCAM, las cuales son 341 al 2015, alrededor de 100 corresponden a playas de arena. Sin embargo, luego de la comparación con las descritas como turísticas por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo ([MinCIT, 2011](#)), hasta la fecha 45 playas han sido monitoreadas por la REDCAM en el Caribe y 13 en el Pacífico dentro del periodo 2001 al 2013, lo que corresponde a un 44 y 52 % de representatividad en ambas regiones, respectivamente (Tabla 2.10).

**Tabla 2.10. Comparación del número de Playas turísticas monitoreadas por la REDCAM hasta la fecha en el Caribe y Pacífico Colombianos.**

Región	Departamento	No. Playas turísticas (MCIT, 2011)	No. Estaciones REDCAM (INVEMAR, 2014)	Playas turísticas monitoreadas (%)
Caribe	San Andrés, Providencia y Santa Catalina	11	6	54,5
	La Guajira	7	3	42,9
	Magdalena	13	9	69,2
	Atlántico	12	5	41,7
	Bolívar	13	7	53,8
	Sucre	18	5	27,8
	Córdoba	20	6	30,0
	Antioquia	2	2	100,0
	Chocó	6	2	33,3
	<b>Total Caribe</b>	<b>102</b>	<b>45</b>	<b>44,1</b>
Pacífico	Chocó	12	4	33,3
	Valle del Cauca	4	4	100,0
	Cauca	4	1	25,0
	Nariño	5	4	80,0
		<b>Total Pacífico</b>	<b>25</b>	<b>13</b>

Si bien se evidencia una cobertura no tan amplia asumiendo que no supera el 50 % a nivel nacional, la REDCAM ha procurado cubrir el mayor número de playas turísticas, por lo menos con una estación por departamento, asumiendo la amplia extensión a nivel nacional. Así mismo, durante el análisis comparativo se encontraron diferencias entre las nomenclaturas de las estaciones de la REDCAM y la descrita por el [MinCIT \(2011\)](#), lo cual hizo necesario la consulta de información adicional por cada departamento que permitiera identificar las estaciones en común según su ubicación geográfica. Por lo tanto, se hizo modificaciones de la nomenclatura de las estaciones con el fin de que corresponda con la adecuada toponimia del lugar.

Con respecto a la evolución de la cobertura de las estaciones correspondientes a playas de uso turístico, se encontró que de manera general el número de estaciones de la REDCAM ha aumentado desde sus inicios hasta mantenerse con un valor constante en el 2012 (Figura 2.31). A nivel departamental el comportamiento ha variado, encontrándose algunos casos donde no hay variaciones a lo largo del tiempo como en Antioquía, Valle del Cauca y Cauca lo cual puede indicar que se han cubierto las estaciones descritas en algún momento, a diferencia de Magdalena, San Andrés, Providencia y Santa Catalina, y Córdoba, donde se ha dado la inclusión de estaciones a raíz de las necesidades de las Corporaciones y las capacidades de monitoreos con la REDCAM.

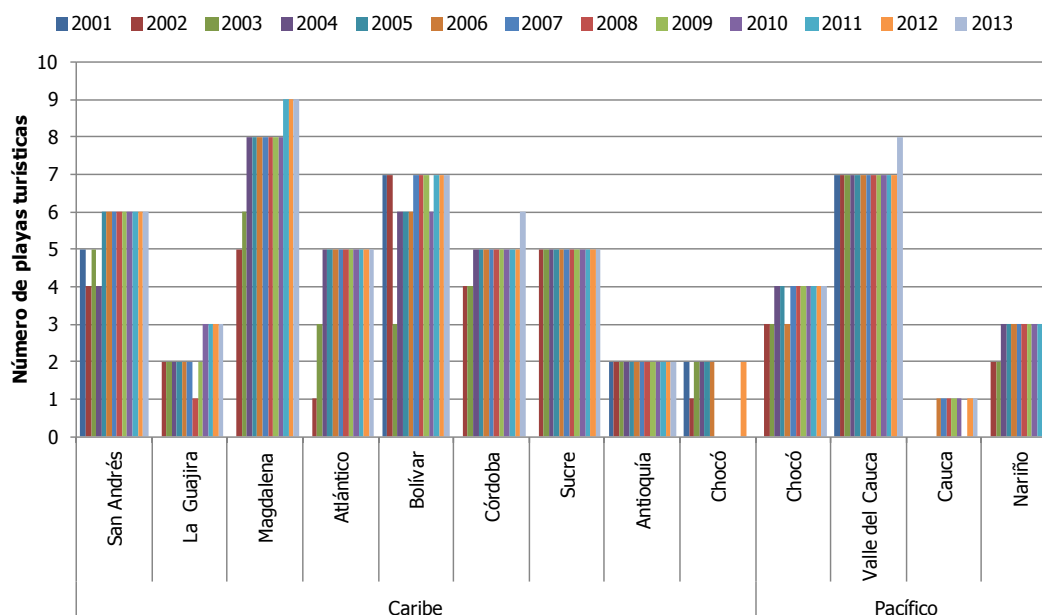


Figura 2.31. Evolución del número de estaciones monitoreadas por la REDCAM para cada Departamento entre el 2001 y 2013.

Actualmente, la REDCAM ha realizado el diagnóstico de las condiciones de calidad ambiental en los ecosistemas de playas a partir de la evaluación de parámetros establecidos por la normativa nacional, únicamente en el cuerpo de agua con una frecuencia semestral, lo cual permite evidenciar la variación por épocas climáticas. Pero esta información no se ajusta a la frecuencia de vigilancia que requiere una playa turística y que permitiría hacer un diagnóstico adecuado, incluyendo la influencia de la dinámica turística entre temporadas bajas y temporadas altas sobre la calidad de las mismas. Según la NTS 001-2 se describen tres temporadas turísticas principalmente, que van de diciembre a enero, marzo a abril (semana Pascua) y junio a agosto.

Por otro lado, con el fin de obtener información adicional de la calidad de las playas de uso turístico, la REDCAM desde el 2007 ha incluido la medición de enterococos fecales en aguas, los cuales son ampliamente avalados como los indicadores de contaminación de origen fecal en aguas costeras (OMS, 2003), y además se han incluido en Normas técnicas como indicador para la certificación de playas. En cuanto a la calidad de las arenas, en este año (2015), Invermar estandarizó en el laboratorio la medición de parámetros microbiológicos (coliformes y enterococos) y contaminantes (aceites y grasas), como análisis complementarios para el diagnóstico de la calidad de las playas de uso turístico, y en armonía con el proceso de fortalecimiento que viene adelantando el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo con diferentes corporaciones, entidades, municipios y Universidades, a través de proyectos financiados directamente, como el caso de los proyectos en las playas de San Andrés y Providencia, Riohacha, Santa Marta, Atlántico, Cartagena, Coveñas y Tumaco.

En este sentido y encaminados bajo los lineamientos de la política nacional, la REDCAM hasta la fecha ha brindado información base que resulta de gran importancia para el desarrollo de procesos como; el impulso de la certificación en playas, establecer planes de acción en conjunto con otras entidades e instituciones que permitan contar con un respaldo

científico para la gestión de estrategias que promuevan el desarrollo sostenible de un recurso como las playas turísticas.

Con el fin de complementar la información espacial de las playas, se contrastó con el listado de las 297 playas de arena georreferenciados en el Sistema de Información Ambiental (SIAM), teniendo como soporte su ubicación, se consultó con las entidades locales el tipo de actividad que se desarrollan en las playas ([INVEMAR, 2015a](#)). A partir de la retroalimentación por las corporaciones, se logró identificar aquellas playas donde se realizan actividades recreativo primario o secundario, y que son de interés turístico, permitiendo así ubicar nuevos puntos para el monitoreo. En ese orden, para cada departamento se relacionaron aquellas que se encuentran actualmente monitoreadas (58 en Caribe y 20 en Pacífico), así como los nuevos puntos que se deberían evaluar tanto para la región Caribe como para el Pacífico. Del anterior análisis se encontraron necesidad de ubicar 66 puntos en el Caribe y 18 en el Pacífico (Tabla 2.11).

**Tabla 2.11. Relación de Playas turísticas monitoreadas por la REDCAM y las propuestas para contar con la cobertura nacional.**

Departamento	Estaciones REDCAM - Actual	Estaciones REDCAM - Propuestas
San Andrés	4	4
La Guajira	6	4
Magdalena	15	25
Atlántico	5	4
Bolívar	8	13
Sucre	9	2
Córdoba	5	6
Antioquia	4	2
Chocó-Caribe	2	6
<b>Total Caribe</b>	<b>58</b>	<b>66</b>
Chocó-Pacífico	6	13
Valle del Cauca	9	2
Cauca	1	2
Nariño	4	1
<b>Total Pacífico</b>	<b>20</b>	<b>18</b>

Con base en el análisis espacial anterior, se pudo revelar que la necesidad de ubicar nuevas estaciones no es generalizada, habiendo departamentos donde no se requieren un gran número de estaciones como Antioquia, Sucre, Valle del Cauca y Nariño. A diferencia de departamentos como Magdalena, Bolívar, Atlántico, San Andrés, Córdoba y Chocó; en los cuales se necesita incluir nuevos puntos o reubicar los existentes, teniendo como criterios:

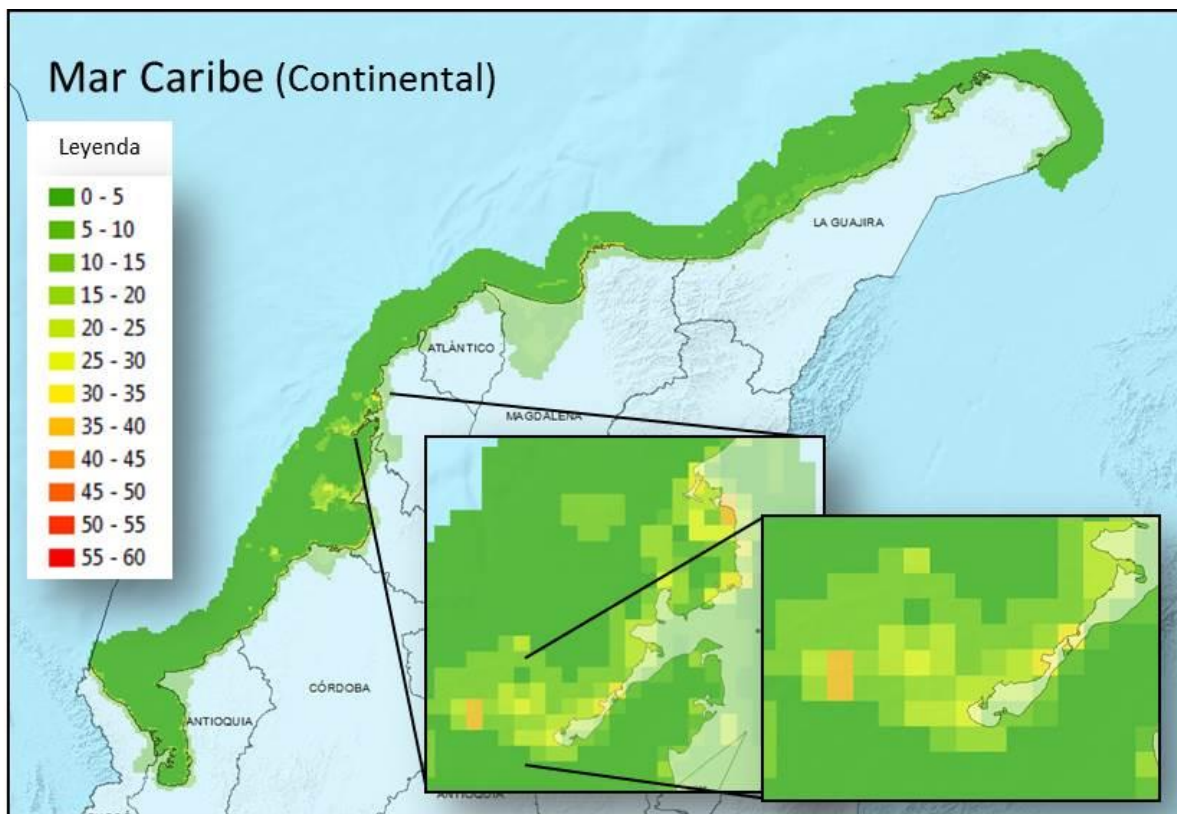
- Extensión de las playas de arena: Aquellas playas con una gran extensión (>1 km), se debe considerar la ubicación de al menos dos puntos teniendo en cuenta el área de mayor ocupación por los bañistas.
- Ubicación de las estaciones: Los puntos de muestreo deben encontrarse a no más de 50 metros desde la línea de costa o hasta donde se alcance una profundidad no mayor de 1,50 metros, asumiendo que este el valor promedio de altura entre hombres y mujeres colombianos, y profundidad donde pueden realizar la actividad de baño sin riesgo.

- Presencia de fuentes de contaminación (vertimientos, tributarios, puertos, etc.): La calidad del agua no solo se verá influenciada por su desmedido uso turístico, sino que se atribuye en gran medida a los aportes puntuales por descargas de tributarios y vertimientos en la zona o fuentes difusas de contaminación por escorrentía o actividad portuaria.

Dentro de las condiciones a evaluar se tiene como guía los parámetros fisicoquímicos medidos comúnmente (pH, oxígeno disuelto y salinidad) así como los nutrientes, pero en mayor medida se debe contar con la medición de indicadores microbiológicos de contaminación fecal, como coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y enterococos fecales, los cuales ya se encuentran descritos en la NTS-001-2. Así como los posibles contaminantes que se puedan encontrar según las fuentes identificadas, como grasa y aceites, e hidrocarburos derivados del petróleo.

#### *Análisis espacial multicriterio: identificación de áreas prioritarias de monitoreo*

El análisis espacial multicriterio permitió identificar mediante el cruce de los diferentes atributos (ecosistemas estratégicos, tensores ambientales, entre otros) presentes en la zona marino costera del Caribe y el Pacífico colombiano, áreas con diferentes porcentajes de prioridad para el monitoreo REDCAM. En la región Caribe, por la presencia de diferentes ecosistemas marinos estratégicos como arrecifes coralinos, pastos marinos, manglares, acantilados y playas arenosas, y la delimitación de los mismos en áreas naturales con figuras de protección, se identificaron los siguientes sitios con los más altos porcentajes de prioridad: las islas San Andrés y Providencia, el archipiélago de San Bernardo, el golfo de Morrosquillo y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta sector del Parque Nacional Natural Tayrona (Figura 2.32). También se priorizaron sitios puntuales en los diferentes departamentos, por la convergencia de diferentes tensores ambientales, ecosistemas marinos con bajas coberturas y sitios de importancia para la pesca artesanal.



**Figura 2.32. Mapa semáforo con las áreas priorizadas para monitoreo en la zona marino costera de la región Caribe colombiana.**

En el Pacífico, las áreas con mayores porcentajes de prioridad para el monitoreo se identificaron en el sector del golfo de Tribugá en Chocó y en las bahías Málaga y Buenaventura en el Valle del Cauca (Figura 2.33) por la presencia de diferentes tensores ambientales (vertimientos, actividad portuaria, tributarios y áreas agrícolas) y ecosistemas marinos estratégicos como manglares, playas turísticas, estuarios fondos de lodo y acantilados, además de áreas con figura de protección, y sitios de importancia para la pesca artesanal. En los demás departamentos se presentaron áreas con porcentajes de prioridad entre 25 y 35%, por la presencia de ecosistemas, parques nacionales naturales y tensores ambientales con diferentes coberturas y abundancia.

Del análisis nacional se identificaron 144 zonas con mayor prioridad para monitoreo con base en los criterios previamente descritos (Tabla 2.12). Al contrastar la ubicación de las zonas priorizadas con las estaciones REDCAM se lograron identificar 140 estaciones REDCAM ubicadas en algunas de las zonas, aun así muchas zonas carecían de estaciones o se hacía necesario incrementar el número de estaciones. Con el fin de cubrir el mayor número de zonas prioritarias se proponen 144 nuevas estaciones, principalmente en los departamentos de Magdalena, Atlántico, Bolívar, Chocó, Cauca y Nariño.

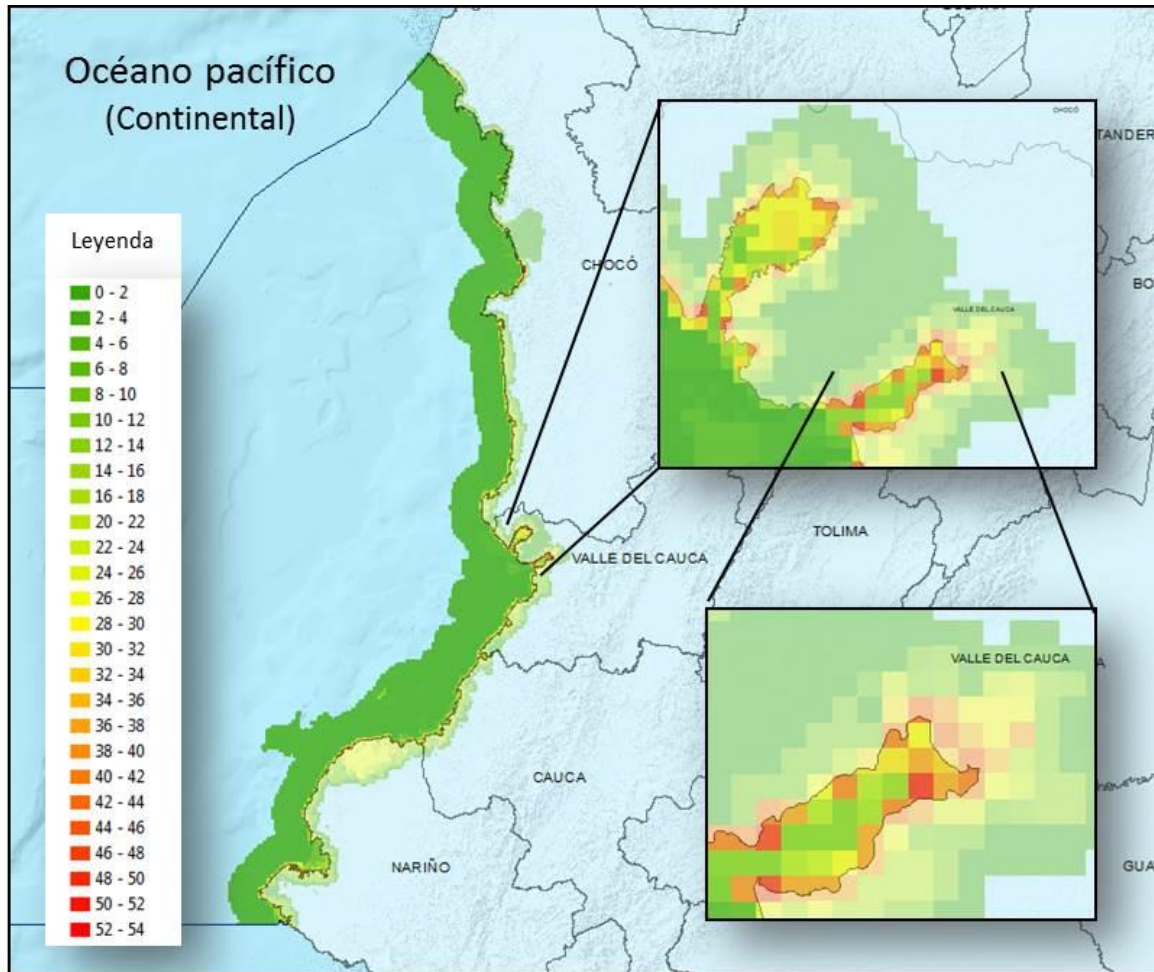


Figura 2.33. Mapa semáforo con las áreas priorizadas para monitoreo en la zona marino costera de la región Pacífica colombiana.

Tabla 2.12. Relación estaciones REDCAM ubicadas en zonas prioritarias para monitoreo y estaciones nuevas propuestas a nivel Nacional.

Departamento	No. Zonas	No. Estaciones vigentes	No. Estaciones nuevas
San Andrés, Providencia y Santa Catalina	7	16	10
La Guajira	4	2	2
Magdalena	14	17	13
Atlántico	4	3	11
Bolívar	8	4	15
Sucre	3	3	6
Córdoba	5	7	3
Antioquia	5	13	0
Chocó	6	2	8
<b>Caribe</b>	<b>56</b>	<b>67</b>	<b>68</b>
Chocó	33	11	30

Departamento	No. Zonas	No. Estaciones vigentes	No. Estaciones nuevas
Valle del Cauca	15	49	14
Cauca	14	4	13
Nariño	26	9	19
<b>Total Pacífico</b>	<b>88</b>	<b>73</b>	<b>76</b>
<b>Total Nacional</b>	<b>144</b>	<b>140</b>	<b>144</b>

### Implementación de los instrumentos de gestión ambiental

Dada la importancia de los diferentes aspectos reglamentarios, requerimientos y obligaciones en relación con la administración, control y seguimiento, e información del recurso hídrico, establecidos en el marco legal vigente, y los cuales deben servir para orientar las acciones de la REDCAM, se valoraron en función de los avances del programa nacional de monitoreo teniendo en consideración las regulaciones sobre ordenamiento, vertimientos y uso del recurso hídrico, establecidos en el Decreto 1594 de 1984, Decreto 3930 de 2010 principalmente y Decreto 1323 de 2007 sobre el sistema de información. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta planes, programas y políticas nacionales relacionadas con el ambiente marino costero orientando el análisis para conocer el aporte de la Red en el avance o cumplimiento de estos instrumentos. El análisis de los diferentes instrumentos de gestión ambiental estuvieron enfocados a conocer las respuestas de:

1. ¿Qué tanto la REDCAM está sirviendo de soporte para la toma de decisiones?
2. ¿Qué tanto la REDCAM está apoyando la implementación de herramientas de gestión ambiental?

En la Figura 2.34 se ilustra el amplio ámbito de aplicación de la REDCAM en virtud de los diferentes instrumentos de gestión relacionados con el recurso hídrico marino del país, y que contextualizan las actividades desarrolladas por el programa de monitoreo y los aspectos discutidos durante el taller de evaluación nacional de la Red, que se realizó en Bogotá los días 17 y 18 de noviembre de 2015.

Durante la evaluación y discusión del tema con los nodos, fue evidente que la REDCAM es una herramienta que está aportando al conocimiento de los recursos renovables y al sistema de base natural de Colombia, de acuerdo a las competencias y funciones otorgadas por la legislación. Entre los instrumentos de gestión ambiental, se viene dando cumplimiento con la REDCAM al Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto 2811 de 1974), el cual viene tratando el tema de monitoreo, sistemas de información, hidrología, conocimiento, formación, entre otros, y actualmente los esfuerzos del gobierno nacional son para hacer más explícito la función de monitoreo del recurso hídrico que tienen en sus funciones las autoridades ambientales.

De igual forma, con el Decreto 1323 de 2007 del Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), en el cual se especifican lineamientos para formular, proponer y adoptar los temas de monitoreo de agua superficial, subterránea y marinas, y menciona la necesidad de contar con protocolos, procedimientos y manuales entre otros. Además, menciona que las autoridades ambientales competentes como las CAR, los PNN y autoridades urbanas tienen obligación de monitorear el recurso hídrico (aguas superficiales, subterráneas y marinas) de conformidad a los manuales y protocolos que se hayan establecido, para obtener información base que alimente el SIRH, el Sistema de Información Marina (SIAM) y el



Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), en los cuales el Sistema de información de la REDCAM viene soportando desde el 2001 como repositorio nacional.

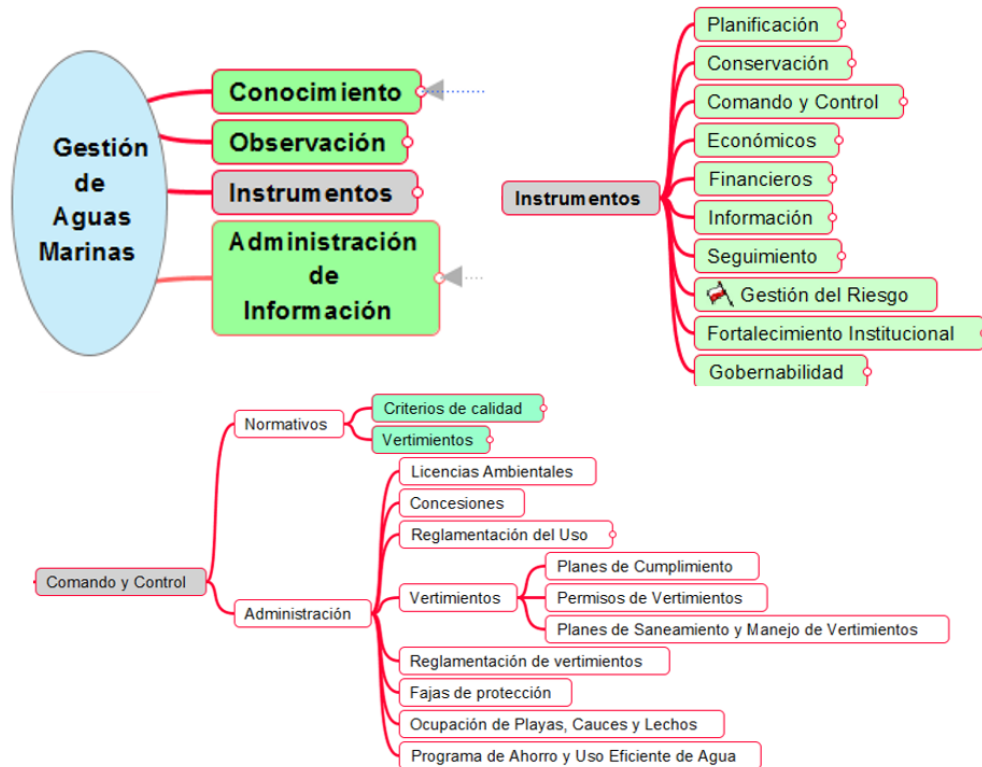


Figura 2.34. Instrumentación para la Gestión de Aguas Marinas en Colombia.

En cuanto a la Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico –PNGIRH (2010), la REDCAM es el componente marino de este instrumento que se formuló y diseñó con documentación técnica proporcionada por las Autoridades Ambientales y que se promovió por el MADS, junto con los institutos (IDEAM y el INVEMAR), y en los años siguientes se propuso el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico – PNMRH con la reingeniería de las Redes para articular los componentes hidrológico, meteorológico y de calidad, lo cual representa un gran reto, para la armonización de los objetivos y la articulación interinstitucional (Figura 2.35).

A través de la REDCAM también se ha dado respuesta a múltiples acuerdos y tratados internacionales (Convenio de Cartagena y Convenio de Lima), donde se menciona que el estado deberá proteger el medio marino y prevenir la contaminación, además de clasificar sus aguas marino-costeras, entre otros aspectos, que aplican de conformidad con el marco legal ambiental vigente nacional. Dado que el recurso hídrico es transversal, la información generada a servido a otros instrumentos para la protección de los recursos naturales, como los áreas protegidas, ecosistemas estratégicos para la conservación del recurso hídrico, fajas de protección; así como otras relacionadas con el seguimiento y control, permisos de usos y vertimientos, ocupación de uso público como playas y lechos de ríos.

En cuanto al *Plan Estratégico Nacional de Investigación Ambiental, PENIA* como el instrumento de planificación que permite orientar y focalizar la actividad de investigación ambiental de manera que se realice eficientemente para apoyar, desde la perspectiva científica y tecnológica el logro de los intereses y metas nacionales en busca de la sostenibilidad. El análisis se realizó cruzando la matriz de relación entre programas estratégicos temáticos (PET) e instrumentales (PEI) del PENIA (Figura 2.36) y sus líneas de investigación.

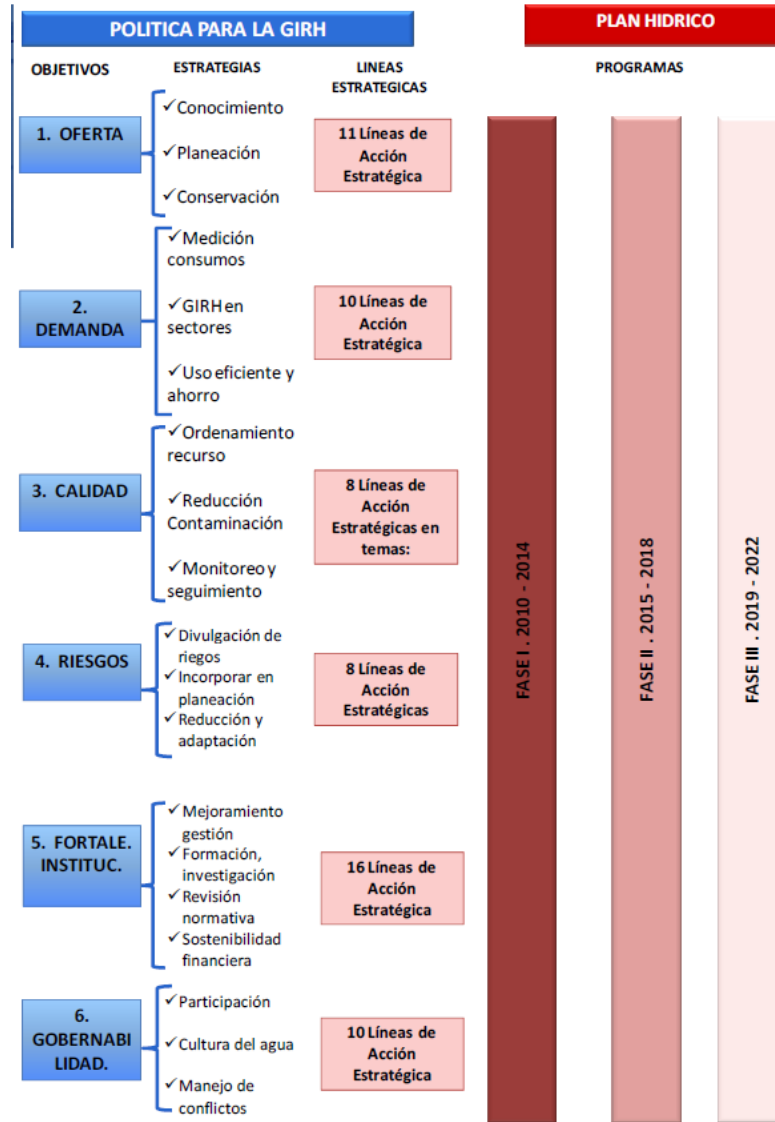


Figura 2.35. Programas, objetivos y estrategias de la Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico. Fuente: MADS, Viceministerio de Ambiente, Dirección de Ecosistemas, Grupo de Recurso Hídrico.

		PROGRAMAS ESTRATÉGICOS INSTRUMENTALES, PEI		
PROGRAMAS ESTRATÉGICOS TEMÁTICOS, PET	Caracterización de la estructura y dinámica de la base natural del país			
	Conservación y restauración del patrimonio ambiental del país	Producción y gestión de información técnica y científica en el SINA	Coordinación interinstitucional y participación para apoyar la gestión ambiental	Fortalecimiento financiero de los Institutos de investigación del SINA
	Ordenamiento y planeación del manejo del territorio para el aprovechamiento sostenible de sus recursos			
	Identificación, prevención y gestión de riesgos derivados de fenómenos naturales y antrópicos			
	Innovación, desarrollo y adaptación de tecnologías para aprovechar sosteniblemente la oferta ambiental y prevenir o mitigar los impactos ambientales de las actividades socioeconómicas			
	Evaluación y seguimiento de la política y gestión ambiental			

Figura 2.36. Esquema de relación entre programas estratégicos del PENIA

Se encontró que la REDCAM a través del PICIA del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras del INVEMAR como coordinador nacional de la REDCAM está aportando en dos (2) de los seis (6) programas PET mediante dos líneas de investigación y en dos (2) de los programas PEI con tres (3) líneas de investigación (Tabla 2.13).

Tabla 2.13. Aporte de la REDCAM en los programas y líneas estratégicas del PENIA

Programas	Programas PENIA 2010 - 2020	Líneas de investigación PENIA
Temáticos (PET)	Caracterización de la estructura y dinámica de la base natural del país	Caracterización y dinámica de los componentes ambientales abióticos principales (suelos, agua y aire) y sus relaciones con la biota.
	Evaluación y seguimiento de la política y la gestión ambiental	Análisis comparativo de enfoques, modelos y estrategias de política y gestión ambiental.
Instrumentales (PEI)	Coordinación interinstitucional y participación para apoyar la gestión ambiental	Coordinación y articulación con el SNCyT a través de la formación de redes y alianzas para la identificación e intercambio de experiencias ambientales entre institutos con comunidades académicas, de investigación científica, de innovación tecnológica, del sector productivo, públicos y privados.
		Diseño y operación de una estrategia de fortalecimiento del talento humano institucional y apoyo a la formación de recurso humano en investigación ambiental.
	Fortalecimiento financiero de los institutos de investigación del SINA	Fomento a la realización de investigaciones ambientales con las CAR y los entes territoriales.

El Programa nacional de investigación, evaluación, prevención, reducción y control de fuentes terrestres y marinas de contaminación al mar – PNICM (2004), responde directamente a la estrategia propuesta en la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia - PNAOCI (2000) para “Proporcionar un ambiente marino y costero sano para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población costera”, donde de manera explícita la REDCAM quedó incluida como una de las acciones para dar cumplimiento al objetivo 1 de Evaluar, es su estrategia 1.1 *Caracterización de la contaminación y Monitoreo Ambiental* (Tabla 2.14), de igual forma las diferentes actividades que se desarrollan en el marco del Programa nacional de monitoreo marino han contribuido de forma directa y siguen aportando de manera parcial en los 4 objetivos, sus estrategias para dar cumplimiento a las metas propuestas en el Plan de Acción 2004-2014; así como en la implementación del nuevo plan de acción 2015-2019.

**Tabla 2.14. Aporte de la REDCAM en la implementación de los objetivos, estrategias y metas del PNICM.**

OBJETIVO	OBJETIVO ESPECIFICO	ESTRATEGIA	META
1. EVALUAR	1. Evaluar y generar conocimiento acerca de las fuentes de contaminación de origen terrestre y marítimo para sustentar la toma de decisiones en materia de prevención, reducción y control de la contaminación.	1.1. Caracterización de la contaminación y Monitoreo Ambiental	1.1a. Mantener un diagnóstico actualizado de las fuentes y de la calidad de aguas, sedimentos y organismos marinos y costeros del país.
		1.2. Consolidar un Sistema de Información de la Calidad Ambiental Marina.	1.1b. Conocer y evaluar el impacto de la contaminación sobre los ecosistemas marinos y costeros.
		1.3 Fortalecimiento de la Capacidad Científica Nacional.	1.1c. Contar con un Sistema de Indicadores Ambientales Marinos
2. PREVENIR	3. Implementar mecanismos de investigación, protección y conservación de áreas pocos o no deteriorados o ecosistemas de valor estratégico para evitar su pérdida o degradación por la contaminación.	3.1. Protección y Conservación de Áreas No Degradadas	1.2a. Consolidar un Sistema de Gestión de Datos e Información de la Calidad Ambiental Marina y Costera.
			1.3a. Conocer y evaluar el impacto de la contaminación sobre los ecosistemas marinos y costeros.
3. REDUCIR			3.1a. Proteger y conservar zonas costeras y marinas no degradadas.
4. CONTROLAR	7. Crear y fortalecer los mecanismos apropiados para que las entidades encargadas del control de vertimientos y emisiones ejerzan eficientemente su labor, de manera que la carga de contaminantes que llega a mares y costas no exceda la capacidad de asimilación de los ecosistemas.	7.1 Desarrollo de herramientas	5.1d. Reducir el escurrimiento de plaguicidas al Caribe y Pacífico colombianos
		7.3 Seguimiento y monitoreo	7.1a Disponer de límites permisibles de las variables físico-químicas, microbiológicas y tóxicos químicos en aguas, sedimentos y organismos marinos
			7.2b Aumentar la capacidad técnico-operativa para el control de la contaminación.
			7.3a Actualizar la normatividad vigente para un adecuado control de los vertimientos en aguas marinas, costeras y continentales.
			7.3c Realizar el 100% del seguimiento y monitoreo de los puntos de vertimientos de contaminantes.

Con relación al cumplimiento e implementación de la normatividad nacional, la REDCAM desde el año 2001 al 2010 aportó en coleccionar información de los parámetros para evaluar los siete (7) usos definidos en el Decreto 1594 de 1984 (que fue derogado parcialmente) y de igual forma con los 9 usos del Decreto 3930 de 2010 vigente. En el caso del Decreto 1594 de 1984 la Red midió 21 de los 58 parámetros definidos en los criterios de calidad para la destinación del recurso, sin teniendo en consideración que los plaguicidas organoclorados y fosforados se suman por cada una de las moléculas analizadas. Dado que en la actualidad no se han determinado los parámetros y criterios del Decreto 3930 se mantiene este mismo aporte.

**Tabla 2.15. Destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas y marinas. Decreto 3930 de 2010 (MAVDT, 2010).**

Parámetros	<sup>1</sup> Consumo Humano y Doméstico	<sup>1</sup> Preservación de Fauna y Flora	<sup>1</sup> Agrícola	<sup>1</sup> Pecuario	<sup>1</sup> Recreativo	<sup>1</sup> Industrial	<sup>1</sup> Navegación y Transporte	<sup>2</sup> Pesca, maricultura y acuicultura	<sup>2</sup> Estético
Aluminio (mg/L)			5,0	5,0					
Cadmio (mg/L)	0,01	0,01 CL9650	0,01	0,05					
Cinc (mg/L)	15,0	0,01 CL9650	2,0	25,0					
Cobre (mg/L)	1,0	0,1 CL9650	0,2	0,5					
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	2.000		1.000		200				
Coliformes totales (NMP/100 mL)	20.000		5.000		1.000	5.000			
Conductividad									
Cromo (mg/L)	0,05	0,01 CL9650	0,1	1,0					
Hierro (mg/L)		0,1 CL9650	5,0						
Manganeso (mg/L)		0,1 CL9650	0,2						
Mercurio (mg/L)	0,002	0,01 CL9650		0,01					
Níquel (mg/L)		0,01 CL9650	0,2						
Nitratos (mg/L)	10,0								
Nitritos (mg/L)	10,0			10,0					
Oxígeno disuelto (mg/L)		4,0							
Oxígeno disuelto saturación					70%				
pH	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0		5,0 – 9,0	5,0 - 9,0			
Plaguicidas organoclorados		0,001 CL9650							
Plaguicidas organofosforados		0,05 CL9650							
Plomo (mg/L)	0,05	0,01 CL9650	5,0	0,1					
Salinidad									

1: usos del agua definidos en el Decreto 1594 de 1984

2: usos adicionales incluidos en el Decreto 3930 de 2010

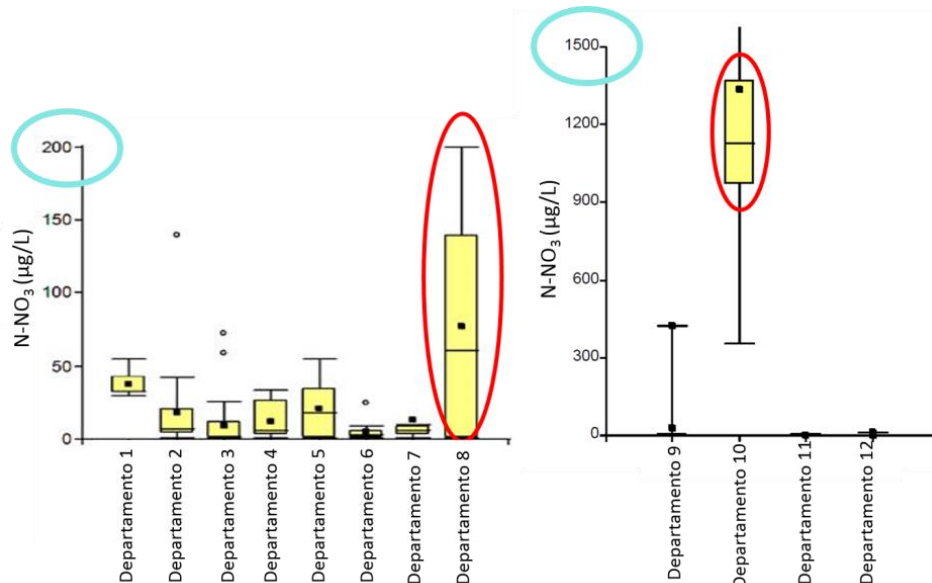
### Capacidades técnicas de los laboratorios de las CAR

Con los resultados de la evaluación de las capacidades técnicas y operativas de los laboratorios de la REDCAM desarrollada en el 2013 (Convenios 57-2013 MADS/INVEVAR) y de las propuestas técnico-económicas del 2014 (Convenio 190-2014 MADS/INVEVAR) para

el fortalecimiento del monitoreo de la REDCAM. En ese análisis se evidenciaron fortalezas y debilidades de las CAR donde se mostraba que aunque la mayoría de laboratorios tienen capacidad instalada en infraestructura y equipos, muchos no cuentan con el personal o recursos suficientes para dar continuidad a los procesos de acreditación que son muy costosos, no obstante los laboratorios de CVC, CARDIQUE y CORPOURABÁ poseen la mayor capacidad instalada y han venido asumiendo desde el inicio el monitoreo de la REDCAM en sus áreas de jurisdicción. Se evidenció que a pesar de los diferentes cursos realizados se requiere repetir muchos temas debido a la alta rotación del personal, por lo cual el entrenamiento no permanece en las instituciones.

En el caso de las técnicas analíticas, todos los laboratorios tienen técnicas validadas, pero no todas se encuentran acreditadas, uno de los aspectos críticos para los resultados del monitoreo al igual que la alta rotación del personal, lo que hace que las Corporaciones deban invertir recursos y tiempo en capacitación de nuevo personal.

Las dificultades en la implementación de las técnicas analíticas, radica en la falta de límites de referencia para ciertas variables de la matriz marina, lo cual hace que los laboratorios tengan técnicas poco sensibles, limitando la detección de algunas moléculas en esta matriz. También se observó que las técnicas y los procedimientos difieren entre los laboratorios ambientales, lo que se ve reflejado en las unidades de medida y en la magnitud del valor en el resultado de variables básicas como salinidad, oxígeno, sólidos suspendidos totales y nutrientes, entre otras; así como el alto contraste de los límites de detección que difieren notoriamente (Figura 2.37).



**Figura 2.37. Concentración de nitratos en los diferentes departamentos costeros, donde se evidencian las diferencias en la magnitud del valor y los límites de detección de la técnica utilizada.**

Por lo tanto, se propone estandarizar las técnicas analíticas para la matriz marina, teniendo en cuenta la referencia de [Strickland y Parsons \(1972\)](#) y de igual forma propender en la REDCAM por homologar las técnicas y mejorar la sensibilidad de los métodos empleados para la matriz marina, la cual tiene características particulares y diferentes a las aguas continentales, subterránea y residuales.

En este sentido, fue importante el acercamiento del INVEMAR y el MADS con el IDEAM como encargado de acreditar los laboratorios para promover el alcance de la matriz marina en los laboratorios de la Red, con el fin que apoye desde su rol, los procesos de fortalecimiento de los laboratorios ambientales de la REDCAM. Si bien IDEAM no puede solicitar acreditación en matrices particulares, es importante identificar la relevancia de lo que hace cada laboratorio para determinar cuál es el alcance la acreditación e identificarlo si es para la matriz marina.

Con esta orientación se propusieron acciones en el corto (un año), mediano (tres años) y largo plazo (cinco años), para superar las dificultades identificadas y encontrar alternativas de solución, dando respuesta a la pregunta orientadora *¿Cuáles son las acciones para mejorar la sensibilidad de las técnicas en la matriz marina?*:

**Corto Plazo (1 año):**

1. Revisar y socializar las técnicas analíticas para la matriz marina.
2. Fortalecimiento de las capacidades técnicas de los profesionales de los laboratorios de las CAR costeras.

**Mediano plazo (3 años):**

1. Aumentar la adquisición de equipos de laboratorio de gama media y alta.
2. Aumentar el grupo de trabajo.
3. Validar y estandarizar las técnicas en la matriz marina.
4. Evaluar técnicas alternativas de análisis.
5. Participar en pruebas interlaboratorios para la matriz marina.
6. Realizar la actualización del protocolo de monitoreo del manual de métodos analíticos.

**Largo Plazo (5 años):**

1. Tener equipos de todas las gamas en los laboratorios de las CAR y renovar equipos instrumentales.
2. Definir técnicas más apropiadas para la matriz marina.
3. Disponer de un programa de mantenimiento y calibración de los equipos analíticos.

*Proyecciones de mejora de la REDCAM*

Con el propósito de evaluar el programa nacional de monitoreo REDCAM y proponer acciones para el mejoramiento de la Red a futuro, durante el taller de trabajo realizado en Bogotá con las diferentes instituciones nodo, se desarrolló la matriz DOFA para identificar las debilidades y fortalezas (factores internos) y amenazas y oportunidades (factores externos) que se deben analizar con base en los objetivos, diseño y alcances de la REDCAM. Con todos los aportes de los asistentes se consolidó la matriz con una visión nacional, la cual se presenta a continuación:

**DEBILIDADES (factores internos de riesgo):**

1. Poco compromiso de los administrativos y recursos limitados (los convenios demoran mucho para materializarse).
2. Monitoreo solo en matriz (agua) es necesario abordar sedimentos y organismos.

3. Baja cobertura y trazabilidad de las estaciones para la continuidad del monitoreo.
4. Continuidad del personal capacitado en los nodos de la Red (se pierde la memoria histórica y los recursos invertidos en capacitaciones).
5. Bajo manejo de la información y uso de la base de datos por parte de los nodos (baja participación de las CAR en la elaboración y revisión del informe y la subida de los datos al sistema).
6. Pocas divulgaciones y publicaciones científicas (anualmente se levanta mucha información, sin embargo, no se realizan publicaciones en revistas científicas nacionales o internacionales, sino que la información queda en los informes técnicos).
7. Altos costos de la acreditación de los laboratorios y su corto tiempo de vigencia (alrededor de 50 millones la acreditación, 30 millones la auditoría y 20 millones la calibración, costos muy elevados para mantener los laboratorios de la Red).
8. Sobrecarga del INVEMAR en las actividades de la REDCAM. CORALINA, CORPOURABÁ, CARDIQUE y CVC realizan los muestreos de manera autónoma, y Corpoguajira está avanzado en sus capacidades autónomas.

#### **FORTALEZAS (factores internos de éxito):**

1. Articulación interinstitucional permanente (15 nodos articulados actualmente).
2. Conocimiento del recurso hídrico marino-costero. 15 años de monitoreo sin interrupciones.
3. Capacitación de los técnicos de los nodos para trabajar en la REDCAM (se realizan cursos anuales, y otros entrenamientos específicos solicitados por las CAR de acuerdo a sus necesidades).
4. Laboratorios acreditados: de los 10 laboratorios, 9 están acreditados y uno en proceso de acreditación.
5. Adopción de las competencias ambientales marinas y costeras de los nodos.
6. Apoyo logístico, técnico y económico aunado para el monitoreo.
7. Investigación.
8. Generador de la línea base ambiental para planificación del territorio.

#### **AMENAZAS (factores externos de riesgo):**

1. La no financiación de la REDCAM por parte del gobierno nacional de donde se soportan el mayor porcentaje de los recursos para desarrollar las actividades de la Red anualmente (monitoreo, sistema de información, curso taller, elaboración y publicación del informe diagnóstico, entre otras (disminución de los recursos del BPIN).
2. Ausencia de normativa de vertimientos y uso del agua marinas (para que la información de la Red sea utilizada en la toma de decisiones).
3. Difícil acceso a algunas áreas por condiciones ambientales, escasez de vías de transporte, altos costos de desplazamiento o por orden público.
4. Escasos profesionales con competencia técnica o experiencia en temas marinos en el país.
5. Falta de articulación entre los monitoreos ambientales (atmosférico, continental, subterráneo y marino).

#### **OPORTUNIDADES (factores externos de éxito):**

1. Reingeniería de la Red para obtener mejor información (con el uso de nuevos criterios se puede evaluar la red de estaciones y optimizar los recursos y esfuerzos).



2. Vincular nuevos nodos a la REDCAM (municipios, establecimientos públicos ambientales (EPA Buenaventura), universidades, organizaciones y otras instituciones que tienen fortalezas en temáticas comunes con la red).
3. Informes y documentos para diferente público con un lenguaje más sencillo y gráfico que permita mayor divulgación del programa de monitoreo y del diagnóstico. Retomar informe ejecutivo para tomadores de decisiones.
4. Gestionar proyectos para el fortalecimiento de la Red que ayuden a canalizar recursos.
5. Fortalecer la información sobre vertimientos e impactos sobre ecosistemas marinos y costeros.
6. Uso de nuevas tecnologías (uso de equipos satelitales y otras tecnologías automatizadas).
7. Estandarización de las técnicas analíticas, sensibilidad y calidad de los datos.
8. Dar soporte a la generación de políticas e instrumentos nacionales.
9. Apoyar la definición de los objetivos de calidad del agua marina del país.
10. Incluir en el monitoreo nacional otras matrices (sedimentos, organismos y playa).
11. Formación y capacitación del personal.
12. La nueva autoridad ambiental de Buenaventura.

Teniendo en cuenta los diferentes aspectos discutidos y criterios desarrollados durante el taller, se realizó una lluvia de ideas entre todos los asistentes para proponer acciones que propendan por mejorar el desempeño de la REDCAM en el corto mediano y largo plazo (Tabla 2.16).

**Tabla 2.16. Proyección de acciones de mejora de la REDCAM en el corto, mediano y largo plazo**

LÍNEAS DE ACCIÓN	TEMAS	CORTO (1 año)	MEDIANO (3 años)	LARGO (5 años)
	ICAM	Definir las variables en consenso. Realizar una encuesta para ponderarlas y proponer ajustes	Ajustar el ICAM para preservación y recreación.	Aplicar el ICAM en los informes y obtener la certificación DANE.
Sistema información	Base datos	Identificar grupos u otras entidades generadoras de información marino-costera que puedan aportar al fortalecimiento de la base de datos marina del país.	Ser un repositorio nacional de datos de monitoreo en áreas marina (revisar pertinencia de incluir ciertos datos al sistema).	Contar con una base de datos depurada, con información útil para el país (Clearing House).
		Depuración de la base de datos actual y renovación tecnológica		
Capacidad CAR	Capacitaciones	Realizar un curso MIZC para la REDCAM.	Mejorar las técnicas analíticas en matriz marina.	Mejorar las técnicas analíticas en matriz marina.
	Sensibilidad Técnicas	Ver acciones en el ítem capacidades técnicas de los laboratorios de las CAR		
Articulación-	Alianzas	Socializar las generalidades y	Gestionar	Gestionar

LÍNEAS DE ACCIÓN	TEMAS	CORTO (1 año)	MEDIANO (3 años)	LARGO (5 años)
gestión		<p>actividad REDCAM con la gerencia de los nodos.</p> <p>Formalizar un acuerdo con IDEAM para dar continuidad a las acciones propuestas para el corto, mediano y largo plazo.</p> <p>Gestionar acuerdos con los municipios costeros, ministerio de turismo, EPA Buenaventura, comités de playas, entre otras entidades</p>	<p>acuerdos con los municipios costeros, ministerio de turismo, EPA Buenaventura, comités de playas, entre otras entidades</p>	<p>acuerdos con los municipios costeros, ministerio de turismo, EPA Buenaventura, comités de playas, entre otras entidades</p>
	Recursos	Formular una propuesta para someter a fondos de financiación.		
Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico	Protocolo de monitoreo y seguimiento del agua	Socializar la ayuda de memoria del taller con el MADS (DAMCRA y recurso Hídrico), IDEAM, INVEMAR y los directivos de las CAR para expresar la inconformidad por el manejo del componente marino dentro del protocolo nacional.	La REDCAM incluida de forma adecuada en el Protocolo del PNMRH	

# Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar



**Vertimiento de aguas residuales al río Magdalena, Atlántico. Foto: Paola Obando**



### 3. FUENTES TERRESTRES Y MARINAS DE CONTAMINACIÓN AL MAR

El crecimiento de los asentamientos humanos y las actividades socioeconómicas que se desarrollan en tierra y en el mar, producen diversos residuos contaminantes que se consideran fuentes de contaminación de la franja costera, debido a que pueden afectar los ecosistemas marinos y costeros, causando alteración y destrucción del hábitat, eutrofización, cambios en el flujo de sedimentos y en el ciclo de vida de algunos organismos marinos, disminución de las poblaciones de peces y efectos en la salud humana (Escobar, 2002; Garay y Vélez, 2004). Las principales fuentes fijas (vertidos directos a los cuerpos de agua receptoras y el sitio de vertimiento es fácilmente distinguible) de contaminación corresponden a las plantas industriales, desechos municipales y sitios de extracción, explotación y excavación como la minería; mientras que las fuentes difusas (sus descargas, no tienen un punto directo de entrada a los cuerpos de agua receptoras) más evidentes corresponden a la actividad forestal intensiva y la agricultura, por el uso de plaguicidas e insumos agrícolas, así como el aporte de restos de vegetales y animales.

En los departamentos costeros de Colombia se desarrollan múltiples actividades, que se han identificado por la REDCAM como fuentes puntuales o difusas de contaminación (Figura 3.1; Tabla 3.1), en las que se destacan los vertimientos de aguas residuales domésticas, residuos sólidos, actividad portuaria, minería y la industria.

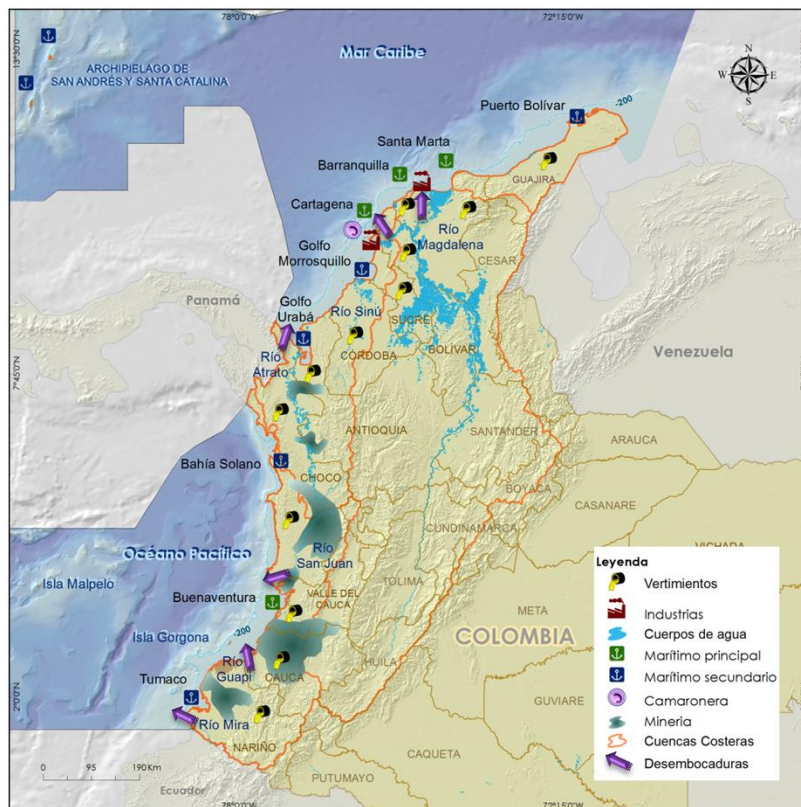


Figura 3.1. Ubicación de las principales fuentes terrestres y marinas de contaminación que llegan a las aguas marino-costeras de Colombia.

**Tabla 3.1. Inventario Nacional de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación, y contaminantes que afectan la calidad del agua en Colombia. Fuentes de información: CAR costeras, INVEMAR y Superservicios (2014a).**

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	Dos municipios costeros (San Andrés y Providencia). Aguas residuales domésticas, emisario submarino en San Andrés, pozos sépticos, residuos sólidos, rellenos sanitarios, actividad hotelera y turística intensiva, escorrentías, transporte y tráfico marítimo, puertos y muelles, manejo de hidrocarburos, estaciones de servicio, actividad pecuaria de pequeña escala, pequeños arroyos en las microcuencas de McBean, Baley y Fresh water, los cuales aumentan sus caudales durante la temporada de lluvias.	Aguas residuales domésticas, materia orgánica, nutrientes, grasas y aceites, hidrocarburos, residuos sólidos, detergentes, sólidos disueltos y suspendidos, lixiviados, y microorganismos.
La Guajira	Cuatro municipios costeros (Riohacha, Dibulla, Manaure y Uribia). Aguas residuales domésticas, residuos sólidos, botadero a cielo abierto, rellenos sanitarios, minería intensiva, explotación y transporte de carbón, puerto carbonero (Puerto Bolívar), transporte marítimo, estaciones de servicio, agricultura, termoeléctrica, matadero de vacunos, descarga de ocho principales ríos (Ranchería, Camarones, Tapia, Jerez, Caña, Ancho, Negro y Palomino).	Aguas residuales domésticas, materia orgánica, nutrientes, grasas y aceites, hidrocarburos, residuos sólidos, residuos de carbón, agroquímicos, aguas térmicas, aguas de sentinas, sólidos disueltos y suspendidos, y microorganismos.
Magdalena	Cuatro municipios costeros (Santa Marta, Ciénaga, Sitionuevo, Pueblo Viejo). Aguas residuales domésticas, emisario submarino, residuos sólidos, rellenos sanitarios, botadero a cielo abierto, actividad marítima y portuaria, transporte terrestre de carbón, cargue y transporte marítimo de carbón en el corredor Ciénaga - Santa Marta, transporte y manejo de hidrocarburos, agricultura (banano, palma de aceite, entre otros), actividad turística y hotelera, nueve ríos principales (Don Diego, Buritaca, Guachaca, Piedras, Mendiaguaca, Manzanares, Gaira, Toribio y Córdoba).	Aguas residuales domésticas, materia orgánica, nutrientes, residuos sólidos, residuos de carbón, hidrocarburos, grasas y aceites, aguas de sentinas, agroquímicos, lixiviados, sólidos disueltos y suspendidos, y microorganismos.
Atlántico	Cinco municipios costeros (Barranquilla, Puerto Colombia, Juan de Acosta, Soledad y Tubará). Aguas residuales, residuos sólidos, rellenos sanitarios, puertos fluviales y marítimos multipropósito y de carbón, industrias metalúrgicas, químicas, farmacéuticas, cementeras, curtiembres, agroquímicos, procesadoras de alimentos y bebidas y textiles; agricultura y descargas del río Magdalena.	Aguas residuales domésticas e industrial, materia orgánica, nutrientes, residuos sólidos e industrial, lixiviados, residuos de carbón, hidrocarburos, grasas y aceites, agroquímicos, sólidos disueltos y suspendidos, y microorganismos.
Bolívar	Dos municipios costeros (Cartagena y Santa Catalina). Aguas residuales domésticas, emisarios de emergencia, residuos sólidos, rellenos sanitarios, sector industrial de Mamonal y zona comercial de El Bosque, actividad marítima y portuaria, manejo de hidrocarburos, refinería y descarga del Canal del Dique.	Aguas residuales domésticas e industrial, materia orgánica, residuos sólidos, lixiviados, hidrocarburos, aceites y grasas, metales pesados, desechos industriales y microorganismos.
Sucre	Tres municipios costeros (Tolú, Coveñas y San Onofre). Aguas residuales, rellenos sanitarios, actividad agropecuaria (arroz; pastos, coco y ganadería), madereras, industrias pesqueras, camarónicas y zocriaderos, actividad portuaria, terminal marítimo de Ecopetrol, zona de cargue de cemento y klinker, manejo y transporte de hidrocarburos, mataderos, estaciones de servicio y aportes por corrientes naturales (Arroyos Pechelín, Villeros, Ciénaga la Caimanera, Caño Guainí,	Agua residual, materia orgánica, sólidos en suspensión, agroquímicos, residuos sólidos, lixiviados, microorganismos, aguas de sentina, hidrocarburos, aceites y residuos oleosos, residuos de carbón, Klinker y metales pesados.

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
	Zaragocilla, Guacamaya, Alegría).	
Córdoba	Cinco municipios costeros (Los Córdoba, Moñitos San Antero, San Bernardo del Viento y Puerto Escondido). Aguas residuales, pozos sépticos, rellenos sanitarios, agricultura (arroz) y ganadería intensiva, turismo, residuos sólidos y aportes de seis ríos (Sinú, Broqueles, Cedro, Mangle, Canaletes y Córdoba).	Aguas residuales, materia orgánica, nutrientes, residuos sólidos, lixiviados, agroquímicos, sólidos disueltos y suspendidos, y microorganismos.
Antioquia	Cuatro municipios costeros (Arboletes, San Juan de Urabá, Turbo y Necoclí). Aguas residuales domésticas, residuos sólidos, relleno sanitario, actividad portuaria en Turbo, cultivo de banano, minería de oro y aportes por corrientes naturales (ríos Arbolete, Hobo, San Juan, Damaquiel, Mulatos, Necoclí, Bobal, Caimán Nuevo y Viejo, Turbo, Guadualito, Currulao, León, Zuriqui y Atrato).	Aguas residuales, materia orgánica, nutrientes, residuos sólidos, lixiviados, agroquímicos, sólidos suspendidos, microorganismos, mercurio, grasas y aceites e hidrocarburos.
Chocó	Siete municipios costeros (Acandí y Ungía, en el Caribe; Juradó, Bahía Solano, Nuquí, Bajo Baudó y San Juan en el Pacífico). Aguas residuales, residuos sólidos, botaderos a cielo abierto, transporte de pequeñas embarcaciones a motor, estaciones de servicio, minería de oro, industria maderera y aportes de 28 ríos entre los que se destaca Acandí, Jella, Valle, Nuquí y San Juan.	Aguas residuales domésticas, materia orgánica, nutrientes, residuos sólidos, microorganismos, hidrocarburos, alquitranes para la inmunización de la madera, mercurio y agroquímicos.
Valle del Cauca	Un municipio costero (Buenaventura). Aguas residuales, residuos sólidos, actividad marítima y portuaria intensiva, muelle petrolero, manejo y transporte de hidrocarburos y derivados del petróleo, industria maderera y pesquera, lixiviados, turismo en La Bocana, Juanchaco y Ladrilleros, pequeños cultivos de pancoger, chontaduro y coco (Dagua), y aportes de los ríos San Juan, Naya, Anchicayá, Potedó, Raposo y Dagua.	Aguas residuales, materia orgánica, nutrientes, microorganismos, residuos sólidos, desechos del procesamiento de productos pesqueros, agroquímicos, hidrocarburos, metales pesados, residuos oleosos, aguas de sentinas y slops.
Cauca	Tres municipios costeros (López de Micay, Timbiquí y Guapi). Aguas residuales domésticas, residuos sólidos, relleno sanitario, botaderos a cielo abierto, minería de oro, agricultura, aserríos, cocoteras, trapiches artesanales, almacenamiento y expendio de combustible y aportes de los ríos Timbiquí, Bubuey, Micay, Saija, Guajui y Guapi.	Aguas residuales domésticas, materia orgánica, nutrientes, sólidos suspendidos, microorganismos, residuos sólidos, lixiviados, aceites y grasas, hidrocarburos, metales, agroquímicos y residuos de madera.
Nariño	Siete municipios costeros (El Charco, La Tola, Mosquera, Olaya Herrera, Santa Bárbara, Francisco Pizarro y San Andrés de Tumaco). Aguas residuales domésticas, residuos sólidos, botaderos a cielo abierto, minería, agricultura (palma aceitera, coco), ganadería, transformación madera, industria pesquera, mataderos, camaroneras, actividad marítima y portuaria, transporte de petróleo. Aportes de los ríos Mira, Mejicano, Chagüí, Rosario, Iscuandé, Patía, Sanquianga, Tapaje, Mataje y La Tola).	Residuos líquidos y sólidos, materia orgánica, sólidos en suspensión, microorganismos, nutrientes, hidrocarburos, aguas de sentinas, agroquímicos, aceites y grasas, y residuos de madera.

### 3.1 RESIDUOS DE LA POBLACIÓN COSTERA

La población costera es una fuente importante de contaminantes, debido a su crecimiento acelerado y aumento en la producción de residuos líquidos y sólidos que provienen de las actividades domésticas, comerciales e industriales que desarrollan (Garay y Vélez, 2004; [Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). Los residuos generados por la población pueden deteriorar la calidad del agua y afectar los ecosistemas acuáticos marinos y costeros en diferentes escalas, dependiendo de los sistemas de saneamiento ambiental utilizados y la disposición final de los residuos.

Los municipios se clasifican en cuatro niveles de complejidad en el sistema de saneamiento básico y agua potable, dependiendo del número de habitantes en la zona urbana y su capacidad económica (Tabla 3.2), conforme a lo establecido en el reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico de Colombia ([Mindesarrollo, 2000](#)). Del nivel de complejidad depende el valor de la dotación neta, la cual corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante ([MVCT, 2010](#)); cuando el nivel de complejidad es alto, mayor es la dotación neta, y con la dotación neta a su vez se calcula de manera indirecta la producción de aguas residuales domésticas de la población ([UNEP-RCU/CEP, 2010](#)).

**Tabla 3.2. Asignación del nivel de complejidad de un municipio de acuerdo al número de habitantes y capacidad económica para los sistemas de saneamiento básico y agua potable. Tomado de: [Mindesarrollo \(2000\)](#).**

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	<2.500	Baja
Medio	2.501 a 12.500	Baja
Medio-alto	12.501 a 60.000	Media
Alto	> 60.000	Alta

En Colombia la población costera al año 2015 se estimó en 5'608.186 habitantes, distribuidos en los 47 municipios costeros del Caribe y del Pacífico ([DANE, 2015](#)). En el Caribe la población costera alcanzó los 4'756.528 habitantes, asentados en 31 municipios con niveles de complejidad medio, medio-alto y alto, representando el 85 % del total nacional (Figura 3.2). Los municipios con mayor población y nivel de complejidad corresponden en su mayoría a las principales ciudades capitales como Barranquilla (1'218.475 hab.), Cartagena (1'001.755 hab.), Santa Marta (483.865 hab.) y Riohacha (259.492 hab.), y municipios con alto desarrollo industrial como Soledad (615.492 hab.) en el Atlántico, que es la segunda ciudad más poblada después de Barranquilla.



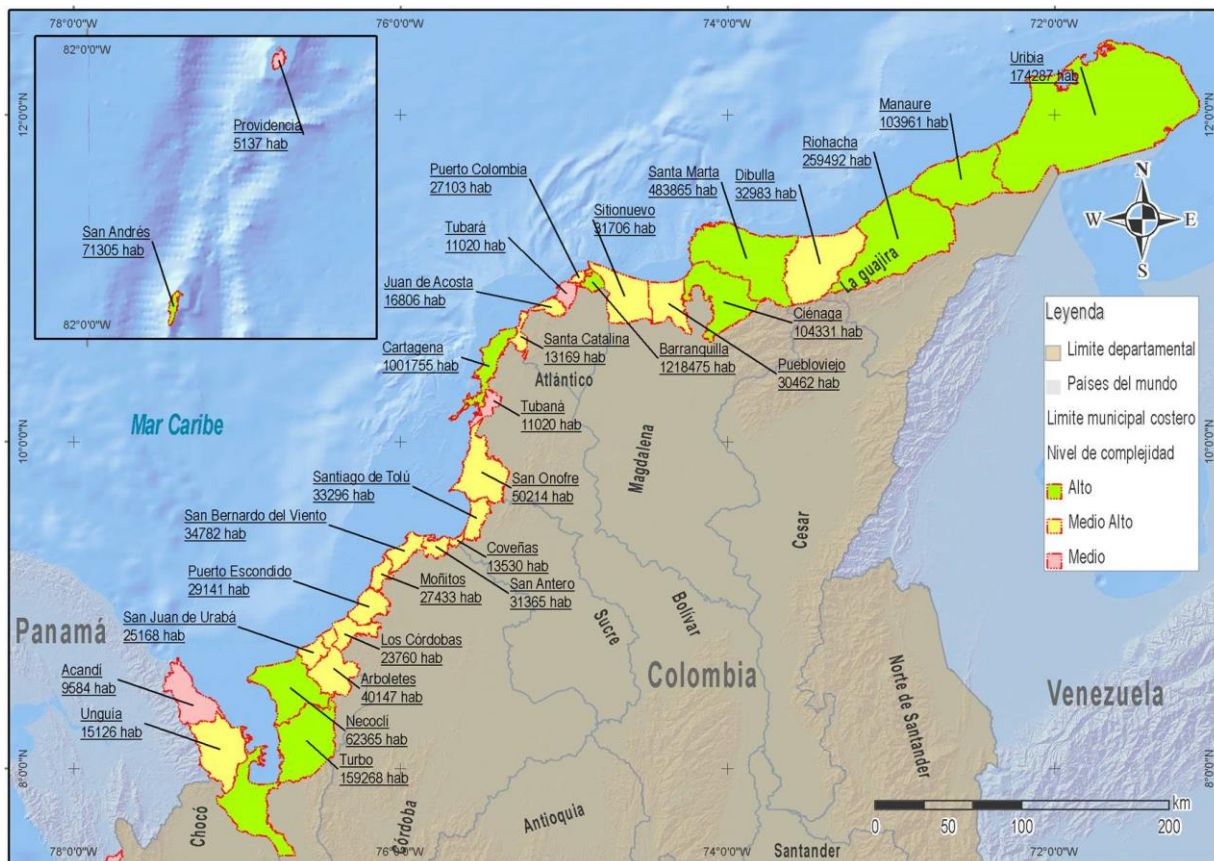


Figura 3.2. Población costera tributaria y niveles de complejidad de los municipios costeros del Caribe colombiano.

En el litoral Pacífico, el tamaño de la población costera es de 851.658 habitantes que representan el 15 % del total nacional, y se encuentran distribuidos en 16 municipios costeros con niveles de complejidad medio, medio-alto y alto (Figura 3.3). La mayoría de estos municipios presentaron niveles de complejidad medio y medio-alto con poblaciones que oscilan entre 3.319 y 36.856 habitantes, a excepción de los municipios de Buenaventura en el departamento del Valle del Cauca (399.764 hab.) y San Andrés de Tumaco en Nariño (199.659 hab.) que presentaron niveles de complejidad alto y en donde se desarrollan las actividades comerciales, agrícolas y portuarias más importantes del Pacífico colombiano.

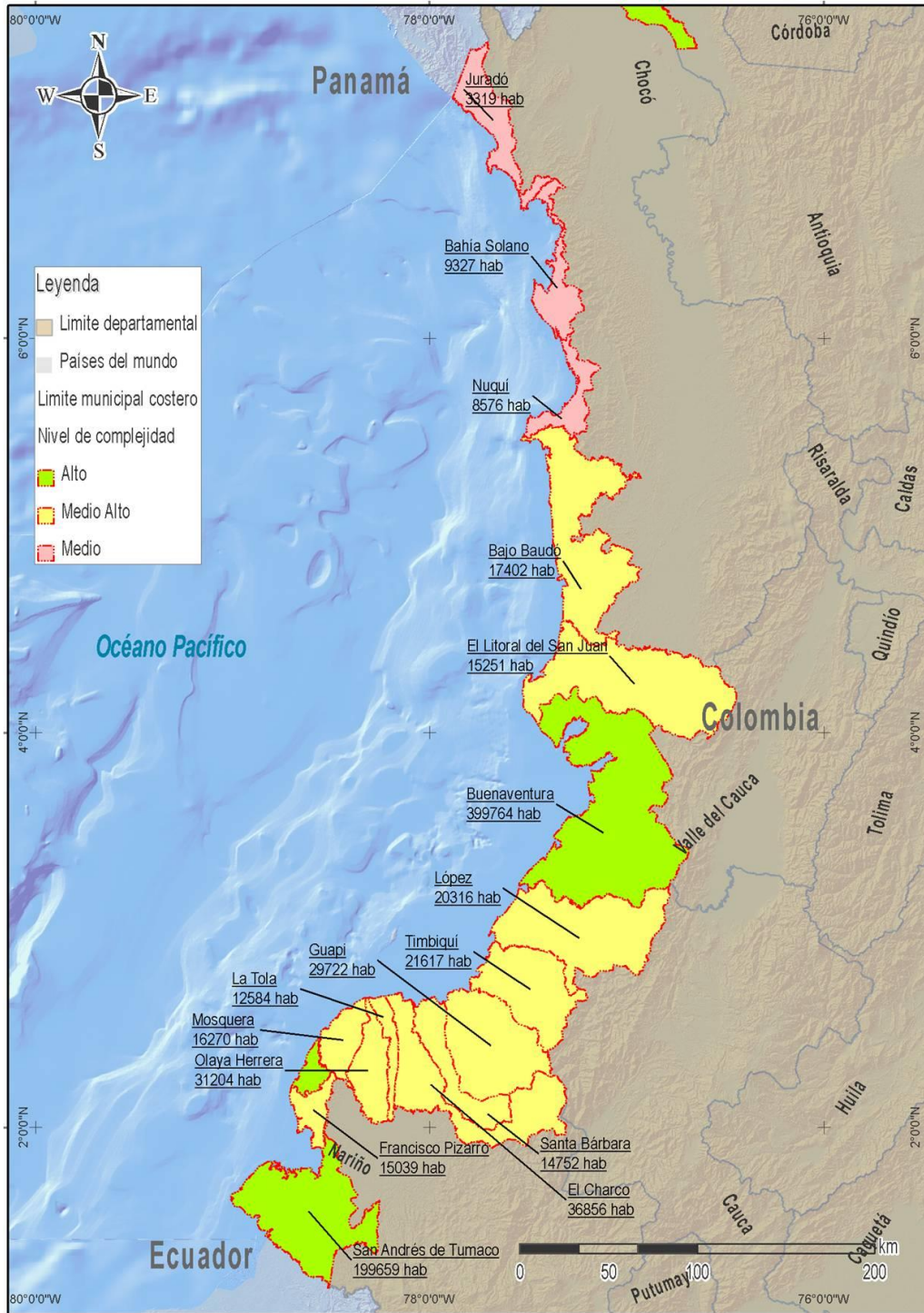


Figura 3.3 Población tributaria costera y nivel de complejidad de los municipios costeros del Pacífico colombiano.

### 3.1.1 SANEAMIENTO BÁSICO

Los residuos municipales sólidos y líquidos pueden ocasionar impactos negativos sobre el recurso hídrico si no son tratados adecuadamente antes de su disposición final, por lo cual es necesario que esta problemática sea abordada con acciones técnicas. En la mayoría de los municipios costeros del Caribe y Pacífico colombianos, la cobertura de los servicios de aseo, alcantarillado, los sistemas de tratamiento existentes y el tipo de disposición final utilizados, mostraron un alto déficit y en algunos municipios es inexistente (Tabla 3.3). Entre los mecanismos de disposición final de residuos sólidos se utilizan los rellenos sanitarios, celdas de contingencia, celdas transitorias, botaderos a cielo abierto y cuerpos de agua naturales.

Según [Superservicios \(2014a\)](#) la producción de residuos sólidos en los municipios costeros (Tabla 3.3) alcanzó las 3.676 toneladas por días (t/día), de las cuales el 92 % se produjo en la región Caribe y el 8 % en el Pacífico ([Superservicios, 2014a](#)). Los municipios de Barranquilla (1.288,97 t/día), Cartagena (911,32 t/día), Santa Marta (454,74 t/día) y Soledad (266,16 t/día) fueron los mayores generadores de residuos sólidos en el Caribe, como consecuencia del número de habitantes. Estos municipios utilizan rellenos sanitarios para la disposición final. En el Pacífico los mayores generadores fueron los municipios de Buenaventura (191,88 t/día) y Tumaco (69,39 t/día) cuya disposición final transcurre en celdas transitorias. Cabe resaltar la situación de muchos municipios costeros del Pacífico y Caribe, donde no existe servicio de recolección por lo tanto, se utiliza la quema, botaderos improvisados y los cuerpos de agua para la disposición final de estos residuos sólidos ([Superservicios, 2014a](#)), afectando de manera directa la salud de los pobladores y la calidad ambiental del suelo, el agua y sus ecosistemas asociados.

El servicio de alcantarillado en las zonas costeras de Colombia generalmente tiene baja cobertura y sólo el 43 % de los municipios cuentan con algún sistema de tratamiento de aguas residuales (Tabla 3.3), de los cuales el 36 % tienen lagunas de oxidación (16) y reactor UASB (1) que ofrecen un tratamiento secundario basados en procesos biológicos aerobios para degradar desechos orgánicos ([Superservicios, 2014b](#)).

Los emisarios submarinos de Santa Marta, Cartagena y San Andrés son considerados equivocadamente como un tratamiento secundario ya que estos sólo ofrecen un tratamiento preliminar basado en procesos físicos y/o mecánicos, como rejillas, desarenadores y trampas de grasa, en donde se retiene la carga contaminante en condición sólida, por tanto estos emisarios actúan como tuberías instaladas sobre el lecho marino para transportar las aguas residuales domésticas hasta una profundidad y distancia de la costa predefinida ([MinDesarrollo, 2000](#)), sin tener en cuenta que previo al vertimiento, de los emisarios submarinos debe operar una planta de tratamiento de aguas residuales que garantice una eficiente remoción de la  $DBO_5$  como mínimo del 60 %. El resto de municipios vierte sus residuos directamente a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento.

Cabe resaltar que los altos costos de inversión, operación y mantenimiento de los STAR, representa un serio obstáculo para su implementación a pesar de los avances en los Planes Departamentales de Agua y Saneamiento Básico (PDAS) que se vienen adelantando y que buscan en el corto, mediano y largo plazo la armonización integral de los recursos y la implementación de esquemas regionales de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y saneamiento básico ([SSPD, 2009](#); [UNEP-RCU/CEP, 2010](#)).

**Tabla 3.3. Saneamiento básico, producción, disposición final y sistemas de tratamiento de residuos en los municipios costeros del Caribe y Pacífico colombianos. Fuente: CRA y OMAU, 2006; Consejo municipal de Los Córdoba, 2008; Consejo municipal de Puerto Escondido, 2008; Vivas-Aguas *et al.*, 2010; INVEMAR y MADS, 2011; Consejo municipal de Canaletes, 2012; Consejo municipal de San Antero, 2012; SUI, 2012; CORPOGUAJIRA, 2012; CORPOURABÁ, 2012; CORPAMAG, 2012; CARSUCRE, 2012; CVS, 2012; Supersevícios, 2014a, Superservicios 2014b.**

Municipio	Cobertura Aseo (%)	Residuos sólidos		Alcantarillado		Caudal tratado 2013 (L/s)
		Producción (t/día)	Disposición final	Cobertura (%)	STAR	
San Andrés	-	46,84	Relleno sanitario	46,5	Emisario submarino	140
Providencia	-	1,11	Relleno sanitario	5,2	PTAR, Poza séptica	0
Riohacha	60,4	142,48	Celda de contingencia	81,7	-	
Dibulla	-	10,01	Botadero a cielo abierto	40,9	Laguna oxidación	26
Manaure	-	3	Relleno sanitario	90	Laguna oxidación	
Uribia	76	0,53	Celda transitoria	59,2	Laguna oxidación	10
Santa Marta	99	454,74	Relleno sanitario	74	Emisario submarino	900
Ciénaga	93	63,81	Relleno sanitario	53	Laguna oxidación	207,75
Puebloviejo	40	5,45	Botadero a cielo abierto	0,6	Poza séptica	
Sitionuevo	0	14,1	Botadero a cielo abierto	0,5	Poza séptica	
Barranquilla	100	1288,97	Relleno sanitario	98	Laguna oxidación	775,6
Juan de Acosta	95	6,5	Relleno sanitario	0,4	No tiene	
Puerto Colombia	99	34,07	Relleno sanitario	90	Laguna oxidación	36,45
Soledad	100	266,16	Relleno sanitario	84,5	No tiene	
Tubará	95	8,24	Relleno sanitario	1,8	No tiene	
Cartagena	100	911,32	Relleno sanitario	76,7	Emisario Submarino	2199
Santa Catalina	0	0,08	Relleno sanitario	4,5	No tiene	
Coveñas	90	0,54	Relleno sanitario	55	Laguna oxidación	
San Onofre	89	8,81	Relleno sanitario	11,3	Laguna oxidación	18,75
Santiago de Tolú	89	17,88	Relleno sanitario	75	Laguna oxidación	
Los Córdoba		0,07	Relleno sanitario	45	Laguna oxidación	
Moñitos	90	3,26	Relleno sanitario	0,3	No tiene	
Puerto Escondido	15	2,27	Relleno sanitario	0,2	No tiene	
San Antero	73	12,15	Relleno sanitario	31,3	Laguna oxidación	17,5
San Bernardo del Viento	90	4,43	Relleno sanitario	20	Laguna oxidación	
Arboletes	45	10,51	Relleno sanitario	33,8	Laguna oxidación	7,5
Necoclí	80	5,61	Relleno sanitario	18,9	Laguna oxidación	23,7
San Juan de Urabá	95	6,28	Relleno sanitario	24,1	Reactor UASB	0
Turbo	50	49,84	Relleno	30,9	Laguna oxidación	82

Municipio	Cobertura Aseo (%)	Residuos sólidos		Alcantarillado		Caudal tratado 2013 (L/s)
		Producción (t/día)	Disposición final	Cobertura (%)	STAR	
Acandí	65	1,17	sanitario Botadero a cielo abierto	29,3	-	
Unguía	60	0,08	Botadero a cielo abierto	21,7	-	
Bahía Solano	50	3,21	Botadero a cielo abierto	32,1	-	
Bajo Baudó	93	0,75	Botadero a cielo abierto	10,6	-	
San Juan	100	2,73	Relleno sanitario	16,7	-	
Juradó	100	0,82	Botadero a cielo abierto	2,5	-	
Nuquí	95	1,82	Botadero a cielo abierto	45	-	
Buenaventura	-	191,88	Celda transitoria	59,9	-	
Guapi	80	1,12	Relleno sanitario	16,1	-	
López	-	2,5	Botadero a cielo abierto	29,5	-	
Timbiquí	-	0,07	Botadero a cielo abierto	15,7	-	
El Charco	-	4,67	Botadero a cielo abierto	1,2	No tiene	
La Tola	0	4,25	Cuerpos de agua	0,4	No tiene	
Mosquera	0	2,65	Cuerpos de agua	1,1	No tiene	
Olaya Herrera	0	4,73	Cuerpos de agua	5,1	No tiene	
Francisco Pizarro	0	3,5	Cuerpos de agua	1	No tiene	
Santa Bárbara	0	1,92	Cuerpos de agua	0,4	No tiene	
Tumaco	-	69,39	Celda transitoria	5,7	No tiene	

### 3.1.2 PRODUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se ve afectada negativamente por influencia antropogénica, sus características dependen del origen (doméstico, industrial, pecuario, agrícola, recreativo), generalmente se clasifican en domésticas, industriales y urbanas. En este apartado solo analizaremos las aguas residuales domésticas (ARD), las cuales son producidas por actividades humanas relacionadas con el consumo de agua potable, aseo personal, cocina, lavatorios, servicios sanitarios y similares ((MADS, 2015).

Las características de un ARD son muy uniformes y varían un poco con respecto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones, pero usualmente contiene altas concentraciones de sólidos disueltos y en suspensión, surfactantes, residuos oleosos, materia orgánica y microorganismos de origen fecal que al ser vertidos en cuerpos de agua naturales incrementan la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y deterioran la calidad del agua receptora (CEPIS, 1981).

Para la determinación de la producción de las ARD de la población costera de Colombia en el año 2015 se utilizó la metodología [UNEP-RCU/CEP \(2010\)](#), la cual corresponde a un método indirecto que tiene en cuenta el tamaño de la población, la dotación neta de agua, la cobertura del servicio de alcantarillado y un coeficiente de retorno que en Colombia oscila entre 0,8 y 0,85 para poblaciones con niveles de complejidad medio, medio alto y alto ([Mindesarrollo, 2000](#)).

El resultado de la aplicación de esta metodología indicó que la producción estimada de ARD de la población costera en el año 2015 fue de 841.949 m<sup>3</sup>/día, siendo la costa Caribe la que mayor ARD generó (717.116 m<sup>3</sup>/día) en comparación con la costa Pacífica (124.833 m<sup>3</sup>/día), valores que concuerdan con la cantidad de población asentada en los municipios de estas regiones y sus niveles de complejidad. De este volumen de ARD, el 31,2 % es vertido de forma directa y sin ningún tipo de tratamiento a los cuerpos de agua superficial, debido a la baja cobertura de alcantarillado en los municipios (Figura 3.4), los ineficientes mecanismos de recolección y carencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR), lo cual genera, un factor de riesgo alto para los recursos marino-costeros del país.

La carga contaminante presuntiva de agua residual vertida directamente sin tratamiento por los municipios costeros en el 2015 (Tabla 3.4) mostró que a escala nacional, el aporte de materia orgánica fue de 34.633 t/año representada en DBO<sub>5</sub> y 69.062 t/año en DQO; 8.312 t/año de nitrógeno inorgánico disuelto (NID); 554 t/año de fósforo inorgánico disuelto (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>); 34.633 t/año de sólidos suspendidos totales (SST) y 1,39E+20 NMP/año de coliformes totales (CTT), de la cual la costa Caribe aportó el 72 % y el Pacífico el 28 %. Las ciudades que mayor carga de contaminante produjeron fueron Cartagena, Santa Marta, Barranquilla, Turbo, Soledad y Uribia en el Caribe, y Buenaventura y Tumaco en el Pacífico.

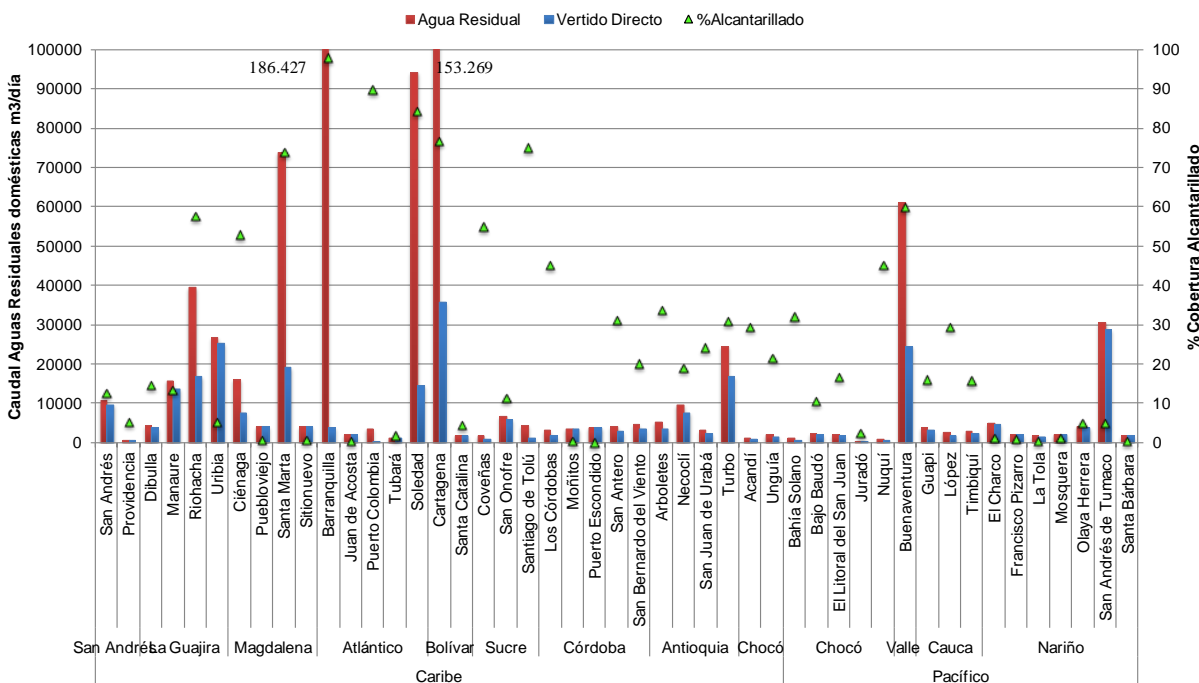


Figura 3.4. Caudal estimado de ARD según metodología [UNEP-RCU/CEP \(2010\)](#) y cobertura de alcantarillado en los municipios costeros colombianos. Fuentes: DANE; SUI; Superservicios.

Tabla 3.4. Carga contaminante estimada del agua residual vertida directamente por la población costera del Caribe y Pacífico Colombiano. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda bioquímica de oxígeno (DQO), nitrógeno inorgánico disuelto (NID), fósforo inorgánico disuelto (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), sólido suspendido total (SST) y coliformes totales (CTT).

Departamento	Municipios	DBO <sub>5</sub> (t/año)	DQO (t/año)	NID (t/año)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (t/año)	SST (t/año)	CTT (NMP/año)
San Andrés	San Andrés	696	1.392	167	11	696	2,78E+18
	Providencia	89	178	21	1	89	3,56E+17
La Guajira	Riohacha	867	1.733	208	14	867	3,47E+18
	Dibulla	356	711	85	6	356	1,42E+18
	Manaure	190	379	46	3	190	7,59E+17
	Uribia	1.298	2.595	311	21	1.298	5,19E+18
Magdalena	Santa Marta	2.296	4.592	551	37	2.296	9,18E+18
	Ciénaga	895	1.790	215	14	895	3,58E+18
	Puebloviejo	553	1.105	133	9	553	2,21E+18
	Sitionuevo	576	1.151	138	9	576	2,30E+18
Atlántico	Barranquilla	2.224	4.447	534	36	2.224	8,89E+18
	Juan de Acosta	305	611	73	5	305	1,22E+18
	Puerto Colombia	49	99	12	1	49	1,98E+17
	Soledad	1.741	3.482	418	28	1.741	6,96E+18
	Tubará	197	395	47	3	197	7,90E+17
Bolívar	Cartagena	4.260	8.519	1.022	68	4.260	1,70E+19
	Santa Catalina	230	459	55	4	230	9,18E+17
Sucre	Coveñas	111	222	27	2	111	4,44E+17
	San Onofre	813	1.626	195	13	813	3,25E+18
	Santiago de Tolú	152	304	36	2	152	6,08E+17
Córdoba	Los Córdoba	238	477	57	4	238	9,54E+17
	Moñitos	499	998	120	8	499	2,00E+18
	Puerto Escondido	531	1.062	127	8	531	2,12E+18
	San Antero	393	786	94	6	393	1,57E+18
Antioquia	San Bernardo del Viento	508	1.016	122	8	508	2,03E+18
	Arboletes	485	970	116	8	485	1,94E+18
	Necoclí	923	1.846	222	15	923	3,69E+18
	San Juan de Urabá	349	697	84	6	349	1,39E+18
	Turbo	2.008	4.017	482	32	2.008	8,03E+18
Chocó	Acandí	124	247	30	2	124	4,95E+17
	Unguía	216	432	52	3	216	8,65E+17
	Bahía Solano	116	231	28	2	116	4,62E+17
	Bajo Baudó	284	568	68	5	284	1,14E+18
	El Litoral del San Juan	232	464	56	4	232	9,27E+17
	Juradó	59	118	14	1	59	2,36E+17
	Nuquí	86	172	21	1	86	3,44E+17
Valle del Cauca	Buenaventura	2.926	5.851	702	47	2.926	1,17E+19
Cauca	Guapi	455	910	109	7	455	1,82E+18
	López	261	523	63	4	261	1,05E+18
	Timbiquí	333	665	80	5	333	1,33E+18
Nariño	El Charco	672	1.344	161	11	672	2,69E+18
	La Tola	229	457	55	4	229	9,15E+17
	Mosquera	294	587	70	5	294	1,17E+18
	Olaya Herrera	540	1.081	130	9	540	2,16E+18
	Francisco Pizarro	272	543	65	4	272	1,09E+18
	Santa Bárbara	268	536	64	4	268	1,07E+18
	San Andrés de Tumaco	3.436	6.872	825	55	3.436	1,37E+19
<b>Total Nacional</b>		<b>34.633</b>	<b>69.266</b>	<b>8.312</b>	<b>554</b>	<b>34.633</b>	<b>1,39E+20</b>

## 3.2 DESCARGAS DE TRIBUTARIOS

Las actividades productivas desarrolladas en las cuencas hidrográficas como la agricultura, la ganadería, el aprovechamiento forestal, las industrias y los asentamientos humanos, afectan la calidad del agua marina y costera, debido a que estas actividades generan contaminantes que llegan a los ríos directamente o por escorrentías y son transportados al mar ([Escobar, 2002](#)), razón por la cual los ríos, aunque no son una fuente de contaminación propiamente dicha, son vías que facilitan el transporte de materia orgánica, nutrientes, sedimentos, plaguicidas, y otros contaminantes desde las cuencas alta, media y baja a la zona costera, ocasionando deterioro de la calidad del recurso hídrico marino y cambio en los ecosistemas presentes ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)).

Las cargas contaminantes aportadas por los tributarios dependen del caudal y la concentración del contaminante. El caudal puede variar dependiendo de la temporada climática, más aun en estos últimos años en donde los ciclos normales de precipitación han sido alterados por efecto de la oscilación del sur ([IDEAM, 2016](#)). Para estimar las cargas de los tributarios se utilizaron los datos de caudal medio histórico (1959-2010) del [IDEAM \(2012\)](#) y los reportados en [Restrepo \(2006\)](#) y [Garay et al. \(2006\)](#), y las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ),  $\text{DBO}_5$ , sólidos suspendidos totales (SST), hidrocarburos aromáticos totales (HAT) y coliformes termotolerantes (CTE) registrados durante el monitoreo de la REDCAM del año 2014.

Se estimó que para el año 2014 la carga contaminante aportada por 40 de los principales tributarios a la costa colombiana fue de 186.771 t/año de NID, 11.259 t/año de  $\text{PO}_4^{3-}$ , 971.856 t/año de  $\text{DBO}_5$ , 63.476.557 t/año de SST, 287 t/año de HAT y 7.431'379.882 NMP/año de CTE (Tabla 3.5). Entre los tributarios, se destacó el río Magdalena que descargó al mar Caribe alrededor de 138.988 toneladas de NID/año; 7.380 toneladas de  $\text{PO}_4^{3-}$ /año; 601.776 toneladas de  $\text{DBO}_5$ /año;  $42 \times 10^6$  toneladas de SST/año; 108 toneladas de HAT/año y  $5.6 \times 10^9$  NMP de CTE/año.

Las mayores cargas de NID fueron aportados por los ríos San Juan (14.554 t/año), Dagua (10.793 t/año), Mira (4.128 t/año) y el canal del Dique (5.016 t/año), asociadas a escorrentías urbanas de las poblaciones cercanas y al uso agrícola de sus cuencas ([Restrepo, 2006](#)). En cuanto a las cargas de SST, los mayores valores se encontraron en los ríos San Juan ( $5,8 \times 10^6$  t/año), Atrato ( $3,5 \times 10^6$  t/año), Timbiquí ( $2,5 \times 10^6$  t/año) y Mira ( $2 \times 10^6$  t/año), en donde se realiza dragado para extracción minera ilegal y aprovechamiento forestal, que promueven la erosión y por ende el transporte de sedimentos, que aumentan la turbidez en el agua, afectando procesos biológicos importantes ([Ellison, 1998](#); [Touchette y Burkholder, 2000](#); [Carricart-Ganivet y Merino, 2001](#)).

Con respecto a la carga de HAT, los mayores aportes se presentaron en el río Mira (90 t/año), Canal del Dique (21 t/año), río Micay (18 t/año) y Patía (11 t/año); residuos que provienen del transporte de embarcaciones con motores, expendios de combustible, la extracción ilegal de combustible de oleoductos, escorrentías y vertimientos de aguas residuales domésticas ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). La presencia de estas sustancias en el medio puede generar mutaciones y mortandad de organismos ([Ellison y Farnsworth, 1996](#)).

La carga microbiana de CTE fue mayor en los ríos Atrato ( $1 \times 10^9$  NMP/año), San Juan ( $2,1 \times 10^8$  t/año), Chagüí ( $1,9 \times 10^8$  t/año), Ranchería ( $1,4 \times 10^8$  t/año) y León ( $5,4 \times 10^7$  t/año). Esta contaminación está relacionada con las aguas residuales domésticas que son vertidas



directamente a estos cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento por las bajas coberturas del servicio de alcantarillado. En los ecosistemas, las coliformes pueden afectar comunidades de esponjas y corales produciendo enfermedades que necrosan sus tejidos (Gochfeld et al., 2007).

Tabla 3.5. Carga estimada de contaminantes aportados por los principales tributarios que desembocan en el litoral Caribe y Pacífico colombiano en el 2014. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID), fósforo inorgánico disuelto ( $PO_4^{3-}$ ), Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Hidrocarburos del petróleo (HAT) y coliformes termotolerantes (CTE). Fuente Caudal: serie de tiempo 1959- 2010 (IDEAM, 2012); Restrepo (2006); Garay et al., 2006; Fuente concentraciones: Base de datos REDCAM (INVEMAR, 2015a).

Departamento	Tributario	Caudal (L/seg)	NID (t/año)	$PO_4^{3-}$ (t/año)	$DBO_5$ (t/año)	SST (t/año)	HAT (t/año)	CTE (NMP/año)
La Guajira	Cañas	0,01	9,06	11,81			0,1	6,40E+05
	Jerez	0,02	62,39	10,9			0,09	2,10E+05
	Palomino	0,03	55,8	24,24		4,42E+03	0,2	2,20E+06
	Ranchería	0,01	47,49	30,39		1,62E+05	1,05	1,40E+08
Magdalena	Buritaca	0,09	549,64	57,66		5,34E+04	2,59	8,10E+05
	Córdoba	0,01	62,05	23,13		7,68E+03	0,06	4,40E+05
	Don Diego	0,04	176,84	23,38		1,07E+04	0,85	1,50E+06
	Gaira	0	13,99	6,72		2,13E+03	0,11	6,00E+05
	Guachaca	0,02	102,77	22,87		6,25E+03	0,29	6,50E+05
	Manzanares	0	16,83	8,67	345,7	2,04E+03	0,13	9,30E+05
	Piedras	0	28,75	41,06		3,81E+02	0,21	2,80E+05
	Toribio	0,01	28,98	71,93		8,26E+03	0,43	1,10E+06
Atlántico	Clarín	0,02	195,5	32,34	1.470,60	1,91E+05	0,52	2,10E+06
	Magdalena	7,2	138.987,60	7.380,27	601.776,24	4,20E+07	107,87	5,60E+09
Bolívar	Caño Correa	0,13	2.734,38	161,89	6.071,00	2,00E+05		1,80E+05
	Canal del Dique	0,43	5.016,40	2.357,96	21.423,77	1,66E+06	20,75	4,40E+06
Sucre	Pechelín	0	4,57	7,03		7,67E+02	0,02	0,00E+00
Córdoba	Sinú	0,39	355,81	177,91		1,11E+06	1,37	2,00E+07
Antioquia	Atrato	1,87			325.195,92	3,52E+06	5,32	1,00E+09
	Guadualito	0			113,53	1,33E+04		8,20E+04
	Mulatos	0			5.694,30	2,09E+04		
	Necoclí	0			368,97	3,22E+03		2,30E+07
	Currulao	0,01			1.169,04			2,80E+06
	León	0,08			8.047,04	1,78E+05		5,40E+07
	Turbo	0			180,13	5,51E+04		1,50E+07
<b>Total Caribe</b>		<b>10,38</b>	<b>10,38</b>	<b>148.448,86</b>	<b>10.450,17</b>	<b>971.856,25</b>	<b>4,92E+07</b>	<b>141,97</b>
Choco	San Juan	2.593,70	14.553,77			5,89E+06		2,07E+08
Valle del cauca	Anchicayá	74	3.972,32			4,38E+04		7,70E+06
	Dagua	125,89	10.793,04			1,58E+05		1,31E+07
	Potedó	60				8,14E+04		1,29E+06

	Raposo	70	985,59		7,06E+04		4,19E+06
Cauca	Guapi	357,05	46,17	64,18	3,77E+05	2,65	1,30E+07
	Micay	274,41	506,25	46,73	8,87E+04	17,74	1,33E+07
	Saija	165,84	314,84	28,24	1,73E+05	1,07	3,16E+06
	Timbiquí	147,13	215,29	36,19	2,55E+06	8,47	1,90E+07
Nariño	Brazo Patía	374,83	757,7	166,67	1,51E+06	11,11	2,07E+07
	Chagüi	133,5	115,78	41,26	5,63E+05	3,62	1,95E+08
	Iscuandé	212,77	77,16	144,93	9,33E+04	2,89	4,13E+06
	Mejicano	45	366,98	14,33	7,58E+04	1,12	1,73E+06
	Mira	868,08	4.128,27	197,11	2,09E+06	90,07	5,17E+07
	Rosario	146	1.489,02	69,06	4,83E+05	6,54	6,84E+06
<b>Total Pacífico</b>		<b>5,65</b>	<b>5,65</b>	<b>38.322,18</b>	<b>808,71</b>		<b>1,43E+07</b>
<b>Total Nacional</b>		<b>16,03</b>	<b>16,03</b>	<b>186.771,04</b>	<b>11.258,88</b>	<b>971.856,25</b>	<b>6,35E+07</b>
							<b>287,24</b>

### 3.3 TURISMO EN PLAYAS

El desarrollo de actividades turísticas en las playas de Colombia constituye un componente importante en la economía y cultura de la población costera del país. Para aumentar la productividad de este sector, se viene fomentado la promoción de zonas de playa para uso recreativo de turistas nacionales y extranjeros. Sin embargo, la alta demanda del turismo y su escaso manejo y control, han ocasionado que muchas de las playas presenten un proceso de deterioro de su calidad, considerándose así el turismo como un tensor ambiental y una fuente terrestre de contaminación sobre estos ecosistemas, no sólo por las actividades de baño, deportivas y recreativas, sino que también el transporte marítimo, deportes náuticos motorizados, comercio al por menor, provisión de alimentos y bebidas, además de otras múltiples actividades conexas como las culturales y la construcción de infraestructura y restaurantes, realización de eventos, paseo de mascotas, entre otras, que pueden generar residuos y modificar las condiciones naturales de la playa ([UN y OMT, 2010](#)).

A partir de la información del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo ([MCIT, 2011](#)) y el análisis histórico de la REDCAM ([Garcés-Ordóñez et al., 2015](#)), se identificaron 191 playas de uso turístico en Colombia (Figura 3.5), de las cuales, el 45% (85) tienen actualmente estaciones de muestreo de calidad de aguas; 64 se ubican en la región Caribe (42 %) y 21 en el Pacífico (53 %).

Desde el año 2001 hasta la fecha, en estos sitios de recreación, la REDCAM ha generado información sobre calidad microbiológica del agua y el posible impacto de esta actividad turística. No obstante, el número de estaciones evaluadas en playas ha variado a lo largo del tiempo (Figura 3.6), debido a la inclusión de nuevas estaciones, interrupciones del monitoreo, difícil acceso, disminución de recursos o intereses particulares de las Corporaciones. Pero aunque se requieren incluir nuevas estaciones para cubrir la necesidad nacional, el monitoreo conjunto de la REDCAM ha permitido contar con información representativa de la calidad de las aguas de uso recreativo a nivel nacional.

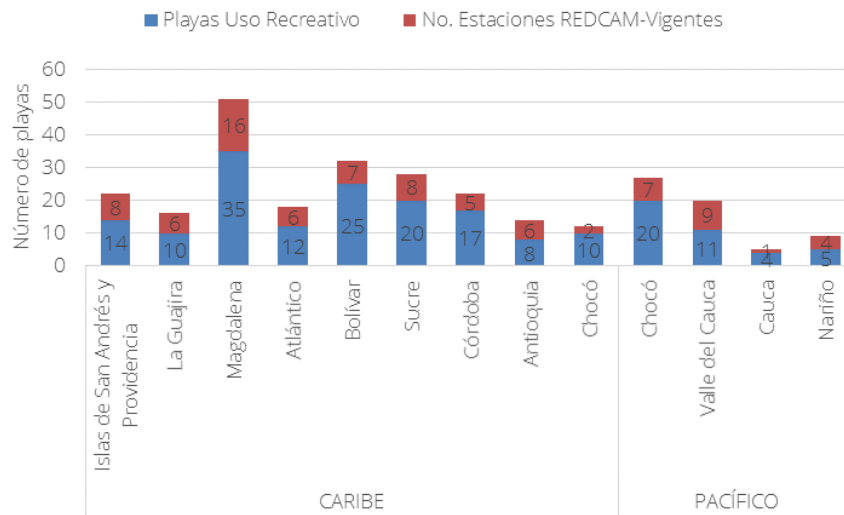


Figura 3.5. Playas de uso turístico identificadas en el Caribe y Pacífico colombianos (azul) y el número de estaciones REDCAM ubicadas en playas (rojo). Fuente: INVEMAR, 2015.

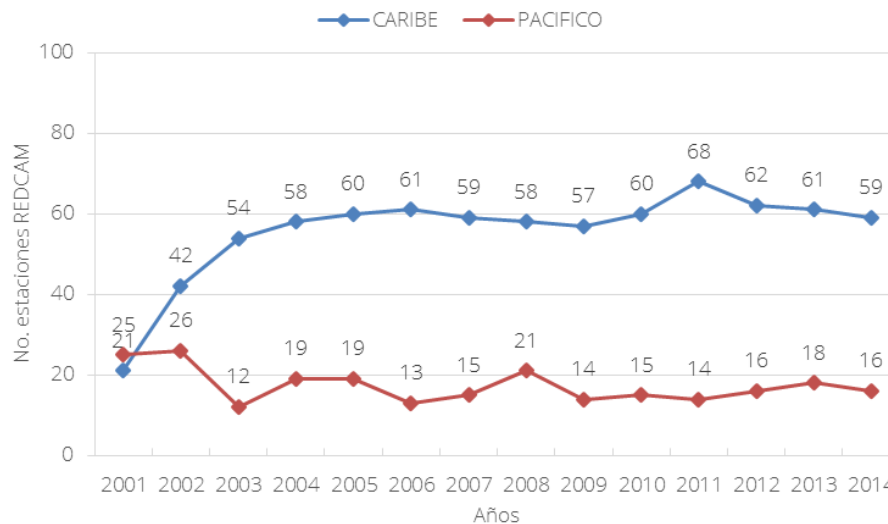
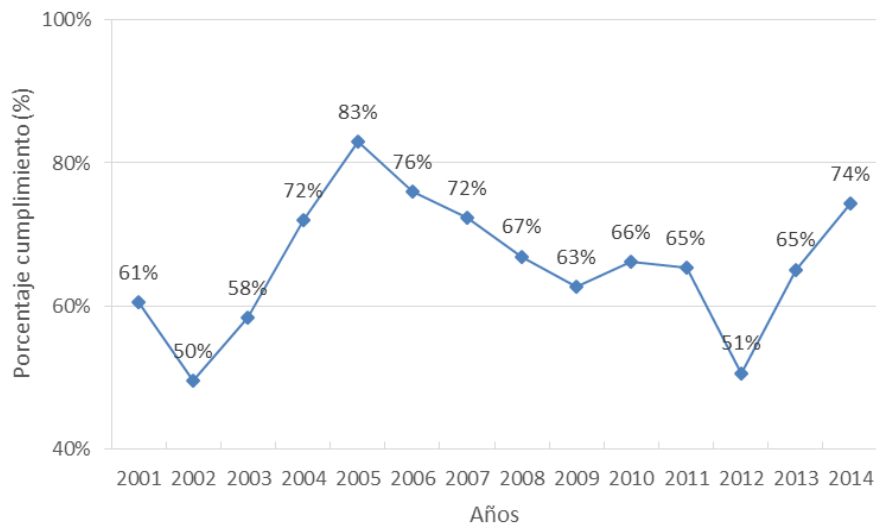


Figura 3.6. Variación histórica del número de estaciones de la REDCAM ubicadas en playas turísticas del Caribe y Pacífico colombianos.

La evaluación de la calidad microbiológica de las aguas para uso recreativo se realizó por medio de indicadores de contaminación fecal como los coliformes termotolerantes (CTE) y se comparó con los criterios de calidad establecidos en la legislación colombiana, donde valores menores de 200 NMP/100 mL se consideran aptos para uso por contacto primario (MinSalud, 1984). Con base en este criterio se calcularon los porcentajes de cumplimiento de las estaciones muestreadas en playas (Figura 3.7). El análisis general mostró un incremento en porcentaje de playas aptas entre los años 2002 hasta 2005 pasando de 50 % al 83 %; pero se presentó una evidente tendencia a la disminución de playas aptas, entre 2006 que fue

persistente hasta 2012, no obstante a partir de 2013 se ve una importante recuperación de los casos de cumplimiento.



**Figura 3.7. Porcentaje de estaciones ubicadas en playas de uso turístico, que estuvieron aptas para uso recreativo por contacto primario según el criterio de calidad para Coliformes termotolerantes (<200 NMP/100 mL; MinSalud, 1984) en el período 2001 a 2014.**

### 3.4 ACTIVIDAD PORTUARIA

La actividad portuaria está relacionada con la construcción, conservación, desarrollo, uso, aprovechamiento, explotación, operación, administración de los puertos, terminales e instalaciones portuarias en general, incluyendo otras actividades necesarias para el acceso que se realizan en áreas marítimas (playas y zonas de bajamar), fluviales y lacustres como los rellenos, dragados y obras de ingeniería oceánica ([CGR, 2010](#); [Supertransporte, 2010](#); [ANI, 2015](#)).

En Colombia existen diez (10) zonas portuarias ubicadas estratégicamente en los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Antioquia, San Andrés isla, Valle del Cauca y Nariño ([MinTransporte, 2008](#); Figura 3.8), de las cuales ocho (8) se encuentra en el Caribe, siendo las de Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, las de mayor capacidad instalada, movilización de carga y número de terminales públicos y privados. En el Pacífico se encuentran las zonas portuarias de Tumaco y la de Buenaventura, ésta última considera como una de la más importante del país, debido a que moviliza cerca del 55 % de la carga nacional ([Alcaldía de Buenaventura, 2014](#); [DIMAR, 2002](#); [PGN, 2008](#); [Portafolio, 2015](#)). En las zonas portuarias del país se importan y exportan diferentes tipos de mercancías, y entre las más comunes están el carbón y el petróleo que salen a través de las sociedades portuarias de La Guajira, Morrosquillo y Magdalena ([Portafolio, 2015](#)).

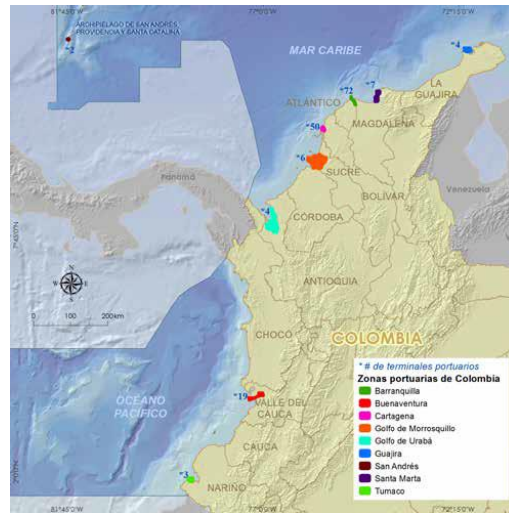


Figura 3.8. Zonas Portuarias de Colombia.

Como producto de la actividad portuaria se generan múltiples impactos ambientales sobre la calidad del agua, del aire, la hidrología costera, oceanografía y procesos costeros, ecología costera y marina, calidad del paisaje y los desechos generados por la actividad portuaria (CONAMA, 2000; MAVDT, 2002), por lo cual es obligatorio contar con todos los planes de manejo ambiental y contingencia para minimizar los impactos que se puedan generar.

Los impactos que se generan sobre la calidad del agua, se relacionan principalmente con los derrames accidentales durante las operaciones de carga y descarga de buques, así como el escurrimiento de materiales almacenados a granel y polvos fugitivos movilizados por acción del viento, sumado a los drenajes de aguas lluvias y las aguas servidas del puerto (Tabla 3.6; CONAMA, 2000; Gracia *et al.*, 2011).

Tabla 3.6. Sustancias e impactos generados por la actividad portuaria. Fuente: CONAMA, 2000.

Tensor o factor	Tipos de sustancias o afectación generada
Durante la limpieza de pisos y maquinaria en los patios y bodegas de almacenamiento en el puerto.	Sulfuros, bauxita, abonos nitrogenados y fosfatados, carbón, minerales metálicos, chips de madera y otros materiales brutos.
Adheridos a la superficie de las embarcaciones o derramados en procesos de mantenimiento	Aceites, residuos de pintura anticorrosiva, compuestos anti-incrustantes
Gráneles de alimento animal	Materia orgánica, esta se transforma en inorgánica disminuyendo el oxígeno disuelto del agua e incrementando el nivel de nutrientes.
Estructuras de los rompeolas	Estancamiento de las aguas detrás de los rompeolas, deteriorando la calidad del agua al incrementarse los nutrientes y el fitoplancton y una disminución de oxígeno disuelto hasta alcanzar condiciones anaeróbicas y generando sulfuros de hidrógeno.
Derrames	Turbidez, pH, color y aceleración de la sedimentación costera. Incremento de la salinidad y temperatura por descargas de efluentes térmicos. Derrames de sustancias tóxicas al medio (combustibles, resinas, gráneles). Contaminación microbiológica, por aceites y grasas, metales pesados, materia orgánica e hidrocarburos.

La calidad del aire se ve impactada por emisiones de gases y partículas que afectan la flora, fauna y la salud humana. La operación de la maquinaria emite humos, olores, gases peligrosos y corrosivos; el manejo de la carga (frutas, carbón, productos químicos, maderas, harinas de pescado) produce material particulado que afectan la salud de trabajadores, comunidades vecinas y el paisaje ([CONAMA, 2000](#); [MAVDT, 2002](#)). La actividad portuaria y el tráfico marítimo también genera contaminación acústica que tiene un impacto negativo sobre la salud comunitaria y el ambiente ([CONAMA, 2000](#); [MAVDT, 2002](#)).

El impacto sobre la hidrología costera, oceanografía y procesos costeros se ve representado en el cambio en el patrón de corrientes, escorrentías, morfología costera; sumado a los procesos de sedimentación, erosión, acreción y socavación que puede afectar los usos del suelo y pérdida de los mismos.

En cuanto el impacto sobre la ecología costera y marina, se ve afectada la composición, estructura de los ecosistemas, rutas de migración, creación de hábitats, fauna y flora marinos y costeros, incluyendo los bentos y plancton. Estos impactos se producen principalmente por cambios en la calidad del agua, disminución de flujo de nutrientes, hidrología, remoción y contaminación de sedimentos, que redundan en el deterioro del valor estético y recreativo de playas ([CONAMA, 2000](#); [MAVDT, 2002](#)), y el ingreso de las aguas de lastre que son utilizadas para la estabilidad de las embarcaciones ([CONAMA, 2000](#); [Gracia et al., 2011](#); [Téllez-Rodero, 2011](#)). Cerca del 80 % del comercio internacional se transporta por vía marítima, y en desarrollo de esta actividad se transfieren de 3 a 5 millones de toneladas de aguas de lastre por año a escala internacional ([Raaymakers, 2002](#); [Bax et al., 2003](#); [Gracia et al., 2011](#); [Téllez-Rodero, 2011](#)), las cuales pueden contener entre 7.000 y más de 10.000 microorganismos y varias especies de flora y fauna marina provenientes de las masas de agua lastrada. Las descargas de las larvas presentes en las aguas de lastre son la principal causa del aumento en invasiones a la biodiversidad marina de ambientes naturales y a su vez en la segunda amenaza más grande a la biodiversidad, después de la destrucción de hábitats, ya que produce efectos sobre la productividad biológica, estructura del hábitat y composición ([Gracia et al., 2011](#); [Téllez-Rodero, 2011](#)). En la primera evaluación mundial de esta amenaza se dieron a conocer 329 especies invasoras marinas capaces de aniquilar otras especies autóctonas, provocar daños a la pesca, cultivos o incluso a la infraestructura portuaria (por incrustaciones y su eliminación es de alto costo), entre las que se encuentran el virus *Vibrio cholerae*, Cladóceros *Cercopagis pengoi*, alga *Undaria pinnatifida*, algas tóxicas (*Alexandrium minutum* y *Gymnodinium catenatum*), las cuales afectan la calidad del agua y la biota acuática, considerándose un importante tensor de contaminación marina ([CONAMA, 2000](#); [MAVDT, 2003](#); [Garay y Vélez, 2004](#); [Gracia et al., 2011](#); [Téllez-Rodero, 2011](#)).

El impacto sobre la percepción por alteración del paisaje, componente socioeconómico y cultural se ve afectado por las emisiones de material particulado, polvo, humos, almacenamiento de carga, cambios en el uso del suelo, estilo de vida de la comunidad, valorización de terrenos y construcciones vecinas al puerto, invasión de espacios públicos, entre otros.

Finalmente, los desechos portuarios afectan la calidad del medio marino y costero, la fauna y flora asociada, la salud humana y produce olores ofensivos, los cuales son generados principalmente por las operaciones de estiba y desestiba de carga general, de gráneles y en menor medida por el movimiento de los contenedores ([MAVDT, 2002](#); [CONAMA, 2000](#); Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Origen y tipos de residuos generados en puertos (CONAMA, 2000).

Lugar de generación de Residuos	Tipo de Residuos Generados
Patios de desconsolidado y almacenes	Residuos de madera de estiba, restos de carga, etc.
Naves (no se autoriza el desembarque de basuras de naves provenientes del extranjero)	Pallets, maderas de estiba, cargas de rezago, papeles, plásticos, madera, textiles y restos de comida en vehículos importados o en tránsito.
Oficinas	Papeles, cartones, embalajes plásticos, botellas, latas, otros.
Talleres	Palos de madera, embalajes, cartones, aceites utilizados, paños o trapos con aceites, restos de pintura, virutas de hierro y otros.
Comedores	Papeles, cartones, embalajes plásticos, botellas, latas, restos de comidas, otros.

En Colombia hay 192 terminales inventariados, de los cuales 168 están dentro de las 10 zonas portuarias (Figura 3.8; [MinTransporte, 2008](#)), con la mayor proporción (87 %) en las zona de Barranquilla (72), Cartagena (50) y Buenaventura (19; Figura 3.9). En el monitoreo de la REDCAM, se ha generado información sobre residuos de hidrocarburos del petróleo en algunas estaciones, con el propósito de relacionarla con el posible impacto de la actividad portuaria y el transporte marítimo; aunque el número de estaciones evaluadas no corresponde con la cantidad de terminales portuarios, se tiene algunas estaciones en todas las zonas que permite contar con información representativa de la presión por residuos de hidrocarburos sobre el recurso hídrico marino a nivel nacional.

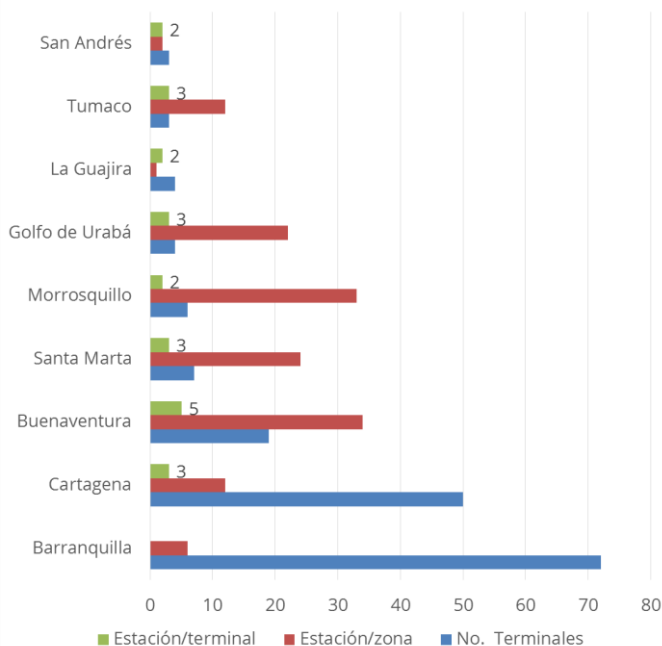
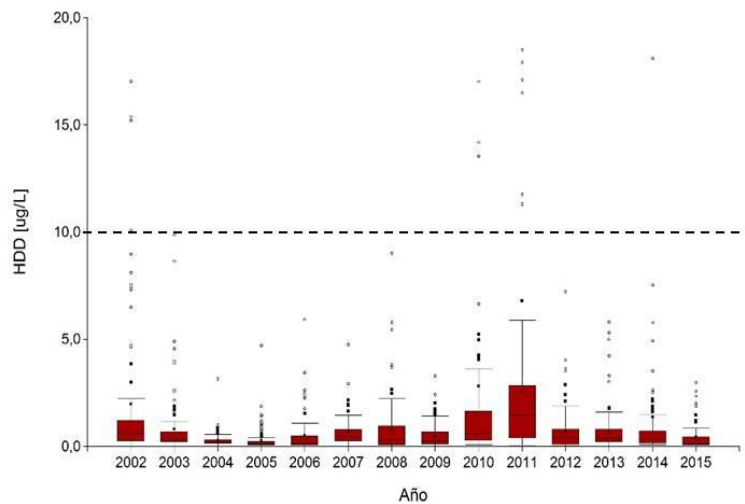


Figura 3.9. Número de terminales en zonas portuarias de Colombia (barras azules). Las barras rojas representan las estaciones de muestreo de la REDCAM en zonas portuarias y las barras verdes y los números representan las estaciones cercanas a terminales portuarios.

La presencia de hidrocarburos en el agua marina se evaluó por medio de la determinación de hidrocarburos aromáticos totales (HAT), y se comparó con el valor de referencia propuesto por [UNESCO \(1984\)](#), donde valores menores de 10 µg/L se consideran aguas no contaminadas. El análisis general mostró que en la mayoría de las estaciones, las concentraciones de HAT han sido inferiores al valor de referencia; sin embargo, en los años 2002, 2010, 2011 y 2014 se presentaron valores que sobrepasaron la referencia (Figura 3.10), principalmente en estaciones de los departamentos de San Andrés, Sucre, Córdoba, Bolívar y Chocó, respectivamente. Estos datos se han relacionado con eventos puntuales de derrames durante el abastecimiento de combustible para embarcaciones menores como en Chocó, San Andrés y Bolívar, y el cargue de hidrocarburos para buques petroleros en Sucre y Córdoba.

A pesar que la mayoría de valores a lo largo del tiempo se han mantenido por debajo del valor de referencia, se debe continuar con el monitoreo y aumentar la frecuencia del mismo, ya que se ha evidenciado un impacto de la actividad portuaria sobre la calidad del agua marina.



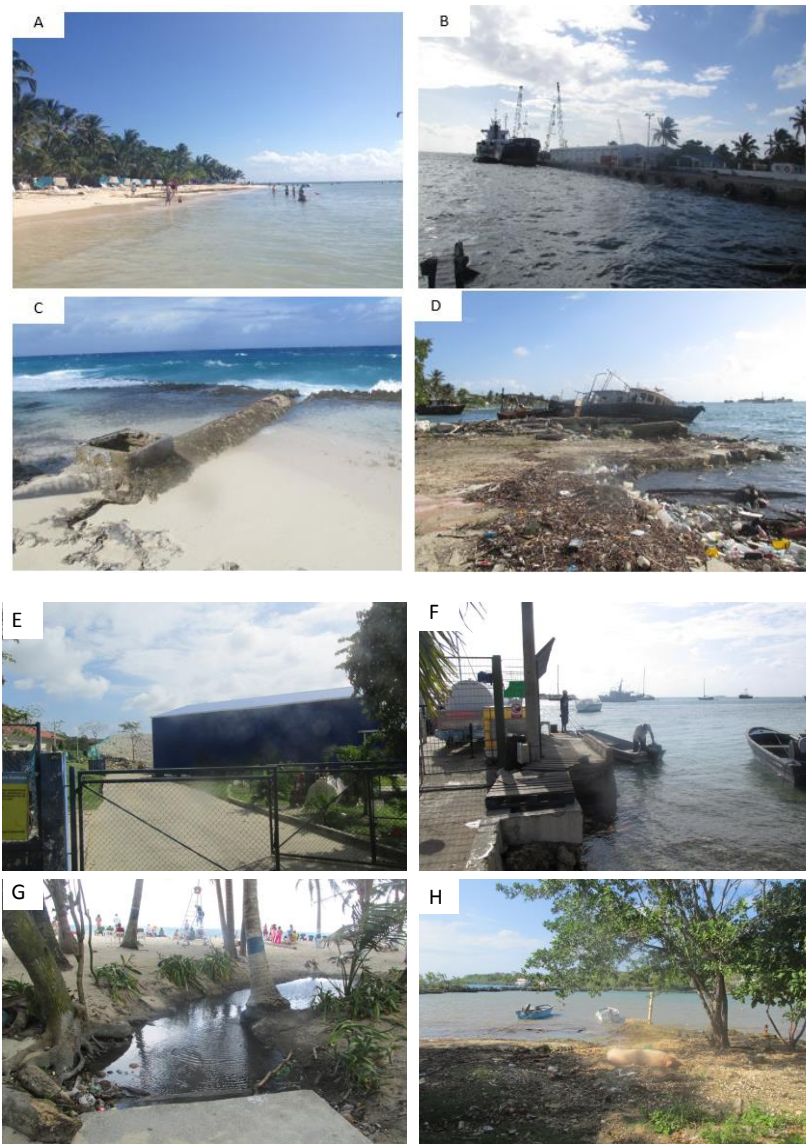
**Figura 3.10. Concentración interanual de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD; µg/L) medidas en agua superficial de estaciones de la REDCAM en el período 2002-2015. La línea cortada representa el valor de referencia de 10 µg/L para aguas no contaminadas de la UNESCO (1984).**

### 3.5 CASO ESTUDIO: ISLA DE SAN ANDRÉS

El archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina está conformado por islas, islotes, bajos y cayos; ubicados en el Caribe Occidental; caracterizados por las riquezas marinas, ecosistémicas y paisajísticas; en donde los tensores ambientales pueden causar influencia positiva o negativa de forma paulatina o directa sobre los recursos hídricos ([Garay y Vélez, 2001](#)). Su gran atractivo turístico, con potencial para el desarrollo de actividades socioeconómicas, un puerto marítimo como principal fuente de ingreso de alimentos y comercio, favorecen el desarrollo de actividades económicas como transporte, servicios y construcción ([Plan de desarrollo, 2012](#); [Vivas-Aguas et al., 2012a](#)). Dichas actividades, junto con los asentamientos humanos, representan las principales fuentes de contaminación (FTCM).

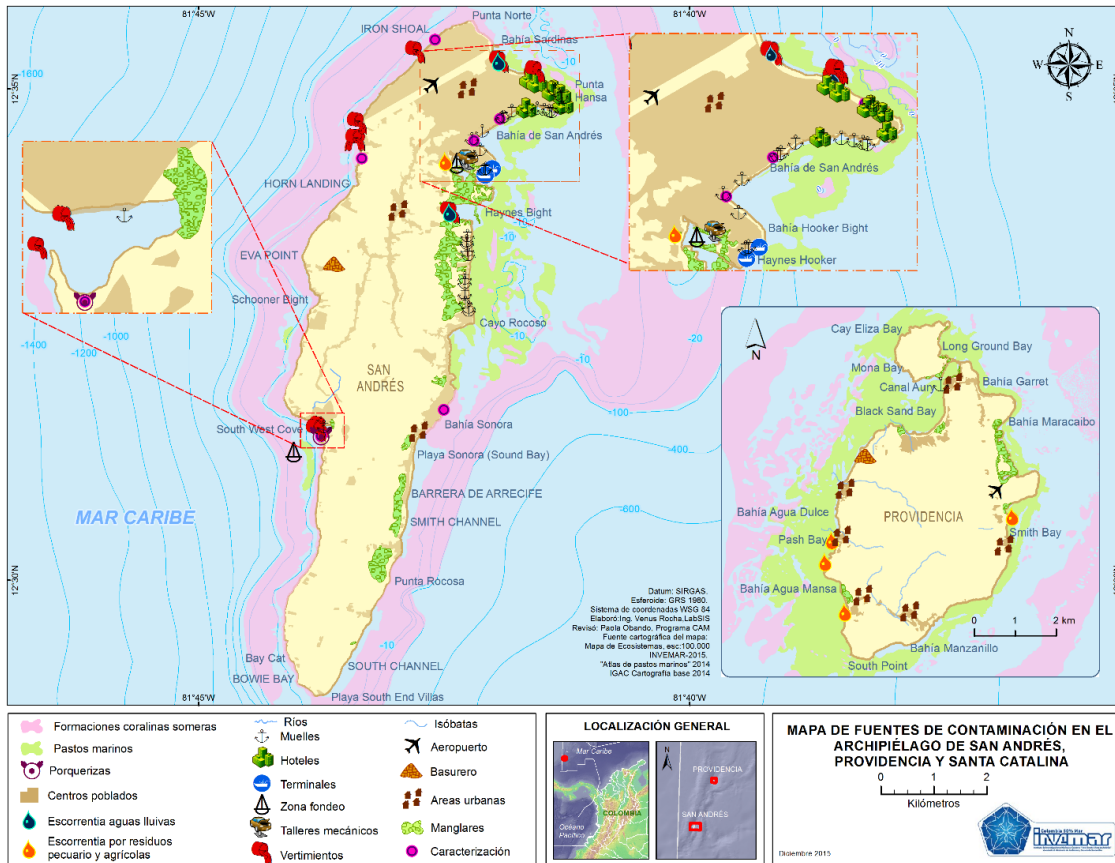


El inventario de FTQM fue realizado con información primaria y secundaria recopilada con el apoyo de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA). Como fuente de información primaria se realizó una salida de campo en enero 2015 y se caracterizaron siete puntos a lo largo de la franja costera de la Isla de San Andrés, donde se observó el desarrollo de actividades socioeconómicas características del archipiélago, como el turismo, comercio y manejo portuario, así como la presencia de vertimientos directos de aguas residuales al mar y el inadecuado manejo de basuras (Figura 3.11). Como parte de la información secundaria recopilada, se revisó información reportada por la empresa de servicio de alcantarillado y acueducto PROACTIVA S.A., el plan de manejo integral de residuos peligrosos, documentación de CORALINA, entre otros.



**Figura 3.11** Actividades en la zona costera de la Isla de San Andrés. A) Actividad turística en Rocky Cay, B) Puerto de San Andrés, C y G) Vertimiento Aguas residuales, D) Disposición de basuras en el mar, E) relleno Sanitario Magic Garden, F) Expendio de Combustibles y H) Porquerizas en Bahía el Cove. Fotografías: Paola Obando- INVEMAR.

De acuerdo a la revisión de información realizada, se identificaron las principales fuentes terrestres y marinas de contaminación al mar en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, las cuales se muestran en la Figura 3.12 y se describen en la Tabla 3.8.



**Figura 3.12 . Fuentes terrestres y Marinas de contaminación al mar en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Fuente: DANE, 2015; IGAC, 2014; INVEMAR, 2015; puertos: MinTransporte, 2008.**

**Tabla 3.8. Principales actividades, fuentes contaminantes y cuerpos de agua afectados en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Fuente información secundaria: DANE, 2015; IGAC, 2014; INVEMAR, 2015; puertos: MinTransporte, 2008.**

Actividad / Fuente contaminante	Sustancias contaminantes	Receptor
Eliminación de residuos	Residuos ordinarios (relleno sanitario, botadero a cielo abierto). Residuos peligrosos provenientes del sector de servicios (hospitalarios) y comercio.	Materia orgánica, sedimentos, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites, agroquímicos, metales pesados.
Vertimientos aguas residuales	Sistema de alcantarillado, pozos sépticos, tuberías de conducción hacia el mar y disposición sobre el terreno	Materia orgánica, sedimentos, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites, hidrocarburos, metales pesados, detergentes.
Marítima-	Transporte marítimo, cargue y descargue	Aguas de lastre, residuos de
		Mar Caribe y acuíferos Acuíferos emergentes, mar Caribe y fuentes de agua Mar Caribe

Actividad / Fuente contaminante		Sustancias contaminantes	Receptor
puertos	de mercancías y productos.	carbón, hidrocarburos, grasas y aceites, otros residuos oleosos.	
Actividades económicas	Turismo (hoteles, restaurantes, actividades recreativas)	Residuos sólidos, materia orgánica, sedimentos,	Mar Caribe
	Servicios (alcantarillado, aseo, servicios portuarios, servicios comunales, servicios sociales y personales)	microorganismos patógenos, sólidos en suspensión, lodos de depuradoras, grasas y	
	Comercio	aceites, hidrocarburos y	
	Agricultura y pesca (población raizal)	metales pesados	

### 3.5.1 RESIDUOS DE LA POBLACIÓN

El Archipiélago alberga según las proyecciones del DANE cerca de 76.442 habitantes, siendo una de las islas más densamente pobladas del Caribe ([Gavio et al., 2010](#)). Una de las mayores problemáticas en la Isla de San Andrés, es la carencia de fuentes de agua dulce, donde el 85 % de la población depende de los recursos hídricos subterráneos ([MADS, 2014](#)), captados en su mayoría por un sistema de pozos profundos del valle del Cove ([Proactiva, 2008](#)) y en dos acuíferos, el Acuífero San Luis con aguas salobres y el acuífero San Andrés con aguas dulces de calidad aceptable ([Co-L1125, 2013](#)). Lo cual representa una amenaza frente el crecimiento socioeconómico, poblacional y turístico de la isla. Mientras tanto en Providencia existen pequeños arroyos en las microcuencas de McBean, Bailey y Fresh Water; las cuales en ocasiones se ven afectadas por la descarga de aguas servidas y la disposición de excretas de animales ([Vivas-Aguas et al., 2012a](#)).

El manejo y disposición de las aguas residuales en la Isla de San Andrés se lleva a cabo mediante un sistema de alcantarillado sanitario, ubicado en el sector norte de la Isla “North End” con un punto de vertimiento final correspondiente al emisario submarino, mientras que los sectores de San Luis y la Loma, no cuentan aún con un sistema colectivo de transporte y disposición de aguas residuales ([Co-L1125, 2013](#)).

Por otro lado, en la isla de Providencia el agua potable se ve afectada por los lodos presentes en las fuentes de captación, además se capta agua lluvia como fuente alterna de abastecimiento. En cuanto al sistema de alcantarillado, Providencia cuenta con un 10 % de la población conectada a una red de transporte y recolección de aguas residuales, que no se encuentra en funcionamiento. Cabe anotar, que tanto Providencia y Santa Catalina cuentan con Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR que no se encuentran en funcionamiento; por tanto se efectúan descargas de agua residual al mar de forma directa o en pozos sépticos ([MinVivienda, 2015](#)).

Según la metodología de [UNEP-RCU/CEP \(2010\)](#) se estimó que la población del Archipiélago produce cerca de 645.352,8 m<sup>3</sup>/día de agua residual doméstica; cargadas con 784,24 t/año DBO<sub>5</sub>, 1.568,48 t/año de DQO, 188,22 t/año de Nitrógeno Total, 12,55 t/año de Fósforo total, 784,24 t/año de Sólidos Suspendidos Totales y 313.697 E+18 NMP/año de coliformes totales, siendo San Andrés el que genera mayor aporte de contaminantes domésticos (Figura 3.13, Figura 3.14.).

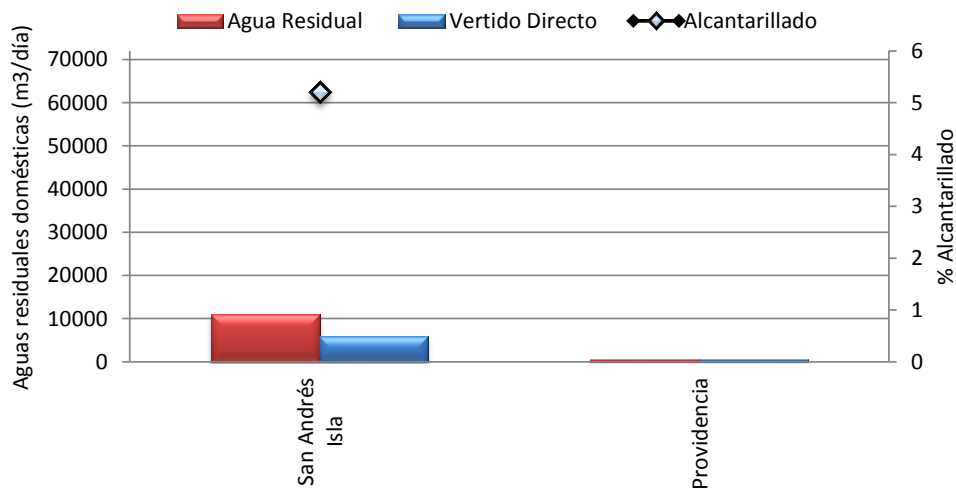


Figura 3.13. Caudal estimado de vertido de aguas residuales domésticas y porcentaje de cobertura de alcantarillado en los municipios costeros del departamento de Atlántico. Fuente Caudal: cálculo INVEMAR, metodología [Mindesarrollo, 2000](#). Fuente población: Censo general 2005, proyecciones [DANE 2015](#).

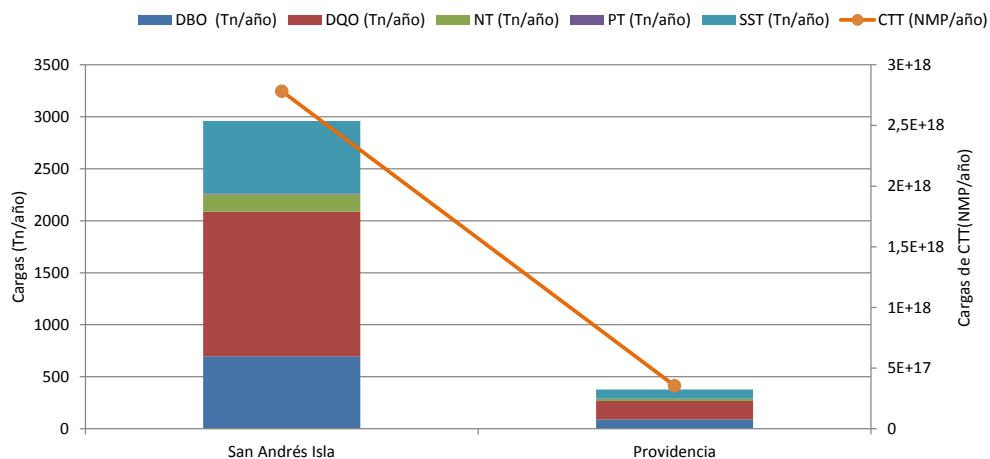


Figura 3.14. Carga anual estimada de contaminantes domésticos aportados por la población del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Cálculo INVEMAR, metodología [UNEP-RCU/CEP \(2010\)](#).

Adicional a esto, de acuerdo a información suministrada por PROACTIVA S.A., para el año 2014 el vertimiento que realizó el emisario submarino generó cerca de 504,23 Kg/año de DBO<sub>5</sub> y 4.737 Kg/año de SST, cargas contaminantes que fueron vertidas al mar Caribe.

En cuanto a la generación de residuos, la isla de San Andrés realiza la disposición de residuos ordinarios en el relleno sanitario “Magic Garden”; Providencia y Santa Catalina en el relleno sanitario “Blue Lizard” operado como un botadero a cielo abierto. De acuerdo a información suministrada por CORALINA, existen 167 generadores de residuos peligrosos, producto de actividades de los sectores comercial y servicios (Tabla 3.9), donde los establecimientos generadores de residuos o desechos peligrosos reportaron para el período

de balance del año 2008 52.674,7 kilogramos de residuos peligrosos aprovechados y/o valorizados, 35.545,16 kilogramos de residuos peligrosos tratados y 11.875,67 kilogramos de residuos peligrosos dispuestos finalmente. Sin embargo, el archipiélago no cuenta con un gestor externo para la recolección, tratamiento y disposición final de residuos hospitalarios, los cuales son transportados vía marítima a la ciudad de Cartagena; evidenciando la alta vulnerabilidad ambiental que presenta el archipiélago en el manejo de los residuos sólidos (ASIS, 2013; CORALINA, 2015).

Tabla 3.9. Sector, Sub-sector y número de empresas generadoras de residuos peligroso en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Sector	Sub-Sector	Número empresas generadoras
Comercial	Computadores y accesorios	1
Comercial	Celulares	1
Comercial	Fotografía	1
Comercial	Litografías y Tipografías	4
Comercial	Cambio de llantas	1
Comercial	Cambio de llantas y aceites	4
Comercial	Cambio y venta de llantas	1
Comercial	Celulares	4
Comercial	Combustibles y Lubricantes	6
Comercial	Computadores y accesorios	5
Comercial	Distribuidores eléctricos	1
Comercial	Droguerías	27
Comercial	Extintores	1
Comercial	Ferreterías	14
Comercial	Ferreterías	2
Comercial	Fotografía	4
Comercial	Fumigaciones	2
Comercial	Hotelería	6
Comercial	Venta de baterías	1
Comercial	Venta de llantas y aceites.	18
Comercial	Venta de llantas, aceites y baterías	1
Comercial	Venta y cambio de llantas.	6
Comercial	Venta y reparación y autopartes	2
Servicios	Salud	1
Servicios	Salud	29
Servicios	Salud - Oficial	2
Servicios	Salud Oral	12
Servicios	Veterinarios	2
Servicios	(en blanco)	1
Servicios	Salud - Oficial	1
Servicios	Salud Oral	1
No clasificada	No clasificada	5
<b>Total</b>		<b>167</b>

### 3.5.2 ACTIVIDAD PORTUARIA

Las actividades marítimas en el Archipiélago, han producido contaminación en el sector de bahía Hooker durante la operación de la planta de energía eléctrica, debido al uso de diésel; el sector portuario por la manipulación de combustibles; descargas de aguas de sentinas, residuos lubricantes, agua de figuración de motores, escapes en lanchas, marinas, entre otros; son las principales focos de contaminantes, lo cual ha generado en las aguas marinas cercanas a la franja costera de la isla, la detección de concentraciones significativas de hidrocarburos derivados del petróleo ([Vivas-Aguas et al., 2012a](#)).

El archipiélago cuenta con dos puertos marítimos libres; el puerto de San Andrés que se encuentra ubicado en el sector industrial y recibe buques de hasta 1.000 toneladas, permitiendo el ingreso de diversos tipos de embarcaciones, siendo el punto de entrada principal de mercancías, bienes de abastecimiento y consumo para la población. Además, existen otros pequeños muelles para recibir embarcaciones menores dedicadas al turismo y expendio de combustible, como el ubicado en el sector El Cove, recibiendo turistas de cruceros y operando como zona de fondeo para buques de la armada nacional.

La isla de Providencia cuenta con un puerto de menor capacidad ubicado en el costado norte, que recibe las embarcaciones principalmente provenientes de San Andrés con mercancías y bienes de consumo para abastecimiento ([plan departamental San Andrés, 2012](#)). Al ser declarados puertos libres, la mayoría de sus actividades se basan en la importación de mercancías y alimentos.

A lo largo de los años, la actividad turística ha ido incrementando y se ha visto favorecida por el desarrollo de la actividad y tránsito marítimo. Es una de las actividades económicas más importantes del Archipiélago, contando con un enfoque ecosistémico y eco-cultural ([Co-L1125, 2013](#)), pues sus playas, cultura y medio marino son el potencial y atractivo turístico en explotación; siendo la actividad que involucra en gran medida a la población isleña.

## 4. DIAGNÓSTICO NACIONAL CON EL ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

En Colombia, las aguas marino-costeras están sometidas a diversas fuentes contaminantes (ver capítulo de FUENTES TERRESTRES Y MARINAS DE CONTAMINACIÓN AL MAR) que deterioran el recurso hídrico y ponen en riesgo los ecosistemas; es por esto que el uso de herramientas prácticas como los indicadores ambientales facilitan la interpretación de las condiciones ambientales a través de información física, química y biológica, ya que integran la información de variables ambientales indicadoras de una condición de calidad.

En el caso del recurso hídrico marino-costero de Colombia, la REDCAM usa el índice de calidad marinas y costeras para la preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>), que permite evaluar el estado de las condiciones naturales y el impacto de las actividades humanas sobre el recurso en una escala de cinco categorías de calidad definidas entre 0 y 100 (Tabla 4.1), facilitando su interpretación.

**Tabla 4.1. Escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras – ICAM (Vivas-Aguas, 2011).**

Escala de calidad	Color	Categorías	Descripción
Óptima	Azul	100-90	Calidad excelente del agua
Adecuada	Verde	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática
Aceptable	Amarillo	70-50	Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso
Inadecuada	Naranja	50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso
Pésima	Rojo	25-0	Aguas con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado

El índice de calidad de aguas marinas y costeras - ICAM<sub>PFF</sub> permite resumir la información de ocho variables (oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos totales, hidrocarburos aromáticos totales y coliformes termotolerantes), integradas con ponderaciones en una ecuación de promedio geométrico ponderado. Estas variables representan según sus valores de aceptación o rechazo una calidad o condición del agua en función de los valores de referencias de normas nacionales o internacionales para la preservación de la flora y fauna ([Vivas-Aguas, et al., 2015](#)), con ponderaciones en una ecuación de promedio geométrico ponderado (Ecuación 1).

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

(Ecuación 1)

Dónde:

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

ICAM= [(XOD) 0.16 x (XpH) 0.12 x (XSST) 0.13 x (XDBO<sub>5</sub>) 0.13 x (XCTE) 0.14 x (XHAT) 0.12 x (XNO<sub>3</sub>) 0.09 x (XPO<sub>4</sub>) 0.13]<sup>1/wi</sup>

$X_i$  = subíndice de calidad de la variable  $i$

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

Debido a que el ICAM incorpora en su estructura de cálculo variables que obedecen a cambios naturales y antropogénicos en la calidad del agua marino-costera, la representación del resultado esperado es adecuada, siempre y cuando los datos de las variables se hayan obtenido mediante técnicas analíticas validadas con metodologías ampliamente usadas y comprobadas que permitan comparar los resultados en una escala nacional o internacional.

Como alternativas de manejo del estado de contaminación identificado por el ICAM<sub>PFF</sub>, se propone adoptar medidas de seguimiento e investigación descritas en la Tabla 4.2, para identificar la causa y la fuente o fuentes del deterioro del agua, de manera que sirva para diseñar las medidas de reducción o mitigación del impacto sobre el ecosistema que esté siendo afectado.

**Tabla 4.2. Opciones de medidas que se pueden adoptar según la valoración del indicador (ICAM). Modificado de Marín et al., 2001.**

Escala de calidad	Categorías	Opciones de medidas a adoptar
Óptima	100-90	Continuar con el monitoreo
Adecuada	90-70	Caracterización, diagnóstico, verificación
Aceptable	70-50	Monitoreo y evaluación: fisicoquímicos y tóxicos semestral
Inadecuada	50-25	Monitoreo /bioensayos/ medidas de control y vigilancia. Evaluación: fisicoquímicos y tóxicos plan de contingencia trimestral
Pésima	25-0	Monitoreo y seguimiento /bioensayos/ evaluación: fisicoquímicos y tóxicos /plan de contingencia/ aplicación de medidas de choques trimestral

## 4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La calidad del agua marino – costera en Colombia evaluada con el ICAM<sub>PFF</sub> mostró fluctuaciones interanuales marcadas en el período 2001 a 2014 (Figura 4.1). Entre los años 2001 y 2005 se observó una mejoría de la calidad del agua, alcanzando en el 2005 un 16 % de las estaciones con óptima calidad. A partir de 2006 se observó una disminución de sitios con adecuada y óptima calidad, al aumentar hasta el 7 % la categoría pésima; este cambio se vio relacionado con el inicio del fenómeno de El Niño débil (agosto de 2006; [Caicedo, 2007](#)).

Entre los años 2007 y 2011, fue notoria la fluctuación en las categorías de calidad del agua, debido a las variaciones climáticas que han reflejado una influencia directa sobre las condiciones del recurso hídrico (Figura 4.1), como en el caso de las lluvias excesivas que se presentaron en el centro de la región Pacífico y norte de la región Caribe, debido a los eventos La Niña de intensidad fuerte que se presentaron entre 2007, 2008, 2010 y 2011 ([IDEAM; 2014](#)). Estas condiciones de altas precipitaciones favorecen el incremento de las escorrentías que arrastran con mayor intensidad nutrientes, microorganismos, sólidos en suspensión y otras sustancias contaminantes que llegan a la zona costera, bajan la disponibilidad de oxígeno y aumentan la demanda de oxígeno, deteriorando la calidad del recurso hídrico y de los ecosistemas costeros ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). Los periodos de sequía asociados a los eventos El Niño que se presentaron en 2012 (intensidad leve) y que a



partir de 2014 se intensificó progresivamente el déficit de precipitaciones en todo el país, mejorando la calidad del agua (Figura 4.1).

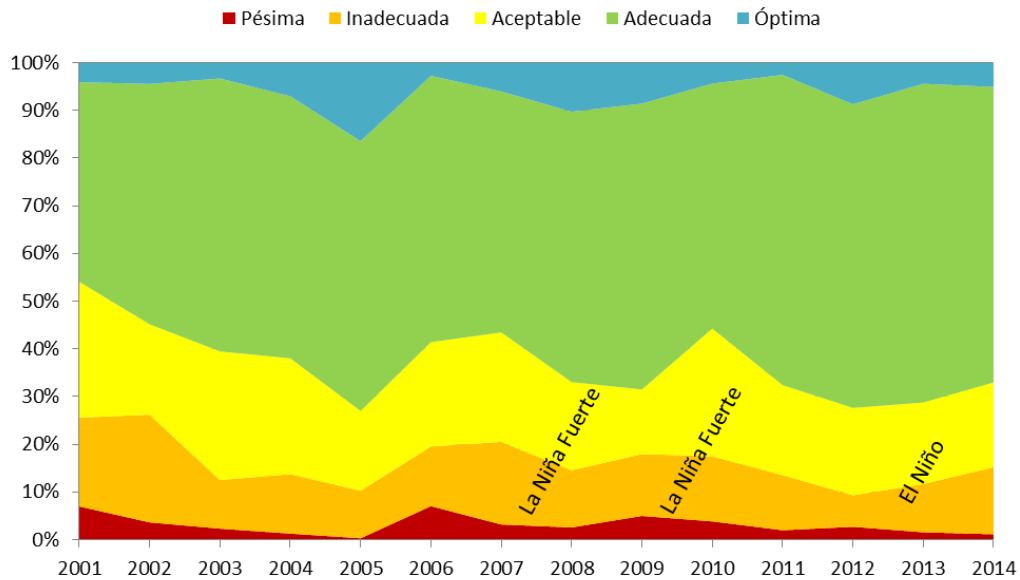


Figura 4.1. Evolución histórica de la calidad del agua marino-costera evaluada con el ICAMPFF en el periodo 2001 a 2014.

En el análisis comparativo de los últimos tres años (2012-2014), se observó un leve incremento en la proporción de estaciones en óptimas condiciones (Figura 4.2), sin embargo, ha sido evidente el aumento gradual del porcentaje de casos que presentan de manera recurrente un deterioro en la calidad del agua.

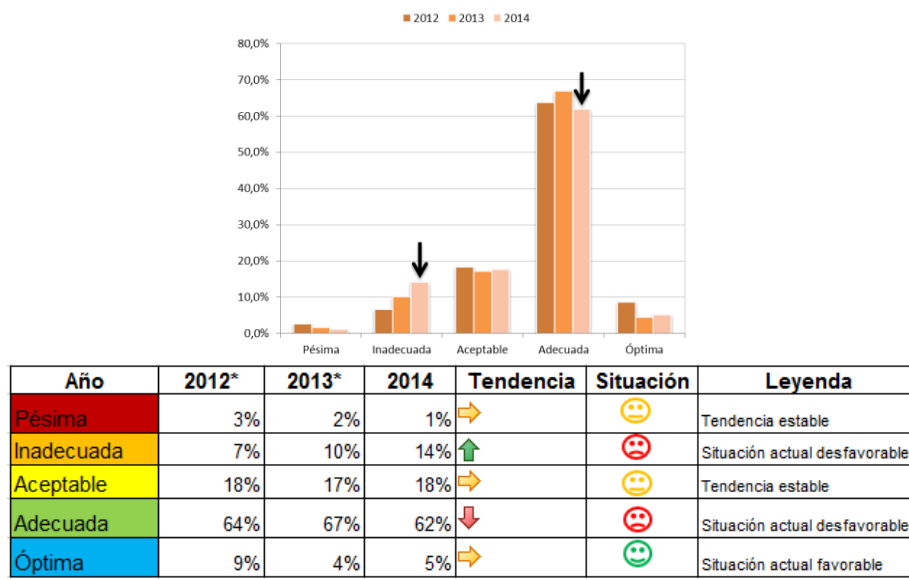
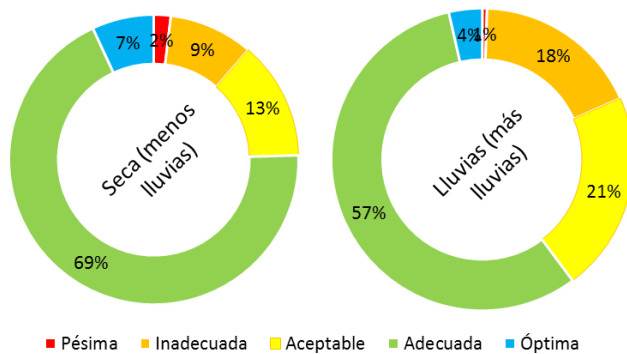


Figura 4.2. Tendencia de los cambios en la calidad del agua marino – costera evaluada con el ICAMPFF entre los años 2012 y 2014.

El análisis detallado para el año 2014 mostró variaciones espaciales y temporales del índice que osciló entre 11,8 y 96,6 % representando las cinco categorías de calidad (Tabla 4.3), donde el 5 % de las estaciones estuvieron en condiciones óptimas, el 62 % fueron adecuadas, el 18 % aceptable y el 15 % entre inadecuadas y pésimas (Figura 4.3). Las mejores condiciones de calidad del agua se presentaron en la época seca (menos lluvias) con el 75 % (óptima y adecuada), comparada con la época de lluvias (más lluvias), que sólo alcanzó el 60 % entre las categorías óptima y adecuada (Figura 4.3).

**Tabla 4.3. Distribución porcentual (%) de las condiciones de calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAMPFF en los 12 departamentos de costeros de Colombia año 2014.**

Departamento	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
San Andrés y Providencia		29	41	29	2
La Guajira	6	22	17	56	
Magdalena		5	8	85	3
Atlántico		19	44	38	
Bolívar		11	11	70	9
Sucre		8	4	72	16
Córdoba		10	5	85	
Antioquia	18	27		45	9
Chocó		13	22	65	
Valle del Cauca		30	70		
Cauca			8	75	17
Nariño		13	25	63	



**Figura 4.3. Resumen nacional de la distribución porcentual (%) de la calidad del agua marino-costeras en Colombia de acuerdo al ICAMPFF para la época seca (menos lluvias) y de lluvias de 2014.**

En la costa Caribe se presentaron todas las categorías del índice (pésima y óptima) en las dos épocas climáticas. El mayor porcentaje de estaciones con calidad pésima se presentó en los departamentos de La Guajira (28 %) y Antioquia (45 %) durante la época seca, particularmente en las zonas de Riohacha (playa Riohacha y Cabo de la Vela) y San Juan de Urabá (playas Arboletes y Uveros; Figura 4.4a y Figura 4.4c); adicionalmente, en los últimos tres años se han visto afectadas de manera recurrente las zonas de Santa Marta (Emisario y muelle de cabotaje), bahía de Cartagena (playa Manzanillo y Punta Canoa) y Tolú – Coveñas (Coquerita).

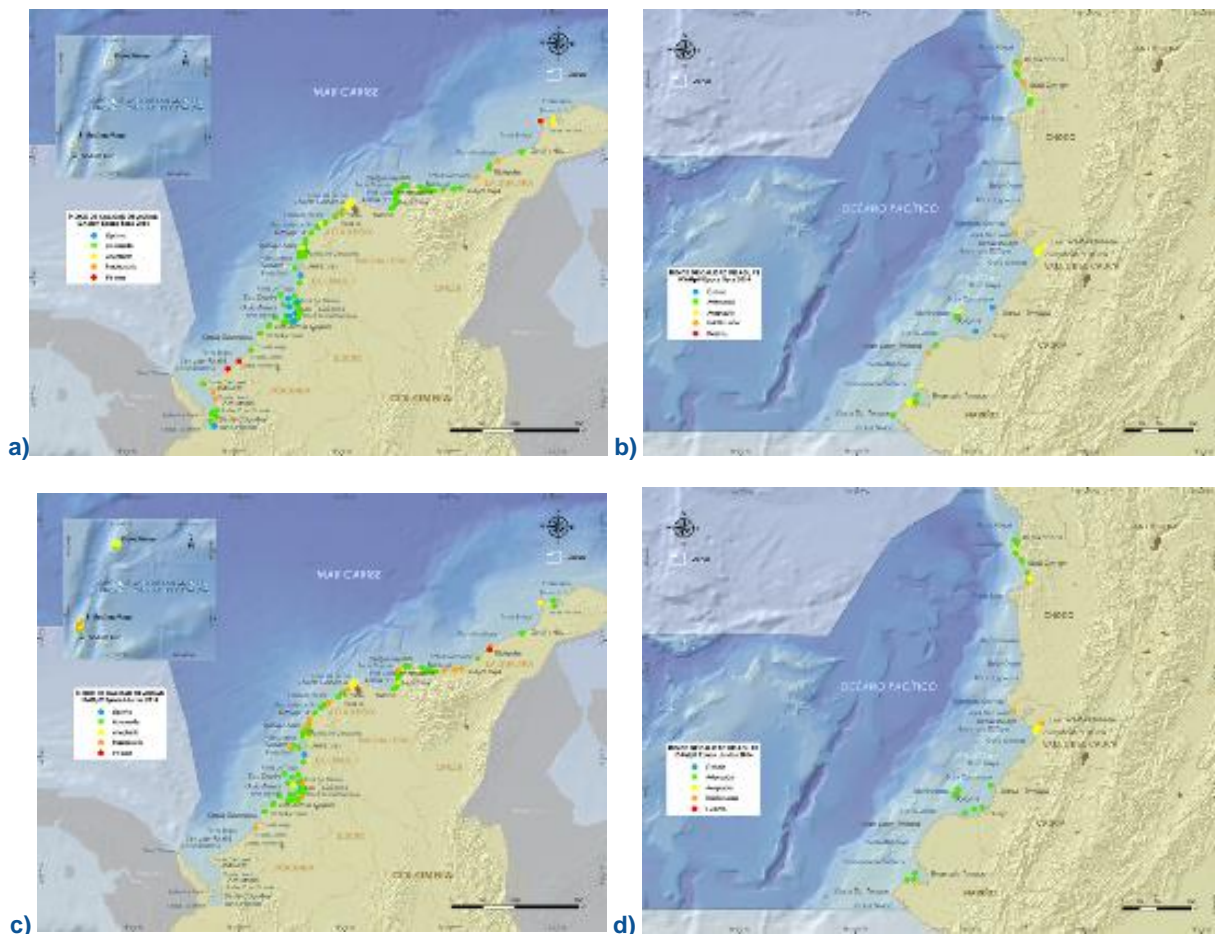


Figura 4.4. Estado del agua marino-costera evaluada con el índice de calidad para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PF</sub>) en las zonas costeras de los departamentos del Caribe y Pacífico colombianos durante la época seca (a y b) y lluviosa (c y d) de 2014.

A diferencia del Caribe, en el Pacífico la calidad del agua en las estaciones fluctuó entre inadecuada (29,9 %) y óptima (96,11) (Figura 4.4b y Figura 4.4d), sólo se presentaron óptimas condiciones en la época seca (Figura 4.4b). Las condiciones oceanográficas del Pacífico con el efecto de la marea favorecen los procesos de dilución de contaminantes, por lo cual el impacto de las aguas residuales algunas veces no se ve reflejado en el monitoreo puntual y superficial, sin embargo, en otros estudios donde se han colectado datos en diferentes momentos de marea ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#); [Vivas-Aguas et al., 2015a](#)), son evidentes los cambios intermareales y la disminución de la calidad en la más baja marea y en reflujo llegando a pésimas condiciones. No obstante, se observó un mayor deterioro en los departamentos del Valle del Cauca (30 %), Chocó (13 %) y Nariño (13 %; Tabla 4.2), recurrentes en las zonas de bahía Solano, golfo Tribugá (ensenada de Utría y frente a río Nuquí), bahía de Buenaventura (isla Cascajal y frente a río Dagua) y la ensenada de Tumaco (Sociedad Portuaria).

## 4.2 CONCLUSIONES

La época seca 2014 presentó mejores condiciones de calidad del recurso hídrico en comparación a la época lluviosa 2014, donde se presentaron mayores fluctuaciones de las condiciones de calidad en los diferentes departamentos costeros.

Durante 2014 la región Pacífica no presentó condiciones de pésima calidad y el comportamiento entre épocas climáticas no osciló de manera significativa; mientras que en el Caribe las condiciones fluctuaron desde una pésima condición a óptimas en ambas épocas; lo cual evidencia el impacto antropogénico por el crecimiento socioeconómico y poblacional generado en la región.

El análisis general detallado mostró que los resultados de los índices con calidad más baja estuvieron influenciados por las altas concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes y nitratos en algunos sitios.

El índice mostró que el deterioro de la calidad del agua se ve influenciado principalmente, por las altas concentraciones de microorganismos de origen fecal (coliformes termotolerantes), sólidos en suspensión, nutrientes (nitratos) y la disminución de la disponibilidad de oxígeno, producto de las actividades antropogénicas y vertimientos de aguas residuales, debido a que la mayoría de los municipios costeros no cuentan con un adecuado sistema de tratamiento, lo cual afecta de manera recurrente el recurso hídrico.

# Diagnóstico Regional Caribe



**Playa Cabo de la Vela, La Guajira. Foto: Yadi Moreno**



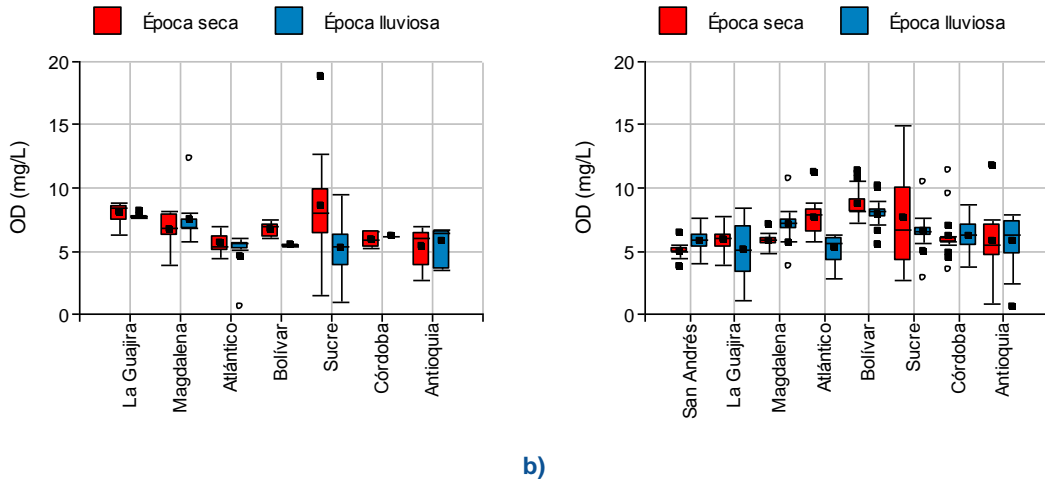
## 5. CALIDAD DE LAS AGUAS EN LA COSTA CARIBE

La costa Caribe colombiana que comprende la zona costera de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia; y el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, se caracteriza por tener una gran biodiversidad marino costera, distribuida en ecosistemas como arrecifes coralinos, pastos marinos, manglares, estuarios, lagunas costeras, fondos sedimentarios, playas, litorales rocosos, entre otros, y por ser una región donde se concentra el mayor número de actividades socioeconómicas y de asentamientos humanos, que generan residuos contaminantes que causan deterioro de la calidad del recurso hídrico y cambios en los entornos naturales ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)).

En los muestreos realizados en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, se registraron en el agua superficial salinidades entre 0,0 y 95,5, valores que incluyen aguas fluviales dulceacuícolas de los ríos, aguas estuarinas por la influencia de agua marina en época seca en las desembocaduras de caños, arroyos y ríos, y también aguas salmueras con las salinidades más elevadas en algunas lagunas costeras del departamento del Atlántico. En el departamento de Antioquia se encontraron las aguas con salinidades más bajas ( $6,26 \pm 6,83$ ) por los ríos importantes que desembocan en el golfo de Urabá, mientras que en San Andrés se encontraron las salinidades más altas ( $35,8 \pm 1,98$ ) característico de aguas marina, por condición insular.

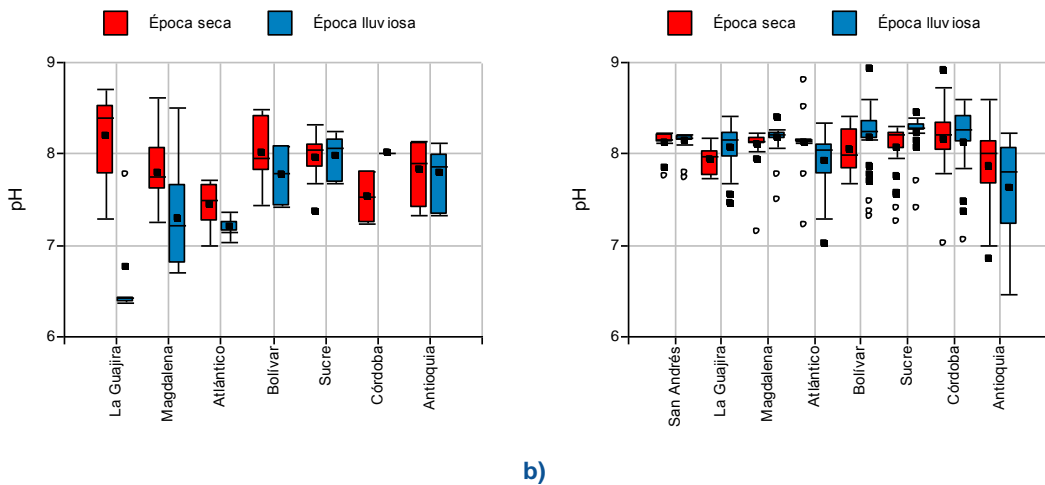
El oxígeno disuelto (OD) en las aguas marinas y costeras en el Caribe, generalmente se ve afectado por vertimientos de aguas residuales con alta carga de materia orgánica y nutrientes, que aumentan la demanda bioquímica de oxígeno y favorece florecimientos de microalgas, causando grandes fluctuaciones en las concentraciones de OD ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2015](#)). En Colombia, los cuerpos de agua que con mayor frecuencia se ven afectados por grandes fluctuaciones de OD son los ríos que circulan por áreas agrícolas, ganaderas y urbanas, como el río Magdalena, Sinú, Atrato, León, Ranchería, Manzanares, Gaira, Guachaca, entre otros. Así mismo algunas bahías y ciénagas en Magdalena, Atlántico, Sucre y Córdoba se ven afectadas. En este periodo de muestreo el OD en las aguas fluviales osciló entre 0,59 y 18,8 mg de O<sub>2</sub>/L (Figura 5.1a), y en las aguas marinas y estuarinas entre 0,5 y 15,5 mg de O<sub>2</sub>/L (Figura 5.1b), encontrándose en tanto en época lluviosa 2014 como en seca 2015, los mayores rangos de variación en el departamento de Sucre (1,5 - 18,8 mg de O<sub>2</sub>/L), seguido por Magdalena (3,91 - 12,3 mg de O<sub>2</sub>/L), Atlántico (0,59 - 6,97 mg de O<sub>2</sub>/L), Antioquia (2,7 - 6,92 mg de O<sub>2</sub>/L), La Guajira (6,23 - 8,79 mg de O<sub>2</sub>/L), Bolívar (5,34 - 7,42 mg de O<sub>2</sub>/L) y Córdoba (5,23 - 6,5 mg de O<sub>2</sub>/L).

La legislación nacional estableció en el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)) un valor mínimo permisible de 4,0 mg de O<sub>2</sub>/L para la preservación de flora y fauna. En las épocas lluviosa 2014 y seca 2015 el 7,3 % de los muestreos se encontraron concentraciones por debajo del valor permisible, y el 4,5 % de las mediciones estuvieron por encima de 10,0 mg de O<sub>2</sub>/L, aunque estas mediciones se encontraron por encima del valor permisible no garantiza el uso de preservación de flora y fauna, debido a que condiciones de sobresaturación del agua afecta a los peces y puede indicar que posiblemente en horas nocturnas el OD puede llegar a niveles muy bajos, creando condiciones subóxicas ([Murgel, 1984](#); [Manahan, 20017](#)).



**Figura 5.1. Oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina - estuarinas (b) de los departamentos de la costa Caribe colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

El pH osciló entre 6,37 y 8,71 en las estaciones fluvial (Figura 5.2a) encontrándose en todos los casos valores dentro del rango permisible del decreto 1594 de 1984 (4,5-9,0; [MinSalud, 1984](#)). En las estaciones marinas y estuarinas monitoreadas, el pH fluctuó entre 6,46 y 8,93 (Figura 5.2b), valores que en algunos casos no estuvieron dentro del rango permisible para este tipo de agua (6,5-8,5) con fines de preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)) en Punta Canoa (8,93) en Bolívar, ciénagas Soledad (8,91) y Cantarillo (8,73) en Córdoba, playa Martina (8,6) en Antioquia y en la ciénaga Rincón Hondo (8,79) en Atlántico, asociados a la actividad de organismos fotosintetizadores (fitoplancton), y a altas salinidades en Atlántico.



**Figura 5.2. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina - estuarina (b) de los departamentos de la costa Caribe colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**



Los sólidos suspendidos totales (SST) se encontraron en mayor concentración en las estaciones de los ríos, principalmente en los ríos Currulao (2.982 mg/L) en Antioquia; Ranchería (1.214 mg/L) en La Guajira y en el Canal del Dique (257 mg/L) en Bolívar en la época lluviosa 2014. Estos resultados están asociados a procesos erosivos por la deforestación, y a vertimientos de aguas residuales municipales, evidenciados además por las concentraciones de coliformes determinadas. Estos altos valores de SST que son descargados al mar Caribe, facilitan el transporte de contaminantes orgánicos como plaguicidas e hidrocarburos, además de metales pesados, que se depositan en el fondo marino convirtiéndose en un reservorio de estos contaminantes, que pueden afectar la calidad ambiental y la biota acuática presente ([Escobar, 2002](#)). Se destaca el departamento de San Andrés por presentar valores por debajo de los 50 mg de SS/L en sus aguas marinas, los cuales se consideran adecuados para la preservación de corales ([Fabricius, 2005](#)).

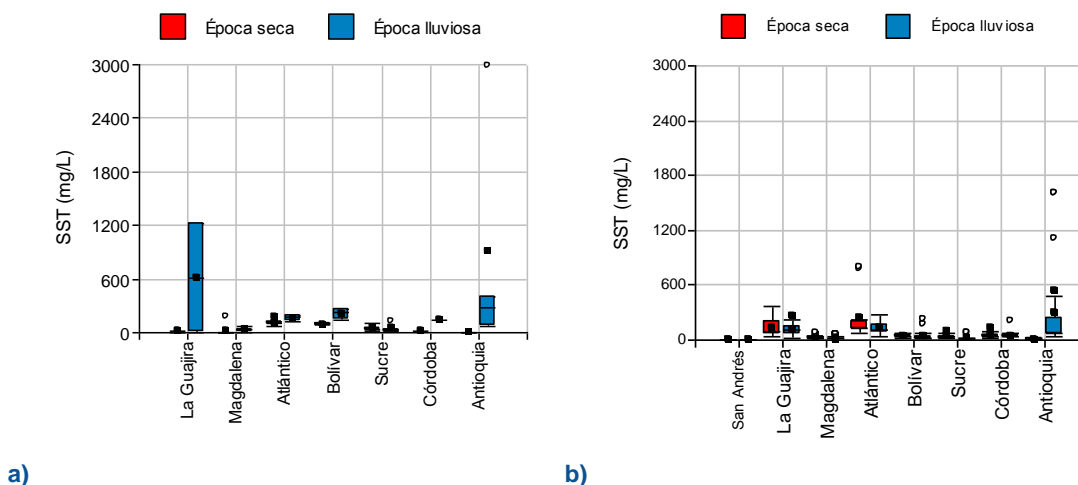
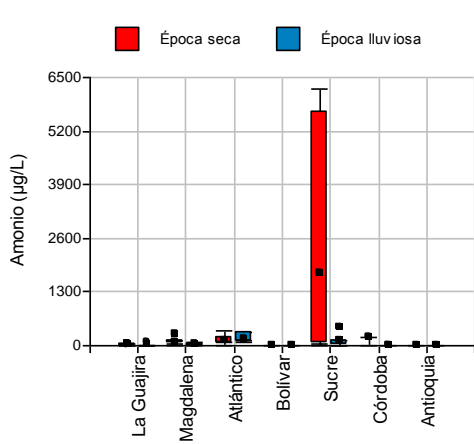
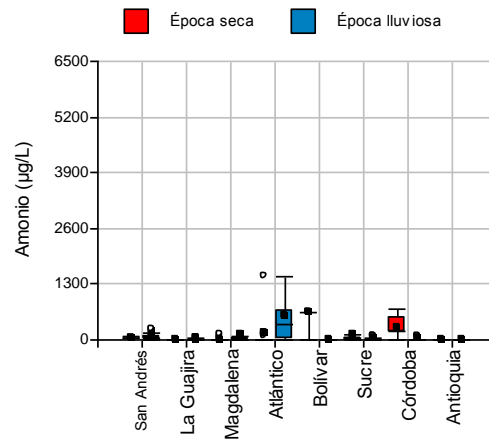


Figura 5.3. Sólidos suspendidos totales (SST) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina -estuarina (b) de los departamentos de la costa Caribe colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

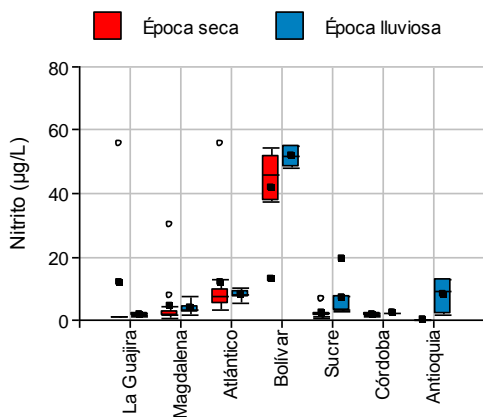
Los nutrientes inorgánicos disueltos determinados (Figura 5.4 y Figura 5.5) se encontraron en algunas estaciones fluviales en altas concentraciones (Figura 5.4A1, B1 y C1), indicando que hubo vertimientos de aguas residuales en Sucre en los caños Guainí, Zaragocilla, Pechelín y arroyo Villeros, los cuales descargan aguas con altos contenidos de nutrientes al golfo de Morrosquillo; en el Atlántico, el río Magdalena recibe aguas residuales domésticas e industriales y también aguas de escorrentías agrícolas y urbanas de Soledad y Barranquilla, así mismo el canal del Dique en Bolívar. En las estaciones Marinas y estuarinas (Figura 5.4A2, B2 y C2) se presentaron concentraciones altas de amonio, nitritos y nitratos en las estaciones con mayor influencia antropogénica como en las estaciones Influencia Basurero en San Andrés, en la ciénaga Rincón Hondo en Atlántico, en la bahía de Cartagena en Bolívar, en la bahía de Cispatá en Córdoba, entre otras estaciones. Los ortofosfatos se encontraron en mayores concentraciones en el agua fluvial en Sucre (Figura 5.5).



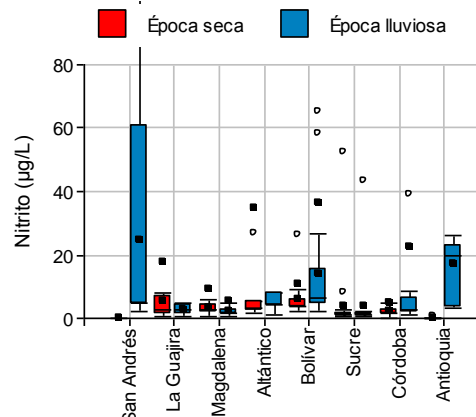
A1)



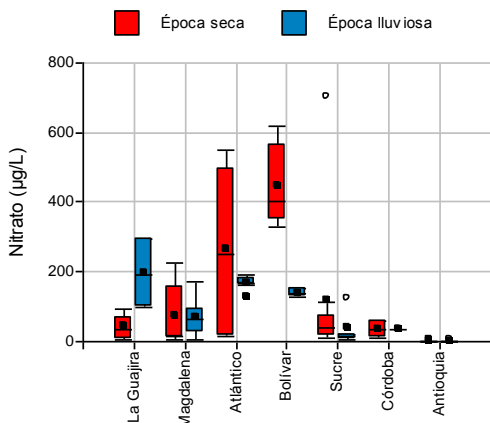
A2)



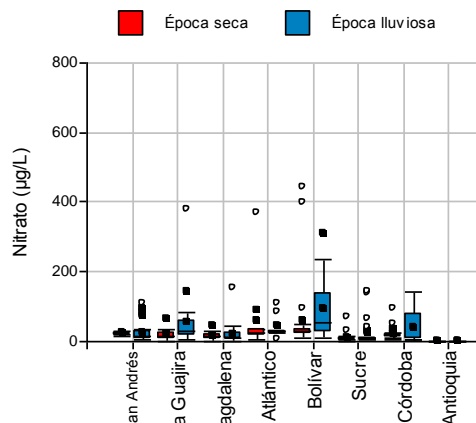
B1)



B2)



C1)



C2)

Figura 5.4. Nutrientes inorgánicos disueltos: (A) Amonio ( $N-NH_4^+$ ), (B) Nitritos ( $N-NO_2^-$ ) y (C) Nitratos ( $N-NO_3^-$ ), medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (1) y marina -estuarina (2) de los departamentos de la costa Caribe colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

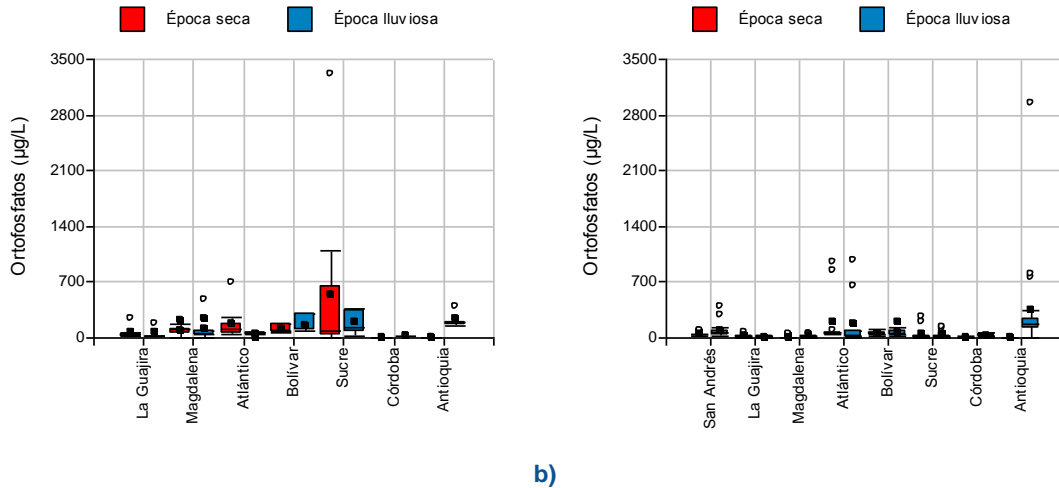


Figura 5.5. Ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina -estuarina (b) de los departamentos de la costa Caribe colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Las coliformes totales (CTT) se encontraron en mayor concentración en las aguas fluviales (Figura 5.6), las cuales son las principales receptoras de aguas residuales domésticas, y que debido a las condiciones fisicoquímicas del agua en cuanto a salinidad y temperatura, el tiempo de vida de estas bacterias es favorecida (Chigbu *et al.*, 2004). Estas aguas microbiológicamente contaminadas son descargadas por los ríos en sitios de playas turísticas, como ocurre en Magdalena con los ríos Manzanares y Gaira en las playas Los Cocos y Salguero; en La Guajira con el río Ranchería en la playa Riohacha, en Sucre con los caños Francés, Guacamaya, Guainí y Zaragocilla, y el arroyo Villero en las playas del golfo de Morrosquillo, entre otros. En las aguas marinas y estuarinas de Antioquia se destacan por las mayores concentraciones de CTT, que evidencia el inadecuado manejo de residuos municipales.

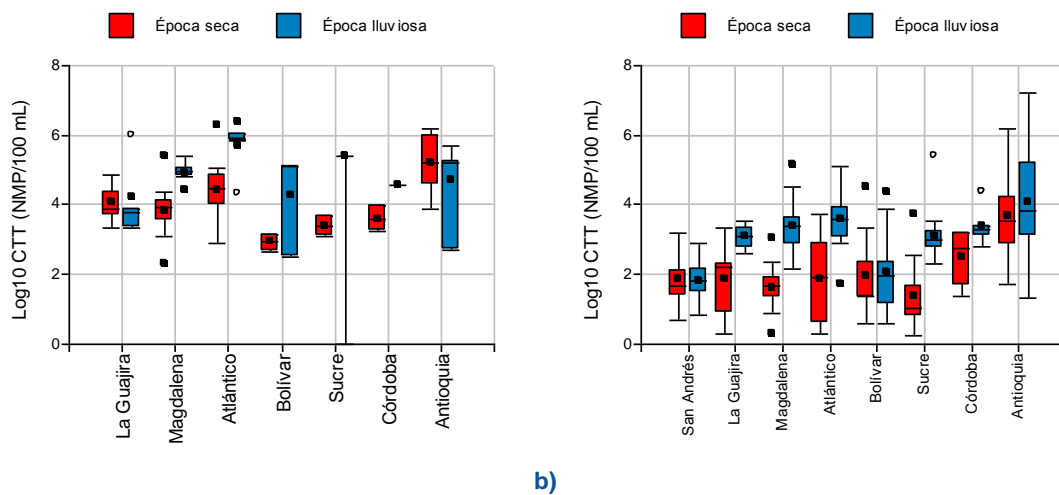
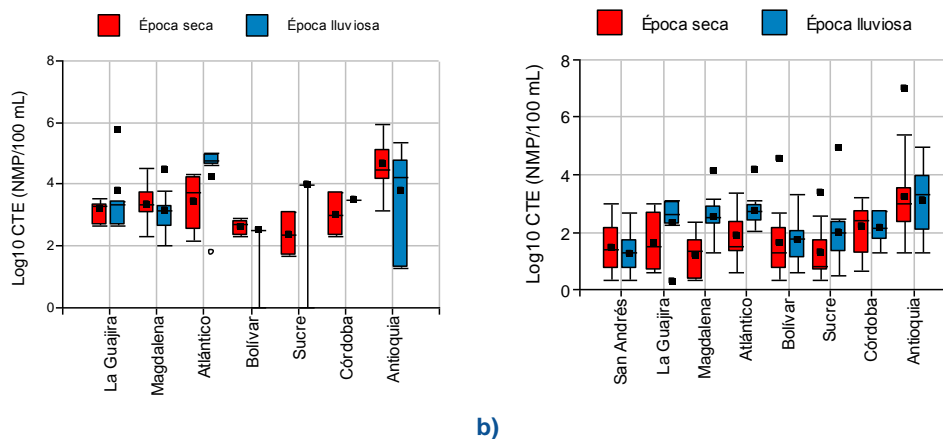


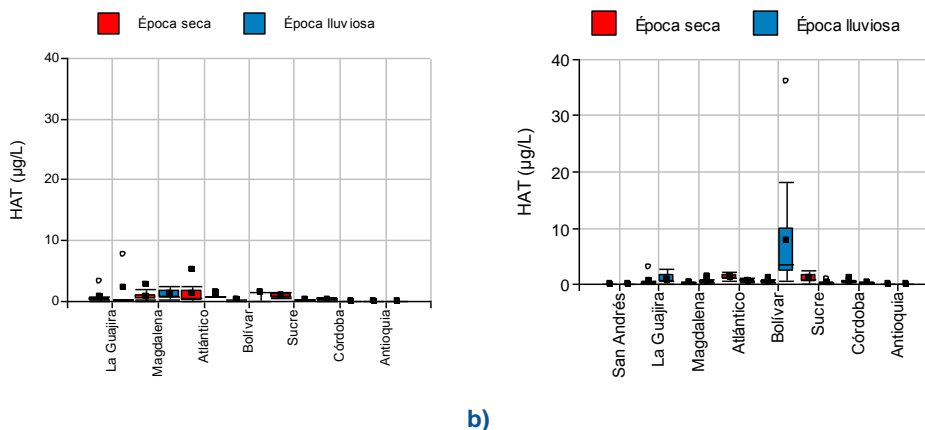
Figura 5.6. Logaritmo en base 10 de coliformes totales (CTT) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina -estuarina (b) de los departamentos de la costa Caribe colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

En cuanto a las coliformes termotolerantes (CTE), las concentraciones determinadas nos confirman que la contaminación por coliformes es de origen fecal. En las 273 muestras de agua en las que se midieron las CTE, el 48,7 % incumple con el límite permisible para el uso del recurso hídrico por contacto primario, de los cuales el 32,3 % son de tipo fluvial, principalmente del departamento de Antioquia (Figura 5.7a), el 34,6 % es estuarina y el 33,1 % es marina, la mayor contaminación microbiológica se presenta en Antioquia, seguido por Magdalena y Atlántico. Estos resultados están asociados a vertimientos de aguas residuales.



a) b)  
**Figura 5.7. Logaritmo en base 10 de coliformes termotolerantes (CTE) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina -estuarina (b) de los departamentos de la costa Caribe colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Los hidrocarburos aromáticos totales (HAT) son contaminantes comunes en las aguas fluviales (Figura 5.8a), estuarinas y marinas (Figura 5.8b), en las cuales se ha detectado su presencia en todos los departamentos costeros del Caribe, por el uso de combustibles en actividades de turismo, tráfico de embarcaciones, operación portuaria, carga y descarga de petróleo, derrames accidentales, aguas residuales domésticas, entre otros. Se destaca Bolívar por presentar las mayores concentraciones, que incluso superan el valor de referencia de 10 µg/L de [UNESCO \(1984\)](#).



a) b)  
**Figura 5.8. Hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina -estuarina (b) de los departamentos de la costa Caribe colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

## **6. CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA COSTA CARIBE**



**Muelle en ciénaga Mallorquín, Atlántico. Foto: Paola Obando**



# San Andrés, Providencia y Santa Catalina



Rocky Cay, San Andrés. Foto: Paola Obando

## **EQUIPO TÉCNICO CORALINA**

*Nacor Bolaños Cubillos - Coordinador Proyecto Áreas Marinas Protegidas y Proyecto Biodiversidad*

*Tomás Guerrero Jiménez – Coordinador Proyecto Recurso Hídrico*

*Cindy Fortune – Coordinador de laboratorio de Calidad Ambiental de Coralina*

*Gillean Taylor – Microbióloga laboratorio*

*Olga Queeman – Técnico de campo*





## 6.1 ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

El departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina es un conjunto de islas, cayos e islotes que se localizan sobre una plataforma volcánica del Caribe suroccidental, a unos 720 km del noroeste de la costa colombiana, en las coordenadas 12° 35' 37" y 14° 42' de latitud norte y 81° 40' 49" y 81° 43' 13" de longitud oeste, con una superficie aproximada de 52,5 km<sup>2</sup>, que incluye las dos islas principales que son San Andrés y Providencia y una serie de cayos ([Vargas, 2004](#)). San Andrés es una isla de origen coralino y no tiene flujos de agua dulce permanentes (escorrentía solo en época de lluvias), mientras que la isla de Providencia es de origen volcánico y tiene aportes más constantes de agua dulce hacia el mar, y se caracteriza por registrar temperaturas promedio anuales de 27,3 °C, y por estar influenciada por los vientos alisios que le otorgan un clima cálido semi-húmedo ([Vargas, 2004](#); [Gobernación del Archipiélago, 2014](#)).

En el Archipiélago la población humana al año 2015 se estimó en 76.442 habitantes ([DANE, 2015](#)) y la principal actividad productiva es el turismo, seguido de actividades económicas asociadas al comercio, la navegación, el buceo, y la agricultura y pesca de subsistencia ([Gobernación del Archipiélago, 2014](#)). La producción de residuos sólidos en los principales asentamientos suma 47,95 t/día, los cuales son dispuestos finalmente en los rellenos sanitarios Magic Garden en San Andrés y Blue Lizard en Providencia ([Superservicios, 2014a](#)). La disposición final de residuos sólidos y los vertimientos de aguas servidas son los factores que generan el mayor riesgo de deterioro ambiental de los ecosistemas marinos presentes en el Archipiélago ([INVEMAR, 2006](#)). Se han identificado cuatro formas de eliminación de las aguas residuales, como el sistema de alcantarillado, pozos sépticos, tuberías de conducción hacia el mar y en el terreno, sumado a que la red de alcantarillado sólo cubre el 30 % ([Proactiva, 2008](#)). Sin embargo, desde el 2008 se modificó la disposición de las aguas residuales con la puesta en operación del emisario submarino al noroccidente de la isla.

Las escorrentías terrestres juegan un papel importante en la calidad de las aguas marinas, sin embargo, en la isla de San Andrés no existen cursos permanentes de agua, sólo arroyos temporales asociados a la época de lluvias ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)). En las islas San Andrés y Providencia se ubica la red de 25 estaciones de monitoreo de la REDCAM (Figura 6.1), las cuales se encuentran distribuidas en sitios de importancia turística, ecológico y ambiental, en donde convergen ecosistemas marinos estratégicos como playas, manglares, corales, pastos marinos y actividades socioeconómicas que actúan como tensores ambientales y fuentes de contaminación al mar ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). Los muestreos fueron realizados por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA) en los meses de noviembre del 2014 (en adelante, época lluviosa 2014) y entre junio y julio del 2015 (en adelante, época seca 2015).

En este capítulo se presenta el diagnóstico actualizado del estado de la calidad de las aguas marinas del departamento del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina correspondiente al periodo entre la época lluviosa 2014 y seca 2015.

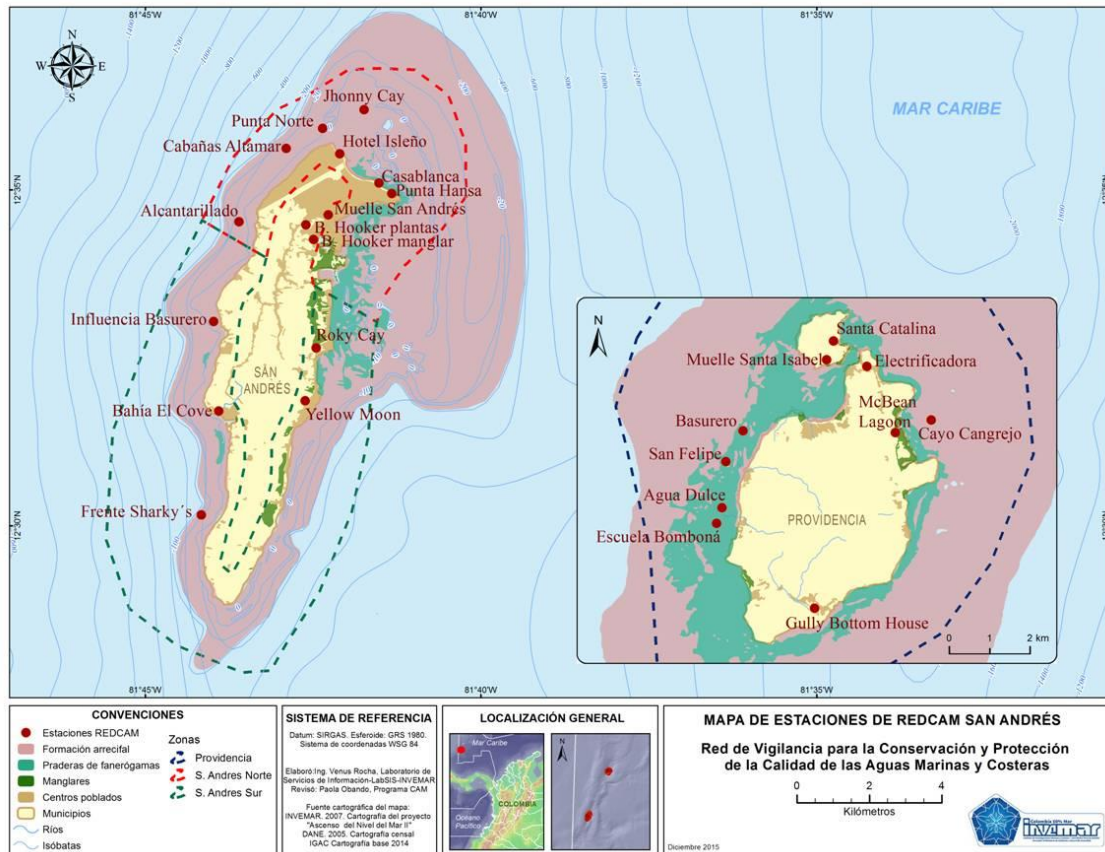


Figura 6.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

## 6.1.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

#### Variables fisicoquímicas

##### *In situ* y sólidos suspendidos totales (SST)

Las condiciones fisicoquímicas del agua superficial en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina fluctúan dependiendo de las condiciones ambientales predominantes, y del desarrollo de actividades socioeconómicas que generan residuos contaminantes (Vivas-Aguas *et al.*, 2015a). En las estaciones cabañas Altamar y punta Norte no se realizaron mediciones de las variables *in situ* en la época seca 2015. Durante las salidas de campo se registraron temperaturas del agua superficial entre 27,7 y 28,7 °C, que se relacionan con las horas en las que se realizaron las mediciones (6:00 a.m. a 3:25 p.m.); salinidades entre 35,5 y 36,9, con promedio de  $35,3 \pm 4,2$ , mostrando características de agua marina, con excepción de las estaciones ubicadas en la bahía Hooker (plantas y manglar), en las cuales se registró una salinidad promedio de  $15,5 \pm 0,2$  en la época lluviosa de 2014, mostrando un comportamiento estuarino (Figura 6.2), causado por los aportes de las precipitaciones y escorrentías.

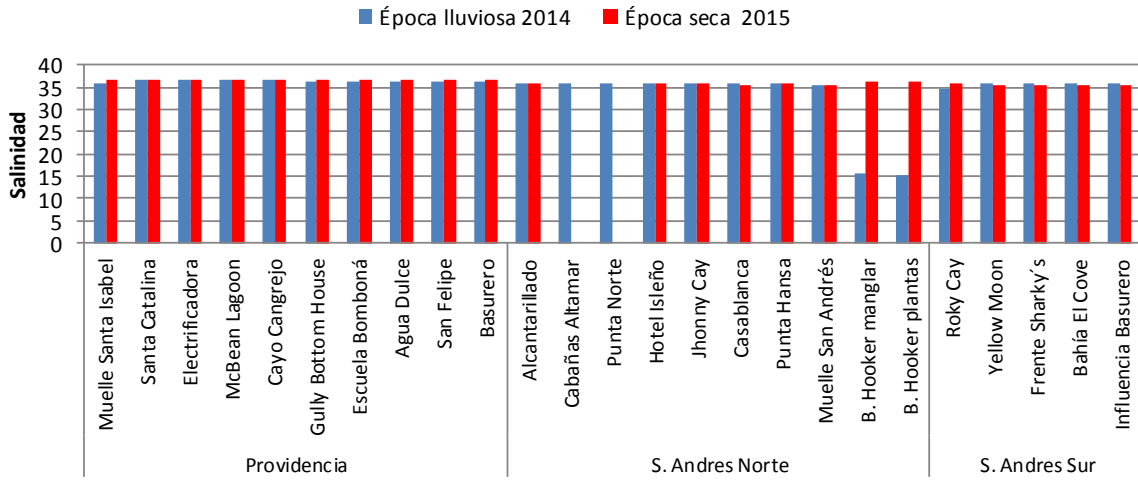


Figura 6.2. Valores de salinidad medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El oxígeno disuelto (OD) fluctuó entre 3,7 y 7,4 mg de O<sub>2</sub>/L (Figura 6.3), registrándose valores por debajo del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (>4,0 mg de O<sub>2</sub>/L; [MinSalud, 1984](#)) en las estaciones bahía Hooker manglar (3,7 mg de O<sub>2</sub>/L) en época seca de 2015 y bahía Hooker plantas (3,7 de O<sub>2</sub>/L) en ambas épocas climáticas. Este resultado se debe a la presencia de vertimientos de aguas residuales difusas, lo cual se ratifica por los contenidos de sólidos, nutrientes inorgánicos disueltos y microorganismos de origen fecal que se describen más adelante. Estos vertimientos tienen alto contenido de materia orgánica que aumenta la demanda bioquímica de oxígeno, reduciendo el OD a niveles bajos ([Manahan, 2007](#)), más aún en esta bahía por ser cerrada, con poco recambio de agua y alta influencia de manglares ([Gavio et al., 2010](#)).

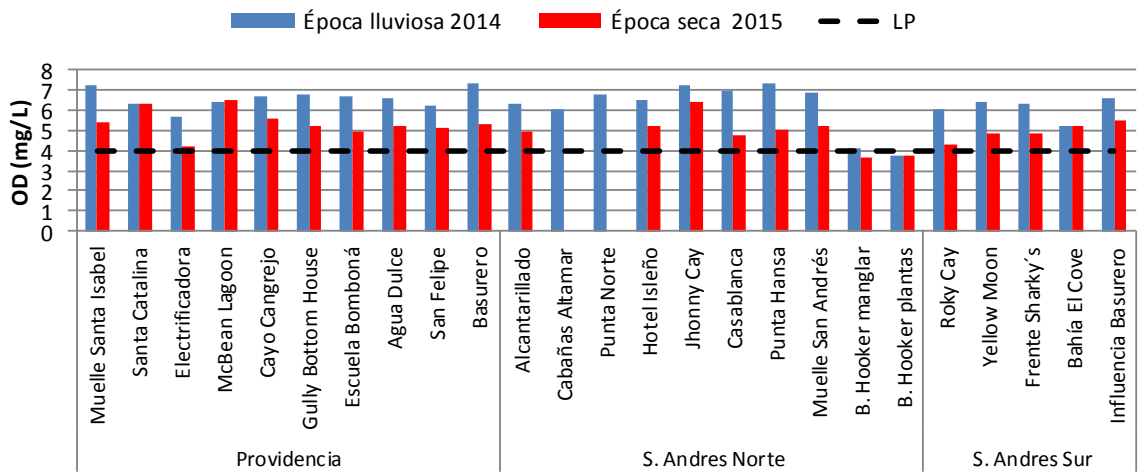
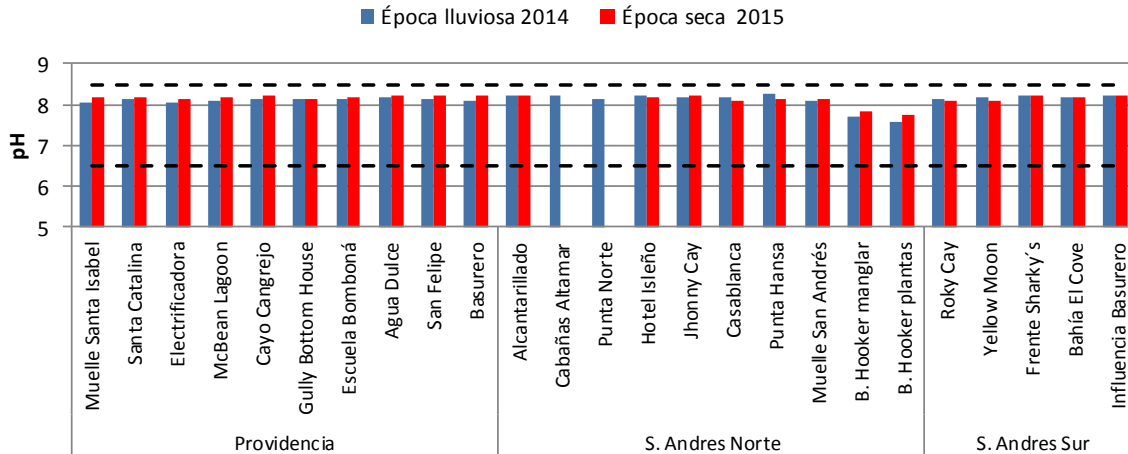


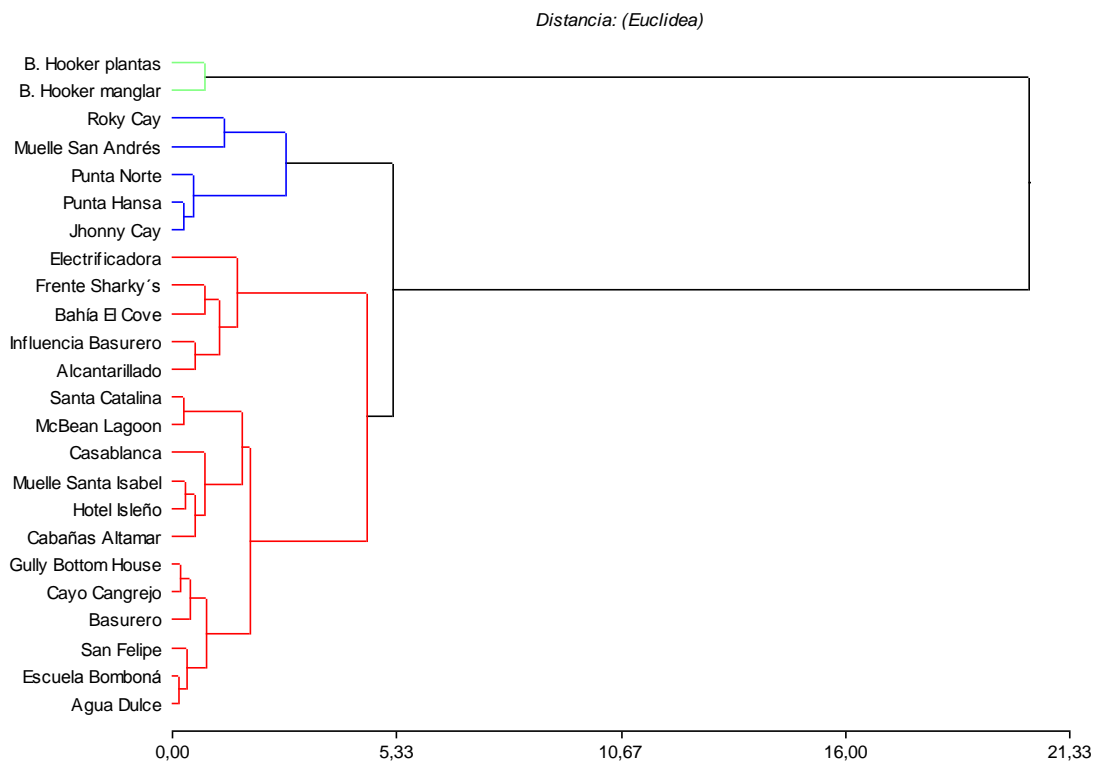
Figura 6.3. Concentración de oxígeno disuelto (OD) medido en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El pH fluctuó entre ligeramente básico (7,6-7,8) en las estaciones de la bahía Hooker y básico (8,1 - 8,3) en las demás estaciones; valores que se encontraron dentro del rango (6,5 – 8,5) del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas (Figura 6.4; [MinSalud, 1984](#)).



**Figura 6.4. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas negras punteadas indican el rango permisible para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas marinas y estuarinas ([MinSalud, 1984](#)).**

Con el fin de conocer la similitud de las estaciones, se realizó un análisis de conglomerado con los resultados de las variables temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto, medidas en el agua superficial durante las épocas lluviosa de 2014 y seca de 2015. El análisis de conglomerado separó las estaciones en dos grupos principales (Figura 6.5). El primer grupo que se diferencia por el color verde en el Dendrograma (Figura 6.5), lo conformaron las estaciones bahía Hooker plantas y bahía Hooker manglar, las cuales presentaron características estuarinas, con valores de salinidades, pH y oxígeno disuelto más bajos. El segundo grupo lo integraron las demás estaciones que presentaron salinidades altas y valores de pH básicos similares entre sí, sin embargo, las estaciones Roky Cay, muelle de San Andrés, punta Norte, punta Hansa y Jhonny Cay se separaron en un subgrupo aparte debido a que mostraron algunas diferencias en las concentraciones de oxígeno disuelto con respecto a las otras estaciones de su grupo (Figura 6.5).



**Figura 6.5. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas de color verde muestran las estaciones del primer grupo con características estuarinas, y las de color azul y rojo señalan las estaciones del segundo grupo con características marinas.**

Los sólidos suspendidos totales (SST), se registraron en un rango entre 1,0 y 7,0 mg de SST/L (Figura 6.6), concentraciones que no superaron el valor de referencia para efectos negativos sobre los procesos reproductivos en corales (50,0 mg de SST/L; [Fabricius, 2005](#)). Los valores más altos se presentaron al norte de la isla de San Andrés, principalmente en la bahía Hooker (manglar y plantas) en la época lluviosa de 2014. Estas estaciones están bajo la influencia del bosque de mangle del parque Old Point, los cuales aportan materia orgánica en forma de detritus, y sedimentos, sumado a posibles aportes por entrada de agua residual por fuentes difusas al sistema ([Gavio et al., 2010](#)). La Figura 6.6 muestra que las mayores concentraciones de SST se dieron en la época de lluvias de 2014.

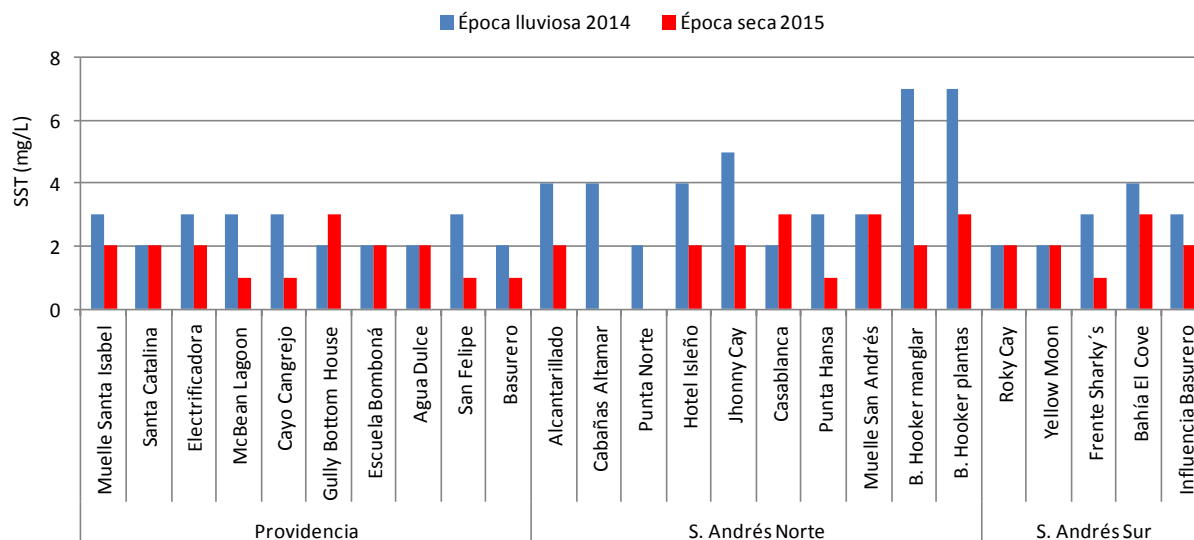


Figura 6.6. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente las concentraciones de SST (Figura 6.7) en la mayoría de las estaciones del archipiélago, han estado por debajo del valor de referencia para la preservación de corales (50 mg de SST/L; [Fabricius, 2005](#)), a excepción de la escuela Bomboná, en donde se registró puntualmente en el año 2009 un valor de 90 mg de SST/L, por influencia de vertimiento de aguas residuales (540 MNP de CTE/100 mL en el año 2009; [Troncoso et al., 2009](#)). En los años posteriores hasta la actualidad, los valores se han mantenido por debajo del valor de referencia para la preservación de corales.

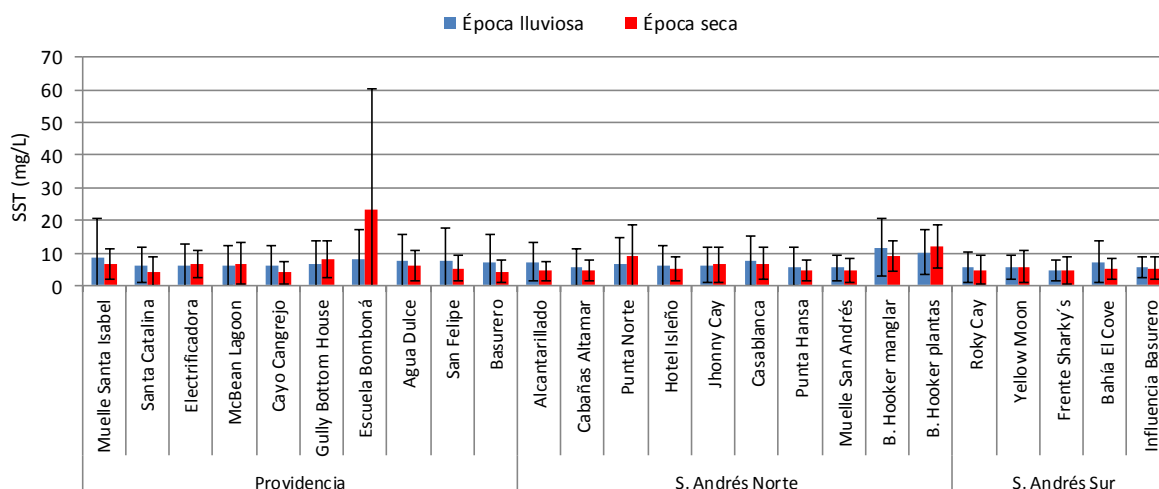


Figura 6.7. Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa y secas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

En la mayoría de las estaciones, en ambas épocas climáticas, las concentraciones de nitritos ( $\text{N-NO}_2^-$ ) presentaron valores menores al límite de detección del método utilizado en el laboratorio ambiental de CORALINA ( $2,0 \mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2^-/\text{L}$ ), con excepción de las estaciones influencia basurero ( $105 \mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2^-/\text{L}$ ) y las ubicadas en la bahía Hooker, en esta última se registraron valores de  $18,0 \mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2^-/\text{L}$  en bahía Hooker manglar y de  $20,0 \mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2^-/\text{L}$  bahía Hooker plantas, en la época lluviosa de 2014, valores que se pueden atribuir a la escorrentía de residuos domésticos y de pozos sépticos rebosados (CO-L1125, 2013), ya que estos iones son indicadores de contaminación por aguas residuales recientemente vertidas. También pueden provenir de la degradación del detritus de los manglares presentes en la zona, los cuales se descomponen y liberan al medio nutrientes nitrogenados que posteriormente son arrastrados al mar por su alta solubilidad (Yáñez *et al.*, 1998; Cárdenas y Sánchez, 2013).

Con respecto a los datos históricos (Figura 6.8), las estaciones cabañas Altamar, bahía Hooker (manglar y plantas), bahía El Cove e influencia Basurero, presentaron los promedios más elevados. Las concentraciones más altas en estas estaciones se registraron durante la época seca de 2014, las cuales oscilaron entre 72 y  $126 \mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2^-/\text{L}$ , evidenciando vertimientos de aguas residuales (Vivas-Aguas *et al.*, 2015a).

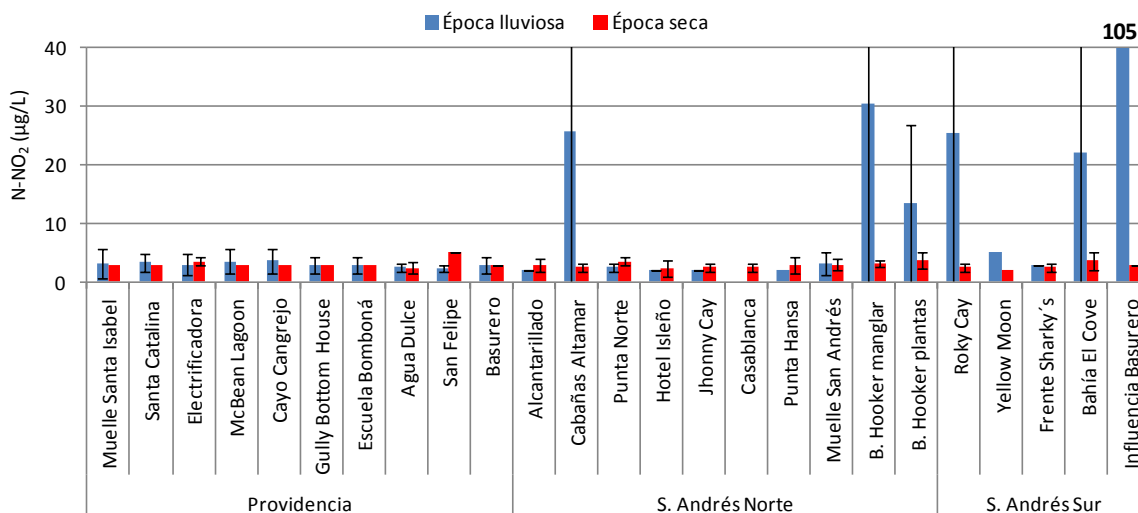


Figura 6.8. Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

Las concentraciones de nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) estuvieron entre  $4,0$  y  $114,0 \mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  (Figura 6.9). Las mayores concentraciones se registraron en época lluviosa 2014, en las estaciones influenciadas por vertimientos difusos, lixiviados y escorrentías, como el Alcantarillado, bahía Hooker (manglar y plantas), bahía El Cove, e influencia basurero (Gavio *et al.*, 2010). Estos aportes incrementan el contenido de materia orgánica, que al descomponerse se transforman en nitritos y nitratos durante el ciclo del nitrógeno (Cárdenas y Sánchez, 2013). En la zona de la isla de Providencia, las estaciones mostraron valores más elevados durante la época seca en comparación con la época lluviosa, situación que se ha presentado históricamente en las estaciones de esta isla (Figura 6.10).

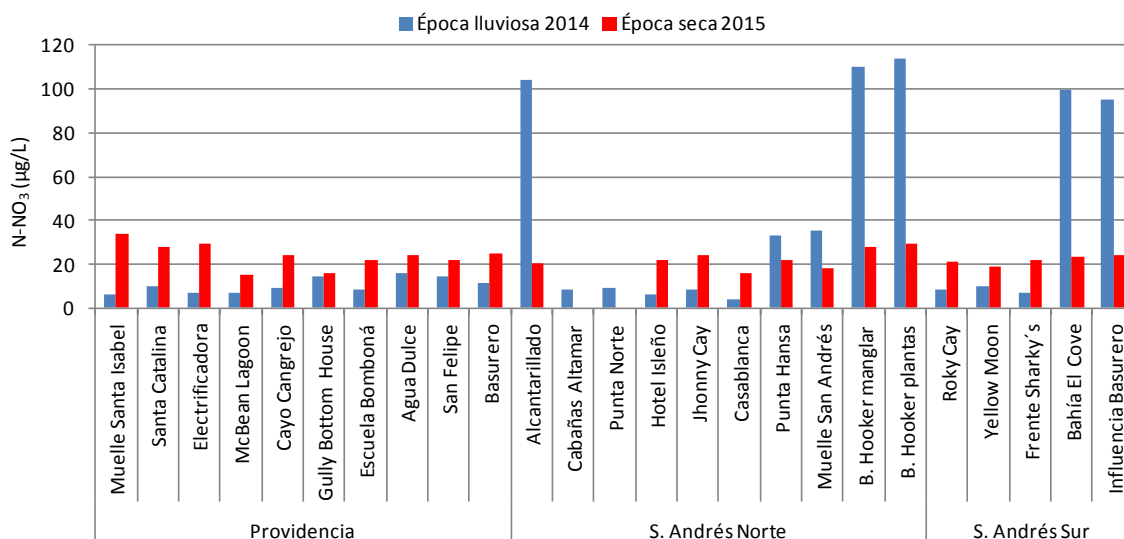


Figura 6.9. Concentraciones de Nitrato ( $N-NO_3$ ) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

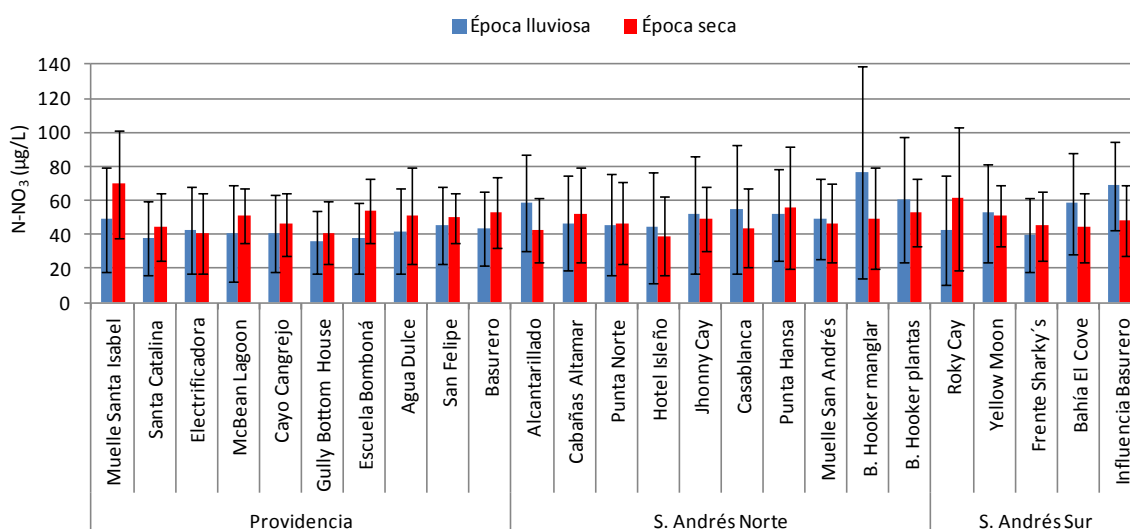


Figura 6.10. Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitrato ( $N-NO_3$ ) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

Las concentraciones de amonio ( $N-NH_4^+$ ) oscilaron entre 6,0 y 341  $\mu g$  de  $NH_4^+/L$ , presentándose las concentraciones más altas en las estaciones bahía Hooker manglar y plantas, durante la época lluviosa de 2014 (Figura 6.11). Para el periodo de estudio, se registraron valores mayores en la época seca, en comparación con la época lluviosa, principalmente en las estaciones de la isla Providencia. Históricamente los valores de amonio han sido mayores durante las épocas lluviosas (Figura 6.12).



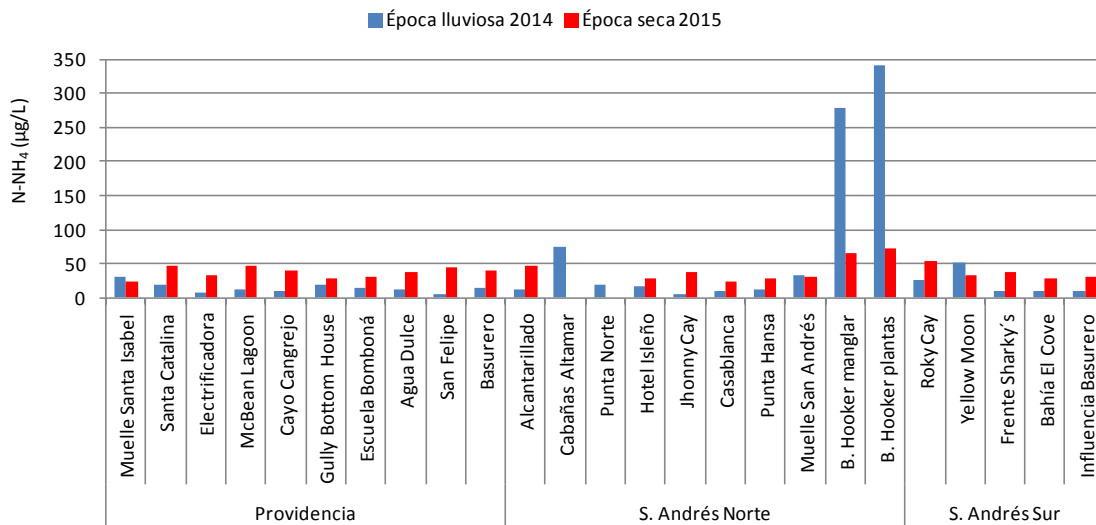


Figura 6.11 Concentraciones de Amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

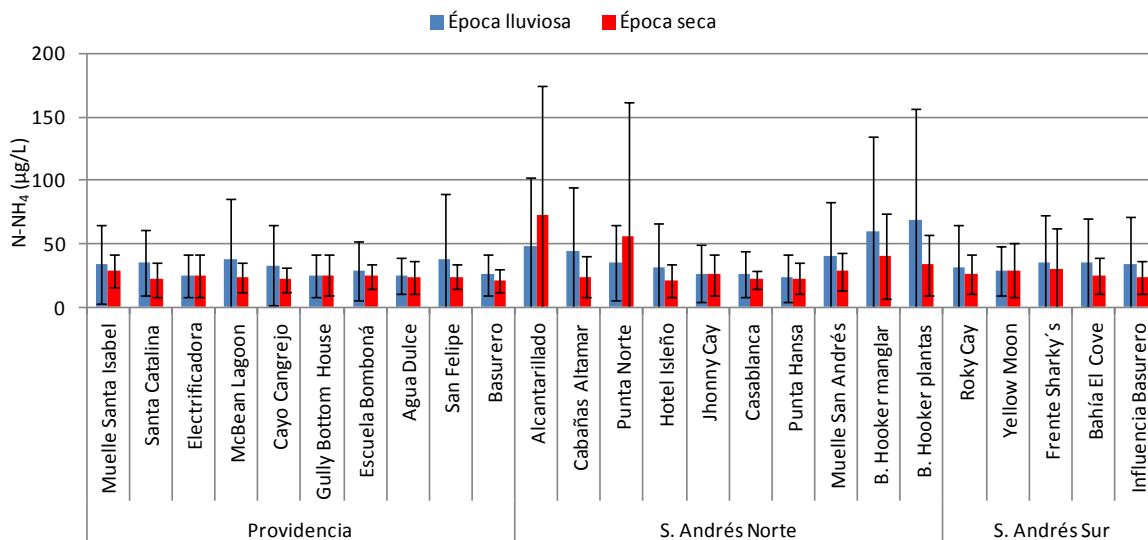
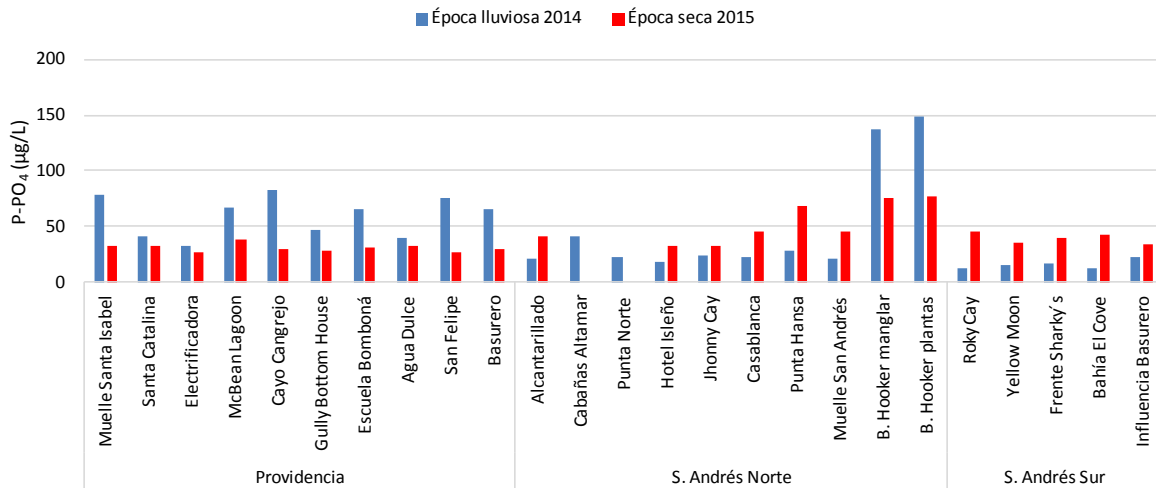


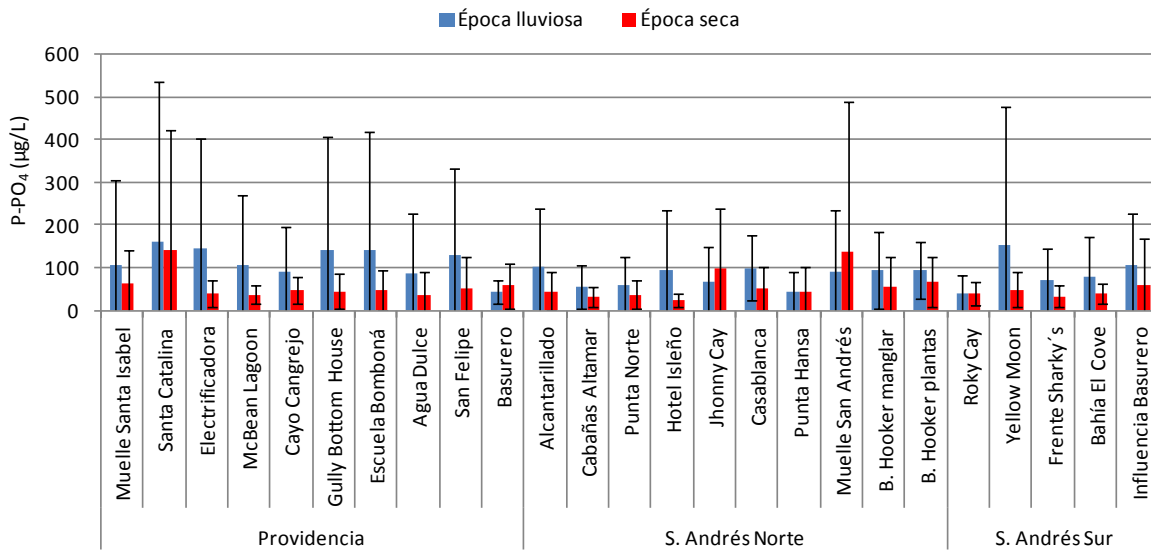
Figura 6.12 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

Con respecto a los ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), las estaciones bahía Hooker manglar y plantas se destacaron por presentar las mayores concentraciones, principalmente en época lluviosa (Figura 6.13), al igual que los otros nutrientes inorgánicos descritos anteriormente, los cuales se encuentran en concentraciones que favorecen florecimientos algales (Gavio *et al.*, 2010). Los datos históricos muestran que los ortofosfatos se mantuvieron dentro del rango de concentraciones anteriormente registradas en las tres zonas de monitoreo a excepción de la estación alcantarillado que presentó una gran disminución, posiblemente por su consumo por el fitoplancton para su nutrición, puesto que en esta zona, el fósforo ha sido identificado

como el nutriente limitante ([Gavio et al., 2010](#)). En las estaciones bahía Hooker manglar y bahía Hooker plantas, por el contrario, presentaron un aumento significativo en el periodo de estudio por el aumento en los vertimientos de aguas residuales (Figura 6.14).



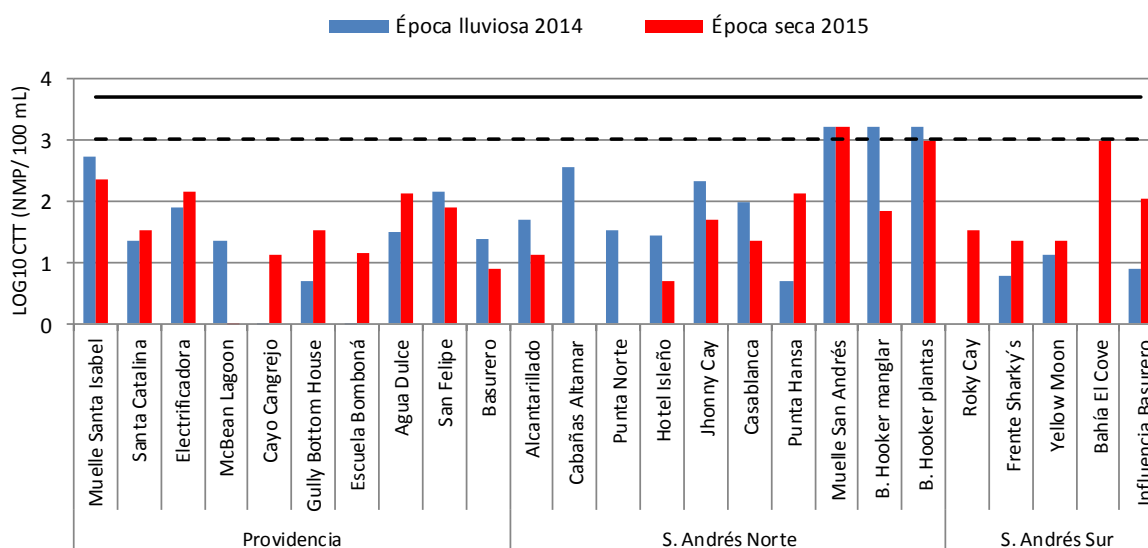
**Figura 6.13 Concentraciones de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**



**Figura 6.14 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.**

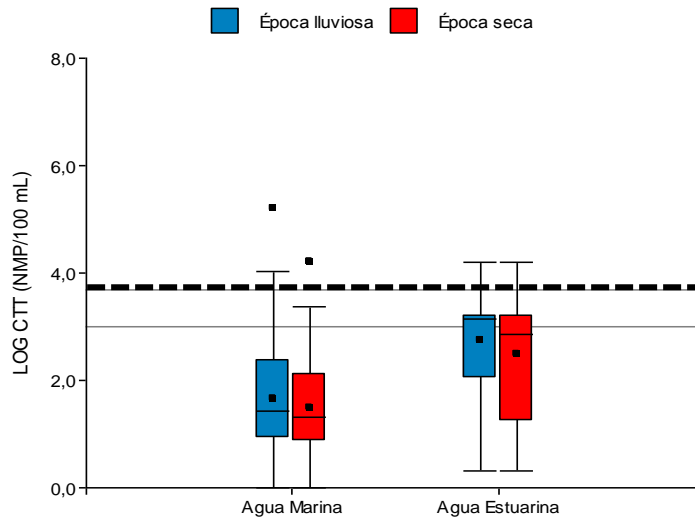
### Contaminación Microbiológica

La calidad microbiológica de las aguas marino-costeras del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, se evaluó a partir de las mediciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE). Los CTT medidos en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015 (Figura 6.15), mostraron que no hubo diferencias significativas entre las mediciones anuales ( $p=0,76$ ). La gran mayoría de las mediciones se encontraron por debajo de los límites permisibles para el uso recreativo por contacto primario de 1.000 NMP de CTT/100 mL y contacto secundario 5.000 NMP de CTT/100 mL, establecidos por la norma nacional ([MinSalud, 1984](#)), con excepción de las estaciones ubicadas en bahía Hooker, muelle de San Andrés y bahía El Cove, las cuales superaron el valor permisible para contacto primario. Este resultado se asocia con los vertimientos de aguas residuales por rebosamiento de pozas séptica durante las épocas lluviosas ([Proactiva, 2008](#); [CO-L1125, 2013](#)).



**Figura 6.15. Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada corresponde al límite de contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea continua es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7).**

En cuanto a los registros históricos, los CTT se agruparon según el tipo de agua y temporadas climáticas (lluviosas y secas; Figura 6.16). Las estaciones estuarinas ubicadas en la bahía Hooker, han presentado valores por encima del límite de contacto primario, y han sobrepasado ambos límites sin diferencias significativas entre épocas climáticas ( $p=0,40$ ), lo cual se sustenta con la identificación de vertimientos directos de aguas residuales del sector El Bight. Las estaciones marinas en general se han mantenido por debajo de los límites para uso recreativo, sin embargo se encontraron algunos resultados atípicos, como la estación alcantarillado que en la época lluviosa del 2010 presentó el valor más alto registrado históricamente de 160.000 NMP de CTT/100 mL ( $\text{LOG}_{10}=5,2$ ) ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)). Esta estación se ubica en la zona de descarga del emisario submarino de San Andrés, donde se vierten aguas residuales domésticas recolectadas por el sistema de alcantarillado de la zona norte de la isla ([Proactiva, 2008](#)); y las estaciones Jhonny Cay, muelle San Andrés y bahía El Cove en la época seca del 2001 (16.000 NMP/100 mL;  $\text{Log}_{10}=4,2$ ), igualmente relacionados con fuentes de vertimientos directos de aguas residuales al mar.



**Figura 6.16. Variación histórica de coliformes totales (CTT) en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina por tipo de agua en las épocas climáticas. La línea negro continua corresponde al límite de contacto primario (LPS): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea punteada es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7).**

Los resultados de coliformes termotolerantes (CTE) y de enterococos fecales (EFE), se muestran en la Tabla 6.1. En cuanto a las CTE, ninguna de las estaciones de Providencia sobrepasó el límite permisible de contacto primario (200 NMP de CTE/100 mL; [MinSalud, 1984](#)), pero se presentaron elevadas concentraciones de EFE en las estaciones muelle Santa Isabel en Santa Catalina, y la escuela Bomboná y Agua Dulce en Providencia, en la época seca de 2015, microorganismos que también son indicadores de contaminación fecal ([OMS, 2003](#)). En el muelle Santa Isabel, la alta concentración de EFE se asocia a vertimientos de agua residuales que se realizan en este sector ([Gavio et al., 2010](#)). En las estaciones ubicadas en la zona de Agua Dulce, se registraron valores que pueden presentar un riesgo moderado entre 1 y 5 % de contraer una infección gastrointestinal ([OMS, 2003](#)), lo cual se asocia a descargas por algunas quebradas y arroyos temporales que pueden traer consigo desechos generados por la actividad ganadera que se realiza tierra adentro ([CORALINA, 2007](#)).

Para las estaciones ubicadas en sitios donde se desarrollan actividades recreativas por contacto primario como natación y buceo en San Andrés, los valores de CTE se encontraron por debajo de los límites permisibles (<200 NMP de CTE/100 mL; Tabla 6.1). Las estaciones que presentaron las concentraciones más altas de CTE fueron las mismas que incumplieron los valores de CTT (bahía Hooker, muelle San Andrés y bahía El Cove). En cuanto a los resultados de enterococos fecales en las estaciones de uso turístico, donde se pueden desarrollar actividades de baño o buceo, se resaltan los valores de Jhonny Cay y Casablanca, los cuales pueden representar un riesgo moderado (1 y 5 % riesgo contraer enfermedades gastrointestinales) a los usuarios que realizan actividades de baño y buceo ([OMS, 2003](#)). Este resultado se puede atribuir a la alta afluencia de visitantes a la zona en el periodo evaluado.

Tabla 6.1 Concentración de coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) medidos en las aguas superficiales en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Estación	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)			Enterococos fecales (UFC/100 mL)	
	Lluviosa 2014	Seca 2015	Histórico <sup>1</sup>	Lluviosa 2014	Seca 2015
Muelle Santa Isabel	2	49	2 – 1.600	<LD	<b>1.200</b>
Santa Catalina	<LD	11	<LD – 1.600	<LD	<LD
Electrificadora	2	2	<LD – 1.600	<LD	<LD
McBean Lagoon	5	<LD	<LD - 80	<LD	<LD
Cayo Cangrejo	<LD	5	<LD - 27	<LD	<LD
Gully Bottom House	2	23	2 – 1.600	<LD	<LD
Escuela Bomboná	<LD	7	2 - 350	<LD	<b>170</b>
Agua Dulce	5	130	2 - 900	<LD	<b>190</b>
San Felipe	<LD	33	2 – 1.600	<LD	<LD
Basurero	2	<LD	<LD - 80	<LD	<LD
B. Hooker manglar	170	4	2 – 5.400	<b>180</b>	<LD
B. Hooker plantas	920*	130	2 – 11.000	<b>3.000</b>	<b>150</b>
Alcantarillado	49	8	<LD – 11.000	<b>250</b>	<b>63</b>
Cabañas Altamar	110	0	<LD - 540	<LD	ND
Punta Norte	8	0	2 – 11.000	<LD	ND
Hotel Isleño	2	<LD	<LD – 1.600	<LD	20
Jhonny Cay	140	11	2 - 940	<b>280</b>	<b>100</b>
Casablanca	13	5	<LD - 220	<LD	<b>310</b>
Punta Hansa	<LD	33	<LD - 90	<LD	<LD
Muelle San Andrés	430*	920*	2 – 5.400	<LD	<b>430</b>
Roky Cay	NM	23	<LD - 220	ND	<b>80</b>
Yellow Moon	<LD	<LD	<LD – 11.000	<LD	2
Frente Sharky´s	2	2	<LD - 240	<LD	<b>6.000</b>
Bahía El Cove	NM	920*	4 – 1.600	ND	<b>900</b>
Influencia Basurero	<LD	32	<LD - 280	<LD	<b>190</b>

<LD= Valores por debajo del límite de detección de la técnica para CTE (1,8 NMP/100 mL) y EFE (1 UFC/100 mL).

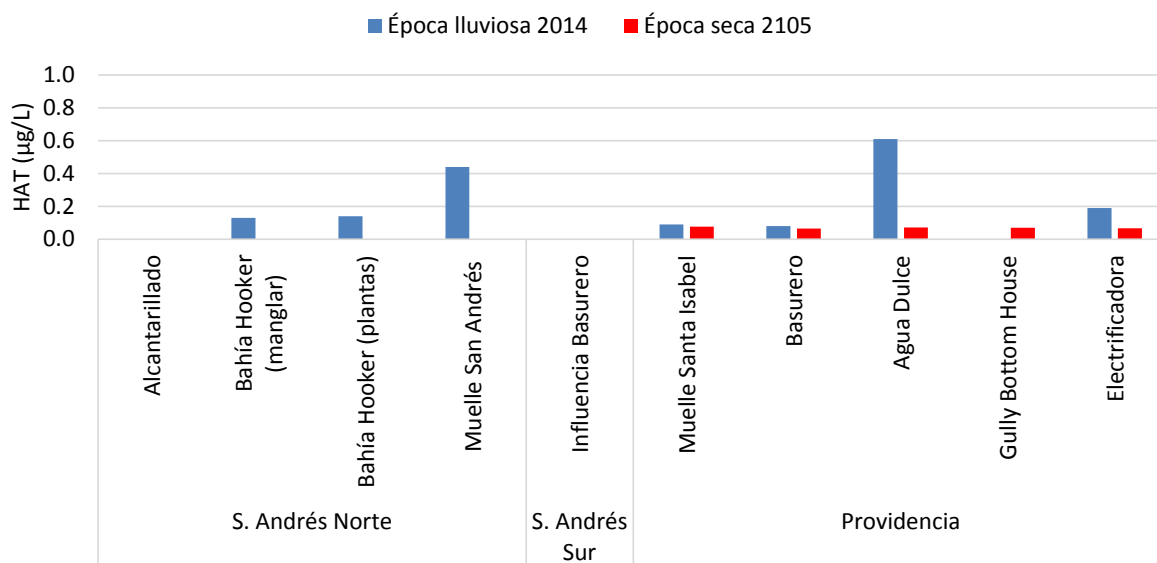
NM= No medido.

\* Valores que se encuentran por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

<sup>1</sup>Rango histórico (2002 – 2015) de CTE durante épocas lluviosas, registrados por la REDCAM ([INVEMAR, 2015a](#)).

### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Las concentraciones de HAT determinadas en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015 en las estaciones del departamento, no superaron el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas ([UNESCO, 1984](#)). Los valores más altos se registraron durante la época lluviosa 2014 en las estaciones Agua Dulce (0,61 µg/L) y muelle San Andrés (0,44 µg/L; Figura 6.17), asociados a la actividad portuaria y transporte de embarcaciones.



**Figura 6.17. Concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Los registros históricos de HAT medidos desde el 2001 al 2015, mostraron que las concentraciones promedio más altas se han registrado en las épocas de lluvias, principalmente por las escorrentías de aguas de lluvia, vertimientos de aguas residuales, y a la actividad portuaria y turística. En el 2002 se registraron concentraciones superiores al valor de referencia en la bahía Hooker (plantas; 25,17 µg/L), muelle San Andrés (17,02 µg/L), bahía Hooker (manglar; 13,92 µg/L) y bahía el Cove (15,38 µg/L), relacionado con la actividad portuaria y marítima desarrollados en las bahías ([INVEMAR, 2002b](#)).

### Plaguicidas

En las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina se cuenta con una escasa extensión de tierras disponibles para el desarrollo de actividades agrícolas. Dicha actividad se caracteriza por la producción de Yuca, Batata, Melón, patilla, Papaya, Ñame y Plátano, cuya oferta apenas puede cubrir las necesidades de la comunidad ([Botett y Lowy, 2009](#)). Adicionalmente, para el desarrollo de estas labores son aplicadas técnicas artesanales de cultivo donde es poco extendido el uso de productos fitosanitarios o plaguicidas.

Como consecuencia del escenario descrito anteriormente, se obtuvieron valores por debajo del límite de detección del método (6,0 ng/L) para todos los plaguicidas analizados en todas las estaciones monitoreadas durante las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Lo cual indica la ausencia de plaguicidas que puedan afectar el desarrollo de la vida en los ecosistemas acuáticos de las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

### Metales Pesados

Durante el muestreo realizado en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015 no se encontraron niveles de Cd, Cr y Cu que representen riesgo para la vida acuática en las aguas marino costeras del departamento, ya que las concentraciones de estos metales estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado en el LABCAM (Cd: 0,42 µg/L; Cr: 1,0 µg/L; Cu: 0,9 µg/L), valores que están muy por debajo de valores de referencia sugeridos en guías internacionales como la NOAA y CONAMA para efectos agudos sobre la biota (Cd: 40 µg/L, Cu: 4,8 µg/L, [Buchman, 2008](#); Cr: 50 µg/L [CONAMA, 2005](#)).

El Pb sólo se registró en la época lluviosa de 2014, en las estaciones bahía Hooker manglar (18,9 µg/L), bahía Hooker plantas (6,0 µg/L), El Cove (4,8 µg/L) y electrificadora (4,1 µg/L). Estos niveles no representan riesgo de contaminación debido a que están muy por debajo del valor de referencia establecido en la NOAA para efectos agudos (Pb: 210 µg/L, [Buchman, 2008](#)).

El Ni sólo se detectó en concentraciones ligeramente mayores al límite de detección del método utilizado en el LABCAM, en las estaciones muelle Santa Isabel (4,0 µg/L) y muelle San Andrés (2,1 µg/L) en la época lluviosa de 2014, valores que no superaron el valor de referencia para efectos agudos de la NOAA (Ni: 74 µg/L, [Buchman, 2008](#)).

El Zn sólo se detectó en la estación muelle San Andrés con un valor de 12,9 µg/L en la época seca de 2015, concentración que se encontró por debajo del valor de referencia para efectos agudos sugerido por NOAA para este metal (90,0 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

El Fe, fue el único metal que se presentó en la mayoría de las estaciones de muestreo (Figura 6.18). La concentración más alta se determinó en la estación El Cove con un valor de 199,4 µg/L. Sin embargo, en ninguna de las estaciones marinas la concentración de este metal superó el valor de referencia sugerido por la NOAA para efectos agudos sobre la biota acuática (300 µg/L, [Buchman, 2008](#)).

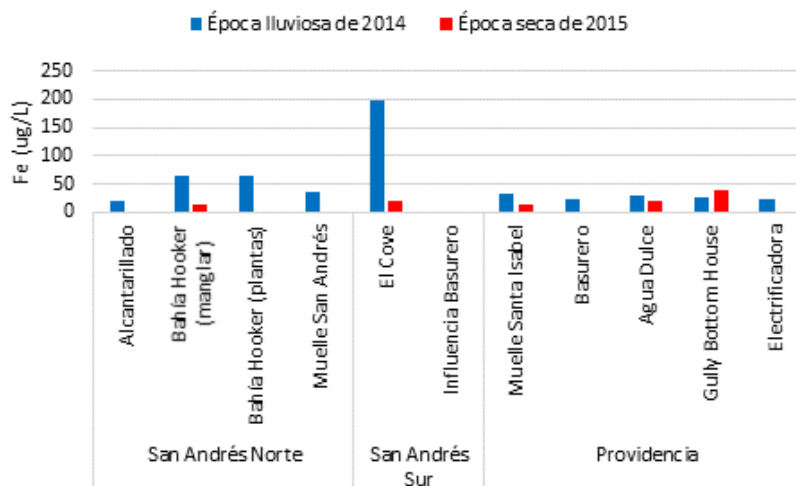


Figura 6.18. Concentraciones de Hierro disuelto en µg/L en las aguas marino costeras del departamento de San Andrés para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2014 y seca de 2015.

## Índice de calidad de las aguas

Los resultados del ICAM<sub>PF</sub> mostraron condiciones entre *Óptima* e *Inadecuada* de la calidad del agua, con fluctuaciones entre las épocas climáticas en algunas de las estaciones evaluadas (Figura 6.19). Durante la época lluviosa 2014, se presentó calidad *óptima* en la estación Yellow Moon; *aceptable* en las estaciones Influencia basurero, bahía Hooker Manglar, bahía Hooker Plantas, Cayo Cangrejo y San Felipe; e *Inadecuada* en la estación Alcantarillado, causada por la influencia antropogénica (vertimientos de aguas residuales y lixiviados). Mientras que en la época seca 2015, la mayoría de las estaciones presentaron calidad *Adecuada*, exceptuando bahía Hooker plantas, muelle San Andrés y Punta Hansa que tuvieron una calidad *Aceptable* debido a las altas concentraciones de nutrientes y bajos niveles de oxígeno disuelto.

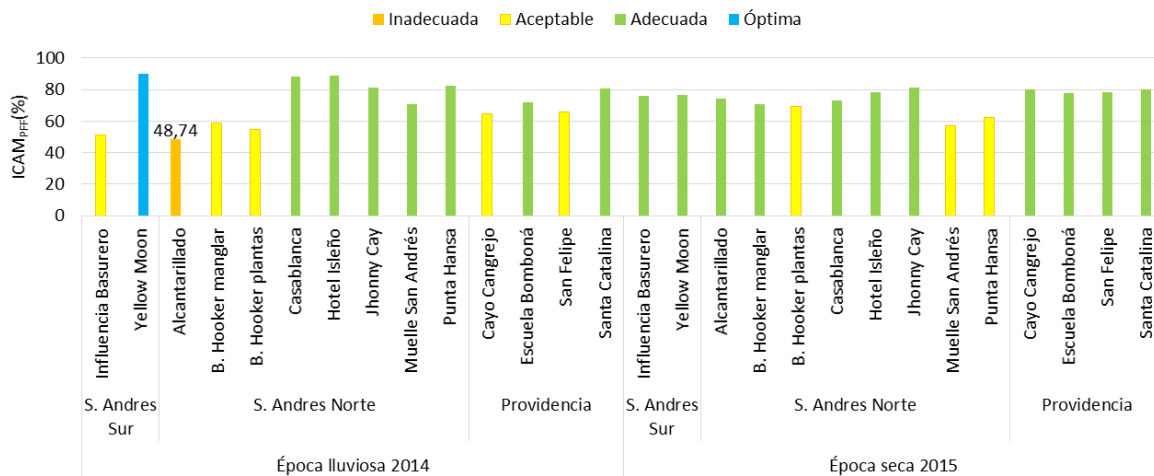


Figura 6.19. Calidad de las aguas marino-costeras del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, evaluadas con el índice de calidad de aguas para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PF</sub>), en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

### 6.1.2 CONCLUSIONES

Las aguas en el Archipiélago son de características marinas por su condición insular, no obstante durante la época de lluvias las aguas en la bahía Hooker presentan un comportamiento estuarino. En esta zona, la influencia del manglar y de posibles fuentes difusas de contaminación, afectaron la calidad del agua, determinada por bajas concentraciones de oxígeno disuelto, aumento de nutrientes e hidrocarburos, y condiciones microbiológicas inadecuadas, principalmente durante la época de lluvias.

En las estaciones netamente marinas, las condiciones microbiológicas se han mantenido en niveles adecuados históricamente, a excepción de casos puntuales en como el muelle Santa Isabel y la estación alcantarillado, cuya calidad es deficiente por los vertimientos de aguas residuales.

Las playas de uso recreativo, en su gran mayoría cumplen con los criterios de calidad establecidos para contacto primario, a excepción de bahía El Cove durante la época seca 2015. Si bien las aguas marinas en Providencia y Santa Catalina presentaron niveles de coliformes por debajo del valor establecido en la normativa nacional, durante ambos



muestreos, en el muelle de Santa Isabel, agua Dulce, y escuela Bomboná se encontró contaminación por enterococos fecales que representan un riesgo sanitario.

Las aguas del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, no tiene problemas de contaminación por compuestos orgánicos (hidrocarburos y plaguicidas), ni por metales, ya que las concentraciones registradas están por debajo de los valores de referencia establecidos en guías internacionales.

La evaluación de la calidad del agua con el ICAM<sub>PF</sub> mostró que la calidad del agua en zonas con mayor influencia antrópica como la bahía Hooker, influencia basurero, alcantarillado, muelles San Andrés y Santa Isabel, se ven afectadas negativamente por los vertimientos de aguas residuales y lixiviados, aumentando los nutrientes, microorganismos de origen fecal y disminuyendo niveles de oxígeno, principalmente en la bahía Hooker.



# La Guajira



Puerto Nuevo, La Guajira. Foto: Yadi Moreno

## **EQUIPO TÉCNICO CORPOGUAJIRA**

*Samuel Lanao Robles - Subdirector de Gestión Ambiental*

*Jaiker Gomez – Director técnico laboratorio*

*Lianis Charry Molina – Responsable Calidad Laboratorio*

*Deysi Galva Ayala – Química, Analista Laboratorio*



## 6.2 LA GUAJIRA

El departamento de La Guajira está situado en la parte septentrional de Colombia y del continente suramericano, limitando con el mar Caribe, entre los 10° 20' y 12° 30' de latitud norte y 71° 01' y 73° 41' de longitud oeste, con una superficie total de 20.848 km<sup>2</sup>, 1.458 km<sup>2</sup> de área costera y 789 km<sup>2</sup> de línea de costa desde el río Palomino hasta Punta Castilletes ([Posada y Henao, 2008](#); [Corpoguajira e Invemar, 2012](#)). La península de La Guajira tiene unas características climáticas y oceanográficas especiales por tener aguas cálidas poco profundas y con una orientación general de las corrientes en superficie de este a oeste ([Andrade, 2000](#)). En la época seca, el oleaje se dirige perpendicularmente a la línea de costa en dirección noroeste y en la época de lluvias se dirige de noreste a suroeste ([Javelaud, 1987](#)). Se caracteriza por un clima árido y semiárido, con temperatura promedio de 30,0 ± 2,0 °C y humedad relativa entre 80 y 90 % ([Posada y Henao, 2008](#)).

La población costera del departamento al año 2015 se estimó en 570.723 habitantes ([DANE, 2015](#)), distribuidos en los municipios de Uribia, Manaure, Riohacha y Dibulla, siendo Riohacha la más poblada (259.492 habitantes). En la zona costera de La Guajira se desarrollan diferentes actividades socioeconómicas como la explotación minera y de canteras, actividad portuaria, agricultura, ganadería, pesca, comercio y turismo ([AHN y PNUD, 2014](#)). La producción de residuos sólidos de los municipios costeros suma 156,02 t/día, dispuestos en celdas de contingencia, celdas transitorias, botaderos a cielo abierto y en el relleno sanitario de Manaure ([Superservicios, 2014a](#)). Se han identificado tres formas de disposición final de las aguas residuales, el sistema de alcantarillado, pozas sépticas y en el terreno. A la zona costera del departamento desembocan cuatro importantes ríos que son Cañas, Jerez, Palomino y Ranchería, los cuales circulan por áreas agrícolas, ganaderas y urbanas, constituyendo las principales vías de ingreso de contaminantes al mar Caribe en La Guajira.

Con el propósito de vigilar las fuentes de contaminación al mar para la conservación y protección del recurso hídrico marino-costero de La Guajira, y apoyar con información base sobre temas de calidad ambiental marina, para la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional de La Guajira (CORPOGUAJIRA), la REDCAM cuenta con 23 estaciones de muestreo vigentes, para evaluar la calidad del agua y de sedimentos en sitios estratégicos de importancia económico y ambiental. Estas estaciones se distribuyen en tres zonas: Alta Guajira que presenta lluvias escasas con valores menores a 500 mm/año, donde se encuentra el Cabo de la Vela, sitio de importancia turístico, bahía Portete en donde se desarrollan actividades portuarias para la exportación de carbón y la importación mercancías en los puertos Bolívar y Nuevo, y el municipio de Manaure. La zona Baja Guajira donde los vientos alisios transportan las nubes hacia el costado noreste de la Sierra Nevada de Santa Marta, convirtiéndola en la zona de mayor precipitación en el departamento, con valores que sobrepasan los 1.500 mm/año ([IGAC, 1996](#); [Andrade, 2000](#)), donde se desarrolla la mayor actividad agrícola y ganadera, y se hallan los ríos Palomino, Cañas y Jerez; las playas de Dibulla y Camarones, así como el área de influencia de Termoguajira. La zona de Riohacha con la mayor influencia urbana con estaciones de muestreo en el vertimiento de aguas residuales, el muelle, la parte baja, frente del río Ranchería, las playas Mayapo y Riohacha (Figura 6.20).

El presente informe incluye los resultados de la calidad de las aguas marinas y costeras registrados en los muestreos realizados por el Invemar y Corpoguajira los días del 04 al 06 de noviembre del 2014 (en adelante época lluviosa 2014) y los días del 13 al 15 de abril del 2015 (en adelante época seca 2015), en las tres zonas del departamento.

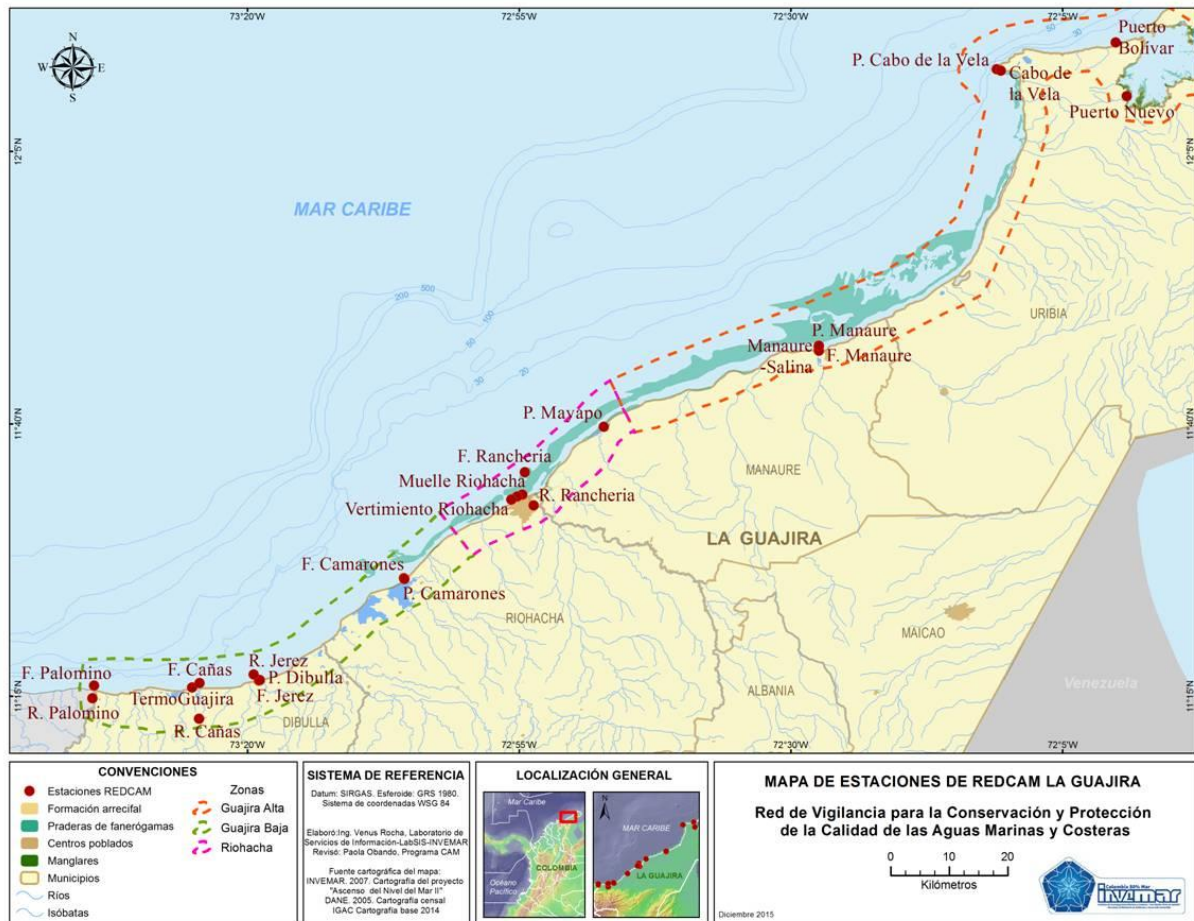


Figura 6.20. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de La Guajira.

## 6.2.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.2.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

#### Variables Fisicoquímicas

##### *In situ y Sólidos suspendidos totales*

La salinidad de las aguas superficiales en las estaciones de monitoreo oscilaron entre 0 y 0,3 en las estaciones de los ríos, y entre 9,7 y 38,1 en las estaciones de los frentes de los ríos, playas y otras estaciones marinas (Figura 6.21). De acuerdo a estos valores, se clasificaron las aguas en dulceacuícolas por presentar salinidades menores de 0,3 en ambas épocas climáticas, las cuales corresponden a los ríos Ranchería, Cañas, Jerez y Palomino; y aguas marinas por presentar salinidades alrededor de los  $35,74 \pm 4,58$ . La estación frente al río Palomino durante la época lluviosa de 2014 presentó una salinidad de 9,7 por la influencia del río, el cual aumenta su caudal en esta época climática, creando condiciones estuarinas.

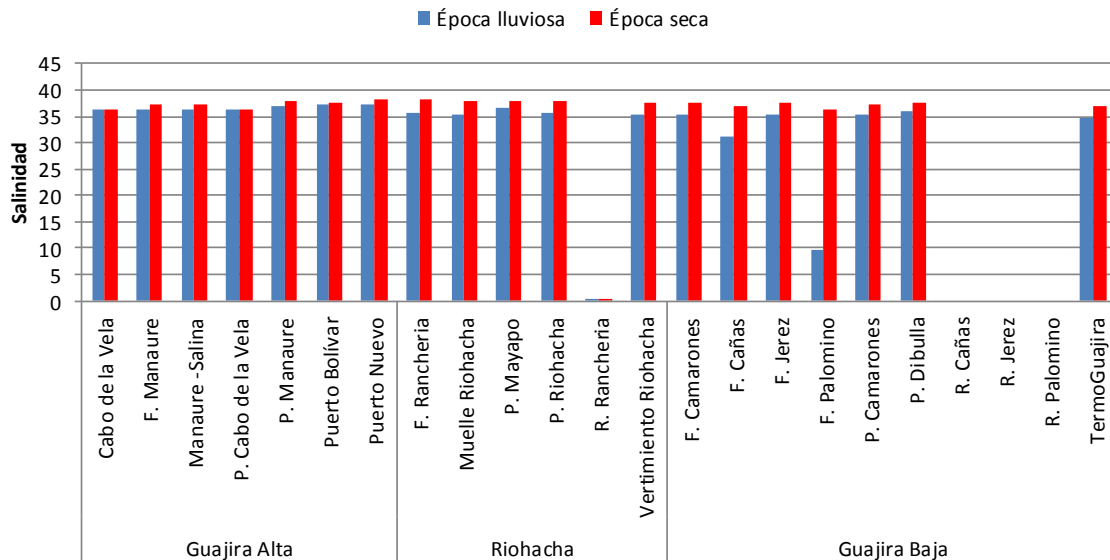


Figura 6.21. Valores de salinidad medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

La temperatura del agua en las estaciones se midió entre las 7:30 am y 12:30 pm en ambas épocas climáticas, y osciló entre 21,9 y 30,6 °C (Figura 6.22), encontrándose las aguas ligeramente más cálidas durante la época lluviosa de 2014 ( $28,40 \pm 2,26$  °C) en comparación con la época seca de 2015 ( $26,22 \pm 0,63$  °C). Las aguas superficiales de los ríos, presentaron temperaturas menos cálidas ( $25,90 \pm 1,66$  °C), en contraste con las aguas en los frentes de los ríos, playas y muelles ( $27,64 \pm 1,94$  °C).

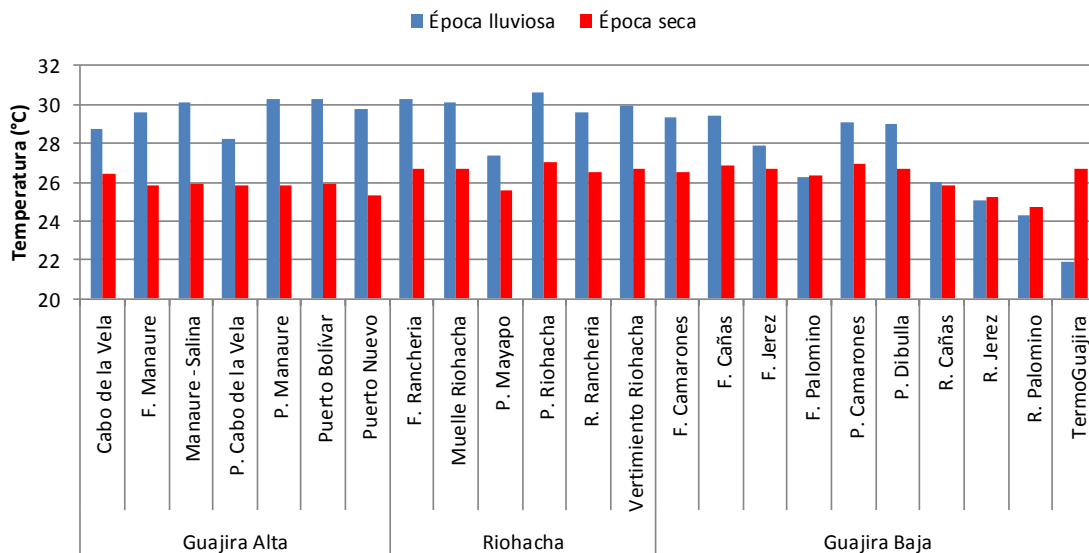
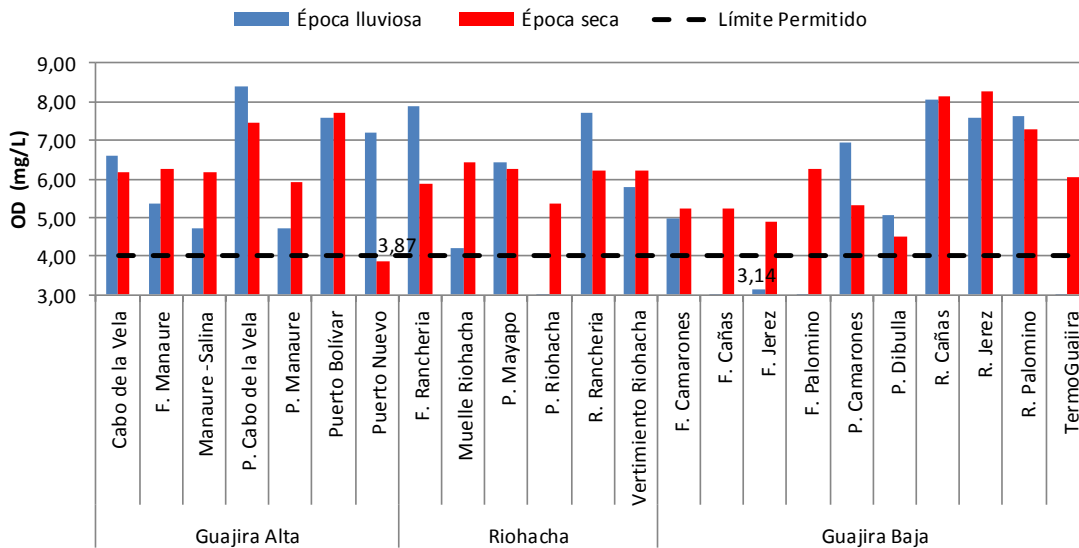


Figura 6.22. Temperatura del agua superficial (°C) medidos en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) oscilaron entre 1,0 y 8,38 mg de O<sub>2</sub>/L (Figura 6.23), encontrándose valores por debajo del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna acuática establecidas en el Decreto 1594 de 1984 (>4,0 mg/L; [MinSalud, 1984](#)) en las estaciones playa Riohacha en frente del hotel Arimaca (1,0 mg/L), frente al río Cañas (2,64 mg/L), Termoguajira (1,42 mg/L) y frente al río Jerez (3,14 mg/L) en la época lluviosa 2014 y estación puerto Nuevo (3,01 mg/L) en la época seca 2015; éstos resultados podrían deberse a vertimientos de aguas residuales.



**Figura 6.23. Concentración de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Los valores de pH estuvieron en un rango entre 6,3 y 8,7 (Figura 6.24). En los ríos el pH osciló entre 6,37 y 8,70, presentándose condiciones ligeramente acidas en la época lluviosa 2014 en los ríos Palomino (6,37), Cañas (6,43) y Jerez (6,43), mientras que en la época seca 2015 las aguas tuvieron condiciones de pH entre neutro y básico, valores que estuvieron dentro del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna acuática en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0; [MinSalud, 1984](#)). En las estaciones de los frentes de los ríos, playas y muelles, el pH fluctuó entre 7,45 y 8,41, encontrándose dentro del criterio de calidad para aguas cálidas marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; [MinSalud, 1984](#)).



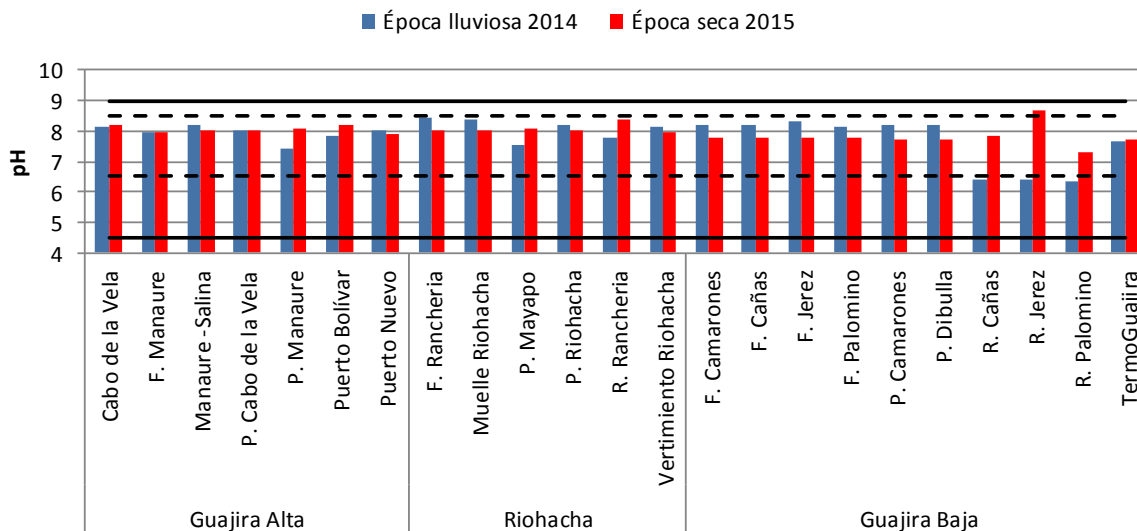
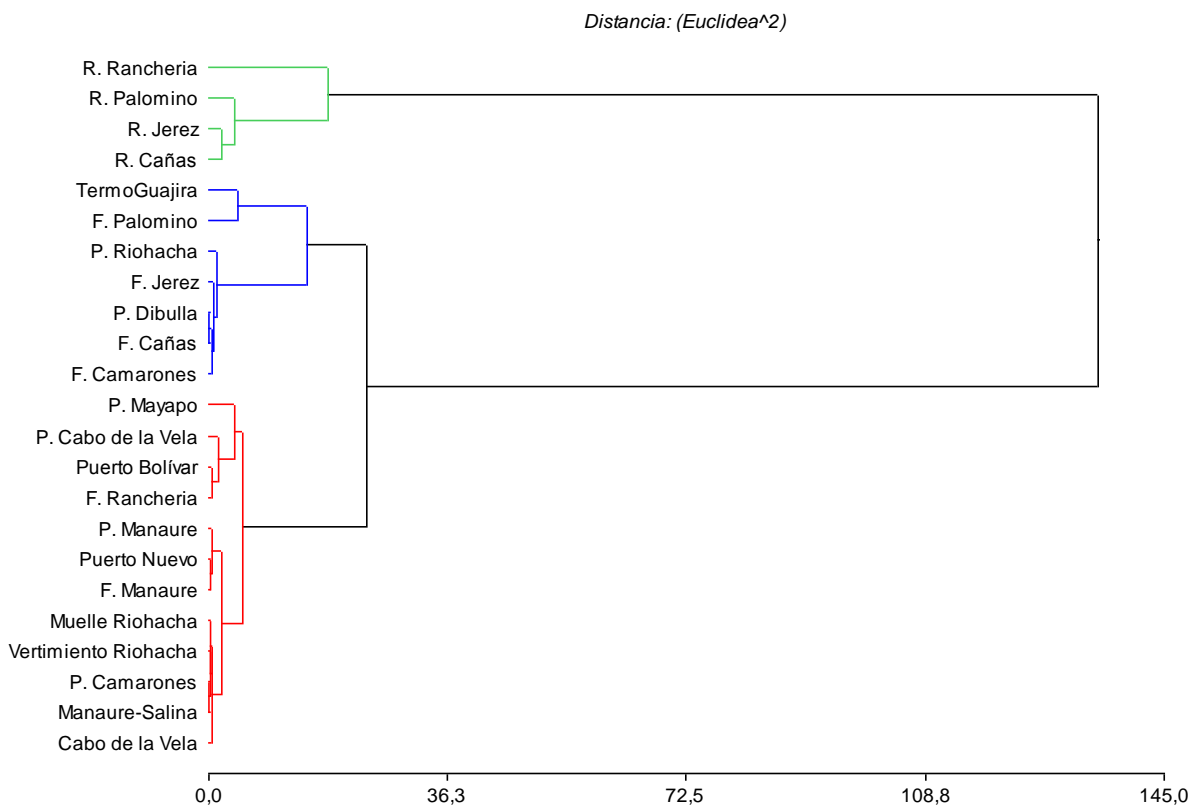


Figura 6.24. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas continuas de color negro señalan el rango permisible en aguas cálidas dulces, y las líneas punteadas indican el rango permisible para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas marinas y estuarinas (MinSalud, 1984).

Con el propósito de conocer la similitud entre las estaciones de muestreo de acuerdo con los resultados de las variables fisicoquímicas de salinidad, temperatura del agua, oxígeno disuelto y pH descritos, se realizó un análisis de conglomerados. Se logró agrupar las estaciones más similares entre si según el tipo de agua, siendo la salinidad la variable determinante en la agrupación (Figura 6.25). El primer grupo (señalado de color verde en el dendrograma) lo conformaron las estaciones de los ríos monitoreados, los cuales son de tipo dulceacuícola, con salinidades entre 0,0 y 0,3. El segundo grupo lo integraron estaciones de frentes de ríos, playas y puertos, las cuales presentaron salinidades altas, que corresponden a aguas de tipo marina y estuarinas. Este segundo grupo se subdividió en dos por las diferencias entre las concentraciones de oxígeno disuelto.



**Figura 6.25. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento La Guajira en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas de color verde muestran las estaciones del primer grupo con características dulceacuícola, y las de color azul y rojo señalan las estaciones del segundo grupo con características marinas y estuarinas.**

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 4,3 y 1.214 mg/L (Figura 6.26). En la zona Guajira Alta, la mayor concentración se registró en la playa Cabo de la Vela (362,0 mg/L) en la época seca 2015, posiblemente por la actividad turística que se desarrolla en esta playa. En la zona Riohacha, los valores más altos de SST se presentaron principalmente en la época lluviosa 2014 (Figura 6.26), con concentraciones que oscilaron entre 74,3 y 1.214,0 mg/L, notándose la influencia del río Ranchería y de los aportes de aguas residuales de las poblaciones aledañas como la ciudad de Riohacha ([Vivas-Aguas et al., 2012b](#)). En la zona Guajira Baja los SST se presentaron en mayor concentración durante la época seca 2015 (Figura 6.26), en las playas Dibulla (279,6 mg/L) y Camarones (221,5 mg/L), Termoguajira (221,0 mg/L) y frente del río Jerez (194,0 mg/L).

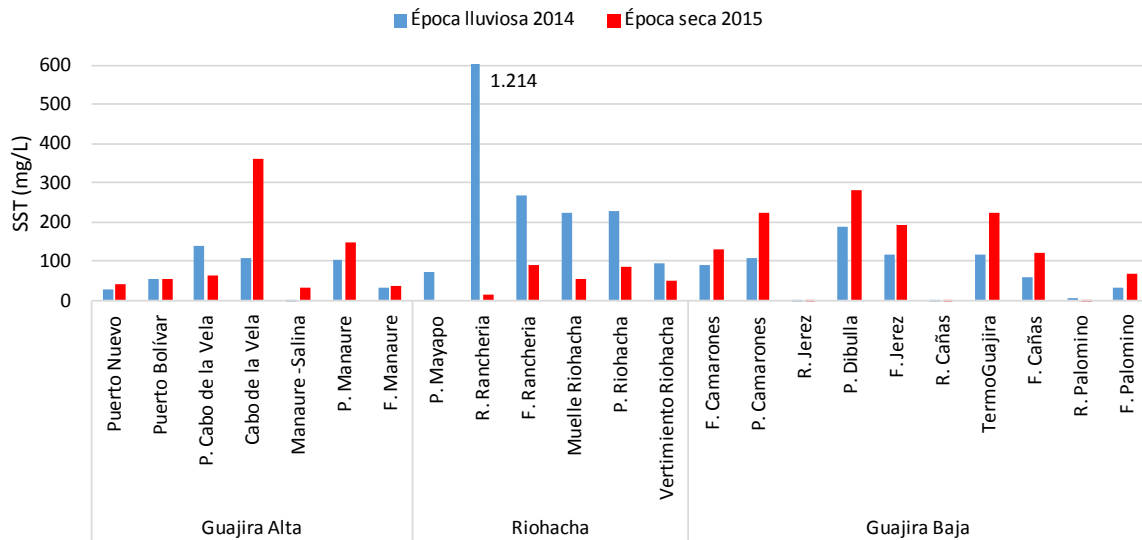


Figura 6.26 Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente la zona Riohacha ha presentado los mayores promedios de SST, tanto en la época seca, en playa Mayapo ( $189,75 \pm 147,98 \mu\text{g/L}$ ), como en la época lluviosa en el río Ranchería ( $255,10 \pm 342,56 \mu\text{g/L}$ ; Figura 6.27). Los altos valores de SST se deben a los vertimientos de aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha, y de otras poblaciones ribereñas, además de la aguas de escorrentía que arrastran limos, arena y minerales de arcilla en la época lluviosa (Beltrán y Rangel, 2012).

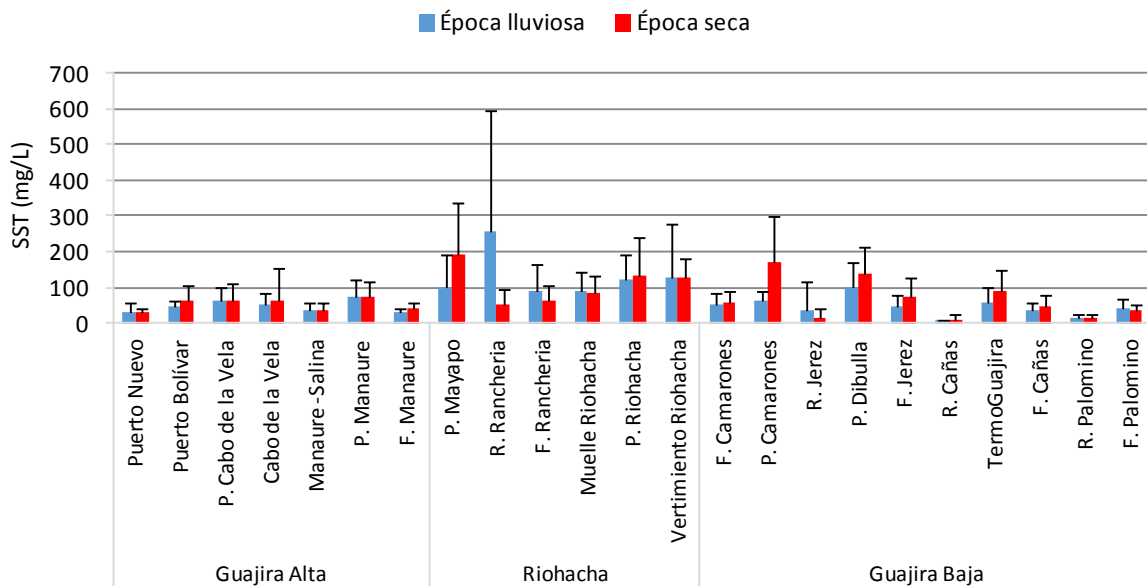
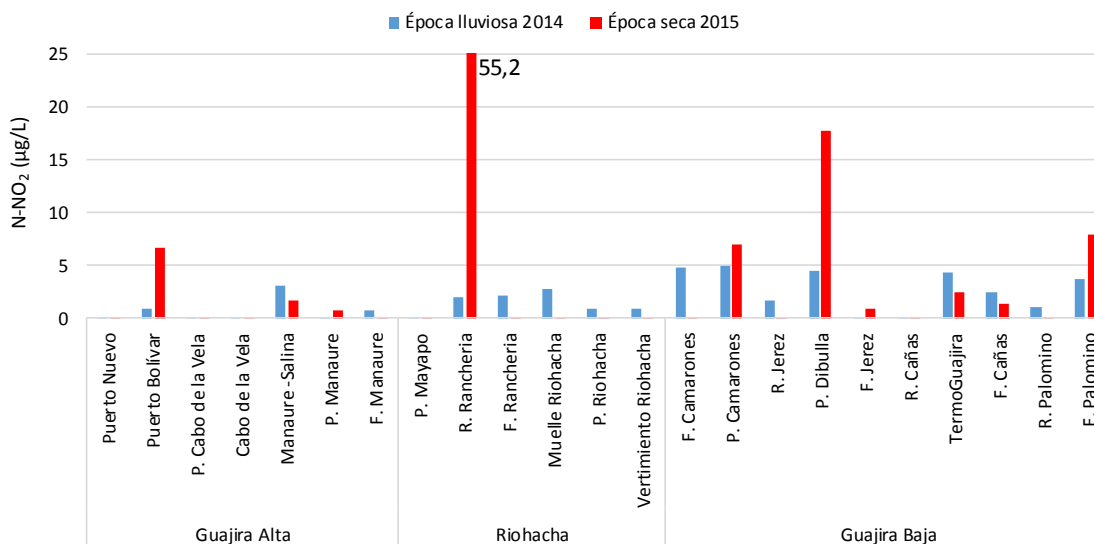


Figura 6.27 Promedio histórico (2001 - 2015) de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

Se evaluaron los nutrientes inorgánicos disueltos de interés ambiental como Nitritos ( $N-NO_2$ ), Nitratos ( $N-NO_3^-$ ), Amonio ( $N-NH_4^+$ ) y Ortofosfatos ( $P-PO_4^{3-}$ ). Los nitritos en las estaciones puerto Bolívar, río Ranchería, playa Camarones, playa Dibulla, y frente al río Palomino, fueron los más elevados en la época seca 2015 (Figura 6.28), evidenciando vertimientos recientes de aguas residuales. En la zona Guajira Baja, se presentaron los valores más altos de nitritos en un mayor número de estaciones, en comparación con las zonas Guajira Alta y Riohacha.



**Figura 6.28 Concentraciones de Nitrito ( $N-NO_2$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Históricamente los niveles de nitritos han tenido grandes fluctuaciones como lo indican las desviaciones estándar en la Figura 6.29. Las estaciones playa Camarones, frente a Camarones y río Ranchería se destacan por haber presentado los valores más altos durante las épocas secas, debido a la influencia de vertimientos de aguas residuales de las poblaciones cercanas.

Los nitratos oscilaron entre el límite de detección del método utilizado en el LABCAM (2,1) y 378,5 µg de  $NO_3^-/L$  (Figura 6.30). En la zona de Riohacha, se registraron las concentraciones más elevadas en las estaciones vertimiento Riohacha, río Ranchería durante la época lluviosa de 2014, este resultado evidencia la influencia de vertimientos de aguas residuales y escorrentías urbanas de la ciudad de Riohacha.

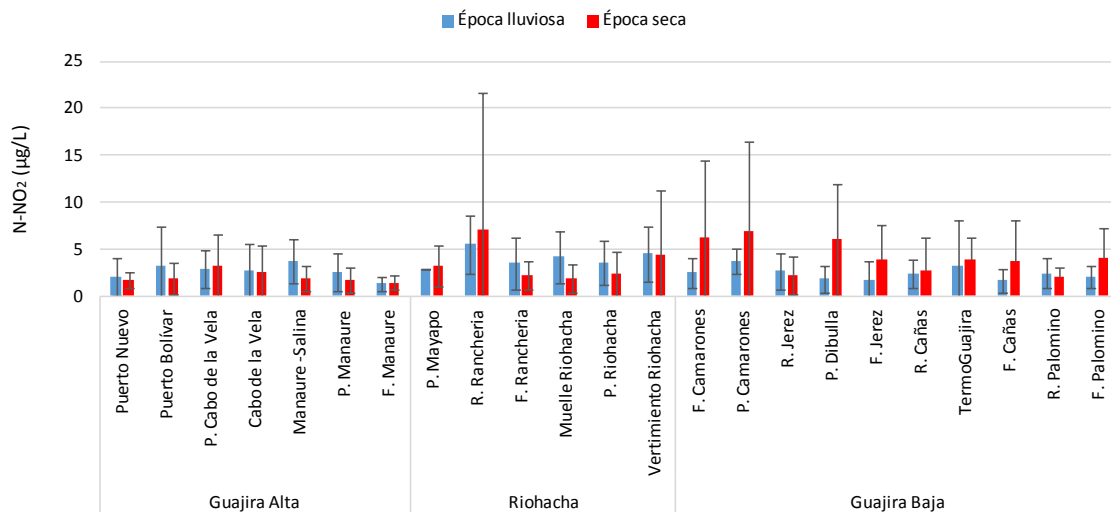


Figura 6.29 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitritos (N-NO<sub>2</sub>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

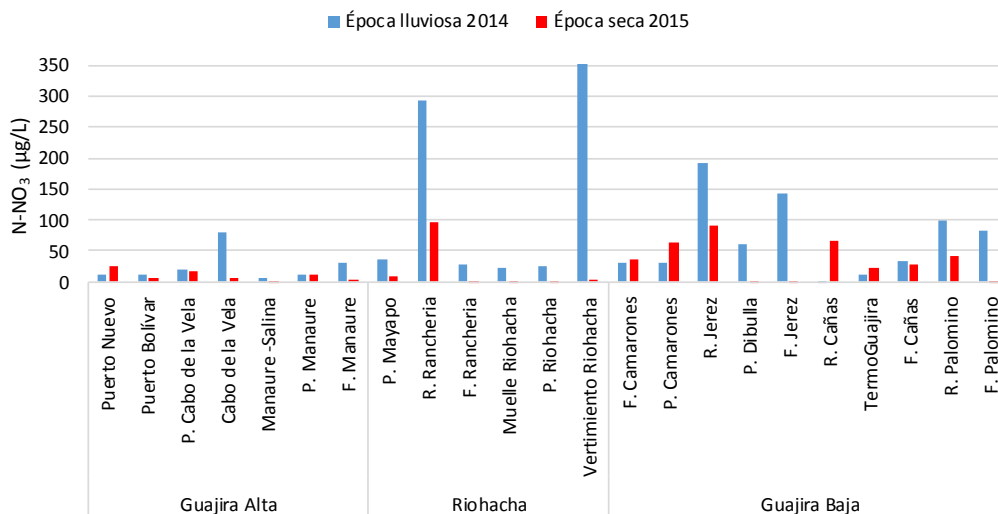


Figura 6.30. Concentraciones de Nitrato (N-NO<sub>3</sub>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente los nitratos en la zona de influencia del río Ranchería en Riohacha (estaciones río Ranchería, frente al río Ranchería, muelle Riohacha, playa Riohacha y vertimiento Riohacha) se han registrado las concentraciones más elevadas durante las épocas lluviosas (Figura 6.31). Las aguas del río Ranchería traen consigo además de las aguas residuales y escorrentías urbanas de la ciudad, alta carga orgánica, y nutrientes provenientes de tierras agrícolas en la cuenca alta. En la zona Guajira Baja, los ríos Palomino, Jerez y Caña han presentado altas concentraciones de nitratos en ambas épocas climáticas (Figura 6.31), debido a que en sus riberas se desarrollan actividades ganaderas y agrícolas, sumado a vertimientos de residuos líquidos y sólidos de las poblaciones aledañas, factores que son considerados fuentes de contaminación al mar.

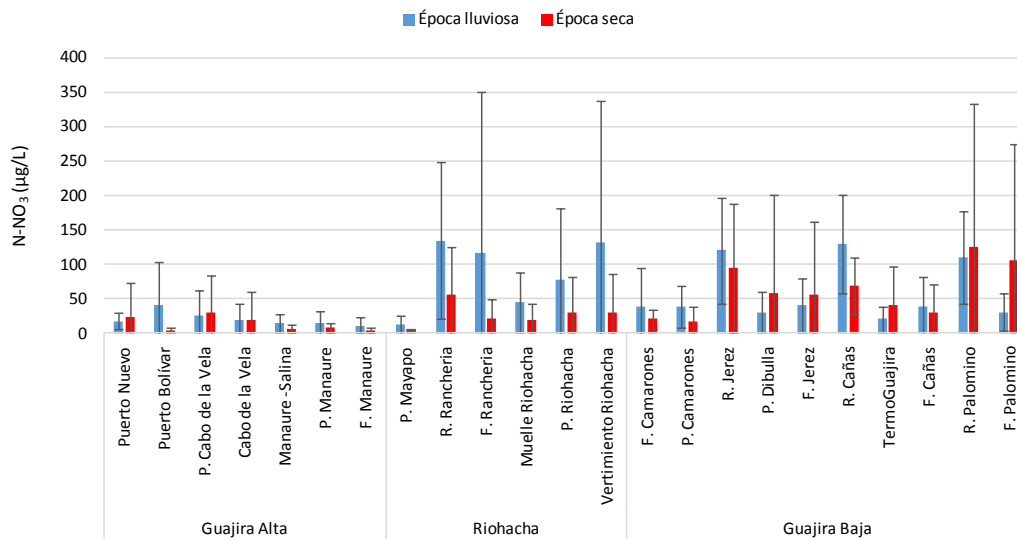


Figura 6.31 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitratos ( $N-NO_3$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

El amonio osciló entre el límite de detección (3,1) y 62,7  $\mu g$  de  $NH_4^+$ /L (Figura 6.32). La mayor concentración de amonio se registró en la época lluviosa 2014 en la mayoría de las estaciones, a excepción de los ríos Jerez, Cañas y Palomino, en los cuales se registraron las concentraciones más altas durante la época seca 2015, valores que se relacionan con las actividades socioeconómicas que se desarrollan en las riberas de estos ríos en la zona Guajira Baja, como ganadería y agricultura, sumado a vertimientos de aguas residuales de las poblaciones aledañas (Figura 6.32). Estas concentraciones de amonio, más las de nitratos y ortofosfatos favorece el crecimiento excesivo del fitoplancton que puede causar amplias variaciones del oxígeno disuelto durante el día (Davidson *et al.*, 2014).

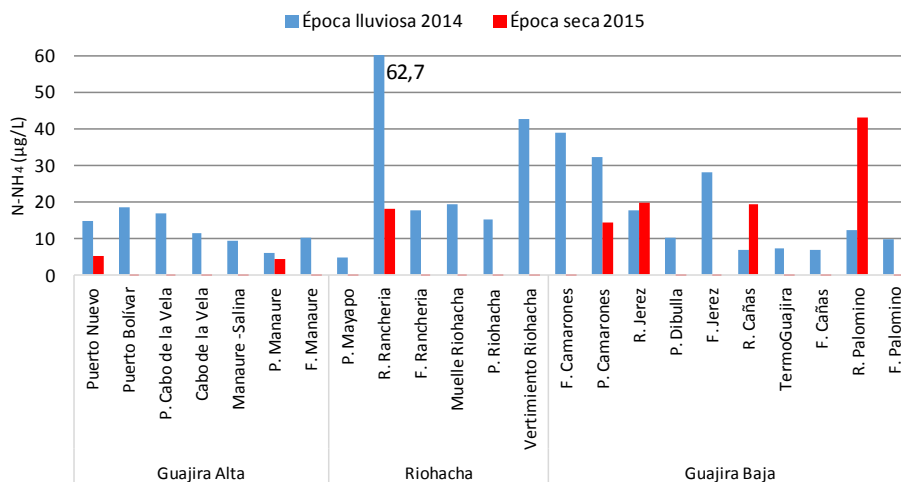


Figura 6.32 Concentraciones de Amonio ( $N-NH_4^+$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2014 y seca 2015.

Las mayores concentraciones de ortofosfatos se registraron en la estación río Ranchería en las dos épocas climáticas (Figura 6.33). Este resultado se atribuye al uso de detergentes, vertimientos de aguas residuales y escorrentías agrícolas, en los que es comúnmente utilizado el fósforo.

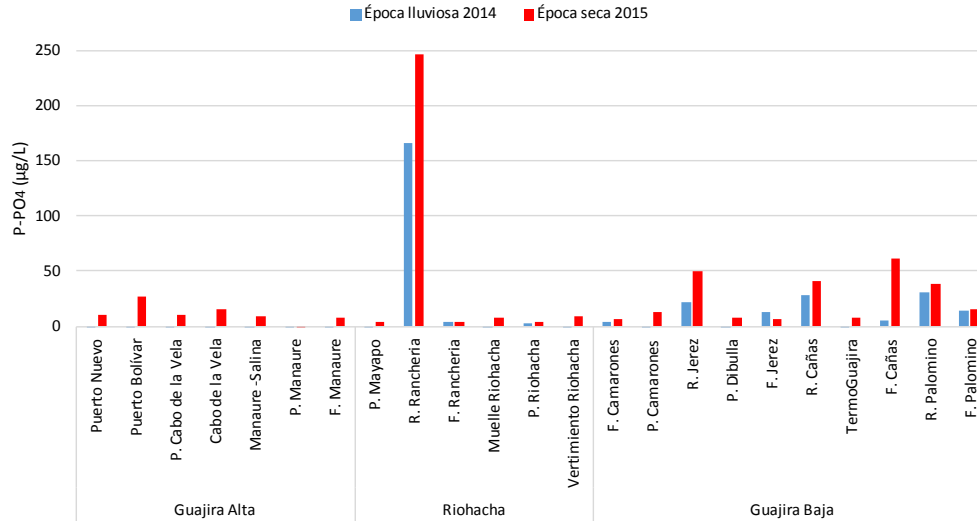


Figura 6.33 Concentraciones de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2014 y seca 2015.

En la zona Riohacha se han presentado las mayores concentraciones históricas de ortofosfatos (Figura 6.34), principalmente en la época lluviosa donde las aguas de escorrentía pueden transportar el ion hasta las costas, sumado a los rebosamientos del sistema de alcantarillado, y vertimiento de aguas residuales en la ciudad de Riohacha ([Vivas-Aguas et al., 2012b](#)).

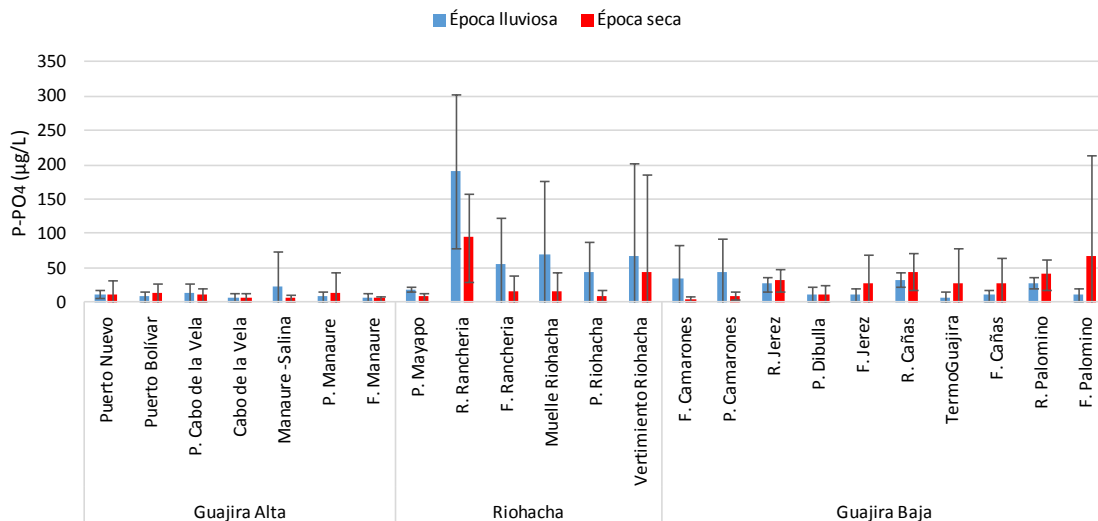
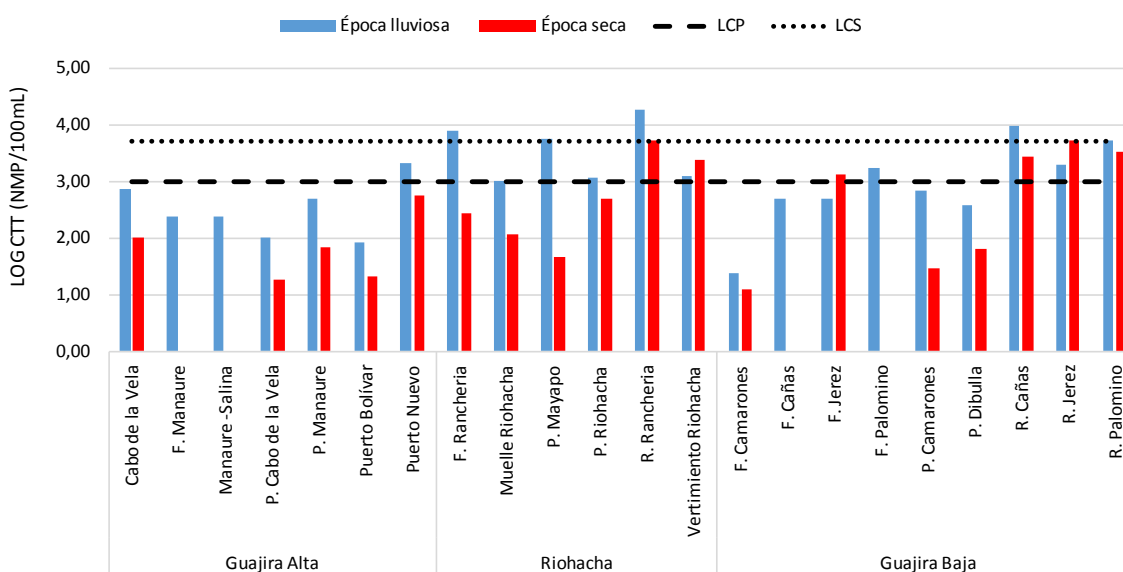


Figura 6.34 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

### Contaminación Microbiológica

Los coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE), son indicadores de contaminación microbiológica. Las concentraciones más alta de CTT se registraron en las estaciones de los ríos y sus zonas de influencia, en las dos épocas de climáticas, superando los límites permisibles para contacto primario (LCP) y secundario (LCS) (Figura 6.35) establecidos en el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)). Las altas concentraciones de CTT, se atribuyen principalmente a vertimientos de aguas residuales domésticas de las poblaciones ribereñas ([CORPOGUAJIRA y UAESPNN, 2011](#)). En cuanto a las playas, la mayoría presentaron valores adecuados de CTT para el desarrollo de actividades de contacto primario, a excepción de la playa Mayapo con 2.000 NMP/100mL ( $\text{Log}_{10}=3,3$ ) y la playa Riohacha con 3.300 NMP/100mL ( $\text{Log}_{10}=3,5$ ), en la época lluviosa 2014 (Figura 6.35).



**Figura 6.35 Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra gruesa punteada corresponde al límite de contacto primario (LPS): 1.000 NMP/100 mL ( $\text{Log}= 3,0$ ), y la línea negra delgada punteada es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL ( $\text{Log}=3,7$ ).**

La Figura 6.36 muestra que las estaciones de agua fluvial (ríos Ranchería, Cañas, Jerez y Palomino) han presentado las mayores concentraciones de CTT tanto en la época lluviosa como en la época seca (Figura 6.36), y aunque se presentaron diferencias entre épocas climáticas ( $p<0,05$ ), en ambas se incumple el límite de contacto primario establecido en el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)), siendo inadecuados para el desarrollo de actividades por contacto primario como la natación.



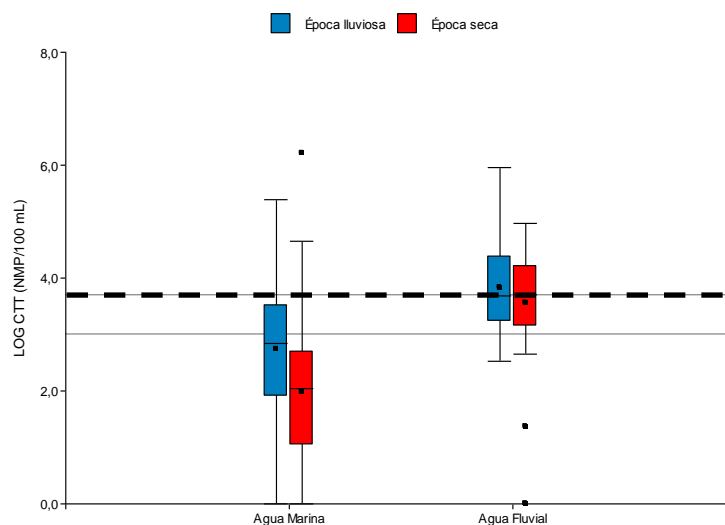


Figura 6.36 Variación histórica de las concentraciones de coliformes totales (CTT) por tipo de agua y época climática en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira. La línea negra continua corresponde al límite de contacto primario (LPS): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea punteada es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7).

Las concentraciones de CTE y de EFE se presentan en la Tabla 6.2. Durante la época seca, las estaciones evaluadas presentaron concentraciones de CTE adecuadas para el desarrollo de actividades de contacto primario, ya que estuvieron por debajo del valor permisible (200 NMP/100 mL) establecido en el decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984; Tabla 6.2). En la época lluviosa 2014, las playas Riohacha y Dibulla superaron este valor (Tabla 6.2). Cabe destacar que en la playa Dibulla la concentración de EFE registrada (520 UFC/100mL), representa un porcentaje de riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales mayor al 10 % y de contraer enfermedades respiratorias febriles agudas mayor a 3,9 % (OMS, 2003). Las altas concentraciones de CTE y EFE presentadas en las playas Riohacha y Dibulla, evidencian fuentes de contaminación de origen fecal, atribuibles los aportes de los ríos Ranchería y Jerez que desembocan en estas playas y que reciben aguas residuales de las poblaciones aledañas, los cuales se aumentan en la temporada lluviosa (Narváez et al., 2010).

Tabla 6.2 Concentración de coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) medidos en las aguas superficiales de las estaciones de playas con uso turístico del departamento de La Guajira, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, y los registros históricos (2001-2015).

Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico <sup>1</sup>	2015	Histórico <sup>1</sup>	2014	Histórico <sup>2</sup>	2015	Histórico <sup>2</sup>
Playa Cabo de la Vela	ND	<LD - 1600	4,5	<LD - 170	ND	2 - 190	<LD	<LD - 24
Cabo de la Vela	ND	1,8 - 1600	33	<LD - 350	ND	5 - 840	4	<LD - 12
Playa Manaure	ND	7 - 1600	ND	<LD - 300	ND	7 - 516	ND	3 - 1225
Playa Mayapo	<LD	<LD - 384	ND	<LD - 17000	20	6 - 25	ND	<LD - 57
Playa Riohacha	1100*	40 - 4900	<LD	<LD - 46000	450	8 - 444	1	<LD - 315

Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico <sup>1</sup>	2015	Histórico <sup>1</sup>	2014	Histórico <sup>2</sup>	2015	Histórico <sup>2</sup>
Playa Camarones	ND	<LD - 606	ND	1,8 - 70	ND	<LD - 50	ND	1 - 71
Playa Dibulla	350 <sup>*</sup>	1,8 - 700	4,5	<LD - 300	520	<LD - 280	3	3 - 287

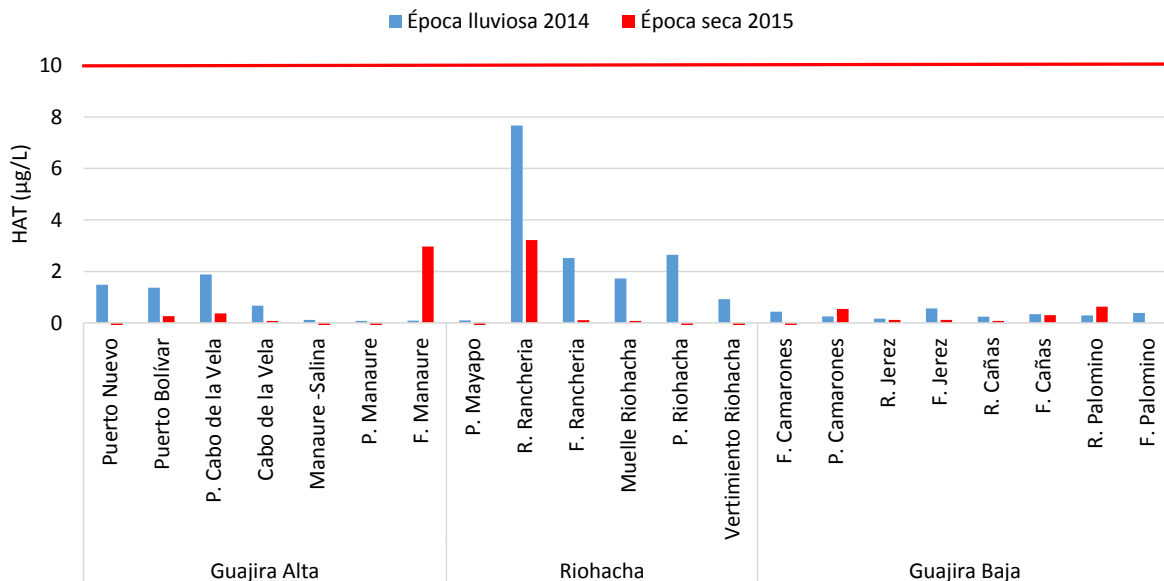
\*Valores que se encuentra por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

<sup>1</sup>Rango histórico de coliformes termotolerantes registrado en la base de datos de la REDCAM ([INVEMAR, 2015](#)).

<sup>2</sup>Rango histórico de Enterococos fecales registrado en la base de datos de la REDCAM ([INVEMAR, 2015](#)).

### Hidrocarburos aromáticos totales (HAT)

Las concentraciones de HAT, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015 oscilaron entre valores inferiores al límite de detección de la técnica aplicada y 7,67 µg/L (Figura 6.37). Estas concentraciones estuvieron por debajo del valor de referencia de 10 µg/L para aguas no contaminadas ([UNESCO, 1984](#)). En la época lluviosa 2014 las concentraciones fueron más altas que en la época seca, con excepción de la estación frente a Manaure (Figura 6.37). En el caso particular del río Ranchería, se resalta que en las dos épocas climáticas se registraron las concentraciones más altas entre las estaciones del departamento, este resultado se atribuye las aguas servidas vertidas sin ningún tipo de tratamiento previo, sumado a las escorrentías urbanas de la ciudad de Riohacha, que en cercanía del río se encuentran talleres de mecánicos de autos, contribuyendo a la presencia de hidrocarburos ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#)).



**Figura 6.37. Concentraciones de hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea roja representa el valor de referencia para aguas no contaminadas según la [UNESCO \(1984\)](#).**

Históricamente (2001 a 2015) en las zonas Alta Guajira y Riohacha, se han registrado las concentraciones más altas de HAT en las épocas de lluvias (Figura 6.38), mientras que en la zona Guajira Baja la tendencia histórica ha sido contraria (Figura 6.38). Si bien hasta el monitoreo actual, en algunas estaciones como frente al río Palomino (8,80 µg/L en 2001; [INVEMAR, 2001](#)) y en Cabo de la Vela (8,63 µg/L en 2003 y 5,59 µg/L en 2011; [Vivas-Aguas et al., 2012b](#)), se han presentado altas concentraciones de HAT, los valores no han superado el de referencia para aguas contaminadas (10,0 µg/L; [UNESCO, 1984](#)), con excepción del río Ranchería, en el que el promedio histórico es  $5,54 \pm 13,45$  µg/L, mostrando que en algunos monitoreos anteriores se llegó a superar el valor de referencia ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)).

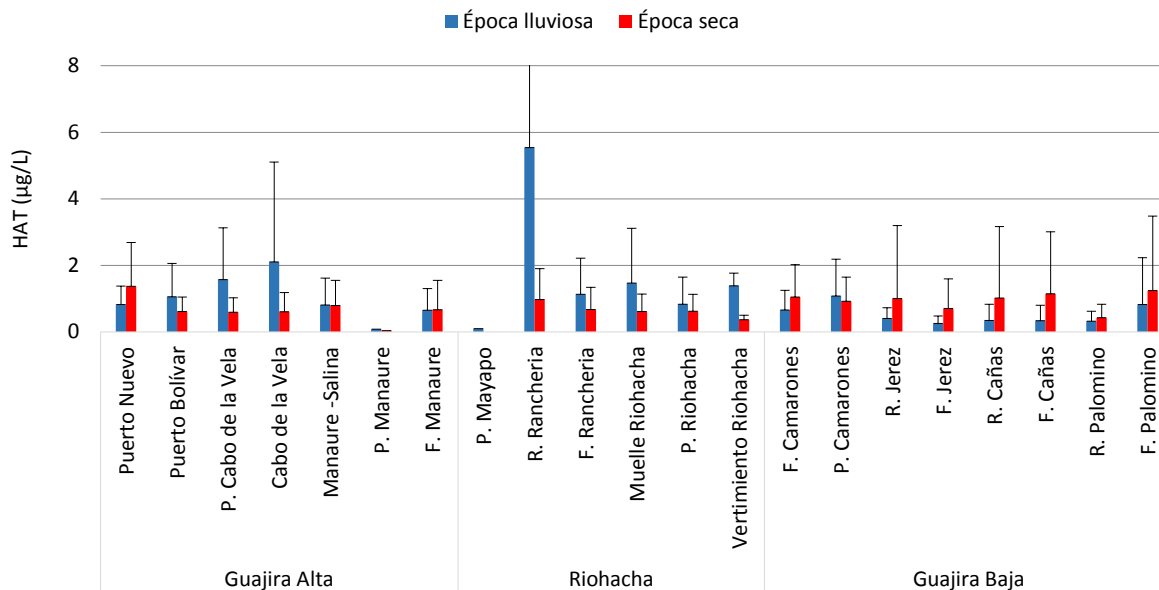


Figura 6.38. Promedio histórico (2001-2015) de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

### Plaguicidas

En el departamento de La Guajira la actividad agropecuaria genera un aporte equivalente al 7,99 % del producto interno bruto departamental, ubicándose como la cuarta actividad económica en nivel de importancia, de donde se genera una gran variedad de productos, tales como: tabaco rubio, yuca, ñame, plátano, entre otros ([DNP, 2007](#)). Para garantizar el sostenimiento de esta actividad económica ha sido necesario usar plaguicidas para mitigar la presencia de organismos capaces de deteriorar la salud de los cultivos.

En la Tabla 6.3 se presentan los registros históricos y del periodo actual de plaguicidas organoclorados y organofosforados detectados en algunas estaciones REDCAM del departamento. Se han detectado presencia de los siguientes compuestos organoclorados: 1,1'-(2, 2, 2-tricloroetilidieno)-bis-(4-clorobenceno) conocido como DDT; Hexaclorociclohexano (HCH); Heptacloro (HEP) y Aldrín (ALD); y los organofosforados: Clorotalonil (CLORT), Clorpirifos (CLORP) y Metil Paration (METPART). En la época seca 2015 en la estación río Ranchería se detectó la presencia de HCH en una concentración de

57,1 ng/L, el cual no superó el valor de referencia de la Comisión canadiense de ministros del medio ambiente (57,1 ng/L; [CCME, 1999](#)) para efectos agudos sobre la biota acuática.

**Tabla 6.3 Valores máximos de plaguicidas determinados durante la REDCAM, en el departamento de Guajira, desde el 2001 al 2015 y valores de referencia para efectos agudos (EPA, 2015; CCME, 1999).**

PLAG	Época y año del monitoreo	Estación	Valor determinado por la REDCAM [ng/L]	Valores de referencia para efectos agudos en aguas [ng/L]	
				Aguas dulces	Aguas marinas
ALD	Lluviosa 2008	Río Cañas	20,8	3.000	1.300
DDT	Lluviosa 2008	Río Ranchería	15,4	1.100*	130*
HCH	Seca 2015	Río Ranchería	57,1	950*	160*
HEP	Lluviosa 2009	Cabo de la Vela	16,1	520*	53*
CLORP	Seca 2011	Río Palomino	52,2	83*	11*
METPART	Lluviosa 2010	Frente río Cañas	57,5	65*	-
CLORT	Lluviosa 2009	Río Ranchería	115,6	180**	360**

\*valores de referencia definidos por la EPA para efectos agudos

\*\*Valores de referencia definidos por la CCME para efectos agudos

### Metales Pesados

Las concentraciones de Pb, Cd, Cr y Cu registradas en todas las estaciones de muestreo, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, fueron menores al límite de detección del método utilizado en el LABCAM. Estos resultados indican que no hay contaminación de estos metales en las aguas marino costeras del departamento de La Guajira, ni riesgo para la biota acuática, debido a que los valores están muy por debajo de la referencia para efectos agudos de la NOAA (Pb: 210 µg/L, Cd: 40 µg/L, Cu: 4,8 µg/L; [Buchman, 2008](#)) y CONAMA (Cr: 50 µg/L; [CONAMA, 2005](#)).

El Ni solamente fue cuantificable en las estaciones punta Cabo de la Vela y río Ranchería, en la época lluviosa 2014, en concentración promedio de  $2,1 \pm 0,8$  µg de Ni/L; y en el río Ranchería, frente a Camarones y playa Camarones, en la época seca 2015, en concentración promedio de  $2,0 \pm 0,7$  µg de Ni/L. En el resto de las estaciones la concentración estuvo por debajo del límite de detección del método utilizado. Cabe destacar que ninguna de las estaciones superó el valor de referencia para efectos agudos de la NOAA (74 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

En la Figura 6.39 se presentan las concentraciones de Zn. Las estaciones con las mayores concentraciones fueron río Ranchería y frente al río Jerez en las dos épocas de muestreo; y en playa Camarones, Termoguajira y río Cañas, en la época seca 2015. Cabe destacar que los niveles de Zn no superaron el valor de referencia para efectos agudos reportado en la guía internacional de la NOAA (90,0 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

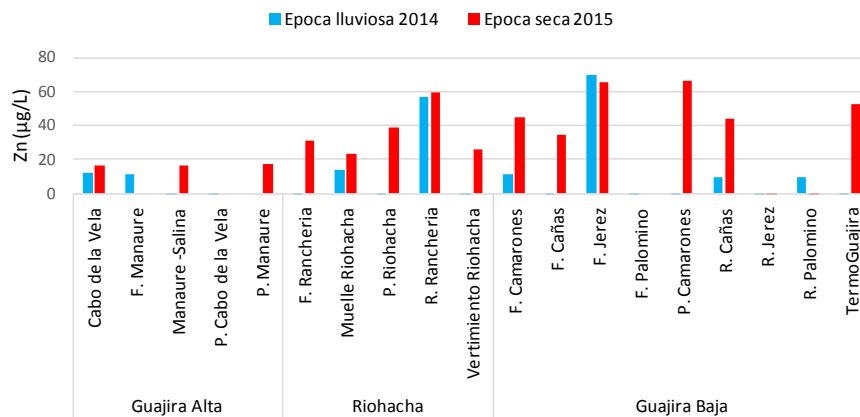


Figura 6.39. Concentraciones de Zinc disuelto medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Las mayores concentraciones de Fe se registraron en la zona de Riohacha, principalmente en el río Ranchería, en la época lluviosa de 2014 (96,2 µg de Fe/L) y en la zona Guajira Baja, en las dos épocas climáticas (Figura 6.40). Sin embargo, estas concentraciones estuvieron por debajo del valor de referencia para efectos agudos de la NOAA (300 µg de Fe/L, [Buchman, 2008](#)).

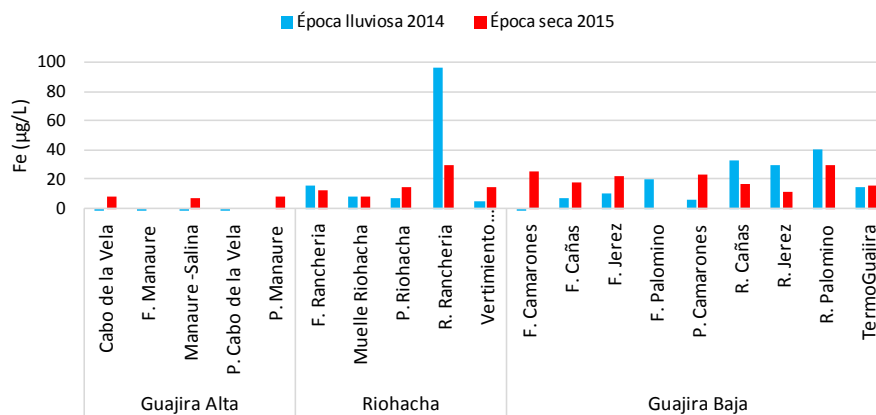


Figura 6.40. Concentraciones de Hierro disuelto en µg/L medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en la época lluviosa de 2014 y época seca de 2015.

### Índice de calidad de las aguas

En la Figura 6.41 se presentan los resultados del ICAM<sub>PFF</sub> calculado para las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Durante la época lluviosa 2014 (Figura 6.41a) se encontraron estaciones con aguas de calidad inadecuada (Cabo de la Vela, frente al río Ranchería, muelle Riohacha y frente al río Jerez) y calidad pésima (playa Riohacha), debido a la alta contaminación microbiológica (< 200 NMP de CTE/100 mL), elevadas concentraciones de SST y nutrientes, y niveles de oxígeno por debajo del criterio de calidad para preservación de flora y fauna (>4,0 mg/L; [MinSalud, 1984](#)) que se relacionan principalmente con vertimientos de agua residual y aportes por escorrentías.

En la época seca 2015, la calidad del agua en las estaciones frente al río Ranchería, muelle Riohacha y playa Riohacha mejoró, pasando de pésima e inadecuada a adecuada (Figura 6.41b), debido a que en esta época se interrumpen las descargas del río Ranchería al mar, por la disminución de su caudal y el cierre de su desembocadura. En otras estaciones como playa Manaure, puerto Nuevo, vertimiento Riohacha, frente a Camarones y playa Camarones, la calidad disminuyó pasando de aceptables y adecuadas a inadecuadas, debido a los niveles de SST y nitratos situación relacionada con vertimientos de aguas residuales y la influencia de la laguna de Navío Quebrado.



Figura 6.41. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de La Guajira evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>), en las épocas lluviosa 2014 (a) y seca 2015 (b).

### 6.2.1.2 CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS

#### Hydrocarburos aromáticos totales (HAT)

Si bien la determinación de contaminantes en la matriz agua genera información del estado actual de un ecosistema, la evaluación del sedimento puede proporcionar información importante tanto actual como histórica gracias a su capacidad como reservorio de estos compuestos a través del tiempo (Bonert y Estrada, 1996). Puesto que Colombia no cuenta con límites permisibles o valores de referencia de hidrocarburos en sedimentos que puedan causar efectos tóxicos a la vida marina; se tomó como referencia para evaluar la

contaminación por hidrocarburos, el valor determinado por la NOAA de 3,9 µg/g (NOAA, 1990) para sedimentos no contaminados.

Los sedimentos evaluados fueron colectados en las estaciones frente al río Ranchería y el muelle Riohacha en la época lluviosa 2014, y frente al río Ranchería en la época seca 2015. Ninguna de las concentraciones determinadas superó el valor de referencia para sedimentos contaminados sugerido por la NOAA (Tabla 6.4).

**Tabla 6.4. Concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidos en sedimentos del departamento de La Guajira, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Estación	Época Lluviosa 2014 HAT (µg/g)	Época seca 2015 HAT (µg/g)
Frente al río Ranchería	0,36	<LD
Muelle Riohacha	0,44	-
<b>Valor de referencia</b>	<b>3,9 *</b>	<b>3,9 *</b>

- No determinado

<LD= Menor al límite de detección.

\*Valor de referencia para sedimentos no contaminados (NOAA, 1990)

### Plaguicidas

Del análisis de plaguicidas en sedimentos en el departamento de La Guajira se poseen datos desde el segundo semestre del año 2013 hasta el primer semestre de 2015, donde se ha monitoreado únicamente la estación frente al río Ranchería, a excepción del segundo semestre del 2014 en el que se tomaron muestras de las estaciones frente a río Ranchería y en muelle Riohacha. En este periodo, las concentraciones han estado por debajo de los límites de detección del método utilizado en el LABCAM. Sólo la estación frente a río Ranchería, en la época seca del 2015 se detectó Endrín Cetona en concentración de 4,2 ng/g, valor que no superó el valor de referencia para efectos probables (PEL) de 62,4 ng/g para sedimentos en aguas dulceacuícolas (CCME, 1999). Es importante tener en cuenta que el Endrín Cetona deriva de la degradación del Endrín, un plaguicida de uso restringido de acuerdo a los lineamientos de la resolución 447 de 1974 del Ministerio de Agricultura (Silva y Correa, 2009), el cual es un compuesto orgánico persistente de alta toxicidad, que se adhiere comúnmente a los sedimentos de ecosistemas acuáticos y es capaz de permanecer estable en el medio por periodos de más de 10 años (ATSDR, 1997).

### Metales Pesados

El río Ranchería es una arteria fluvial muy importante en el departamento de La Guajira y durante su recorrido por diferentes municipios arrastra toda clase de residuos contaminantes y aguas residuales, que luego van a ser descargadas al mar (Corpoguajira, 2011). Por esta razón, se evaluó el contenido total de Cd, Ni, Cr, Cu, Zn, Pb y Fe en sedimentos superficiales en la estación frente al río Ranchería y en el Muelle de Riohacha.

En la estación Muelle Riohacha, en la época lluviosa de 2014 se detectaron Pb, Zn y Fe en concentraciones muy por debajo de los valores de referencia PEL propuestos por la NOAA (Tabla 6.5; Buchman, 2008). Para la estación frente al río Ranchería las concentraciones de los metales Cd, Cr, Cu, Zn y Ni estuvieron por debajo del límite de detección del método

utilizado, en esta estación solo se detectó Pb en la época de lluvias 2014 y Fe en ambas épocas de muestreo (Tabla 6.5).

**Tabla 6.5. Concentraciones de metales pesados medidas en sedimentos superficiales del departamento de La Guajira en las épocas lluviosa de 2014 y seca de 2015, y valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).**

Estación	Época lluviosa 2014							Época seca 2015						
	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)
Frente al río Ranchería	8	<0,5	<6,4	<1,9	<4,3	<2,0	1,3	<4,0	<0,5	<6,4	<1,9	<4,3	<2,0	2,6
Muelle de Riohacha	9	<0,5	<6,4	<1,9	9,8	<2,0	2,7	-	-	-	-	-	-	-
Valor de referencia PEL	112,0	4,2	160,0	108,0	271,0	42,8	-	112,0	4,2	160,0	108,0	271,0	42,8	-

## 6.2.2 CONCLUSIONES

La calidad fisicoquímica de las aguas marinas y costeras del departamento de La Guajira se ve influenciada por las condiciones climáticas y los residuos contaminantes generados por las actividades socioeconómicas y domésticas que llegan a los ríos Ranchería, Cañas, Jerez y Palomino afectando las concentraciones de oxígeno disuelto, aumentando los nutrientes inorgánicos disueltos y SST, y causando contaminación microbiológica.

Los ríos Ranchería, Cañas, Jerez y Palomino presentaron condiciones microbiológicas inadecuadas para el desarrollo de actividades de contacto primario tanto en la temporada lluviosa como en la seca, ya que incumplieron el criterio de calidad establecido en la normatividad colombiana. La calidad microbiológica de las playas Riohacha y Dibulla estuvo influenciada por las descargas de los ríos, principalmente en la época lluviosa, cuando estos cuerpos de agua aumentan sus caudales.

Las aguas costeras del departamento de La Guajira, no se consideran contaminadas por hidrocarburos, plaguicidas organoclorados, ni metales pesados, debido a que en este departamento la actividad industrial y agrícola es limitada. Sin embargo, en las estaciones influenciadas por el río Ranchería se vienen registrando presencia de hidrocarburos y plaguicidas, que son arrastradas por el aumento del caudal del río hacia las zonas costeras. Es importante continuar con el monitoreo, ya que la entrada permanente de contaminantes se convierte en un riesgo potencial para los organismos que habitan en esta zona.

La evaluación de la calidad del agua con el ICAM<sub>PFF</sub> mostró que la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento, se ven afectada negativamente por los residuos de las actividades socioeconómicas y por la inadecuada disposición de residuos líquidos y sólidos generados en las áreas urbanas, causando deterioro del recurso hídrico por las altas concentraciones de nutrientes y microorganismos de origen fecal, sólidos suspendidos y materia orgánica, y desmejorando las condiciones del hábitat de las especies hidrobiológicas presentes.



# Magdalena



Playa Grande, Santa Marta. Foto: Ostin Garcés

## **EQUIPO TÉCNICO CORPAMAG**

*Alfredo Martínez – Subdirector de Gestión Ambiental  
Ismael Acosta- Ing. Pesquero, Profesional Especializado  
Eliana Álvarez Pineda – Ing. Ambiental, Profesional Especializada*



### 6.3 MAGDALENA

El departamento del Magdalena se sitúa al norte de Colombia, entre las coordenadas 08° 54' 59" y 11° 20' 58" latitud norte y 73° 32' 32" y 74° 56' 51" de longitud oeste. Las condiciones climáticas son muy variadas, con dos temporadas de lluvias; la primera entre abril y mayo y la segunda entre septiembre y noviembre, y dos temporadas secas entre junio y agosto y otra entre diciembre y marzo. Se registran precipitaciones anuales más altas en la zona norte (2.000 – 2.500 mm/año; [IDEAM, 2005](#)), caracterizada por tener una costa expuesta al fuerte oleaje y un área de drenaje relativamente amplia (2.200 km<sup>2</sup>), dominado por una serie de ríos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta.

La población costera del departamento al año 2015 se estimó en 650.364 habitantes distribuidos en los municipios de Santa Marta, Ciénaga, Pueblo Viejo y Sitio Viejo. En la zona costera de Santa Marta y Ciénaga se concentra la mayor población y actividades socioeconómicas marítima portuaria, agrícolas, pecuarias, industriales, mineras, comerciales y turísticas, consideradas fuentes de contaminación al mar Caribe, porque generan residuos contaminantes ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#)). La producción de residuos sólidos en los municipios costeros alcanza los 538,1 t/día, los cuales son dispuestos en botaderos a cielo abierto y en los rellenos sanitarios Palanganas y La María ([Superservicios, 2014](#)). Las aguas residuales de estos municipios son dispuestas en lagunas de oxidación (Ciénaga), pozas sépticas, sobre el terreno y cuerpos de agua (Pueblo Viejo y Sitio Nuevo), y vertidas directamente al mar en la bahía de Santa Marta, por medio de un emisario submarino. En la zona costera de Santa Marta, especialmente en las bahías de Taganga, Santa Marta y Rodadero, se han presentado diferentes emergencias ambientales que incluyen vertimientos directos de aguas residuales, florecimientos algales, derrame de hidrocarburos, vertimiento de carbón, entre otros eventos, que han afectado la calidad del recurso hídrico y provocado cambios en las condiciones ambientales ([Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)).

En el departamento de Magdalena, la REDCAM cuenta con 42 estaciones de muestreo para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras, distribuidas en cinco zonas (Figura 6.42): la zona de Buritaca que abarca ríos de gran importancia como Don Diego, Buritaca, Guachaca y Mendihuaca; la zona del Parque Nacional Natural Tayrona que incluye estaciones como el río Piedras, playas Cristal y Neguanje, y bahías Chengue y Concha caracterizados por ser sitios naturales y con ecosistemas marinos como arrecifes coralinos, praderas de pastos y manglares; la zona de Santa Marta donde se presentan las mayores descargas de aguas residuales a través del emisario submarino, del río Manzanares, y de los vertimientos estacionales de aguas servidas y de escorrentías urbanas por las Calles 10 y 22, y una serie de colectores ubicados a lo largo de la bahía de Santa Marta. Una porción importante de la población de Santa Marta, Taganga y el Rodadero, no están conectados al sistema de alcantarillado, y realizan los vertimientos de aguas residuales directamente en cuerpos de agua ([INVEMAR y MADS, 2011](#)); la zona Costa Sur que cubre el área comprendida entre Pozos Colorados y Costa Verde, y la zona Marina con la estación La Barra ubicada en la Ciénaga Grande de Santa Marta (Figura 6.42).

En el presente informe se muestran los resultados de los muestreos de calidad de aguas realizados por el INVEMAR y la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG) entre los días 11 y 12 de agosto de 2014 (en adelante, época lluviosa 2014) y en los días 21 y 22 de septiembre de 2015 (en adelante, época seca 2015) en las cinco zonas de muestreo; y los resultados de calidad de sedimentos de la estación frente al río Manzanares.

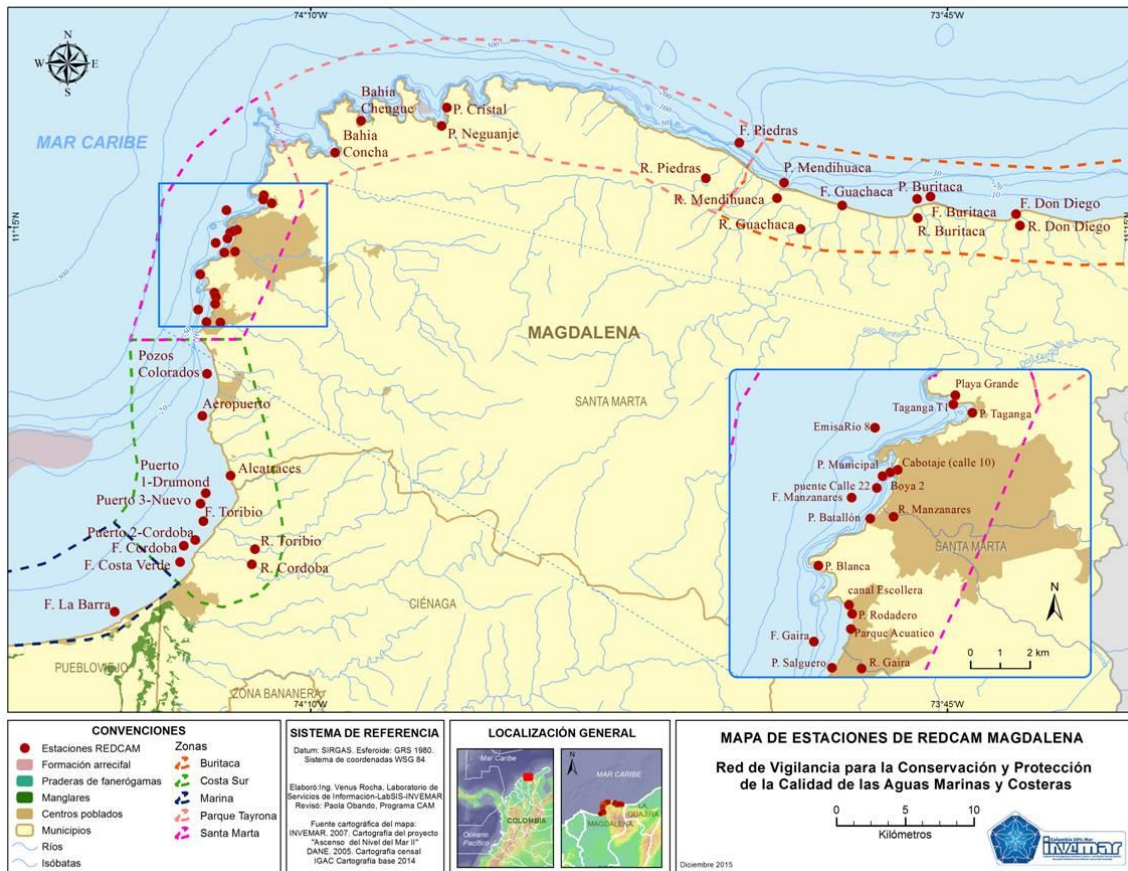


Figura 6.42. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Magdalena.

## 6.3.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.3.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

#### Variables fisicoquímicas

##### *In situ y Sólidos suspendidos totales*

La calidad del agua en la zona costera del Magdalena se ve influenciada por las condiciones ambientales predominantes en las temporadas climáticas y por las diferentes tipos de actividades socioeconómicas que se desarrollan en la franja costera, los cuales generan residuos contaminantes (Vivas-Aguas *et al.*, 2014a). La salinidad del agua superficial (Figura 6.43) en las estaciones de los ríos osciló entre 0 y 6,6, encontrándose el valor más elevado en el río Manzanares durante la época lluviosa 2014, momento en el cual la boca del río se encontraba abierta, y había influencia del agua marina. En las estaciones de las playas, frentes de ríos y bahías, la salinidad se registró entre 28,1 y 37,2, con promedio de  $36,0 \pm 1,8$ , característica de aguas marinas. En la estación frente al río Toribio no se realizó la medición de salinidad durante la época lluviosa 2014. La temperatura del agua osciló entre 24,5 y 34,6 °C, mediciones realizadas entre las 8:25 am y 04:50 pm.

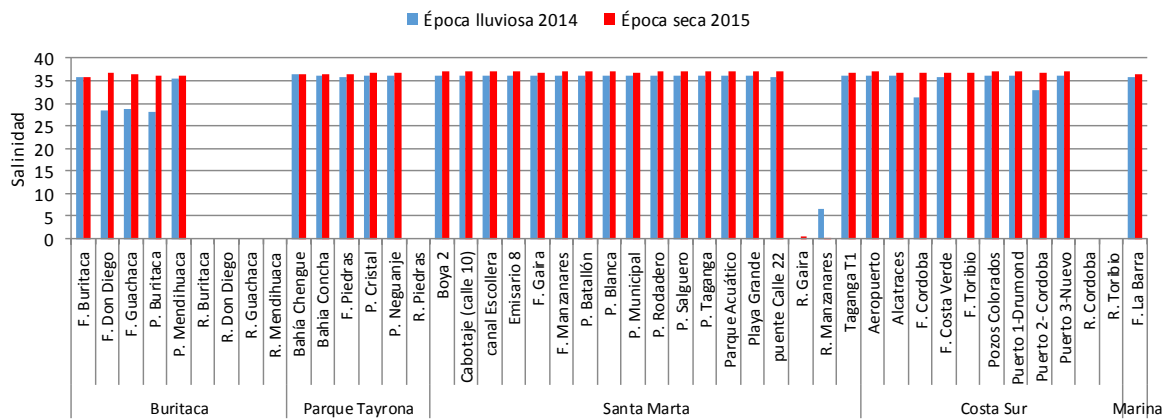


Figura 6.43. Valores de salinidad medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El oxígeno disuelto osciló entre 3,8 y 12,3 mg de  $O_2/L$ , presentándose valores por debajo del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna acuática en aguas cálidas ( $>4,0$  mg de  $O_2/L$ ; [MinSalud, 1984](#)), en las estaciones frente al río Toribio (3,75 mg de  $O_2/L$ ) en la época lluviosa de 2014 y en el río Manzanares (3,91 mg de  $O_2/L$ ) en época seca de 2015 (Figura 6.44). Es importante resaltar que en esta misma estación se presentó el valor más alto de oxígeno disuelto (12,30 mg de  $O_2/L$ ) en la época lluviosa de 2014 (Figura 6.44), lo cual indicaría una sobresaturación de oxígeno que provendría principalmente por la actividad biológica del fitoplancton, ya que el agua presentaba una coloración verdosa. Estas condiciones se dan por las altas concentraciones de nutrientes que se han registrado en las aguas de este río, en donde se realizan permanentemente vertimientos de aguas residuales con alta carga orgánica por fuentes difusas y puntuales ([INVEMAR, 2015b](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)).

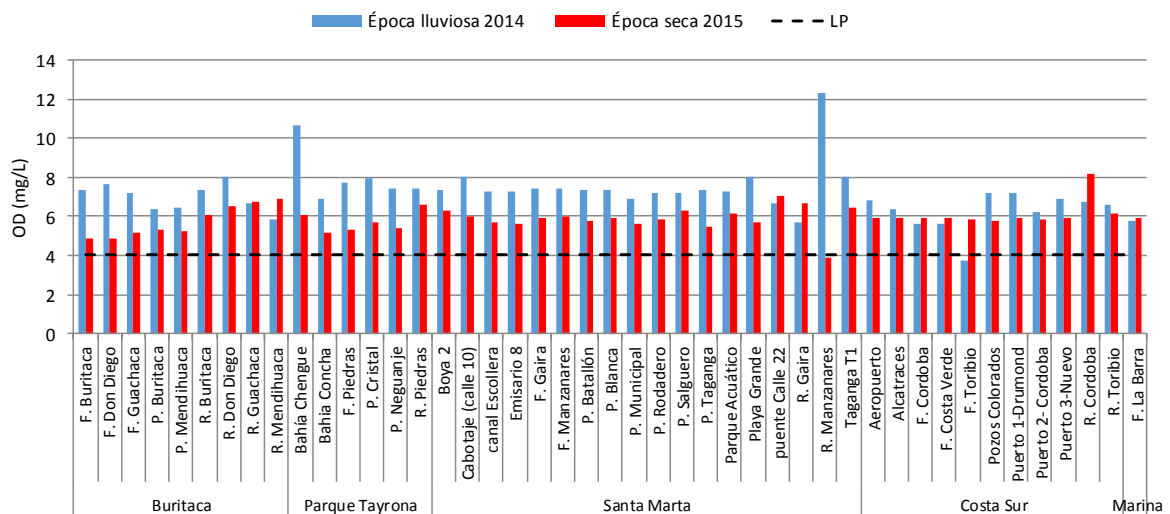
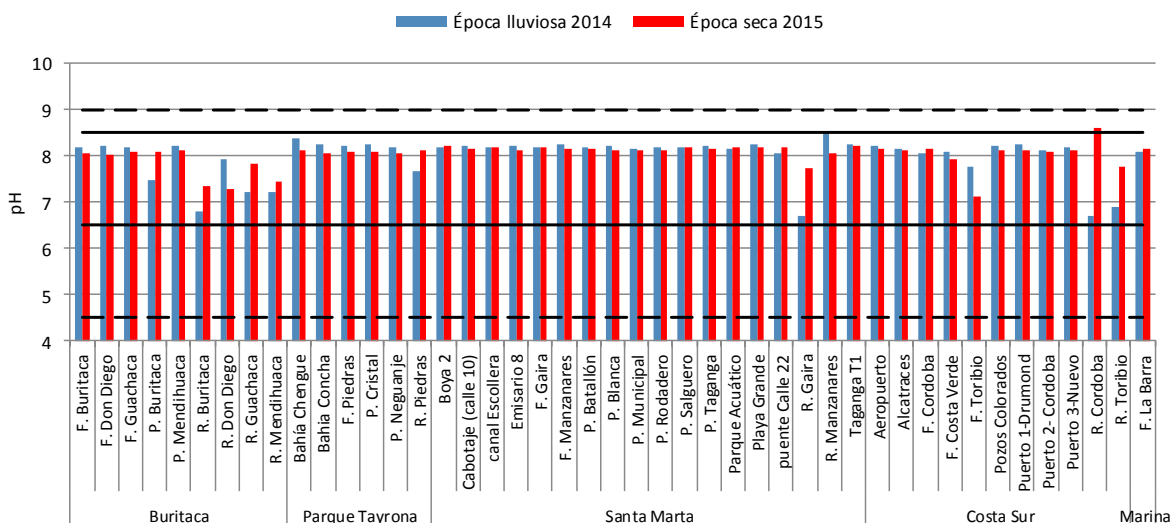


Figura 6.44. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea punteada de color negro señala el límite mínimo permisible de OD en aguas cálidas, para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)).

El pH osciló entre 6,7 y 8,6 (Figura 6.45). En los ríos los valores de pH estuvieron en un rango entre 6,7 y 8,6, encontrándose dentro del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,5; [MinSalud, 1984](#); Figura 6.45). En las aguas de las playas se encontraron condiciones básicas con valores entre 8,05 y 8,39, valores característicos de aguas marinas. En los frentes de los ríos y canales se registraron pH entre 7,14 y 8,24, valores que en general se encontraron dentro del rango permisible para la preservación de flora y fauna acuática en aguas marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; [MinSalud, 1984](#)).



**Figura 6.45. Valores de pH medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas negras continuas indican el rango de pH permisible en aguas cálidas marinas y estuarinas; y las líneas punteadas señalan el rango de pH permisible en aguas cálidas dulceacuícolas, según [MinSalud \(1984\)](#).**

Con el fin de agrupar las estaciones con mayores afinidades entre sí, se realizó un análisis de conglomerado teniendo en cuenta los resultados de las variables fisicoquímicas de salinidad (Figura 6.43), oxígeno disuelto (Figura 6.44) y pH (Figura 6.45). Se agruparon las estaciones por tipo de agua en dulceacuícola que incluyó los ríos, por presentar salinidades entre 0,0 y 6,3 (Figura 6.46; Figura 6.46); aguas marino-costera que abarcó las estaciones de las playas, bahías y frentes de ríos, excluyendo a la estación frente del río Toribio la cual se separó como un grupo aparte por presentar la concentración de oxígeno disuelto más baja (Figura 6.46; Figura 6.44).

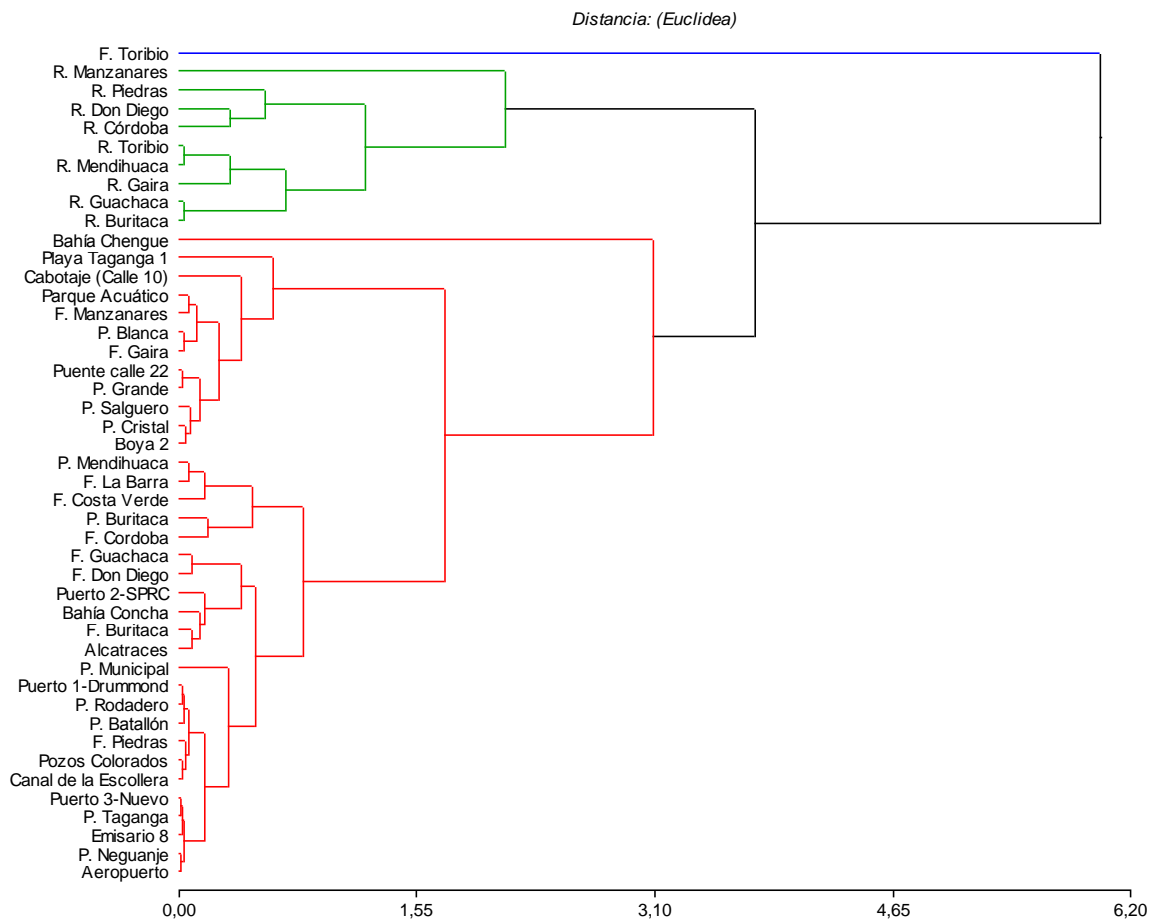


Figura 6.46. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento de Magdalena para las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas rojas señalan las estaciones marinas y costeras, las verde las dulceacuícolas y la azul estuarina frente al río Toribio.

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 2,3 y 63 mg de SST/L en época lluviosa de 2014 y entre 0,7 y 170,8 mg de SST/L en época seca de 2015 (Figura 6.47), destacándose la estación del río Manzanares por presentar la mayor concentración en la época seca, condición que se atribuye al bajo caudal y a los vertimientos continuos de aguas residuales que recibe el río ([Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)). Por otra parte, cabe resaltar que en la zona del parque Tayrona, en donde se encuentran arrecifes coralinos, las concentraciones de SST no superaron el valor de referencia de 50 mg de SST/L que puede afectar la preservación de los corales ([Fabricius, 2005](#)).

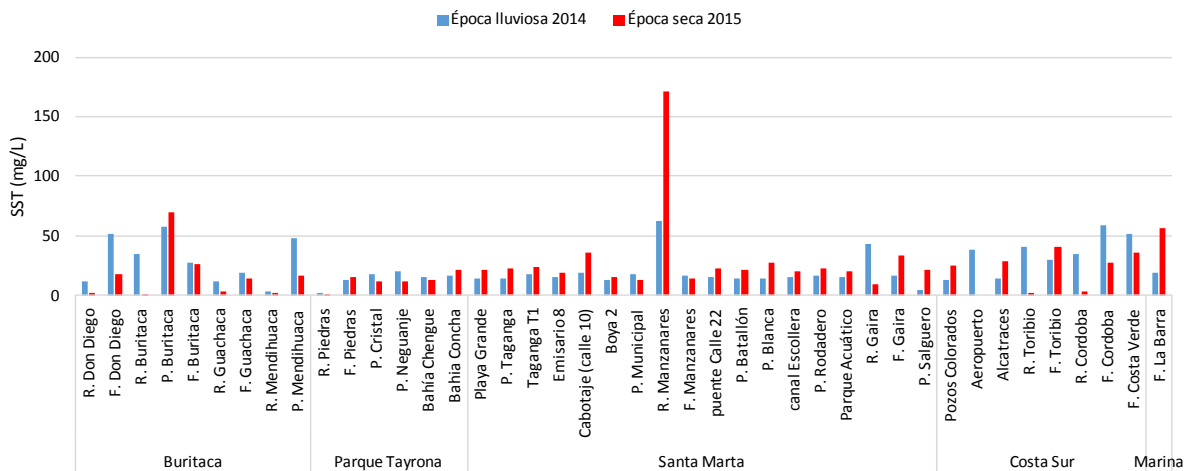


Figura 6.47 Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Con relación a los registros históricos, se ha encontrado en muestreos anteriores en el río Gaira la concentración más elevada de SST (Figura 6.48), este río, al igual que el río Manzanares recibe aportes directos de aguas residuales domésticas y de residuos sólidos que son arrojados a estos cuerpos de agua (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2016), algunos de los cuales son insolubles y pasan a aumentar la carga de SST. En la zona del parque Tayrona, históricamente los niveles de SST han estado en su gran mayoría por debajo del valor de referencia para la preservación de corales (50 mg de SST/L; Fabricius, 2005), a excepción de la estación playa Neguanje, la cual presentó un valor de 101 mg de SST/L en la época seca de 2006 (Invemar, 2006), y en años posteriores se han registrado valores alrededor de los 50 mg de SST/L, lo cual se le atribuye a la actividad turística que se desarrolla en esta playa.

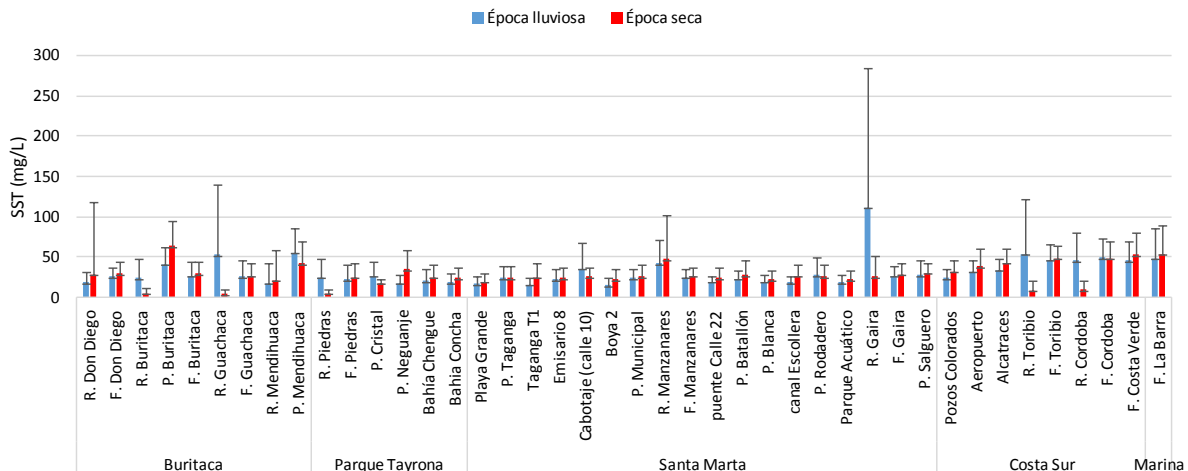


Figura 6.48 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar.



### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

Se evaluaron las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos de interés ambiental (nitritos, nitratos, amonio y ortofosfatos). Los nitritos oscilaron entre el límite de detección de la técnica utilizada en el LABCAM (0,7) y 30,0  $\mu\text{g}$  de  $\text{N-NO}_2^-$  (Figura 6.49), presentándose los valores más elevados en las estaciones río Manzanares y frente del río Don Diego, lo cual se asocia a vertimientos de aguas residuales, debido a que la presencia de este ion en el medio natural se encuentra en valores traza, por lo tanto es un indicador de aguas residuales recientemente vertidas.

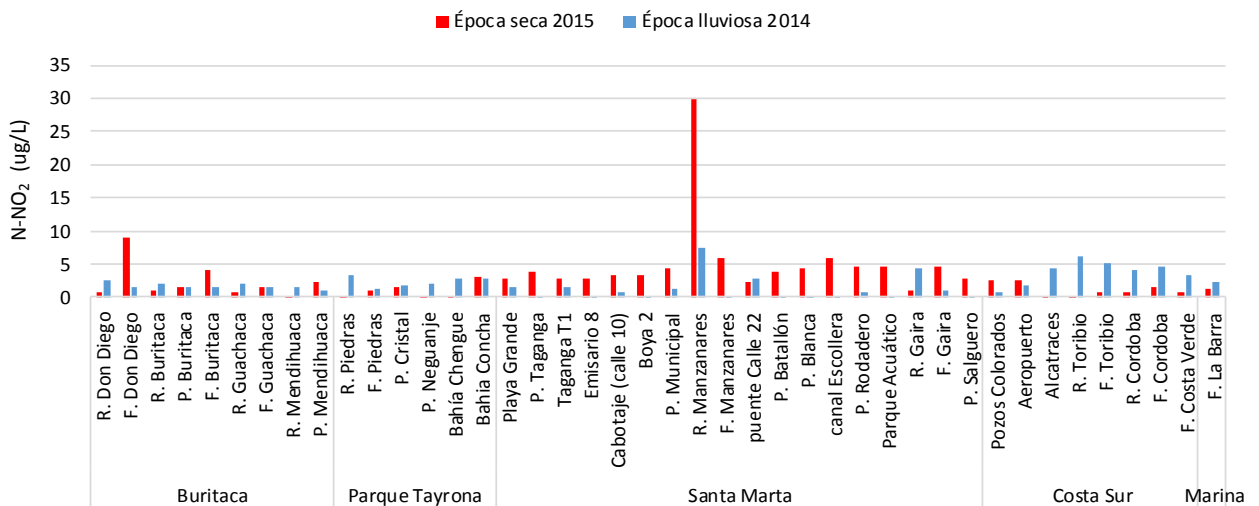


Figura 6.49 Concentraciones de Nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente (Figura 6.50) los mayores valores de nitritos se han registrado en la zona de Santa Marta, principalmente en las estaciones río Manzanares, playa batallón y muelle Cabotaje (calle 10), en donde se realizan vertimientos de aguas residuales ([Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)). En las zona de Buritaca, Costa sur, en las estaciones río Córdoba, frente del río Córdoba, frente Costa Verde, y Marina en frente a la Barra, los valores de nitritos se asocian a las actividades agrícolas que se desarrollan en las riberas de los principales ríos y a los vertimientos de aguas residuales de las poblaciones aledañas.

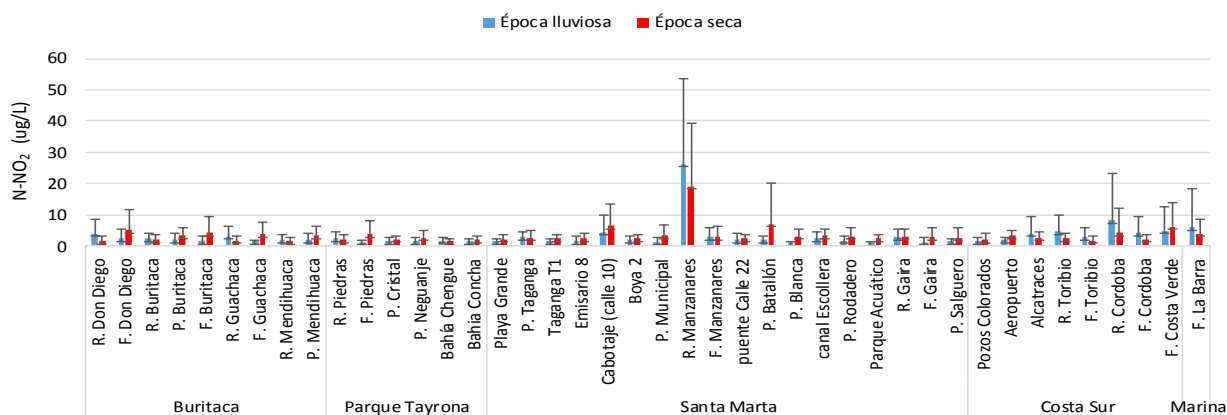


Figura 6.50 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

Los nitratos oscilaron entre el límite de detección del método utilizado (2,1) y 173,3 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (Figura 6.51). En la mayoría de las estaciones de la zona de Buritaca, y en la zona Costa sur en las estaciones de los ríos Córdoba y Toribio, se determinaron altas concentraciones de nitratos, especialmente en época lluviosa 2014, lo cual se le atribuye a las actividades agrícolas que se desarrollan en esas zonas, en las cuales los nutrientes son arrastrados por las escorrentías llegando a los ríos y finalmente al mar.

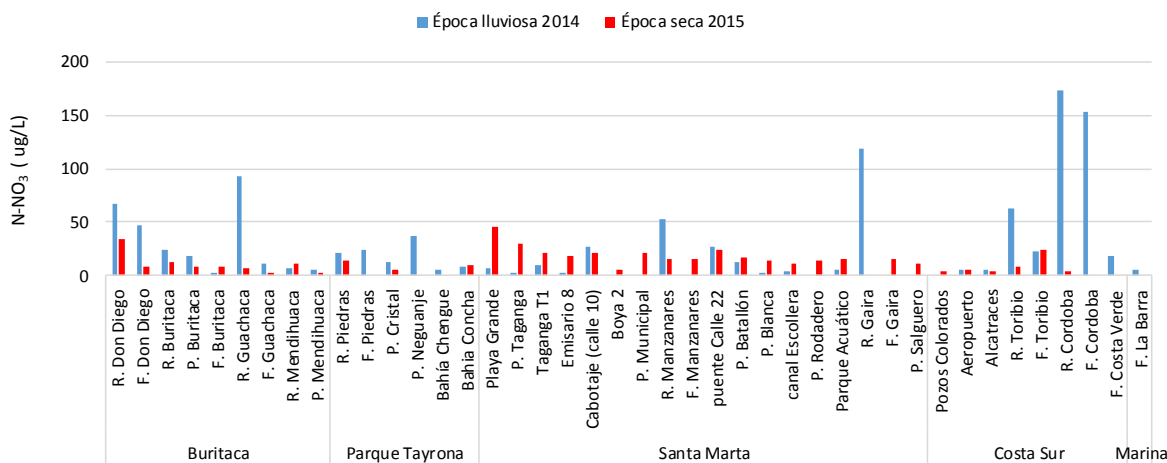


Figura 6.51 Concentraciones de Nitrate (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El registro histórico (Figura 6.51) de las concentraciones de nitratos muestra que en la zona de Buritaca, por su alta actividad agrícola, se presentan altas concentraciones de nitratos. El río Manzanares, por ser un río que circula por áreas urbanas de la ciudad de Santa Marta y en donde recibe aguas residuales doméstica sin tratamiento previo, se le ha registrado las concentraciones más elevadas de toda la zona costera del departamento, evidenciando la alta influencia antropogénica (Vivas-Aguas *et al.*, 2015a; Garcés-Ordóñez *et al.*, 2016).

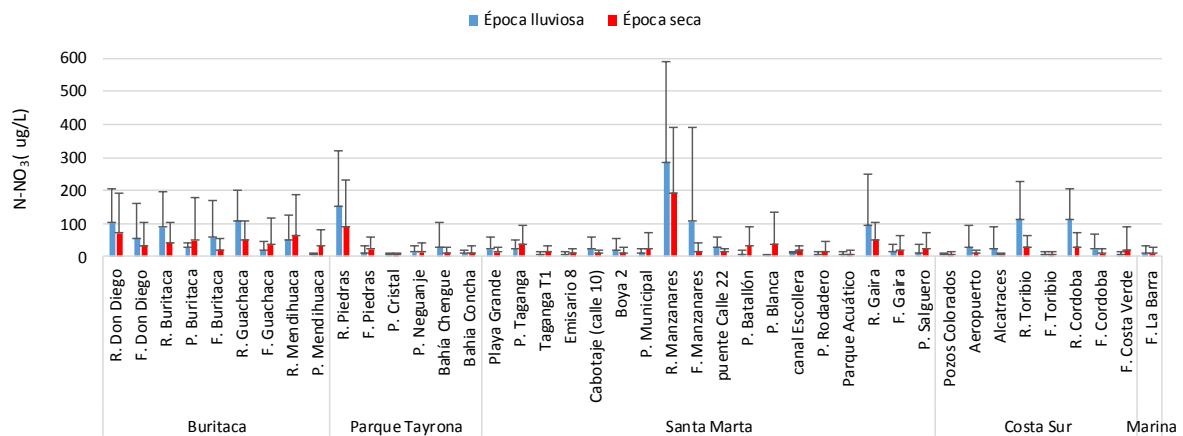


Figura 6.52. Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitrato (N-NO<sub>3</sub>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

El amonio osciló entre el límite de detección del método utilizado en el LABCAM (3,1) y 132,6 µg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L (Figura 6.53), presándose en la estación del parque Tayrona una concentración de 107,4 µg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L, asociado a la actividad turística. En el emisario 8, la principal fuente de amonio son las aguas residuales de la ciudad de Santa Marta, vertidas por el emisario submarino. En la Costa sur y Marina, los valores se asocian a la actividad agrícola y desechos domésticos ([Vivas-Aguas et al., 2013](#)), que aportan amonio, en concentraciones que favorece el crecimiento excesivo del fitoplancton en estas zonas ([Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)).

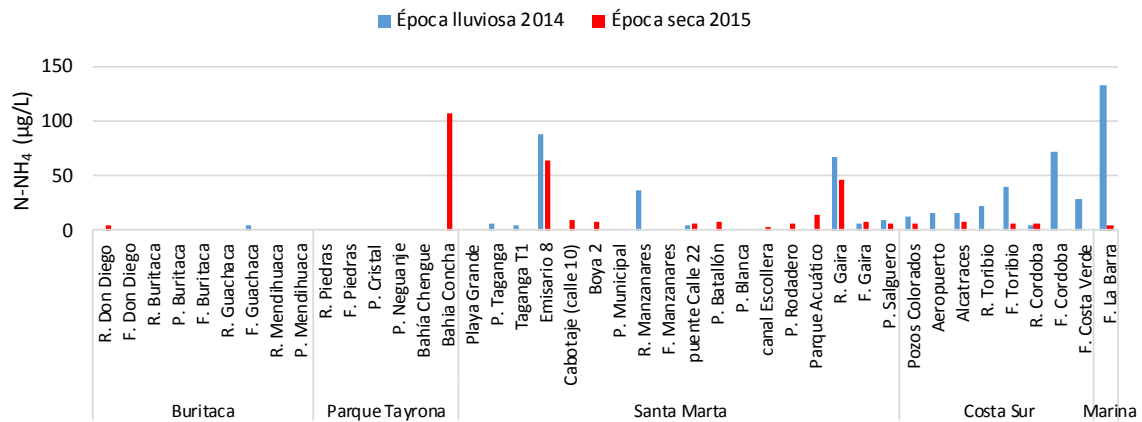


Figura 6.53 Concentraciones de Amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2014 y la época seca 2015.

Históricamente las concentraciones de amonio en el agua marino costera del departamento del Magdalena, han presentado altas fluctuaciones relacionadas con la temporada climática y con la influencia antropogénica ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). Las estaciones Cabotaje (Calle 10) y el río Manzanares caracterizadas por ser receptoras de vertimientos de aguas residuales, ha presentado las mayores concentraciones de amonio (Figura 6.54), y

coliformes, siendo sitios críticos con altos niveles de contaminación microbiológica ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)).

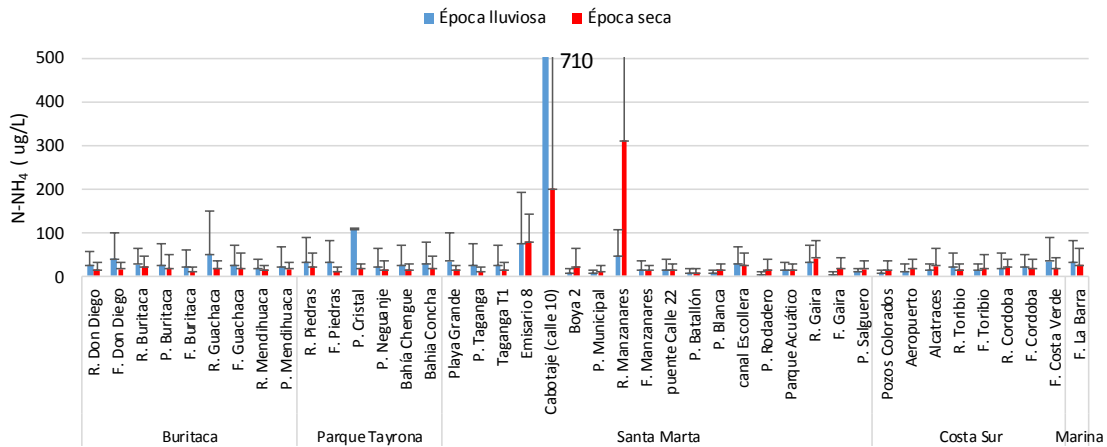


Figura 6.54 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Amonio ( $N-NH_4^+$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las barras de error corresponden a las desviaciones estándar.

Las concentraciones de ortofosfatos oscilaron entre el límite de detección del método utilizado en el LABCAM (2,4) y 464,2  $\mu g$  de  $PO_4^{3-}/L$  (Figura 6.55). Los ríos presentaron las mayores concentraciones de ortofosfatos. Durante la época seca 2015 se destacó el río Gaira por tener la mayor concentración, en este cuerpo de agua se realizan vertimiento de aguas residuales. En la época lluviosa el valor más elevado se registró en el río Piedras, el cual circula por áreas agrícolas y ganaderas que son fuentes de este nutrientes (Figura 6.55; [Quintero et al., 2010](#)).

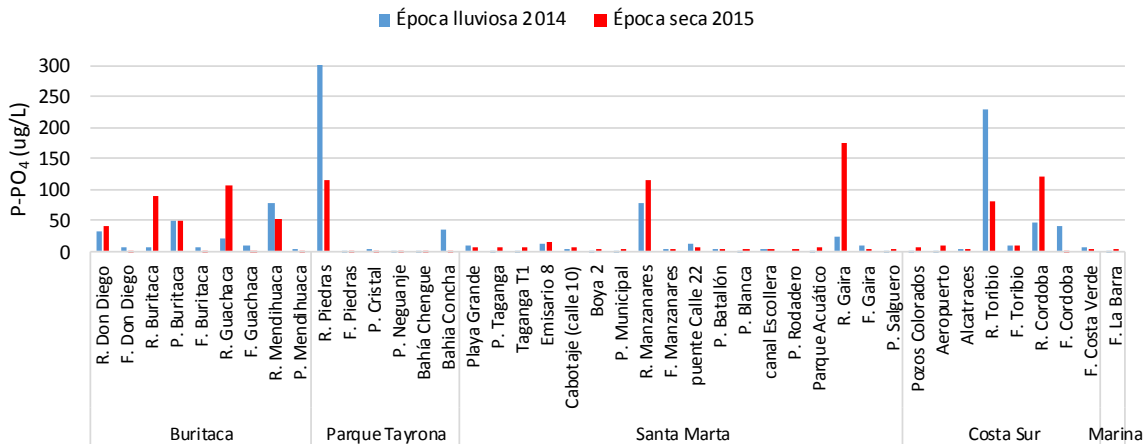


Figura 6.55 Concentraciones de ortofosfatos ( $P-PO_4^{3+}$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente en las estaciones de los ríos se han registrado altas concentraciones de ortofosfatos, como en el caso de los ríos Piedra, Manzanares, Gaira, Toribio y Córdoba, que han sido los de mayor concentración (Figura 6.56), asociados con vertimientos de aguas residuales en el caso del Manzanares y Gaira (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2016), y por el uso de fertilizantes en áreas agrícolas y aguas residuales de las poblaciones aledañas a las estaciones de las zonas Buritaca y Costa Verde (Vivas-Aguas *et al.*, 2015a).

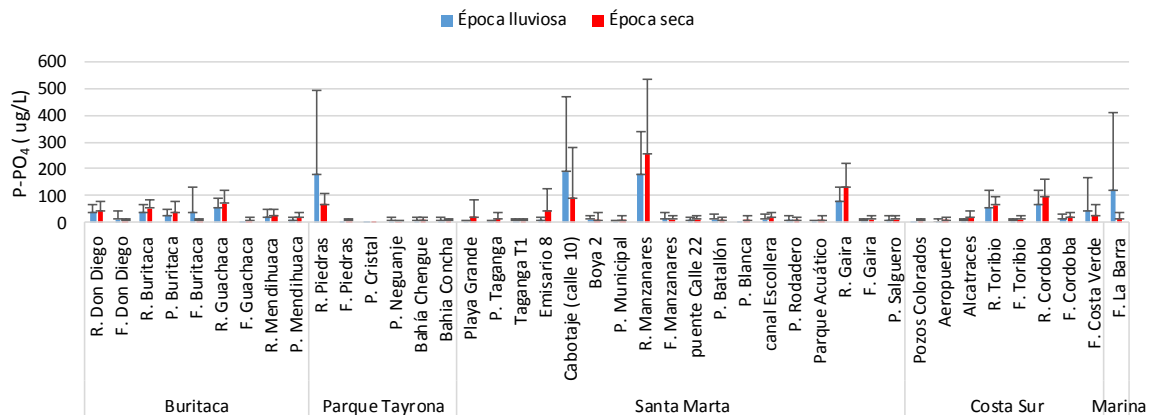


Figura 6.56 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de ortofosfatos ( $P-PO_4^{3-}$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena, en épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las barras de error corresponden a las desviaciones estándar.

### Contaminación Microbiológica

La calidad microbiológica de las aguas marinas y costeras del departamento de Magdalena, se evaluó a partir de las mediciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). Las concentraciones de CTT oscilaron entre el límite de detección del método (1,8) y 259.500 NMP de CTT/100 mL (Figura 6.57), encontrándose alta contaminación microbiológica en la mayoría de las estaciones, principalmente en las zonas de Buritaca, Santa Marta, y la Costa Sur, en donde hay déficit en el servicio de saneamiento básico por la baja cobertura de alcantarillado e inadecuada disposición de residuos líquidos y sólidos, que en la mayoría de los casos superan los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y secundario (Figura 6.57; MinSalud, 1984), principalmente durante la época lluviosa. Los ríos Manzanares y Gaira circulan por áreas urbanas de la ciudad de Santa Marta y Gaira, recibiendo aguas residuales de las viviendas ubicadas en sus riberas y del alcantarillado cuando los sistemas de bombeo presentan problemas técnicos (Invemar, 2015; Garcés-Ordóñez *et al.*, 2016), por lo tanto la contaminación microbiológica en estos ríos son los más elevados (Figura 6.57).

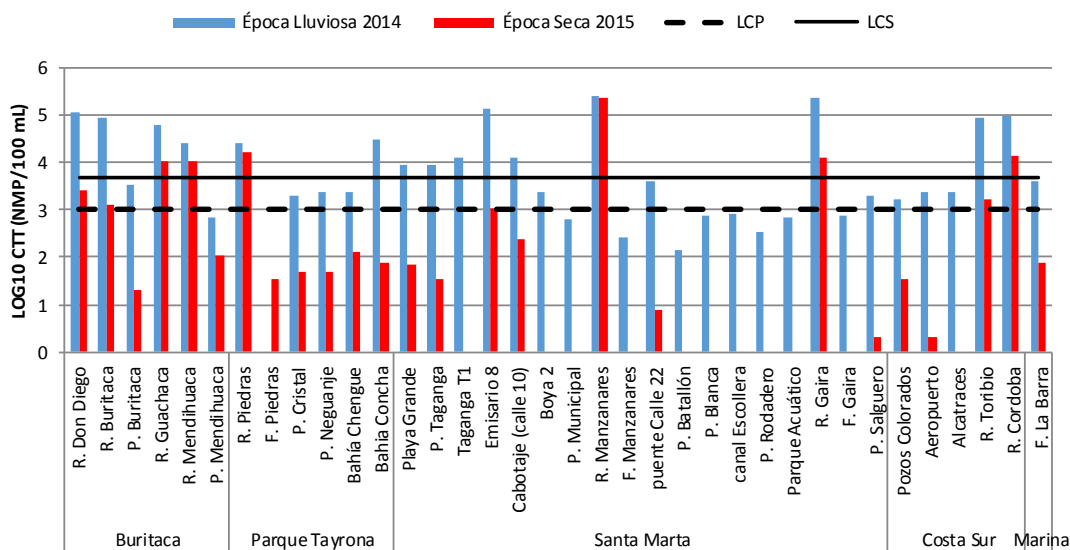


Figura 6.57. Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea punteada color negro corresponde al límite de contacto primario (LPS): 1.000 NMP/100 mL (Log=3,0), y la línea continua es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7; [MinSalud, 1984](#)).

Los registros históricos de CTT (Figura 6.58) muestran que la inadecuada disposición de aguas residuales y la falta de una planta de tratamiento de aguas residuales, como parte integral del sistema de saneamiento básico, han causado alta contaminación microbiológica y deterioro de la calidad de las aguas. Los ríos Manzanares y Gaira por su alto nivel de deterioro y las estaciones muelle Cabotaje (calle 10) y emisario 8 destacan por presentar los niveles más altos (Figura 6.58), condiciones que fueron evidenciadas por [Garcés-Ordóñez et al., 2016](#).

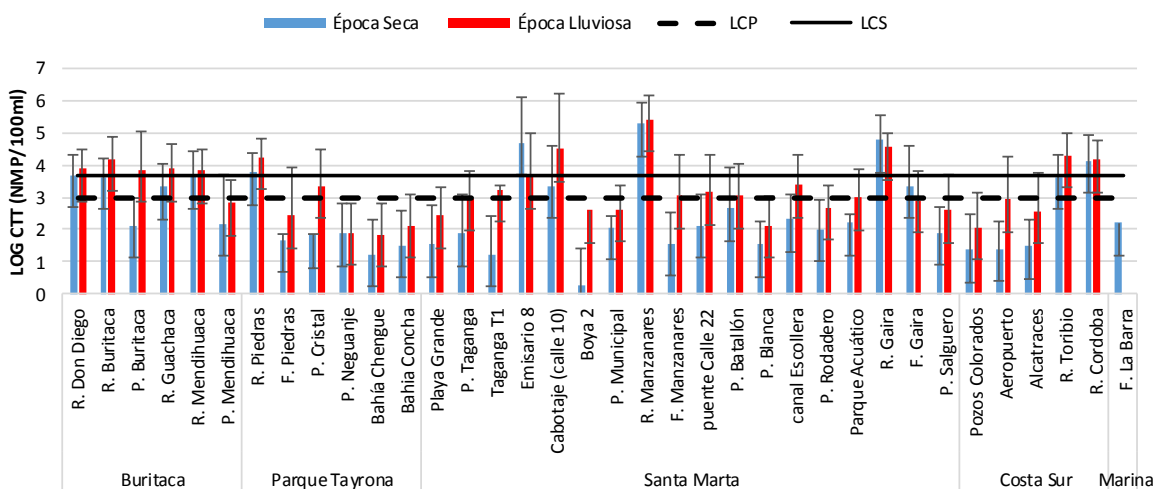


Figura 6.58. Registro histórico (2001-2015) de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena, durante las épocas secas y lluviosas. Las barras de error corresponden a las desviaciones estándar.

Por tipo de agua, históricamente se ha encontrado que las estaciones fluviales tienen generalmente valores por encima de los límites permisibles para aguas de uso recreativo por contacto primario y secundario en las dos épocas climáticas (Figura 6.59), así como para pesca y para riego de frutas y hortalizas de tallo corto ([MinSalud, 1984](#)).

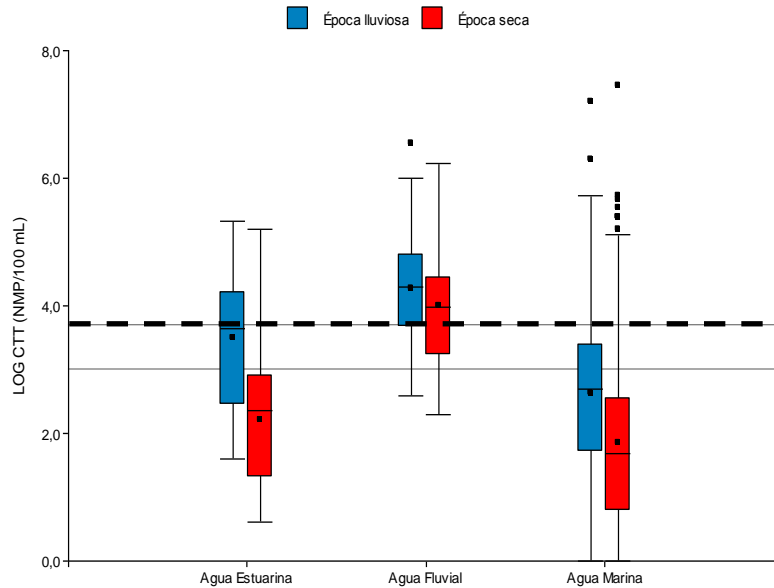
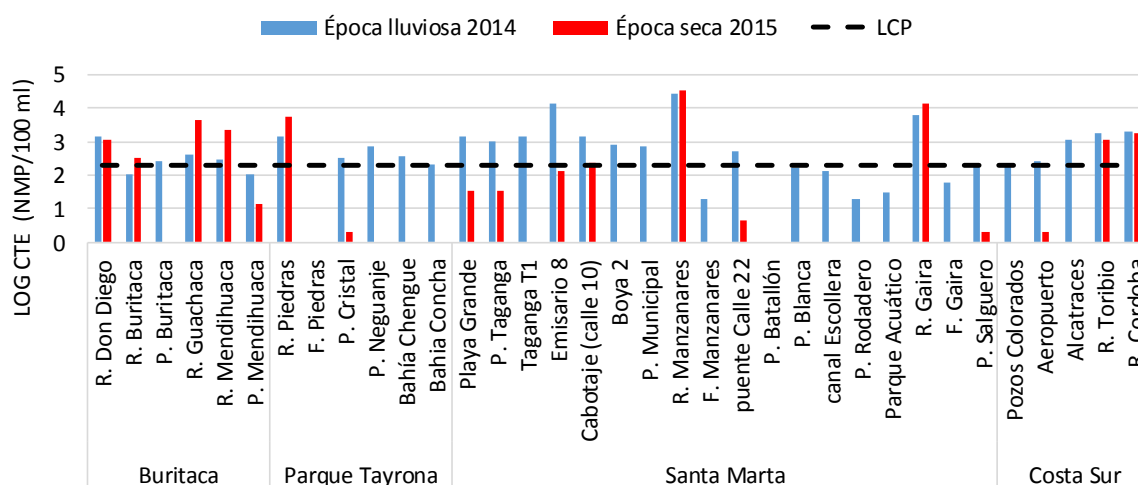


Figura 6.59. Variación histórica de las concentraciones de coliformes totales (CTT) según el tipo de agua, por época climática. La línea continua de color negro corresponde al límite permisible para uso recreativo por contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea punteada es el límite permisible para el uso recreativo por contacto secundario (LCS; pesca) y riego de frutas y hortalizas: 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7).

Los valores de coliformes termotolerantes (CTE) oscilaron entre el límite de detección (1,0) y 33.000 NMP de CTE/100 mL (Figura 6.60), confirmando que el origen de la contaminación microbiológica por coliformes es fecal, lo cual representa un riesgo alto de salud pública por el inadecuado manejo de las aguas residuales municipales ([Molina et al., 2014](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)). En la zona del parque Tayrona, las mayores concentraciones de CTE se presentaron en la época lluviosa, lo cual puede estar relacionado con la actividad turística que desarrollan en las playas del parque, sobrepasando el límite permisible para uso recreativo por contacto primario (Figura 6.60; [MinSalud, 1984](#)).



**Figura 6.60. Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea punteada de color negro indica el límite permisible para uso recreativo por contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0) (MinSalud, 1984).**

En la Tabla 6.6 se presentan los resultados actuales, y los rangos históricos de CTE y enterococos fecales (EFE) registrados en las playas de uso recreativo. El 72,2 % de las playas presentaron concentraciones de CTE por encima del límite permisible (200 NMP/100mL; [MinSalud, 1984](#)) para este uso, durante la época lluviosa 2014, mientras que solo el 5 % de las playas incumplieron durante la época seca. La estación muelle Cabotaje incumplió en ambas épocas climáticas, lo que se atribuye a la descarga de aguas residuales y de escorrentía por la calle 10, ocasionando condiciones sanitarias inadecuadas en esta zona de la bahía de Santa Marta.

**Tabla 6.6 Concentración de coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) medidos en las aguas superficiales de las estaciones de playas turísticas del departamento del Magdalena durante las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, y el registro histórico.**

Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico <sup>1</sup>	2015	Histórico <sup>1</sup>	2014	Histórico <sup>2</sup>	2015	Histórico <sup>2</sup>
Playa Buritaca	271*	27 – 13.000	<18	2 – 160.000	613	28 - 410	34	1 - 73
Playa Mendihuaca	107	4,5 – 13.000	13	1,8 - 900	<LD	4 - 163	1	1 - 124
Playa Cristal	328*	<LD - 320	2	1,8 – 1.300	<LD	<LD - 38	2	1 - 46
Playa Neguanje	687*	<LD - 270	<LD	<LD - 190	<LD	1 - 48	<LD	<LD - 178
Bahía Chengue	371*	<LD - 140	<LD	<LD - 33	79	<LD - 23	<LD	<LD - 3
Bahía Concha	201*	<LD - 280	<LD	<LD - 610	<LD	1 - 35	<LD	<LD - 10
Playa Grande	1.337*	1,8 – 1.500	33	<LD - 330	3780	1 - 47	<LD	1 - 13
Playa Taganga	1.010*	<LD - 980	33	<LD – 1.700	>2000	13 - 64	1	1 - 38



Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico <sup>1</sup>	2015	Histórico <sup>1</sup>	2014	Histórico <sup>2</sup>	2015	Histórico <sup>2</sup>
Cabotaje (Calle 10)	1.340*	<LD – 650.000	230*	18 – 11.000.000	>2000	3 - 2000	7	1 - 42300
Playa Municipal	738*	20 – 1.700	<LD	<LD – 1.300	4270	4 - 141	28	<LD - 70
Playa Batallón	<10	1,8 – 16.000	<LD	<LD – 2.400	160	4 - 708	60	1 - 228
Playa Blanca	168	<LD - 250	<LD	<LD – 80	330	<LD - 33	<LD	<LD - 5
Playa Rodadero	20	4,5 – 24.000	<LD	1,8 – 300	80	10 - 58	1	<LD - 140
Parque Acuático	30	41 – 790	<LD	<LD - 730	<LD	2 - 389	6	<LD - 59
Playa Salguero	181	<LD – 1.600	2	<LD - 540	10	<LD - 2000	<LD	<LD - 112
Pozos Colorados	211*	<LD - 740	<LD	<LD - 600	20	<LD - 33	<LD	<LD - 6
Aeropuerto	250*	<LD - 260	2	<LD - 800	<LD	1 - 44	<LD	<LD - 2
Alcatraces	1.120*	<LD - 900	<LD	<LD – 1.100	10	3 - 32	<LD	1 - 5

\*Valores que se encuentra por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

<LD= Valores por debajo del límite de detección (CTE: 1,8 NMP/100 mL; EFE: 1 UFC/100 mL)

<sup>1</sup>Rango histórico de coliformes termotolerantes registrado en la base de datos de la REDCAM ([INVEMAR, 2015](#)).

<sup>2</sup>Rango histórico de Enterococos fecales registrado en la base de datos de la REDCAM ([INVEMAR, 2015](#)).

En cuanto a los EFE, durante la época lluviosa 2014 se encontró que nueve estaciones presentaron concentraciones que implican riesgos de contraer patologías gastrointestinales y respiratorias ([OMS, 2003](#)) sobrepasando en su mayoría, los valores máximos registrados históricamente en estas estaciones, cinco registraron valores que representan un porcentaje de riesgo >10% y >3,9% de adquirir enfermedades gastrointestinales y enfermedades respiratorias febriles agudas respectivamente ([OMS, 2003](#)). En la época seca, playa Batallón fue la única que presentó una concentración de 60 UFC/100 mL (Tabla 6.6), que representa riesgo sanitario para los bañistas y que indica que posiblemente existe una fuente de contaminación de origen fecal.

### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Las concentraciones de HAT oscilaron entre el límite de detección de la técnica analítica utilizada en LABCAM (0,07) y 5,06 µg de HAT/L (Figura 6.61), encontrándose los valores generalmente mayores en la época lluviosa 2014, en comparación con la época seca 2015. La estación río Manzanares, presentó el valor más alto en la época seca, valor asociado a vertimientos de aguas residuales que se realizaron a principios del 2015 ([Invemar, 2015b](#)), y a residuos oleosos que llegan al río procedentes de talleres mecánicos y lavaderos de autos situados en la ribera del río ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#)). En ninguna de las estaciones monitoreadas, las concentraciones de HAT determinadas no superaron el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la [UNESCO \(1984\)](#) para aguas no contaminadas.

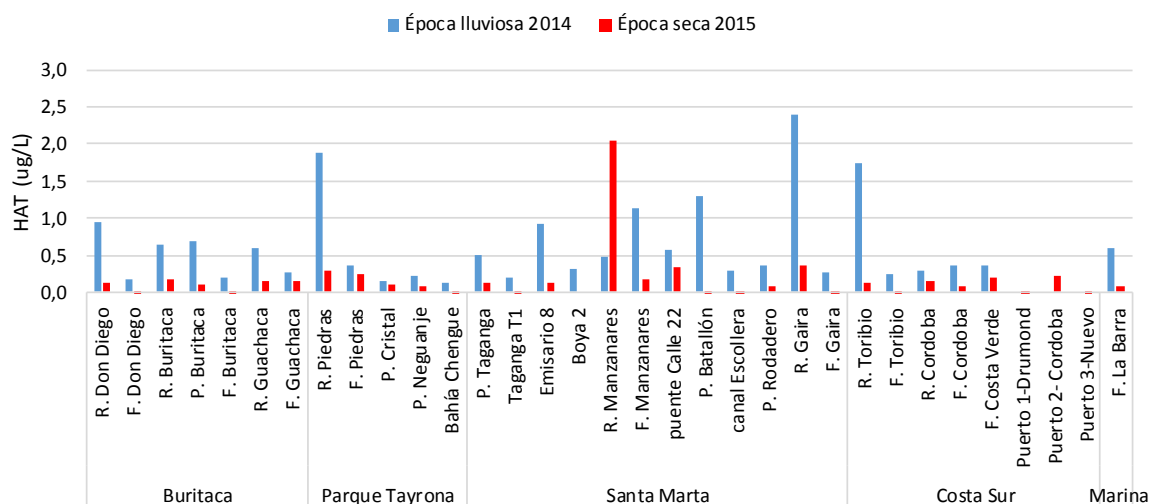


Figura 6.61. Concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Los registros históricos desde el 2001, muestran que las concentraciones promedio más altas se han registrado en la época de lluvias en las estaciones río Guachaca ( $1,74 \pm 4,35 \mu\text{g/L}$ ), playa Municipal ( $1,77 \pm 4,28 \mu\text{g/L}$ ) y río Gaira ( $1,61 \pm 0,81 \mu\text{g/L}$ ), y en la época seca en el río Manzanares ( $4,34 \pm 8,35 \mu\text{g/L}$ ) superando en algunos casos el valor de referencia (Figura 6.62). Estos resultados se deben principalmente a vertimientos de aguas residuales, la actividad portuaria y turística, así como a las escorrentías de aguas de lluvia ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)).

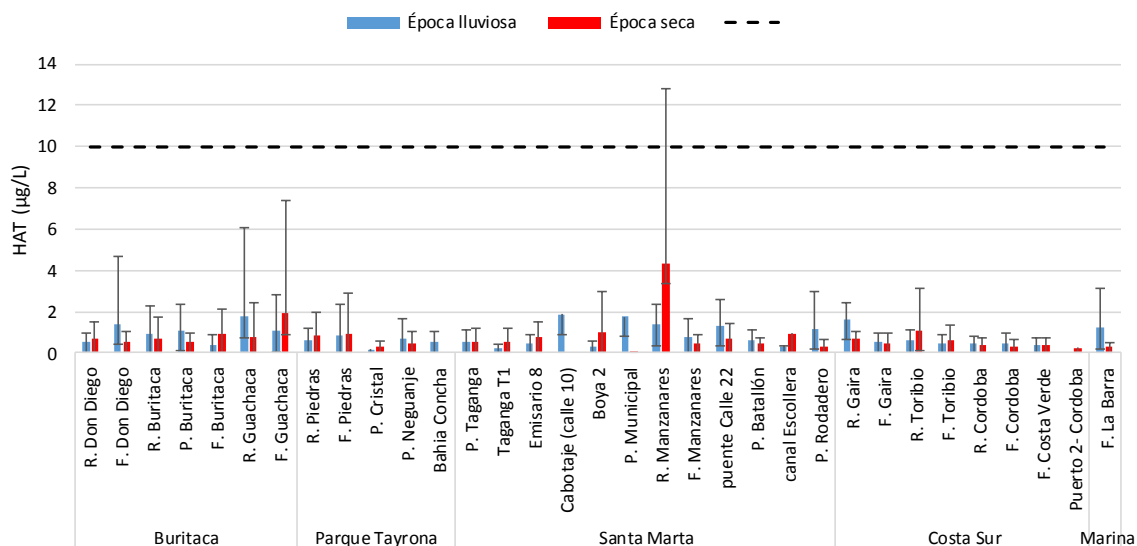


Figura 6.62. Promedio histórico (2001-2015) de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar. La línea negra punteada corresponde al valor de referencia de la [Unesco \(1984\)](#) para aguas no contaminadas.

### Plaguicidas

En el departamento del Magdalena el uso de plaguicidas se encuentra relacionado a la actividad agropecuaria, necesitada de instrumentos capaces de mitigar las plagas sobre áreas de cultivo y pastoreo. El sector agropecuario representa el 31,78 % del producto interno bruto departamental, ubicándose como la actividad económica de mayor trascendencia de la zona y se caracteriza por la producción de banano, palma de aceite, flores tropicales de exportación, café, cítricos, sábila, cacao, tabaco, arroz, productos cárnicos y lácteos, entre otros bienes ([MADR, 2006](#)).

De acuerdo al escenario descrito anteriormente, es de esperar la presencia de plaguicidas en el departamento del Magdalena; y así se ve reflejado en los resultados obtenidos a partir de los monitoreos realizados por la REDCAM, donde en el 85,2 % de las estaciones se detectaron estos compuestos en al menos una ocasión desde el año 2001 hasta el primer semestre del 2015 ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). Dentro de este porcentaje se encuentran todos los ríos y sus respectivos frentes, evidenciando que la distribución de estos residuos contaminantes en el departamento se deriva en su mayoría de arrastres de estos compuestos por escorrentía, transportándolos hacia los ríos y posteriormente al mar Caribe.

En la Tabla 6.7 se describen los valores máximos determinados para plaguicidas durante los monitoreos de la REDCAM. Al contrastar estos valores con los establecidos por [EPA \(2015\)](#) como valores de referencia para efectos agudos, encontramos que todos los valores obtenidos para plaguicidas en toda la historia de la REDCAM se encuentran por debajo de los valores de referencia para efectos agudos del EPA.

Entre los años 2001 y 2008 se ha identificado la presencia de los siguientes plaguicidas organoclorados (POC): 1,1'-(2, 2, 2-tricloroetilidieno)-bis-(4-clorobenceno) conocido como DDT; Hexaclorociclohexano (HCH); Heptacloro (HEP) y Aldrín (ALD). Para el periodo comprendido entre el año 2009 y el primer semestre de 2014 no se detectaron la presencia de compuestos como el HCH y HEP, mientras que ALD y DDT se detectaron únicamente para los años 2009 y 2012, respectivamente, evidenciándose la degradación y desuso de estas sustancia en la zona. No obstante, en el año 2012 se reportó la concentración de 16,0 ng/L para el plaguicida Clorpirifós (CLOR) en la estación río Piedras, que no superó el valor de referencia de 83,0 ng/L para efectos agudos en aguas dulces ([EPA, 2015](#); Tabla 6.7), siendo el primer registro de presencia de plaguicidas organofosforados.

**Tabla 6.7 Valores máximos de plaguicidas determinados durante la REDCAM, en el departamento del Magdalena, desde el 2001 al 2015 y valores de referencia para efectos agudos (EPA, 2015).**

PLAG	Época y año del monitoreo	Estación	Valor determinado por la REDCAM [ng/L]	Valores de referencia para efectos agudos en aguas [ng/L]	
				Aguas dulces	Aguas marinas
ALD	Lluviosa 2008	Río Buritaca	45,4	3000*	1300*
DDT	Lluviosa 2008	Río Don Diego	22,1	1.100*	130*
HCH	Lluviosa 2007	Frente río Toribio	7,9	950*	160*
HEP	Lluviosa 2014	Río Manzanares	96,3	520*	53*
END ALD	Lluviosa 2014	Río Don Diego	31,6	86*	37*
CLOR	Lluviosa 2014	Frente río Piedras	16	83*	11*
BROM	Seca 2015	Frente La Barra	24,7		-

\*valores de referencia definidos por la EPA 2015

Durante la época lluviosa 2014 se detectó la presencia de HCH en las estaciones de los ríos Manzanares y Gaira, y frente La Barra; y de Endrín Aldehído (END ALD) en la estación río Don Diego, los cuales no fueron detectados en la época seca 2015. Hay que resaltar que el END ALD es un derivado de la degradación del Endrino, sustancia que al igual que el HCH tienen prohibido su uso en Colombia de acuerdo a los lineamientos de la resolución 447 de 1974 del Ministerio de Agricultura ([Silva y Correa, 2009](#)), por su alta toxicidad y persistencia en el medio ambiente. Adicionalmente, en la última campaña de monitoreo se reportó por primera vez la presencia del plaguicida organofosforado Bromacil (BROM) en la estación frente a La Barra, con una concentración de 24,7 ng/L. Para esta sustancia no existen límites permisibles ni valores de referencia para aguas marinas.

### Metales Pesados

Los metales pesados: Cd, Cu y Cr determinados en las aguas marino costeras del departamento del Magdalena en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015 no representan ningún riesgo para la vida acuática, debido a que sus niveles se encontraron por debajo del límite de detección del método de análisis utilizado en el LABCAM (Cd: 0,42 µg/L; Cr: 1,0 µg/L; Cu: 0,9 µg/L). Estos niveles concuerdan con los reportados por [Vivas-Aguas et al. \(2015a\)](#) en donde también se presentaron por debajo del límite de detección del método. Esto indica que en los sitios de muestreo no hay contaminación alguna por estos metales al registrarse muy por debajo de valores de referencia para efectos agudos establecidos en guías internacionales (Cd: 40 µg/L, Cu: 4,8 µg/L [Buchman, 2008](#); y Cr: 50 µg/L [CONAMA, 2005](#)).

El Ni se detectó en algunas estaciones en concentraciones ligeramente mayores al límite de detección del método analítico, con promedios de  $1,5 \pm 0,3$  µg de Ni/L en época lluviosa de 2014 y de  $2,3 \pm 1,2$  µg de Ni/L en época seca de 2015 (Figura 6.63). Estos resultados se encontraron por debajo del valor de referencia para efectos agudos que establece la NOAA (74 µg de Ni/L; [Buchman, 2008](#)).

El Zn se registró una concentración promedio de  $30,5 \pm 19,8$  µg de Zn/L en la época seca 2015, mientras que en la época lluviosa 2014 estuvieron por debajo del límite de detección del método. El mayor nivel se encontró en la estación puente calle 22 de la zona de Santa Marta con un valor de 100,7 µg de Zn/L, superando el valor de referencia para efectos agudos de la NOAA (90,0 µg de Zn/L; [Buchman, 2008](#)). Hay que destacar que la estación puente calle 22 es una zona que recibe vertimientos y escorrentías urbanas, y que en muestreos anteriores su nivel ha estado por debajo del valor de referencia de la NOAA, por lo que se requiere continuar con el monitoreo de este metal y su biodisponibilidad.

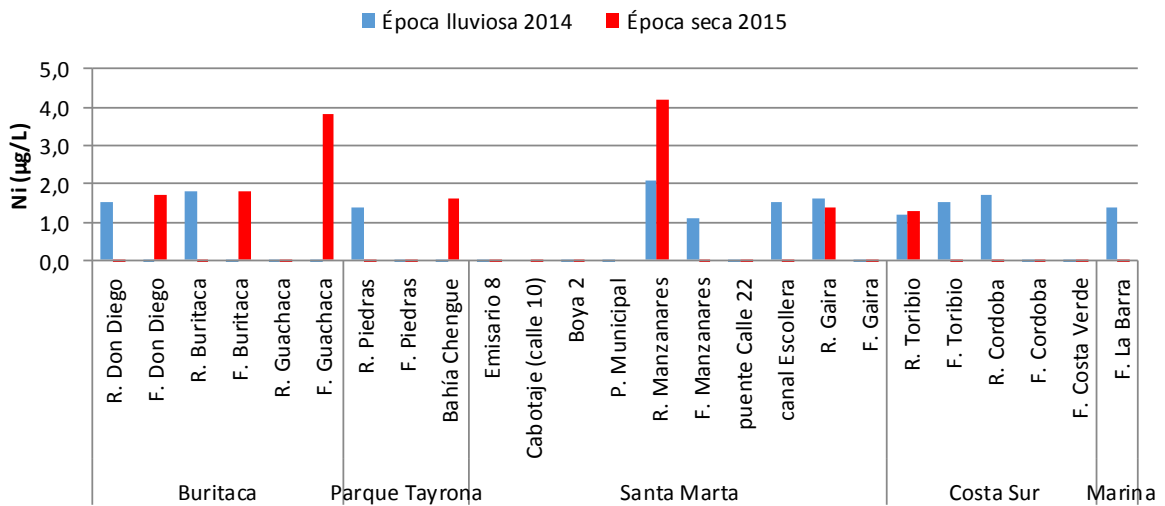


Figura 6.63. Concentraciones de Níquel disuelto en µg/L medido en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena durante las épocas lluviosa de 2014 y época seca de 2015.

El Fe por su parte, presentó variación en todos los sitios de muestreo, con una concentración promedio de  $18,1 \pm 14,6$  µg de Fe/L en la época lluviosa 2014 y  $27,5 \pm 23,0$  µg de Fe/L en la época seca 2015 (Figura 6.64). En las estaciones de los ríos Manzanares, Gaira y Córdoba, se presentaron las mayores concentraciones con 78,7, 86,3 y 79,8 µg de Fe/L, respectivamente. Para las estaciones ubicadas en aguas marinas, los niveles no superaron el valor de referencia para efectos agudos sugerido por la NOAA (300 µg de Fe/L; [Buchman, 2008](#)).

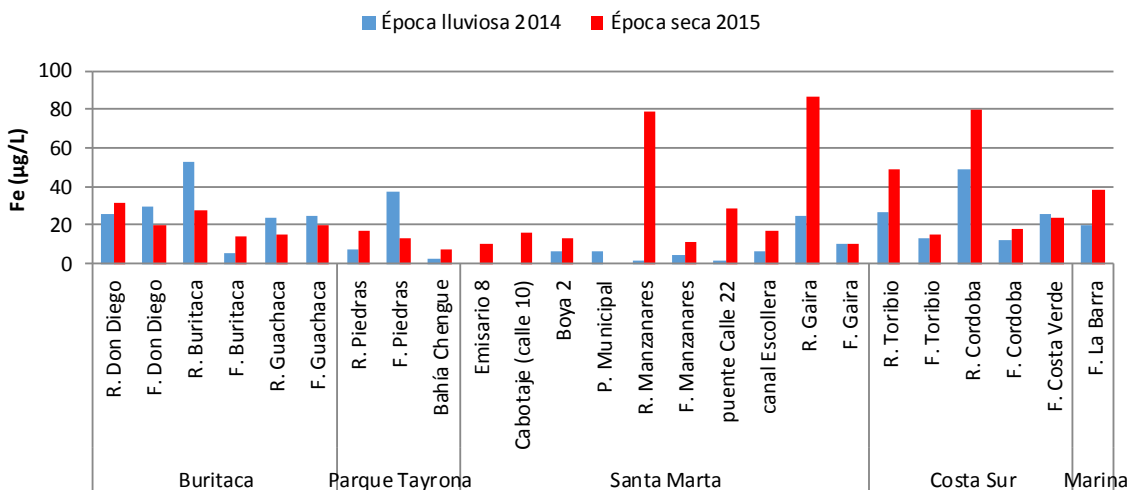


Figura 6.64. Concentraciones de hierro disuelto en µg/L, medido en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena, durante las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

## Índice de calidad de las aguas

La calidad del agua evaluada con el ICAM<sub>PFF</sub> fluctuó entre una condición *Inadecuada* y *Óptima*, con mejores condiciones en época seca 2015 comparada con la época lluviosa 2014. En la época lluviosa 2014, las estaciones muelle Cabotaje (Calle 10), playa Grande y Alcatraces tuvieron calidad *Aceptable*, y Emisario 8 una condición *Inadecuada* atribuida a la concentración de 13.340 NMP de CTE/100 mL, que a pesar de no ser una playa, indica que las condiciones son poco favorables para la preservación de flora y fauna; puente calle 22 con 529 NMP de CTE /100 mL, y frente río Córdoba con 153,7 µg de NO<sub>3</sub>/L, debido a la influencia de vertimientos de aguas residuales y de áreas agrícolas, presentaron también condiciones inadecuadas (Figura 6.65a). En la época seca 2015, bahía Chengue y playa Cristal presentaron una *Óptima* calidad y el restante de estaciones calidad *Adecuada*, mejorando las condiciones en comparación con el 2014 (Figura 6.65b).

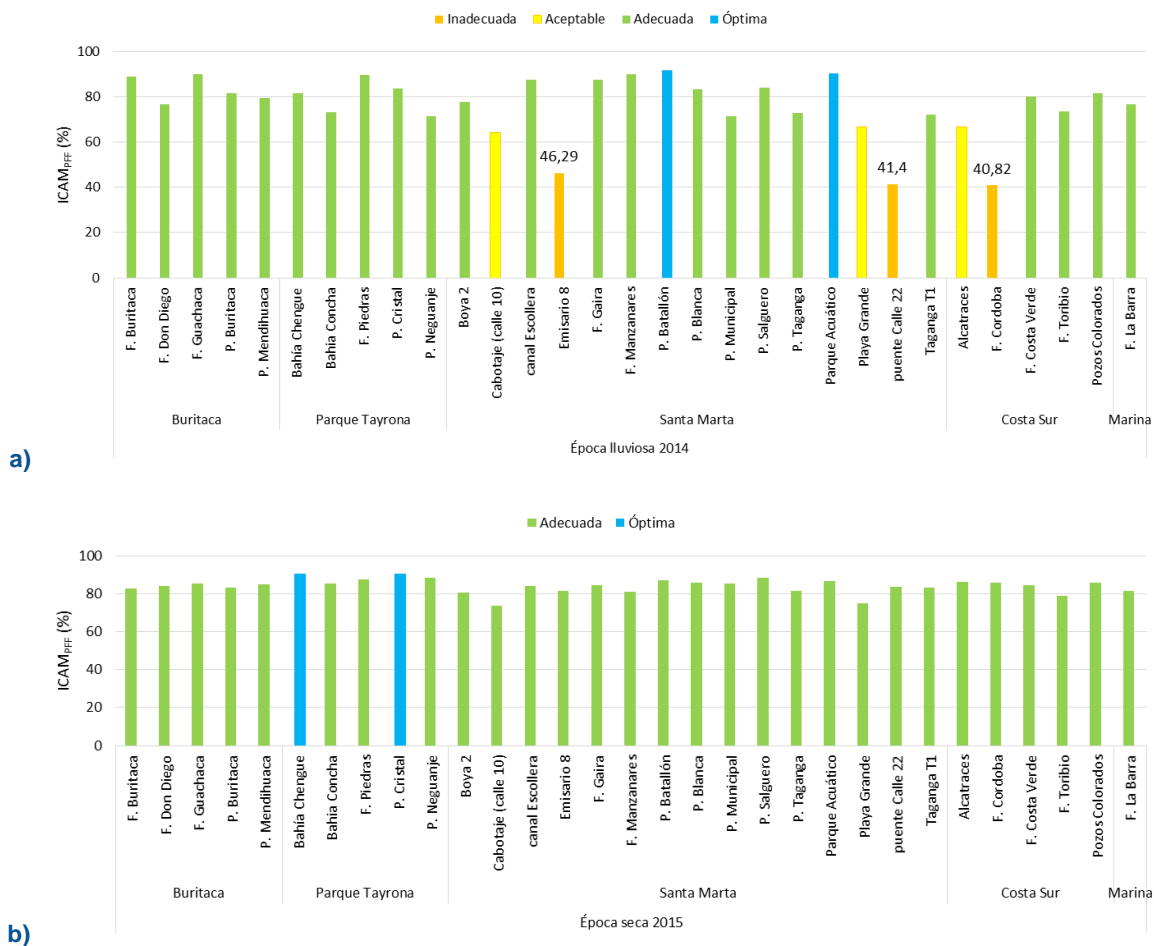


Figura 6.65. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento del Magdalena evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>), en las épocas lluviosa 2014 (a) y seca 2015 (b).

### 6.3.1.2 CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS

#### Materia orgánica

Los valores de materia orgánica determinados en la estación frente al río Manzanares fueron bajos durante el año 2014 para ambas épocas climáticas. En la época seca 2015 se presentó un aumento de la materia orgánica, lo cual podría corresponder a los aportes del río Manzanares en febrero, mes en el cual se presentó una contingencia en la estación de bombeo de aguas residuales en el sector de Latenería, que trajo como consecuencia el vertido directo y continuo por aproximadamente cuatro días, de aguas residuales municipales sin ningún tipo de tratamiento y con una alta carga orgánica, y que fue descargada a la bahía de Santa Marta ([Invemar, 2015b](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)), siendo la principal causa probable de este resultado. En la estación frente al río Gaira en la época seca 2015 se registró un valor de 25,7 mg/g de materia orgánica, asociado a los aportes del río Gaira en el cual también se realizan vertimientos de aguas residuales ([Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)).

#### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Debido a que en Colombia no existen criterios de calidad o valores permisibles de HAT en sedimentos, o referencias de concentraciones que puedan causar efectos tóxicos a la vida marina; se tomó como referencia el valor determinado por la NOAA de 3,9 µg/g para sedimentos no contaminados ([NOAA, 1990](#)).

Los sedimentos evaluados en la época lluviosa 2014, provenientes de la estación frente al río Manzanares, presentaron concentraciones de HAT que no superaron el valor de referencia (Tabla 6.8). En la época seca 2015, la evaluación se realizó a los sedimentos tomados en las estaciones ubicadas en los frentes de los ríos Manzanares y Gaira, determinándose concentraciones de HAT de 0,72 y 0,48 µg/g respectivamente (Tabla 6.8).

**Tabla 6.8. Concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en sedimentos del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Estación	Época Lluviosa 2014	Época seca 2015
	HAT (µg/g)	HAT (µg/g)
Frente al río Manzanares	0,63	0,72
Frente al río Gaira	-	0,48
<b>Valor de referencia</b>	<b>3,9 *</b>	<b>3,9 *</b>

- No determinado.

\*Valor de referencia para sedimentos no contaminados ([NOAA, 1990](#)).

#### Plaguicidas

El monitoreo de plaguicidas en el sedimento de la estación frente al río Manzanares inició en la época lluviosa del 2013, encontrándose en ese periodo, la presencia de DDT en una concentración de 4,3 ng/g. En los muestreos posteriores (épocas lluviosa 2014 y seca 2015), no se registró presencia de estos compuestos en la estación, posiblemente por la variabilidad de algunas condiciones fisicoquímicas del medio, como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o materia orgánica, y la hidrodinámica de la zona, que influyen en la retención de este tipo de sustancias y su distribución en el medio ([Said, 2007](#)).

## Metales Pesados

El río Manzanares recorre áreas urbanas de la ciudad de Santa Marta y desemboca en el mar Caribe en la playa Los Cocos, bahía de Santa Marta. Este río recibe residuos sólidos y líquidos de la ciudad y presenta un alto deterioro ambiental ([Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)). Desde el año 2013 se está monitoreando la calidad de los sedimentos en frente de su desembocadura, ya que esta la matriz sedimentos actúan como sumidero de muchos contaminantes especialmente de metales pesados. Se evaluó el contenido total de Cd, Ni, Cr, Cu, Zn, Pb y Fe y se compararon con los valores de referencia PEL (Probable Effect Level) establecidos por la NOAA para efectos adversos sobre la biota acuática ([Buchman, 2008](#)).

En la Tabla 6.9 se muestran los resultados de los metales totales en sedimentos superficiales frente a la desembocadura del río Manzanares, recolectados en la época lluviosa de 2014 y época seca de 2015. Además, en el presente informe se adicionó el análisis de metales en sedimentos frente a la desembocadura del río Gaira en la época seca 2015, por considerarse otra vía importante de ingreso de contaminantes al mar y presentar también alto deterioro ambiental ([Garcés-Ordóñez et al., 2016](#)).

En general, se registraron las mayores concentraciones de Pb, Cr, Cu y Zn en la estación frente al río Manzanares en la época lluviosa 2014, sin embargo, no superan los valores de referencia PEL de la NOAA (Tabla 6.9). De igual manera se observó en la estación frente al río Gaira que las concentraciones no representan algún riesgo de contaminación para el desarrollo de la vida acuática debido a que no superaron los valores de referencia PEL (Tabla 6.9).

**Tabla 6.9. Concentraciones de metales pesados medidas en sedimentos superficiales del departamento del Magdalena en la época lluviosa de 2014 y época seca de 2015. Los valores de referencia PEL fueron tomados de la NOAA ([Buchman, 2008](#)).**

Estación	Época lluvia 2014							Época seca 2015						
	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)
Frente al río Manzanares	14,5	<0,5	64,5	4	219,6	<2,0	36,8	<4,0	<0,5	<6,4	<1,9	19,6	<2,0	9,3
Frente al río Gaira	-	-	-	-	-	-	-	<4,0	<0,5	12,2	9,6	51,7	<2,0	19,4
Valor de referencia PEL	112	4,2	160	108	271	42,8	-	112	4,2	160	108	271	42,8	-

### **6.3.2 CONCLUSIONES**

Las actividades socioeconómicas que se desarrollan en la zona costera del Magdalena y la inadecuada disposición y manejo de residuos sólidos y líquidos de la población, afectan negativamente las condiciones fisicoquímica normales de las aguas marinas y costeras del departamento, por los aportes de materia orgánica y nutrientes inorgánicos disueltos, causando deterioro de la calidad del agua en algunas estaciones con mayor influencia antropogénica.

Las aguas marino-costeras del departamento presentan altos valores de microorganismos de origen fecal, por encima de lo permitido en la legislación nacional para el uso recreativo de las aguas en algunas estaciones, lo cual es causado por la inadecuada disposición de aguas



residuales y el aumento de las precipitaciones, representando un riesgo alto para la salud pública. Los ríos Manzanares y Gaira se encuentran microbiológicamente contaminados, convirtiéndose en vías importantes de entrada de contaminantes al mar Caribe, y a las playas de uso turístico cercanas a sus desembocaduras, como Los Cocos y Salguero respectivamente.

Las concentraciones de hidrocarburos medidas en las aguas costeras y en los sedimentos del departamento fueron inferiores a los valores de referencia. Su presencia es mayor en zonas como Santa Marta y Costa Sur, asociadas al tráfico de embarcaciones, vertimientos de aguas residuales, actividades turísticas y operaciones portuarias.

En la actualidad los valores de plaguicidas reportados, no representan una amenaza para el desarrollo de la vida en los ecosistemas marinos y costeros del departamento. Es poca la frecuencia y los tipos de plaguicidas detectados en los últimos cinco años. Además, no superan los valores de referencia para efectos agudos en la biota. Por otra parte, se ha identificado una degradación importante de muchos de estos compuestos que se evidencia al hacerse indetectable la presencia de los mismos a partir del año 2009, en la mayoría de las estaciones monitoreadas.

Los niveles de metales pesados en las aguas marinas del departamento se encuentran en su mayoría por debajo del límite de detección del método y de los valores de referencia para efectos agudos de la NOAA. La estación puente Calle 22 presenta la concentración de zinc más alta en la época seca 2015, por encima del valor de referencia para efectos agudos, atribuido a vertimientos y escorrentías urbanas. En los sedimentos evaluados solo en el hierro estuvo en una alta concentración en la época lluviosa de 2014 superando todos los límites establecidos en guías internacionales. Sin embargo, este metal no es considerado altamente peligroso para la biota acuática.



# Atlántico



Ciénaga de Balboa. Foto: Paola Obando

## **EQUIPO TÉCNICO CRA**

*J. Emilio Zapata Marques- Gerente Planeación  
Efraín Leal Puccini – Profesional Especializado G16*



## 6.4 ATLÁNTICO

El departamento del Atlántico está localizado al norte de Colombia, entre los 10° 16' 01" y 11° 04' 30" de latitud norte y 74° 43' y 75° 16' de longitud oeste. Limita por el norte con el mar Caribe (90 kilómetros de litoral con el mar Caribe), por el este con el río Magdalena (105 kilómetros de ribera con el río Magdalena); por el sur con el departamento de Bolívar y por el oeste con el mar Caribe y el departamento de Bolívar. La temperatura media anual es de 27,0 °C; con medias máximas de 29,9 °C y mínimas de 25,0 °C entre octubre y noviembre. Los vientos de mayor influencia en el clima del departamento son los alisios del noreste, con dirección dominante norte y muy intensa en febrero y marzo, y son los responsables de la poca lluvia en la faja litoral del departamento. El régimen anual de lluvias es bimodal, con dos períodos de lluvias; mayo- junio y agosto- noviembre, alternados con dos períodos secos, diciembre- abril y junio- julio ([CRA, 2007](#)).

La corriente más importante del sistema hidrográfico del departamento es el río Magdalena que desemboca al mar Caribe. Las restantes aguas continentales las constituyen pequeños cauces como arroyos y caños, y las ciénagas que cubren un área amplia del sur y occidente del departamento, entre ellas las ciénagas de Mallorquín y de Balboa que limitan con el mar Caribe ([CRA, 2007](#)).

La población costera para el departamento se estimó en 1'888.896 habitantes (Proyección poblacional año 2015; [DANE, 2015](#)), distribuidos en cinco municipios costeros: Barranquilla (64,5 %), Soledad (32,6 %), Puerto Colombia (1,4 %), Juan de Acosta (0,9 %) y Tubará (0,6 %), los cuales presentan coberturas entre 0,4 y 98 % en los sistemas de saneamiento básico y agua potable. La producción de aguas residuales en estos municipios costeros es proporcional al tamaño de la población ([UNEP-RCU/CEP, 2010](#)). Para el año 2015 se estimó un volumen de 287.712 m<sup>3</sup>/día de agua residual doméstica, de la cual 8 % se vierte a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento previo. La producción de residuos sólidos oscila entre 6,5 y 1.288,97 t/día, los cuales son dispuestos en los rellenos sanitarios Parque Ambiental Los Pocitos y Las Margaritas ([Supersevicios, 2014a](#)).

En el año 2014, [Vivas-Aguas et al. \(2015a\)](#) realizaron un inventario de las fuentes terrestres y marinas de contaminación al mar Caribe y al río Magdalena en la zona costera del departamento del Atlántico, identificando la actividad marítima-portuaria, la descarga de aguas residuales, la industria, la agricultura y el turismo como los principales contribuyentes de contaminantes y nutrientes a los cuerpos de agua costeros del departamento.

Con el propósito de apoyar a la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) con información sobre temas de calidad ambiental marina para la gestión ambiental, la (REDCAM) cuenta con 17 estaciones de monitoreo para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras y de sedimentos, las cuales se distribuyen en tres zonas (Figura 6.66): la zona río Magdalena que incluye la ciénaga de Mallorquín, en donde se desarrollan actividades portuarias, agrícolas y se vierten aguas residuales provenientes de las poblaciones ribereñas; la zona Puerto Colombia; y la zona Tubará-Acosta. Estas dos últimas zonas cubren algunas ciénagas, playas de interés turístico y poblaciones costeras de los municipios Puerto Colombia, Tubará y Juan de Acosta.

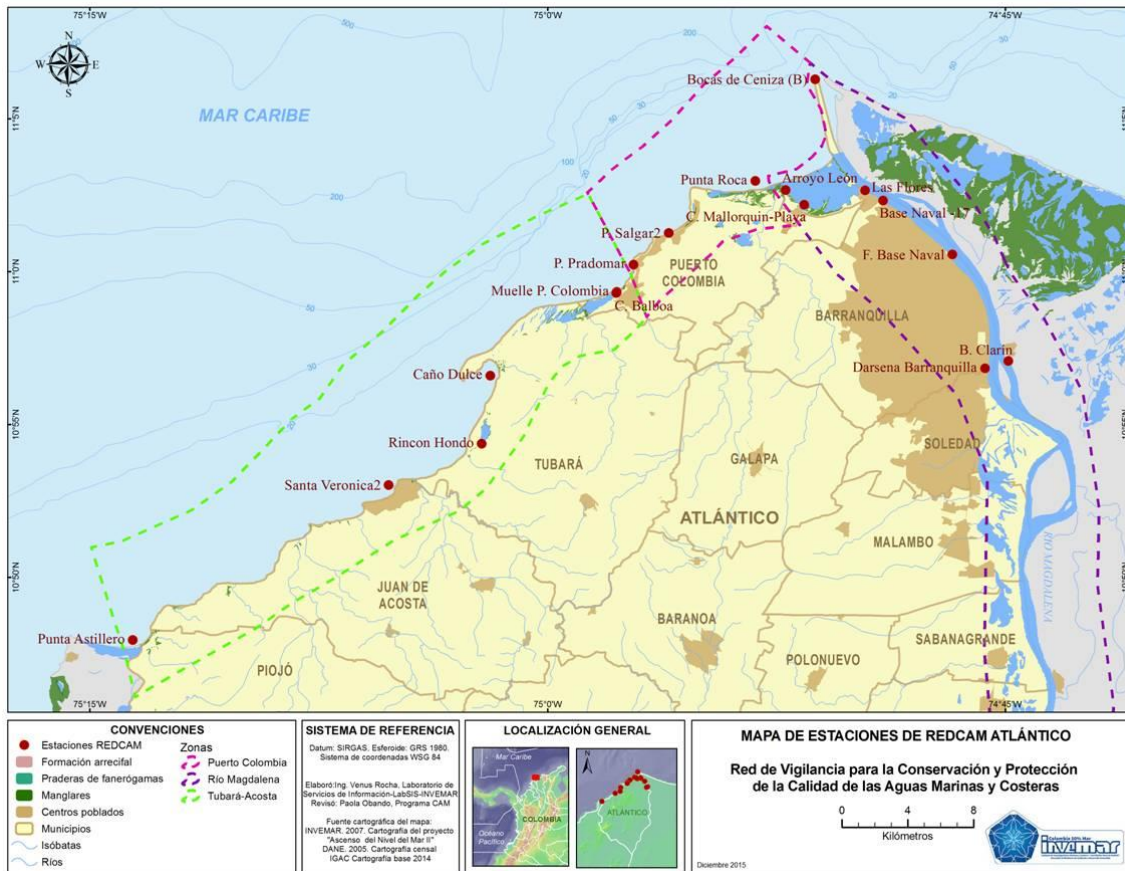


Figura 6.66. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Atlántico.

## 6.4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.4.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

#### Variables fisicoquímicas

##### *In situ y Sólidos suspendidos totales*

Los valores de salinidad registrados durante el periodo de muestreo, se muestran en la Figura 6.67. En las estaciones del río Magdalena se registró una salinidad máxima de 1,1 por el tipo de agua dulceacuícola, en la ciénaga de Mallorquín-Playa y arroyo León, por la influencia del mar Caribe y del río Magdalena presentaron condiciones estuarinas, con salinidades entre 6,5 y 18,7. En las zonas de Puerto Colombia y Tubará-Acosta, las estaciones de las playas tuvieron salinidades entre 30,4 y 36,4, características de agua marina, mientras que en las ciénagas Balboa y Rincón Hondo durante la época seca se presentaron salinidades muy altas de 79 y 95,6 respectivamente, valores característicos de agua tipo salmuera. La temperatura osciló entre 25,8 y 34,6, asociados con las horas de medición (8:00 am y 4:00 pm).

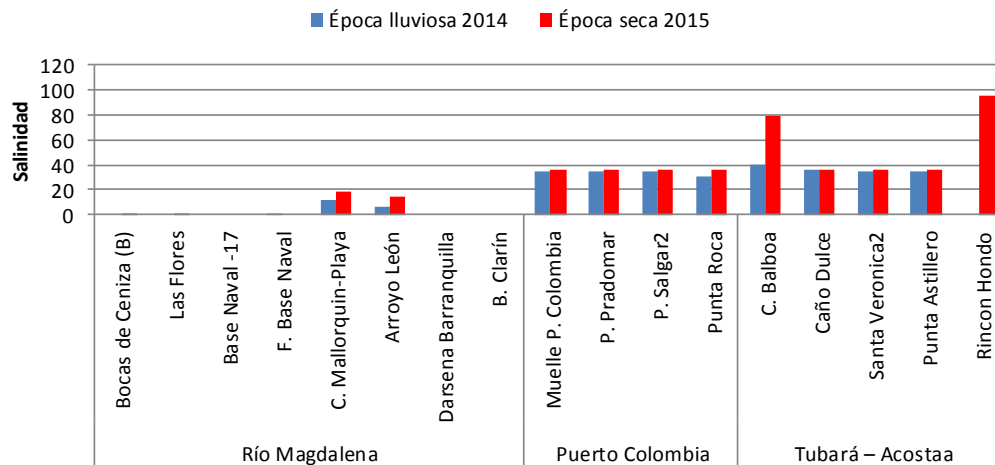


Figura 6.67. Valores de salinidad medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) estuvieron entre 0,59 y 11,1 mg de O<sub>2</sub>/L (Figura 6.68). Puntualmente en las estaciones frente a Base Naval (0,59 mg/L), arroyo León (2,82 mg/L) y ciénaga Rincón Hondo (3,7 mg/L) en la época lluviosa de 2014 se registraron valores inferiores al criterio de calidad de 4 mg de O<sub>2</sub>/L para la preservación de flora y fauna (Minsalud, 1984; Figura 6.68), situación que históricamente se ha presentado en la estación frente a Base Naval, debido a descargas de aguas residuales, que incrementan la demanda bioquímica de oxígeno y en consecuencia disminuyen la disponibilidad del OD para las especies aerobias (Vivas- Aguas et al., 2012). En la ciénaga de Balboa a pesar que el OD estuvo por encima de la legislación durante la época seca 2015 (11,1 mg de O<sub>2</sub>/L), la sobresaturación presentada tampoco garantiza la preservación de la biota aerobia, ya que puede afectar los peces (Manahan, 2007).

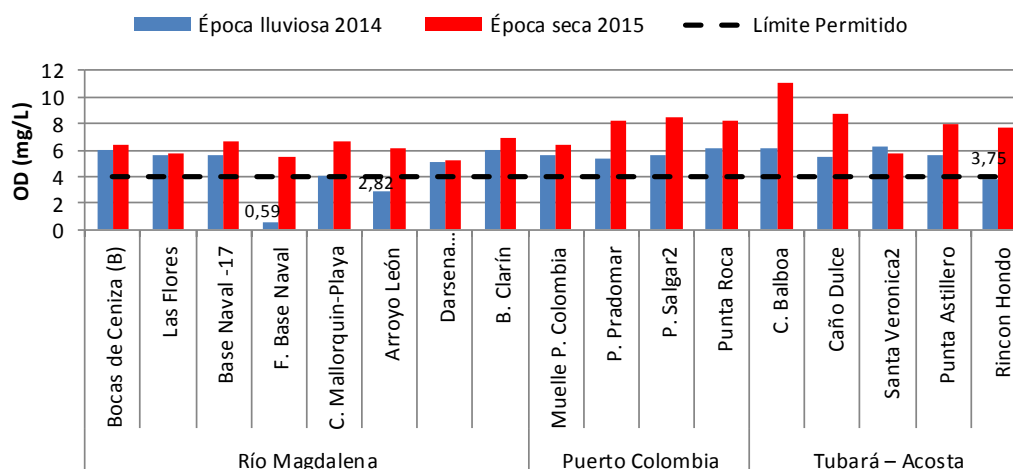
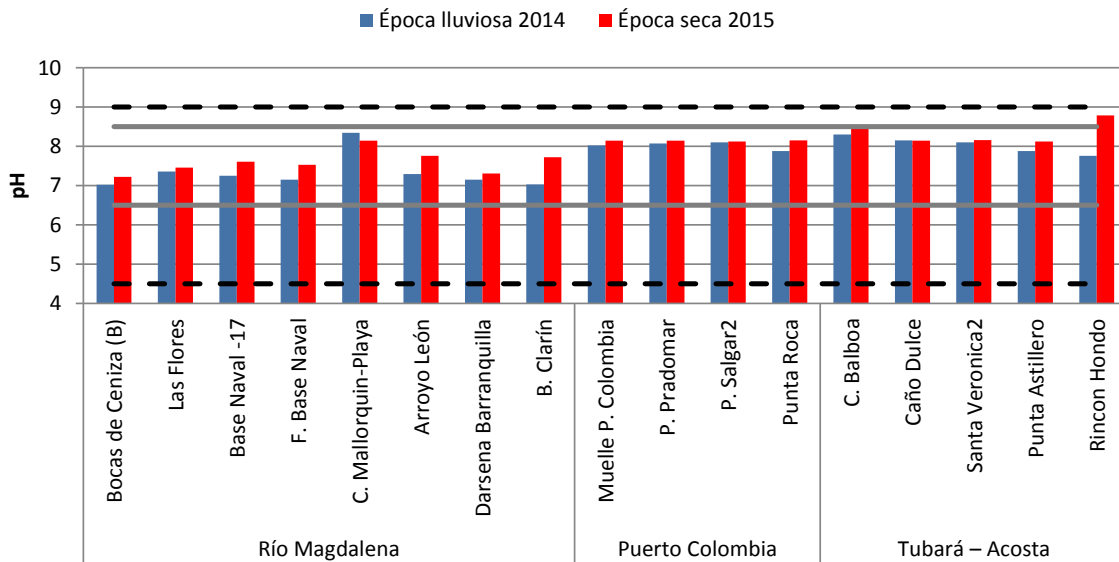


Figura 6.68. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada indica el límite mínimo permisible de OD para la preservación de flora y fauna (MinSalud, 1984).

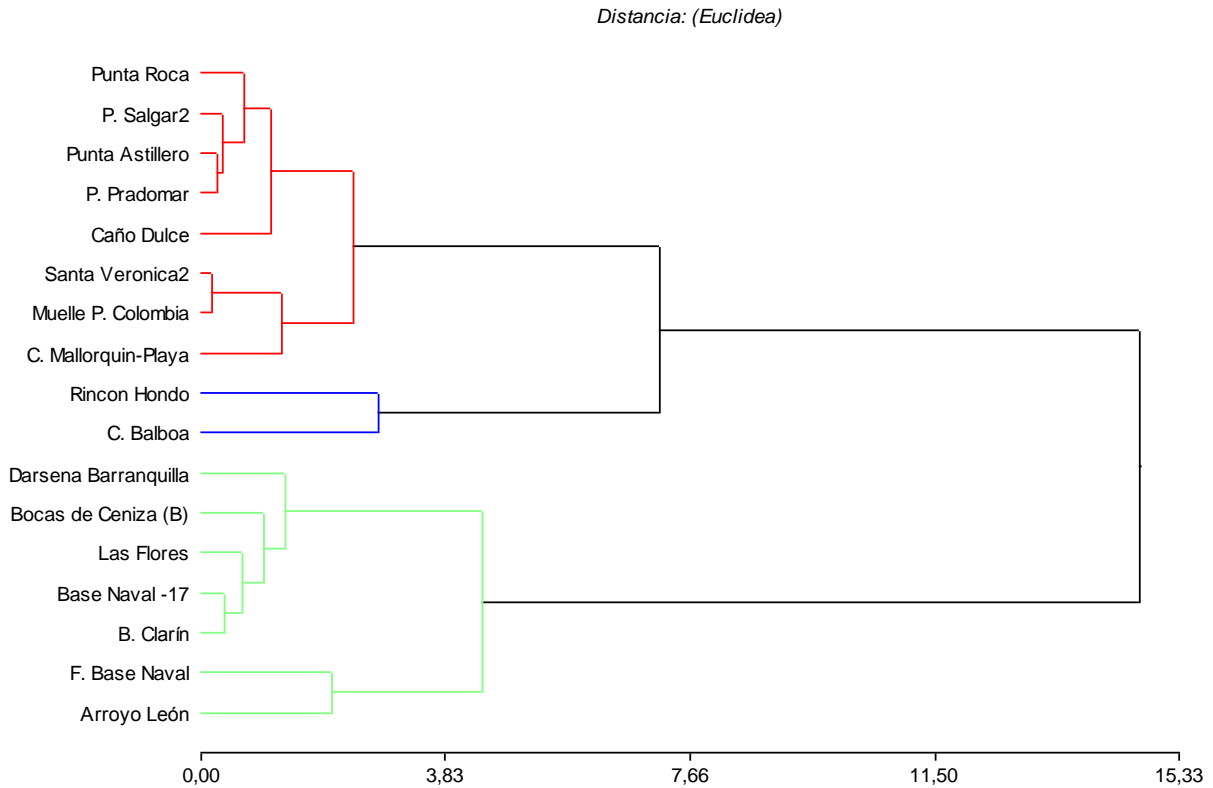
Los valores de pH oscilaron entre 7,0 y 8,7 (Figura 6.69), encontrándose dentro del rango permisible del Decreto 1594 de 1984, para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5-9,0), marinas y estuarinas (6,5- 8,5 [Minsalud, 1984](#)), a excepción de la estación de la ciénaga Rincón Hondo que presentó un pH ligeramente por encima (8,7; Figura 6.69), debido a la influencia de factores como las altas salinidades registradas (95,9 en época seca) y la actividad fotosintética del fitoplancton, los cuales favorece el aumento de pH ([Mvungi et al., 2012](#)).



**Figura 6.69. Valores de pH medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada indica el rango permisible en aguas cálidas dulceacuícola (4,5-9,0) y la línea continua corresponde al rango permisible en aguas cálidas marinas y estuarinas (6,5-8,5) para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)).**

Teniendo en cuenta estas variables que caracterizan las condiciones fisicoquímicas del agua (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y pH), se realizó un análisis de conglomerados que permitió separar las estaciones en tres grupos según el tipo de agua, donde la salinidad fue la variable determinante (Figura 6.70); el primer grupo lo conformaron las estaciones con características marinas y estuarinas como punta Roca, puerto Salgar 2, punta Astillero, playa Pradomar, caño Dulce, Santa Verónica 2, muelle Puerto Colombia y ciénaga Mallorquín (líneas de color rojo en el dendrograma; Figura 6.70), en las cuales se registraron salinidades entre 11,4 y 36,4. El segundo grupo (líneas de color azul en el dendrograma; Figura 6.70), lo integraron las estaciones de las ciénagas de Balboa y Rincón Hondo, las cuales se caracterizaron por presentar salinidades muy altas en la época seca 2015 (79,0 y 95,9 respectivamente) de tipo salmuera, lo cual se debe principalmente por la influencia marina, pocos aportes de aguas dulce y a las altas temperaturas que favorecen los procesos de evaporación y concentración de las sales. El tercer grupo (líneas de color verde en el dendrograma; Figura 6.70), estuvo conformado por estaciones que tuvieron bajas salinidades (0- 14,8), influenciadas principalmente por el río Magdalena (Figura 6.70).





**Figura 6.70. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento de Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas de color rojo señalan el primer grupo con estaciones marinas y estuarinas; las de color azul corresponden al segundo grupo con estaciones con aguas tipo salmuera, y las líneas de color verde muestran el tercer grupo con las estaciones fluvial del río Magdalena.**

Las mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en el departamento del Atlántico se registraron en la época seca 2015 en la zona Tubará- Acosta, en las estaciones de las ciénagas Balboa (784 mg/L) y Rincón Hondo (778 mg/L; Figura 6.71). Este resultado puede atribuirse a que los habitantes de las zonas cercanas realizan vertimientos de aguas residuales a los cuerpos de agua. Si bien no se observó una marcada diferenciación en la concentración de sólidos suspendidos entre las épocas climáticas, es de resaltar que en la estación Rincón Hondo, se registraron las mayores concentraciones en ambas épocas climáticas (Figura 6.71).

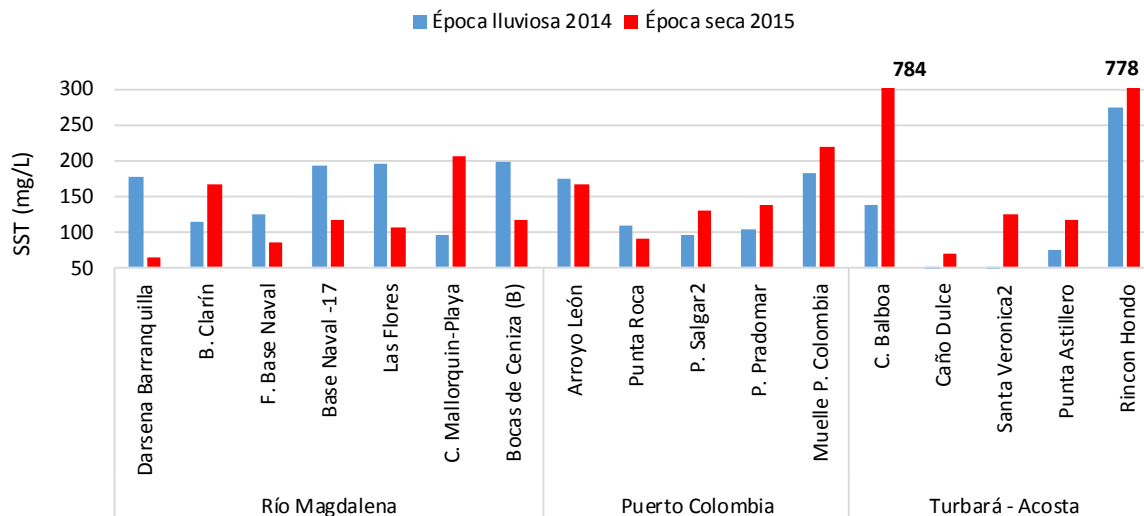


Figura 6.71. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente, en ambas épocas climáticas las mayores concentraciones de SST se han registrado en las estaciones ubicadas en el río Magdalena, con valores entre 84,5 y 299,5 mg de SST/L. Este resultado se debe al transporte de material particulado, resuspensión de sólidos y arrastre de sedimentos (Figura 6.72), sumado a vertimientos de aguas residuales y escorrentías agrícolas ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)).

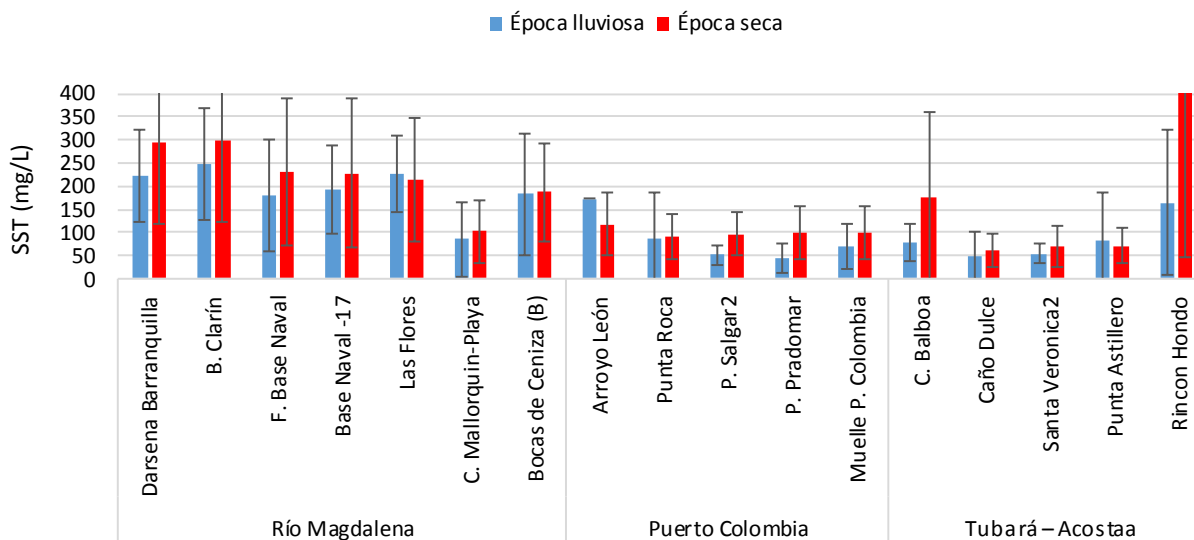


Figura 6.72. Promedio histórico (2001 - 2015) de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM en el departamento de Atlántico, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

Se determinaron las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos Nitrito ( $N-NO_2^-$ ), Nitrato ( $N-NO_3^-$ ), Amonio ( $N-NH_4^+$ ) y ortofosfatos ( $P-PO_4^{3-}$ ), como indicadores de la calidad de las aguas. Estos nutrientes favorecen el florecimientos algales, que pueden causar grandes oscilaciones del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, creando condiciones adversas para otras especies aerobias, y causando mortandades de estos organismos ([Fontúrbel, 2005](#); [Manahan, 2007](#)).

Las mayores concentraciones de nitritos se presentaron en las estaciones frente a Base Naval (55,5  $\mu g$  de  $NO_2^-/L$  en época seca 2015), ciénaga Mallorquín (623,1 y 356,4  $\mu g$  de  $NO_2^-/L$  en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015 respectivamente) y arroyo León (671,4  $\mu g$  de  $NO_2^-/L$  en época lluviosa 2014; Figura 6.73). En estos sitios se realizan constantemente vertimientos de aguas residuales que contienen altas concentraciones de nitrito, indicando la entrada reciente de aguas servidas a estos cuerpos de agua. Históricamente, la ciénaga Mallorquín y el arroyo León, han presentado altas concentraciones de compuestos nitrogenados durante las dos épocas climáticas ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)), debido a que recibe aguas residuales domésticas de la población ribereña de Puerto Colombia y la ciudad de Barranquilla. Las concentraciones más altas de nitratos en la ciénaga Mallorquín se registraron en las épocas secas de los años 2008 (279,7  $\mu g$  de  $NO_2^-/L$ ; [INVEMAR, 2008](#)) y 2009 (259,4  $\mu g$  de  $NO_2^-/L$ ; [Troncoso et al., 2009](#)) y en el río León en la época seca de 2014 (760,0  $\mu g$  de  $NO_2^-/L$ ; [Vivas-Aguas et al., 2014a](#); Figura 6.74).

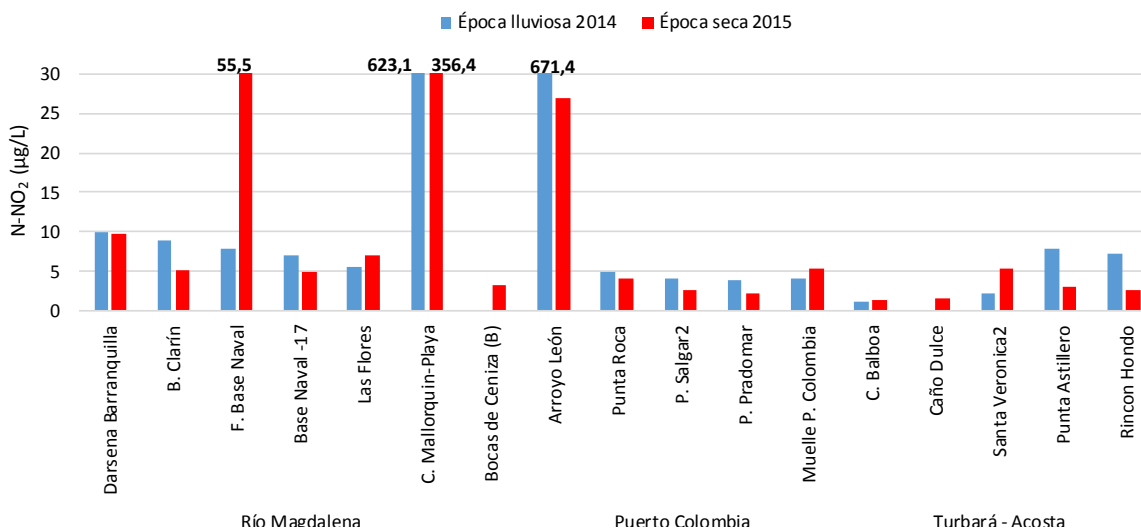
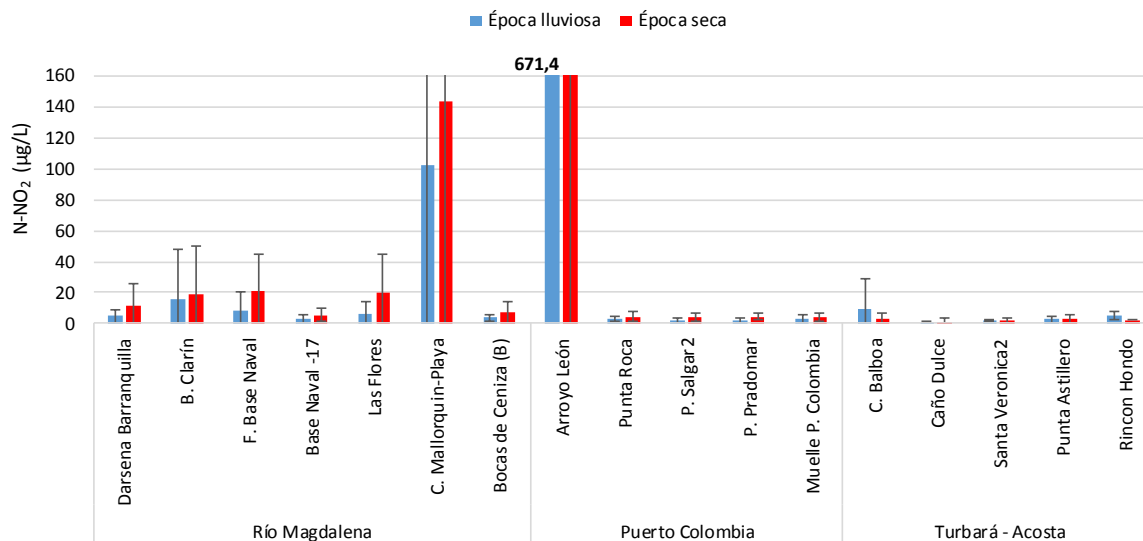
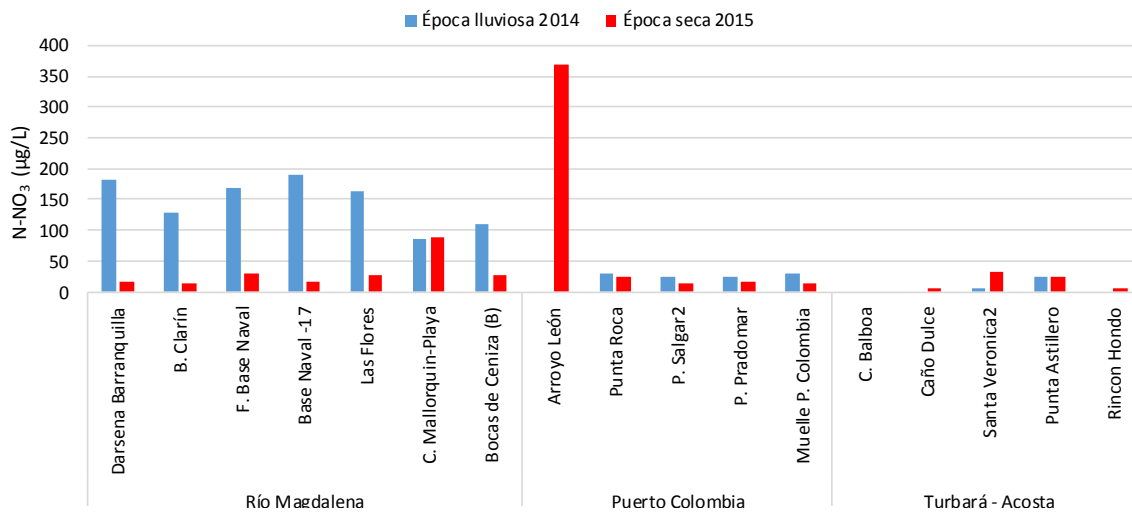


Figura 6.73 Concentraciones de nitrito ( $N-NO_2^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.



**Figura 6.74 Promedio histórico (2001 – 2015) de las concentraciones de nitrito (N-NO<sub>2</sub>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar.**

Las concentraciones de nitratos oscilaron entre el límite de detección de la técnica utilizada en el LABCAM (2,1) y 368,4 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (Figura 6.75). La mayor concentración se registró en la estación arroyo León (368,4 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L) en la época seca de 2015 (Figura 6.75). En las estaciones del río Magdalena se presentaron concentraciones altas (en comparación con las demás zonas), principalmente en la época de lluvias, debido a que las precipitaciones facilitan el transporte de las aguas residuales, aumentando la concentración de los iones inorgánicos disueltos. Históricamente, las mayores concentraciones de nitratos se han registrado en la zona del río Magdalena, en ambas épocas climáticas (Figura 6.76).



**Figura 6.75. Concentraciones de nitrato (N-NO<sub>3</sub>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

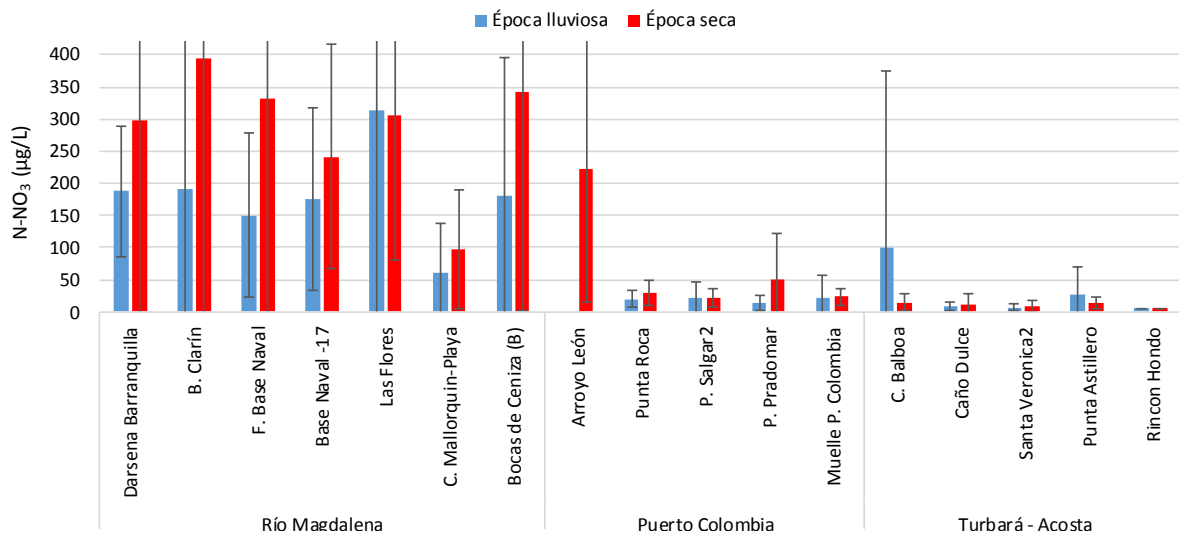


Figura 6.76 Promedio histórico (2001 – 2015) de las concentraciones de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

Los mayores niveles de amonio se presentaron en las estaciones Las Flores (313,3 µg de  $NH_4^+$ /L), ciénaga Mallorquín (697,2 µg de  $NH_4^+$ /L) y Rincón Hondo (1474 µg de  $NH_4^+$ /L) en la época lluviosa 2014; y en la estación arroyo León (1.479,4 µg de  $NH_4^+$ /L) en la época seca 2015 (Figura 6.77), debido principalmente a que en estas estaciones se realizan vertimientos de aguas residuales domésticas (por la alta concentración de coliformes), las cuales tienen alta carga de materia orgánica, que al descomponerse en condiciones anaerobias (condición normal en aguas servidas) hay liberación de este ion (Cárdenas y Sánchez, 2013).

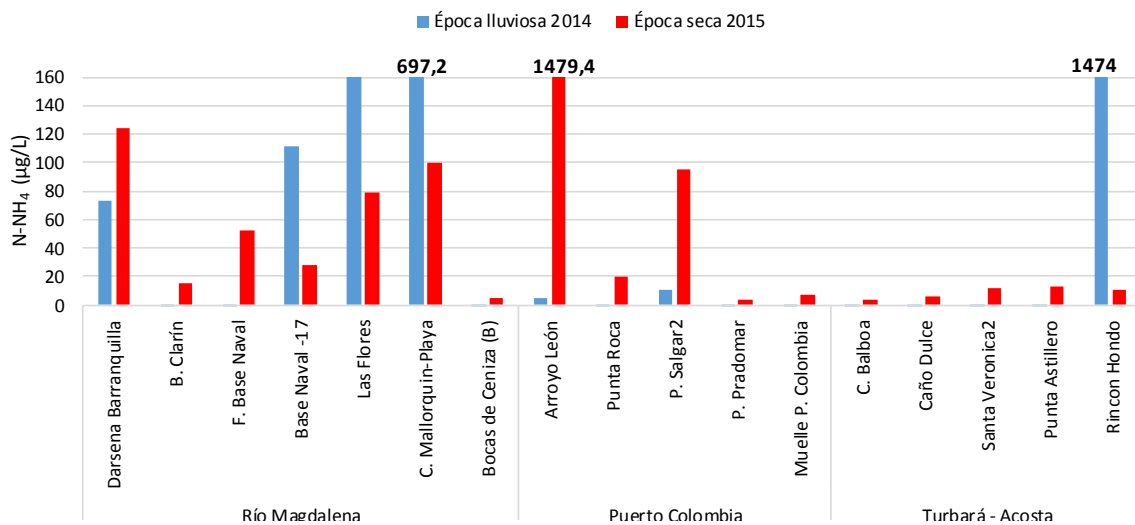
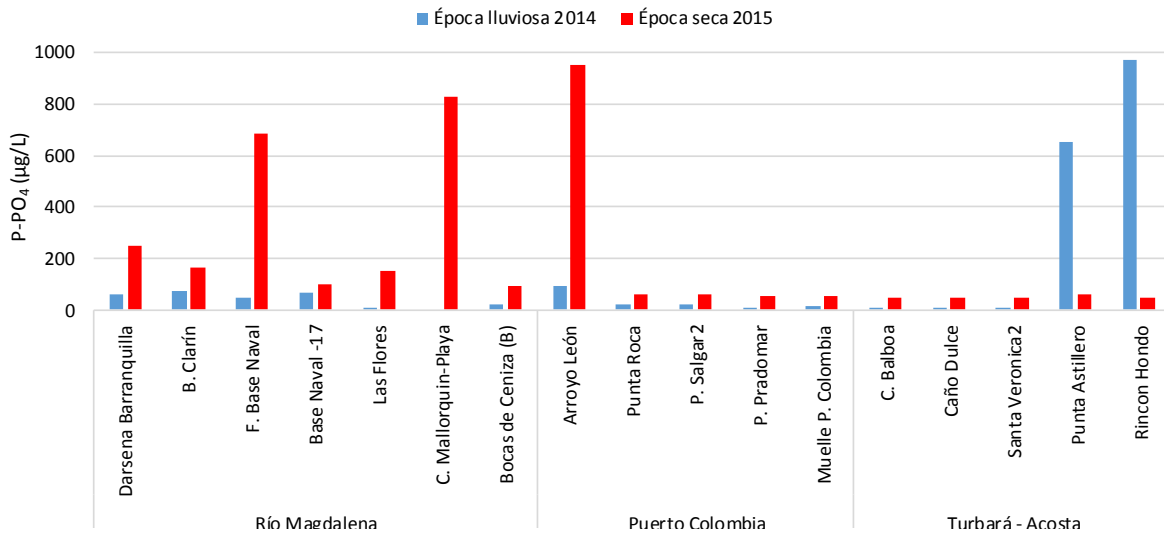
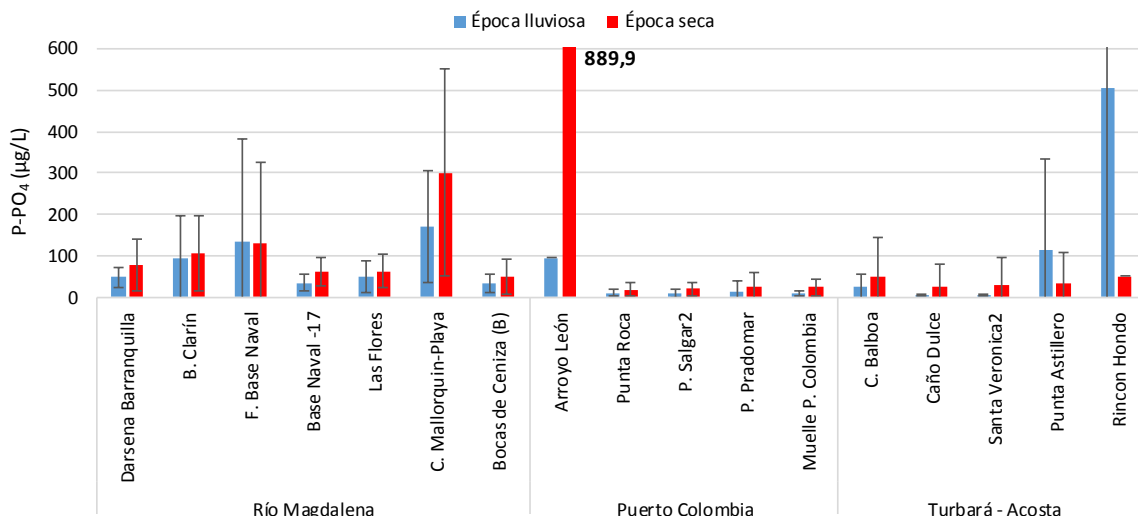


Figura 6.77 Concentraciones de amonio ( $N-NH_4^+$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Las mayores concentraciones de ortofosfatos se presentaron en las estaciones Dársena Barranquilla (251,1  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ ), frente a Base Naval (687,9  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ ), ciénaga Mallorquín (829,6  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ ), arroyo León (954,8  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ ) en la época seca 2015 y en las estaciones punta Astillero (654,8  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ ) y en Rincón Hondo (973,6  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ ) en la época lluviosa 2015 (Figura 6.78). Aunque históricamente estas estaciones han presentado valores altos comparados con las demás estaciones, en el presente periodo de muestreo los valores sobrepasaron los promedios históricos (Figura 6.79).



**Figura 6.78 Concentraciones de ortofosfatos ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**



**Figura 6.79 Promedio histórico (2001 – 2015) de las concentraciones de ortofosfatos ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.**

### Contaminación Microbiológica

La calidad microbiológica de las aguas del departamento se evaluó en base a las concentraciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). En la Figura 6.80 se presentan los resultados de las concentraciones de CTT. Se encontró para el periodo evaluado que el 88 % de las estaciones de muestreo superaron el límites máximo permisible para el uso del recurso Hidrico con fines recreativos por contacto primario (1.000 NMP/100 mL) y alrededor del 59% el límite para contacto secundario (5.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

Las estaciones ubicadas en el río Magdalena (Dársena Barranquilla, Base Naval, frente a Base Naval y Bocas de Ceniza), fueron las que mayor concentración de CTT presentaron tanto en la época lluviosa 2014 como en la seca 2014 (Figura 6.80), incumpliendo los límites para contacto primario y secundario. Este resultado se atribuye a la gran cantidad de aguas residuales domésticas que son vertidas al río Magdalena y que provienen de las poblaciones ribereñas ([ASOCARS – UNIMAG, 2011](#)). También se registró altas concentraciones de CTT en las playas muelle Puerto Colombia (8.297 NMP de CTT/100 mL) y playa Salgar (6.015 NMP de CTT/100 mL), en la época lluviosa 2014, incumpliendo el límite de contacto primario y secundario ([MinSalud, 1984](#)), mientras que en la época seca 2015, los niveles de contaminación fecal bajaron a valores adecuados para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario y secundario (Figura 6.80).

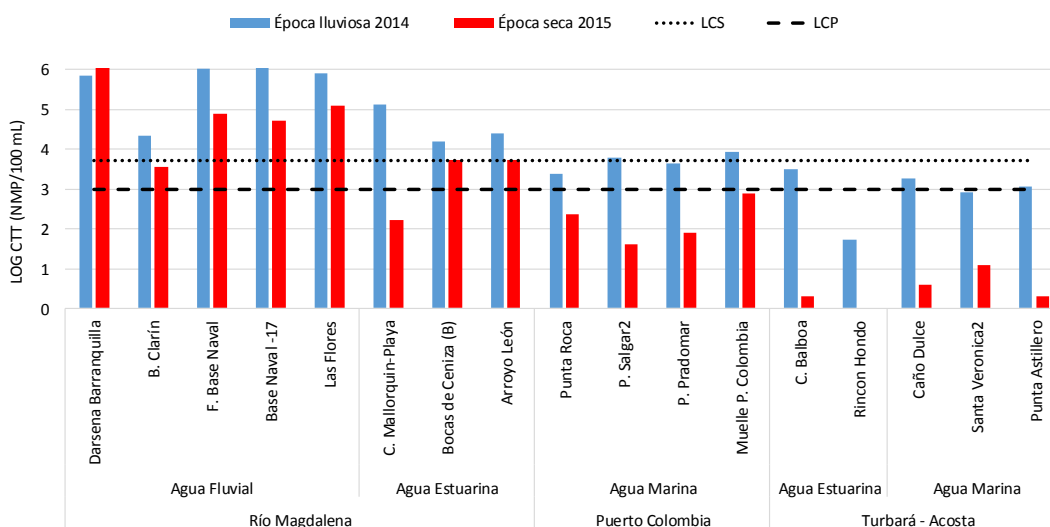
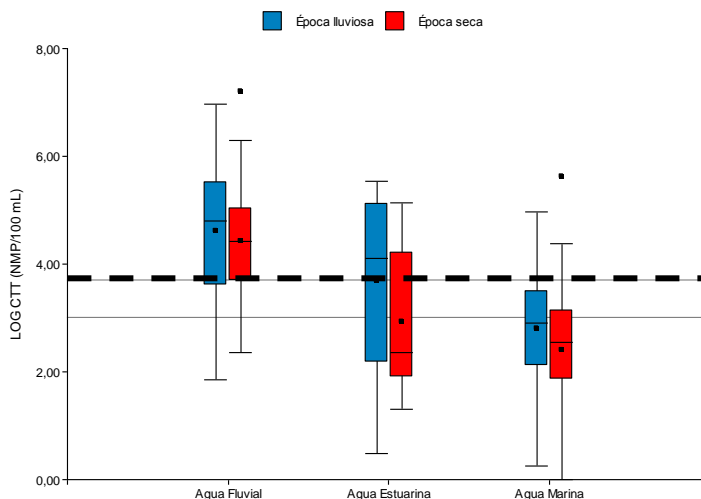


Figura 6.80. Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada gruesa corresponde al límite de contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea punteada fina es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7).

Los registros históricos de CTT se muestran en la Figura 6.81, donde se evidencia que en las épocas lluviosas se han presentado las concentraciones más altas para cada tipo de agua; incumpliendo con los límites permisibles para contacto primario y secundario establecidos en el Decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#); [INVEVAR, 2015a](#)). Si bien las mayores concentraciones se han obtenido en época lluviosa, los registros históricos demuestran que no hay diferencias significativas entre las temporadas climáticas para aguas

fluviales ( $p= 0,1431$ ), ni para aguas estuarinas ( $p= 0,2785$ ), a diferencia de las marinas las cuales si presentaron diferencias entre las temporadas ( $p=0,0093$ ). Este resultado se asocia al aumento del caudal del río Magdalena y de escorrentías, por efecto de las lluvias, incrementando el aporte de agua dulce con alta carga de microorganismos a las zonas marinas.



**Figura 6.81. Variación histórica de las concentraciones de coliformes totales en cada tipo de agua por época climática. La línea negra continua corresponde al límite de contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea punteada es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7) MinSalud (1984).**

En la Tabla 6.10 se describen las concentraciones de CTE y EFE, y los registros históricos para ambos indicadores en las estaciones de playas turísticas. Las mayores concentraciones de CTE se registraron principalmente en las estaciones influenciadas por las aguas del río Magdalena, como punta Roca (1.203 NMP/100 mL), playa Salgar (877 NMP/100 mL), Pradomar (561 NMP/100 mL) y Puerto Colombia (528 NMP/100 mL), confirmando que el origen de la contaminación es fecal, sobrepasando el límite permisible para uso recreativo por contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)). El análisis estadístico mostró que en la mayoría de estaciones, las concentraciones de CTE no presentaron diferencias significativas entre las épocas climáticas ( $p>0,05$ ), a excepción de la playa Santa Verónica, en la que las mayores concentraciones se registraron en épocas de lluvias ( $p=0,0117$ ), lo cual se puede asociar al aumento de la influencia del río Magdalena y de los arroyos que drenan a la costa el municipio de Juan de Acosta.

**Tabla 6.10 Concentración de coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) medidos en el agua superficial en las estaciones de playas con uso turístico del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosas 2014 y seca 2015.**

Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico <sup>1</sup>	2015	Histórico <sup>1</sup>	2014	Histórico <sup>2</sup>	2015	Histórico <sup>2</sup>
Muelle P. Colombia	528*	20 – 92.000	45	<LD – 180.000	36	33 – 1.720	28	9 – 46
Playa Pradomar	561*	20 – 660	20	20 – 655	54	18 – 231	7	7 – 32
Playa Salgar2	877*	27 – 3.500	20	20 – 2.400	48	5 – 48	10	<LD – 87



Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico <sup>1</sup>	2015	Histórico <sup>1</sup>	2014	Histórico <sup>2</sup>	2015	Histórico <sup>2</sup>
<b>Punta Roca</b>	1203*	20 – 50.000	230*	40 – 24.000	<b>64</b>	ND	0	ND
<b>Caño Dulce</b>	350*	3,6 – 430	4	2 – 480	<LD	<LD – 72	2	<LD – 204
<b>Santa Veronica2</b>	227*	11 – 3.000	<LD	<LD – 280	<LD	<LD – 1.370	3	<LD – 36
<b>Punta Astillero</b>	109	1,8 – 9.200	<LD	<LD – 160	2	2 – 30	1	<LD – 44

<LD= Valores por debajo del límite de detección de la técnica para CTE (1,8 NMP/100 mL) y EFE (1 UFC/100 mL).

ND= Valores no disponibles por falta de registros históricos, la medición se inició en el segundo semestre de 2013.

\* Valores que se encuentran por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

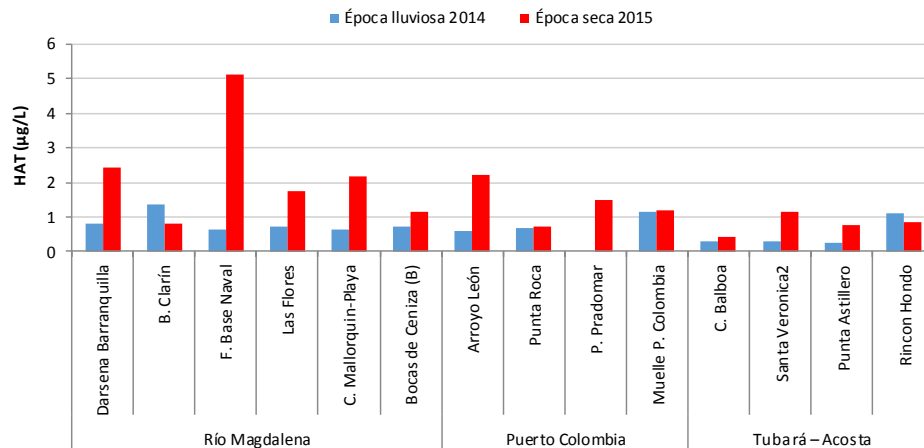
<sup>1</sup>Rango histórico de CTE registrado en la base de datos de la REDCAM desde el 2002 hasta la fecha ([INVEMAR, 2015a](#)).

<sup>2</sup>Rango histórico de enterococos fecales registrado en la base de datos de la REDCAM desde el 2006 hasta la fecha ([INVEMAR, 2015a](#)).

Las mayores concentraciones de EFE, se registraron en las playas Pradomar, Salgar2 y Punta Roca, en la época lluviosa (valores en negrilla; Tabla 6.10), representado un riesgo de entre el 1 y 5 % de adquirir enfermedades gastrointestinales (41 – 200 UFC/100 mL; [OMS, 2003](#)). Para las estaciones caño Dulce, Santa Verónica y punta Astillero, si bien presentaron concentraciones de CTE en unos casos por encima de los límites, en cuanto a los EFE no registraron valores que pudieran representar un riesgo a los bañistas, lo cual indica que en las épocas seca se presentan condiciones que favorecen la eliminación de los microorganismos, cómo son altas salinidades y mayor radiación solar ultra violeta ([Chigbu et al., 2004](#)).

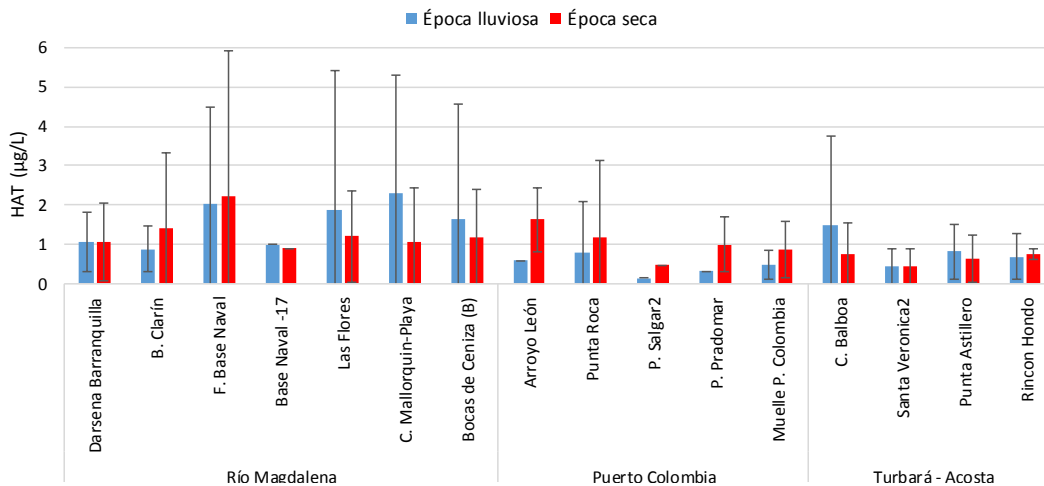
#### Hidrocarburos Aromáticos totales (HAT)

Las concentraciones de HAT, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015 oscilaron en un rango entre 0,07 y 5,14 µg/L (Figura 6.82). A diferencia de lo registrado en años anteriores, la tendencia mostró las concentraciones más altas en la época seca 2015 (Figura 6.82). Los máximos valores se determinaron en las estaciones del río Magdalena, especialmente en frente a Base Naval (5,14 µg/L), frente a Dársena (2,42 µg/L) y ciénaga Mallorquín (2,16 µg/L). Por otro lado, en la época lluviosa de 2014, la concentración máxima se determinó en la boca del caño Clarín (1,36 µg/L; Figura 6.82). La presencia de HAT en las aguas costeras del departamento se asocian a las actividades portuarias, transporte marítimo, aguas servidas y lavaderos de vehículos en la zona ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). Cabe destacar que las concentraciones registradas en las estaciones de este departamento no superaron el valor de referencia de 10 µg/L para aguas no contaminadas ([UNESCO, 1984](#); Figura 6.82).



**Figura 6.82. Concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Los registros históricos de HAT medidos desde el 2001 al 2015 (Figura 6.83), mostraron que no hay una tendencia generalizada respecto a la presencia de estos residuos en todas las zonas de muestreo del departamento. Así por ejemplo, en la zona de Puerto Colombia, las concentraciones promedio más altas se han registrado en las épocas secas, en estaciones como arroyo León ( $1,64 \pm 0,81 \mu\text{g/L}$ ) y punta Roca ( $1,18 \pm 1,95 \mu\text{g/L}$ ), mientras que en las épocas lluviosas los niveles más altos se han presentado en las estaciones del río Magdalena, en la ciénaga de Mallorquín ( $2,30 \pm 1,4 \mu\text{g/L}$ ), Las Flores ( $1,90 \pm 3,54 \mu\text{g/L}$ ), y frente a Base Naval ( $2,04 \pm 2,47 \mu\text{g/L}$ ; Figura 6.83), debido principalmente a la cantidad de residuos que recibe de forma permanente el río Magdalena, además de las escorrentías de aguas de lluvia, vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, la actividad portuaria y turística.



**Figura 6.83. Promedio histórico (2001-2015) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar.**

### Plaguicidas

De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación ([DNP, 2007](#)) el sector agropecuario no figura como una de las principales actividades económicas en el departamento del Atlántico, contando con tan solo una participación del 4,03 % del producto interno bruto departamental. Sin embargo, la generación de productos agropecuarios propios de la zona, tales como: maíz, sorgo, arroz, frijol, ajonjolí, yuca, palma africana, ñame y plátano; requiere de mecanismos que puedan garantizar el sostenimiento de esta actividad económica, surgiendo así la necesidad del uso de plaguicidas para mitigar el efecto de ciertos organismos sobre los cultivos.

Con el monitoreo REDCAM en el departamento del Atlántico, se han registrado entre los años 2001 y 2008, la presencia de los siguientes plaguicidas organoclorados: 1,1'-(2, 2, 2-tricloroetilidieno)-bis-(4-clorobenceno) conocido como DDT; Hexaclorociclohexano (HCH); Heptacloro (HEP) y Aldrín (ALD; ver Tabla 6.11). Para el periodo comprendido entre los años 2009 y 2015 la presencia de plaguicidas organoclorados disminuyó, evidenciándose el desuso de estos compuestos en la zona, y la degradación de los mismos. Sólo se registraron presencia de DDT y endosulfán (ENDSULF) en el año 2010, y Endrín Aldehído (ENDALD) en el año 2013. No obstante, las concentraciones detectadas, no superaron los valores de referencia para efectos agudos definidos por la [EPA \(2015\)](#) (Tabla 6.11).

Los plaguicidas organofosforados, se vienen midiendo desde el año 2010, cuando se registró la presencia de Metil Paratión (METPART) en las estaciones Las Flores (31,8 ng/L), boca caño Clarín (20,3 ng/L) y ciénaga de Balboa (21,9 ng/L; Tabla 6.11). Lo cual evidencia el uso de compuestos organofosforados como sustituto de los organoclorados que son de uso restringido de acuerdo a los lineamientos de la resolución 447 de 1974 del Ministerio de Agricultura ([Silva y Correa, 2009](#)), por su alta toxicidad y persistencia en el ambiente.

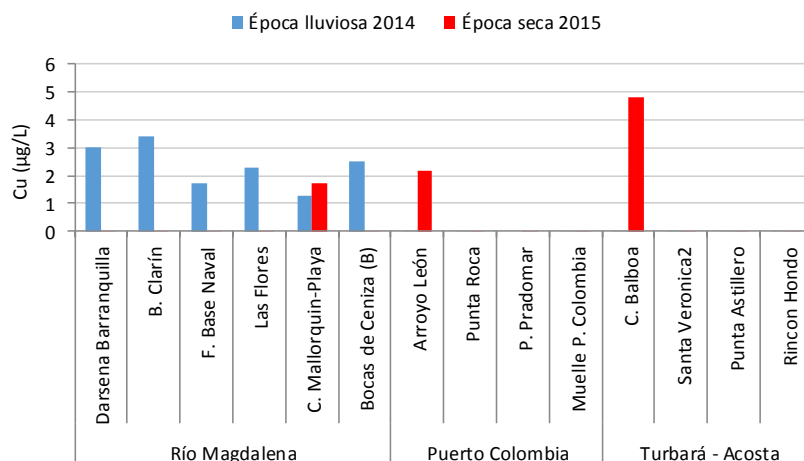
**Tabla 6.11 Valores máximos de plaguicidas (PLAG) determinados en el monitoreo de la REDCAM en el departamento de Atlántico desde el año 2001 al 2015, y valores de referencia para efectos agudos ([EPA 2015](#)).**

PLAG	Época y año del monitoreo	Estación	Valor determinado por la REDCAM [ng/L]	Valores de referencia para efectos agudos en aguas [ng/L]	
				Aguas dulces	Aguas marinas
ALD	Seca 2001	Boca caño Clarín	1,94	3.000	1.300
HCH	Lluviosa 2007	Ciénaga Balboa	7,2	950	160
HEP		Bocas de Cenizas	7,6	520	53
DDT	Lluviosa 2008	Boca caño Clarín	20,7	1.100	130
ENDSULF	Seca 2010	Ciénaga Balboa	109,3	220	34
METPART	Lluviosa 2010	Las Flores	31,8	65	-
ENDALD	Seca 2013	Boca caño Clarín	18,9	86	37

### Metales Pesados

Para el período comprendido entre las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, las concentraciones de Pb, Cd y Cr en aguas superficiales estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado (Pb: 3,1 µg/L Cd: 0,42 µg/L y Cr: 0,97 µg/L), para todos los sitios muestreados, los cuales estuvieron por debajo de los valores de referencia de la NOAA para efectos crónicos en la biota (Pb: 8,1 µg/L y Cd: 8,8 µg/L; [Buchman, 2008](#)). Los niveles de Cu (Figura 6.84) en algunas estaciones como en la ciénaga de Balboa (4,8 µg/L) en la

época seca de 2015, la concentración determinada superó el valor de referencia para efectos crónicos de la NOAA (3,1  $\mu\text{g}$  de  $\text{Cu}/\text{L}$ ; [Buchman, 2008](#)), condición que no ha sido registrado en monitoreo anteriores, en los cuales su concentración ha estado por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada en el LABCAM (0,9  $\mu\text{g}/\text{L}$ ; [Vivas-Aguas et al., 2015a](#)).



**Figura 6.84. Concentraciones de cobre disuelto en  $\mu\text{g}/\text{L}$  medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa de 2014 y seca de 2015.**

Para el Ni se observaron niveles ligeramente superiores al límite de detección en las estaciones ciénaga Mallorquín-Playa (2,1  $\mu\text{g}$  de  $\text{Ni}/\text{L}$  en época lluviosa 2014 y 1,6  $\mu\text{g}$  de  $\text{Ni}/\text{L}$  en época seca 2015), arroyo León (3,2  $\mu\text{g}$  de  $\text{Ni}/\text{L}$  en época lluviosa 2014 y 2,5  $\mu\text{g}$  de  $\text{Ni}/\text{L}$  en época seca 2015) y ciénaga de Balboa (3,7  $\mu\text{g}$  de  $\text{Ni}/\text{L}$  en época seca de 2015). Ninguna de las estaciones ubicadas en aguas marinas superó los valores de referencia para efectos agudos establecidos por la NOAA para la protección de vida acuática ( $\text{Cu}$ : 4,8  $\mu\text{g}/\text{L}$ ,  $\text{Ni}$ : 74  $\mu\text{g}/\text{L}$ ; [Buchman, 2008](#)).

El Zn solo se registró en las estaciones Rincón Hondo (13,8  $\mu\text{g}$  de  $\text{Zn}/\text{L}$ ) en época lluviosa 2014 y ciénaga Mallorquín-Playa (9,5  $\mu\text{g}$  de  $\text{Zn}/\text{L}$ ) en la época seca de 2015, valores por debajo de la referencia para efectos crónicos (81  $\mu\text{g}$  de  $\text{Zn}/\text{L}$ ) y agudo (90,0  $\mu\text{g}$  de  $\text{Zn}/\text{L}$ , [Buchman, 2008](#)). En el resto de estaciones las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección del método (6,9  $\mu\text{g}/\text{L}$ ), por lo cual se considera que éste metal no genera riesgo de contaminación en las aguas costeras del departamento del Atlántico. Las concentraciones de Fe estuvieron entre 8,84 y 55,0  $\mu\text{g}$  de  $\text{Fe}/\text{L}$ , en la época seca 2015, presentándose el valor más alto en la estación Dársena de Barranquilla. Las estaciones marinas presentaron niveles por debajo del valor de referencia para efectos crónicos (50 6,9  $\mu\text{g}$  de  $\text{Fe}/\text{L}$ ) y agudos (300  $\mu\text{g}$  de  $\text{Fe}/\text{L}$ ) de la NOAA ([Buchman, 2008](#)).

Desde el inicio de la evaluación de la calidad de las aguas marino costeras del departamento del Atlántico se ha caracterizado por presentar metales disueltos en concentraciones muy bajas o en niveles no detectables. La principal fuente de contaminación es el río Magdalena que descarga en el mar toda clase de contaminantes provenientes de actividades industriales como las metalúrgicas, productoras de químicos, agroquímicos y las aguas residuales domésticas de las poblaciones ubicadas a lo largo de su cuenca ([Garay y Vélez, 2004](#)).

### Índice de calidad de las aguas

Los resultados del ICAM<sub>PFF</sub> calculado mostraron que las aguas del departamento presentaron condiciones de calidad entre *Inadecuada* y *Adecuada*, con fluctuaciones entre las épocas climáticas en algunas de las estaciones evaluadas (Figura 6.85). En la época lluviosa 2014, se presentó una calidad *Adecuada* en Caño Dulce y playa Santa Verónica 2; *Aceptable* en playa Pradomar, Playa Salgar 2 y Punta Roca; e *Inadecuada* en Punta Astillero debido a las concentraciones de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (654,8 µg/L) y SST (73,4 mg/L) y muelle Puerto Colombia por SST (181,8 mg/L) y CTE (528 NMP/100 ml), atribuido al arrastre de sedimentos y los procesos de mezcla ocasionados por las lluvias. En la época seca 2015, la playa caño Dulce se mantuvo con una calidad *Adecuada*, mientras que en punta Astillero, y las playas Santa Verónica 2, Pradomar, Salgar 2 y Punta Roca, presentaron una condición *Aceptable* y muelle Puerto Colombia continuó con una calidad *Inadecuada* atribuida a las altas concentraciones de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (55,9 µg/L) y SST (218 mg/L).

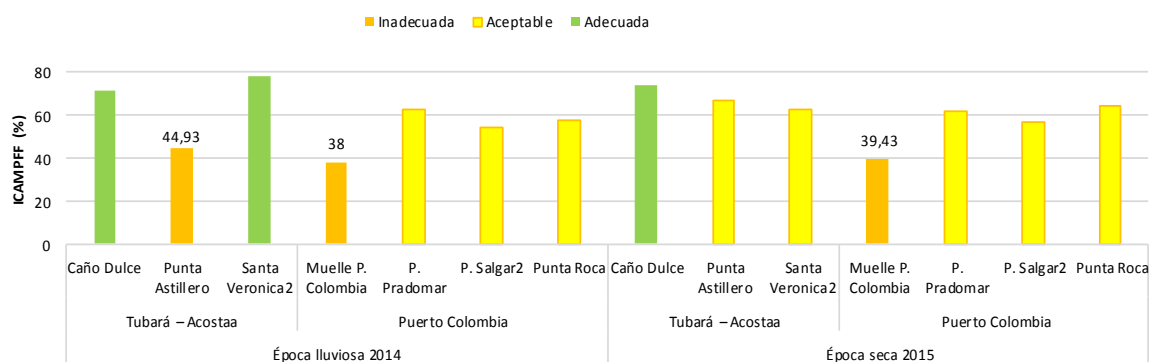


Figura 6.85. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento del Atlántico evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>), en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

#### 6.4.1.2 CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS

##### Hidrocarburos aromáticos totales (HAT)

El sedimento es una matriz compleja, no tan dinámica como el agua, que proporciona información importante sobre la calidad del medio ambiente acuático dada la capacidad de acumular sustancias contaminantes (Bonert y Estrada, 1996).

Debido a que en Colombia no existen criterios de calidad sobre niveles permisibles o valores umbrales de hidrocarburos en sedimentos, o referencias de concentraciones que puedan causar efectos tóxicos a la vida marina; se tomó como referencia el valor determinado por la NOAA de 3,9 µg/g para sedimentos no contaminados (NOAA, 1990). Durante el periodo de lluvias 2014, en los sedimentos de la estación Base Naval – 17, ubicada en el río Magdalena y que tiene influencia de las aguas residuales del caño la Ahuyama, se registró una concentración de 5,75 µg de HAT/g en la época seca de 2015, que superó el valor de referencia, y la concentración de HAT fue más baja (0,18 µg/g) en época seca 2015 (Tabla 6.12). Los HAT medidos en los sedimentos del muelle de Puerto Colombia, la playa Santa Verónica y la boca del caño Clarín, estuvieron por debajo del nivel de referencia para sedimentos contaminados (NOAA, 1990; Tabla 6.12).

**Tabla 6.12. Concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en sedimentos del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Estación	Época Lluviosa 2014	Época seca 2015
	HAT ( $\mu\text{g/g}$ )	HAT ( $\mu\text{g/g}$ )
Muelle Puerto Colombia	<LD	0,21
Rincón Hondo	<LD	<LD
Base Naval - 17	5,76	0,18
Playa Santa Verónica	-	<LD
Boca del Caño Clarín	-	0,29
<b>Valor de referencia</b>	3,9 *	3,9 *

<LD =Menor al límite de detección del método.

- No determinado.

\*Valor de referencia para sedimentos no contaminados (NOAA, 1990).

### Plaguicidas

Del análisis de plaguicidas en sedimentos en el departamento del Atlántico se tienen datos desde la época lluviosa 2013 hasta la época seca 2015. En este periodo no se detectaron plaguicidas en la mayoría de las estaciones monitoreadas, debido a que estuvieron por debajo de los límites de detección del método utilizado en el LABCAM. Sin embargo, en la época lluviosa 2014 en la estación muelle Puerto Colombia se detectó DDT en una concentración de 7,2 ng/g que superó la referencia PEL de CCME (1999) para sedimentos asociados a ecosistemas acuáticos (Tabla 6.13). No obstante, en los resultados obtenidos en los muestreos posteriores no se detectó la presencia de DDT en ninguna de las estaciones monitoreadas.

**Tabla 6.13 Valores de plaguicidas organoclorados (POC) determinados en sedimentos en el departamento de Atlántico en el monitoreo REDCAM, y valores de referencia PEL para sedimentos asociados a ecosistemas acuáticos (CCME, 1999).**

POC	Época y año del monitoreo	Estación	Valor determinado por la REDCAM [ng/L]	Valores de referencia para efectos agudos en aguas [ng/L]	
				Aguas dulces	Aguas marinas
DDT	Lluviosa 2014	Muelle Puerto Colombia	7,2	4,77	4,77

### Metales Pesados

Se determinaron las concentraciones de Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni y Fe en sedimentos; de los cuales el Pb, Cd y Cr se encontraron en concentraciones que no superaron los valores de referencias PEL establecidos en guías internacionales, lo cual indica que no representan riesgo de contaminación (Buchman, 2008; Tabla 6.14).

Los metales Cu, Zn, Ni y Fe en la mayoría de las estaciones estuvieron en mayor concentración en la época lluviosa 2014 en comparación con la época seca 2015 (Tabla 6.14), destacándose las estaciones Base Naval y muelle Puerto Colombia por presentar los valores más altos (Tabla 6.14). Se atribuye como principal fuente de contaminación de estos metales a las descargas de aguas residuales y escorrentías de las zonas urbanas alrededor de estos sitios. En la estación playa Santa Verónica 2, solo se detectaron Zn (18,1  $\mu\text{g/L}$ ) y Fe

(7,1 mg/L) en la época seca 2015, valores que no superaron las referencias PEL para aguas marinas (Buchman, 2008). En general las estaciones ubicadas en el río Magdalena presentaron mayores concentraciones de metales que las ubicadas en aguas marinas, mostrando la gran influencia de las actividades antropogénicas que se desarrollan sobre el río Magdalena. En las estaciones boca caño Clarín y playa Santa Verónica 2 se midieron los metales solamente en la época seca de 2015 (Tabla 6.14).

**Tabla 6.14. Concentraciones de metales pesados medidas en sedimentos superficiales del departamento del Atlántico en las épocas lluviosa de 2014 y seca de 2015. Los valores de referencia fueron tomados de la NOAA (Buchman, 2008).**

Estación	Lluvia 2014							Seca 2015						
	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)
Boca Caño Clarín	-	-	-	-	-	-	-	9,1	1,1	40,5	36,3	140,7	36,1	39,6
Base Naval-17	23,6	<0,5	60,2	64,4	219,2	51,8	37,5	4,5	<0,5	32,2	22,8	103,1	23,3	27,6
Muelle Colombia P.	16	<0,5	21,9	20,4	125,1	14,2	35,4	<4,0	<0,5	<6,4	<1,9	25	<2,0	7
Playa Santa Verónica (2)	-	-	-	-	-	-	-	<4,0	<0,5	<6,4	<1,9	18,1	<2,0	7,1
Rincón Hondo, Ciénaga Caimán P.	8,3	<0,5	27	14,1	80,4	10	24,2	<4,0	<0,5	<6,4	<1,9	13,1	<2,0	6,8
Valor de referencia PEL	112	4,2	160	108	271	42,8	-	112	4,2	160	108	271	42,8	-

## 6.4.2 CONCLUSIONES

Las condiciones de calidad fisicoquímica de las aguas marino-costeras del departamento del Atlántico están influenciadas por las condiciones climáticas predominantes y por los aportes de aguas residuales en zonas con mayor número actividades socioeconómicas. Los efectos se reflejan en mayor intensidad sobre la disponibilidad de oxígeno disuelto para la biota acuática, poniendo en riesgo su preservación, principalmente en el río Magdalena, y en las ciénagas Balboa, Mallorquín y Rincón Hondo.

Las altas concentraciones de sólidos suspendidos y nutrientes en las zonas influenciadas por el río Magdalena y el arroyo León, principalmente en la época de lluvias, muestran que estos dos cuerpos de agua son fuentes contaminantes de las zonas costeras del departamento ya que en ellos se vierten directamente aguas residuales domésticas, sumado a las escorrentías agrícolas de las riberas, las cuales finalmente son descargadas en la zona costera.

La calidad de las playas Puerto Colombia, Pradomar, Salgar, Punta Roca, Caño Dulce y Santa Verónica se deteriora por la alta contaminación microbiológica en las épocas lluviosas, representando un riesgo para los usuarios, por lo que es importante que las autoridades ambientales encargadas tomen medidas de control para evitar afectaciones a la salud pública. Es necesario aumentar la frecuencia del monitoreo de las condiciones

microbiológica en las playas de uso turístico que suministre información base para la implementación de programas de manejo ambiental.

La zona del río Magdalena es la que mayor concentración de hidrocarburos presenta en sus aguas y sedimentos, evidenciando la influencia de las actividades marítimas y portuarias que se desarrollan, siendo este cuerpo de agua la principal vía de este contaminante al mar Caribe.

Las bajas concentraciones de plaguicidas organoclorados, permiten concluir que en el departamento de Atlántico se han respetado los lineamientos descritos por la resolución 447 de 1974 del Ministerio de Agricultura que prohíbe y restringe su uso.

Los metales pesados disueltos en aguas marinas se encuentran en niveles no detectables o muy bajos con relación a los valores de referencia de la NOAA, indicando que en el departamento del Atlántico no hay riesgo para la biota acuática por contaminación con estos elementos. No obstante, en los sedimentos de las zonas ubicadas sobre el río Magdalena, se registraron concentraciones más altas de Cu, Zn, Ni y Fe, debido a los aportes de aguas residuales domésticas e industriales de las poblaciones asentadas a su alrededor.

La evaluación de la calidad del agua con el ICAM<sub>PF</sub> indica que la calidad de las aguas en el departamento es en su mayoría aceptable, porque se ve afectada por los vertimientos de aguas residuales que aportan alta carga de microorganismos de origen fecal, sólidos y nutrientes, evitando estados de calidad adecuada y óptimas.



# Bolívar



Canal Matunilla. Foto: Paola Obando

## **EQUIPO TÉCNICO CARDIQUE**

*Mady Carolina García – Jefe de Oficina Laboratorio*

*Ildfonso Castro – Profesional Especializado*

*Adriana Gonzalez – Profesional Universitario*



## 6.5 BOLÍVAR

El departamento de Bolívar se encuentra ubicado en la región de la llanura del Caribe, entre los 07° 00' 03" y los 10° 48' 37" de latitud norte, y los 73° 45' 15" y los 75° 42' 18" de longitud oeste ([IGAC, 2008](#)). La época lluviosa generalmente se presenta entre los meses de agosto y noviembre, con un pico máximo en octubre; donde las precipitaciones anuales más altas se registran en el municipio del Carmen de Bolívar, ubicado en "Los Montes de María" (>300 mm/año; [IDEAM, 2005](#)).

La población costera del departamento para el año 2015 se estimó en 1'014.924 habitantes ([DANE, 2015](#)) distribuidos en los municipios de Cartagena (98,7 %) y Santa Catalina (1,3 %), con coberturas variables del sistema de saneamiento básico (5 – 77 %), y producción de aguas residuales directamente proporcional al tamaño de la población, las cuales son dispuestas al sistema de alcantarillado y vertida al mar Caribe por medio de un emisario submarino ([Superservicios, 2014b](#)). Los residuos líquidos domésticos también son dispuestos en pozas sépticas, sobre el terreno y cuerpos de agua. La producción de residuos sólidos es de 0,08 t/día en Santa Catalina, y de 911 t/día en Cartagena, dispuestos finalmente en el relleno sanitario del Parque Ambiental Loma de Los Cocos ([Superservicios, 2014a](#)).

El tributario más importante del departamento y que drena en su zona costera es el Canal del Dique, el cual corresponde a un brazo artificial del río Magdalena ([Pinilla et al., 2007](#)). En el departamento también se encuentran las islas de Rosario, las cuales constituyen una de las áreas arrecifales más importantes del Caribe colombiano, donde el ecosistema predominante es el arrecife coralino, encontrándose extensiones menores de praderas de fanerógamas marinas y pequeñas lagunas costeras rodeadas por manglares ([Mejía et al., 1994](#)). La capital del departamento (Cartagena) se encuentra enmarcada dentro de una bahía con una superficie de 82 km<sup>2</sup> y una profundidad promedio de 16 m que consta de dos partes: la Bahía Externa e Interna; la primera está conectada con el mar Caribe a través de dos bocas (Bocachica y Bocagrande), mientras que la segunda se ubica en la parte norte y no tiene intercomunicación directa con el mar ([Tuckovenko y Rondón, 2002](#); [Cañón et al., 2007](#)).

Dado que a esta bahía llega el aporte de aguas continentales a través del Canal del Dique, en la actualidad se le da el calificativo de estuario ([Cañón et al., 2007](#)). Estos aportes, junto con los vertimientos de aguas negras, las descargas industriales, los vertimientos de hidrocarburos en sus diferentes formas y transporte, y las descargas de buques, han influido en la contaminación de la bahía ([Cañón et al., 2007](#)). La bahía de Barbacoas, recibe un gran aporte de aguas continentales del Canal del Dique a través de las bocas de Lequerica y Matunilla, que fueron abiertas con el fin de disminuir la carga de sedimentos que llegaba en un principio a la bahía de Cartagena ([Gómez et al., 2009](#)). Estas descargas de sedimentos pueden ocasionar blanqueamiento y necrosis de ciertas partes del tejido vivo y muerte de las colonias de corales, por lo que el monitoreo en estas zonas es de gran importancia ambiental.

Con el propósito de vigilar la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento de las fuentes de contaminación, y obtener información del estado actual del recurso hídrico para la gestión ambiental de CARDIQUE, la REDCAM cuenta con 33 estaciones de muestreo en la extensión litoral, desde Galerazamba, que limita con el departamento del Atlántico, hasta Barbacoas en el límite con Sucre; estas estaciones se distribuyen en cinco zonas: Bahía afuera, Bahía de Cartagena, Barbacoas, Cartagena y Rosario (Figura 6.86).

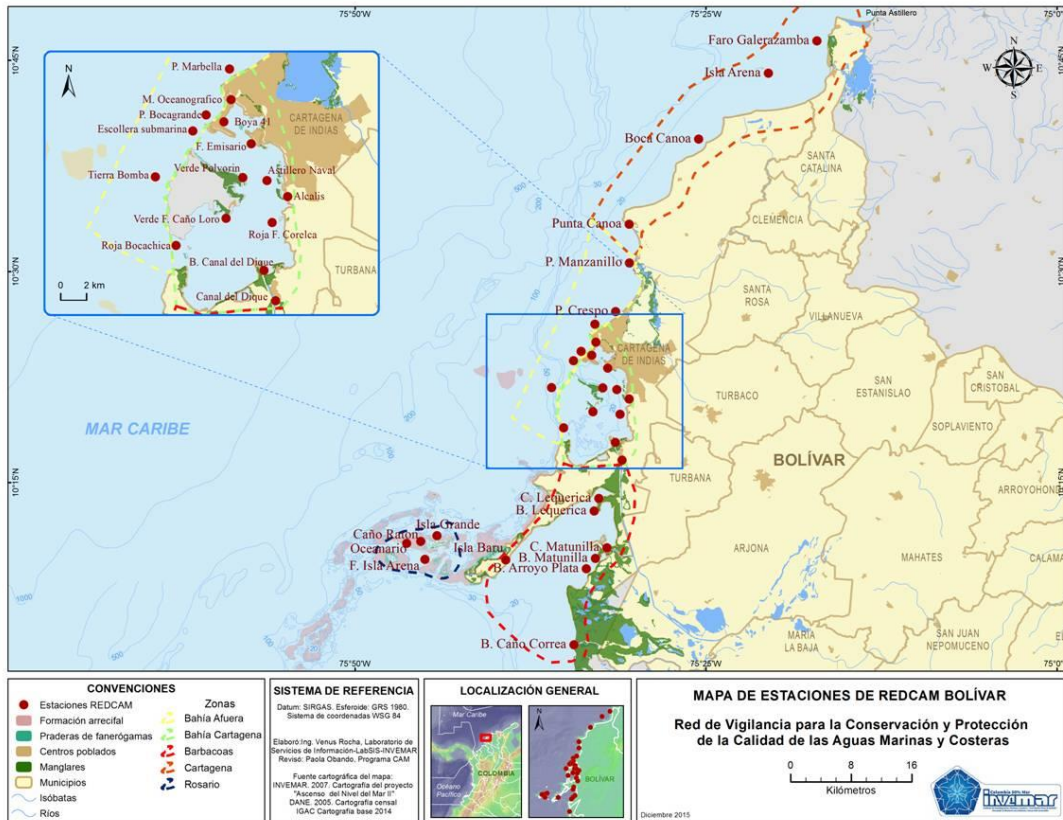


Figura 6.86. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Bolívar.

En el presente informe se muestran los resultados de los muestreos de calidad de aguas realizados por CARDIQUE entre el 25 de noviembre, 02, 05 y 16 de diciembre de 2014 (en adelante, época lluviosa 2014) y entre el 12 y 19 de marzo, 08 y 09 de abril de 2015 (en adelante, época seca 2015) en las cinco zonas de muestreo.

## 6.5.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.5.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

#### Variables Fisicoquímicas

##### *In situ y Sólidos suspendidos totales*

Los resultados de las mediciones de la salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo se presentan en la Figura 6.87. La mayoría de las estaciones en las zonas de Cartagena, Bahía Afuera y Bahía de Cartagena mostraron un comportamiento estuarino, con bajas salinidades ( $\leq 20,0$ ) en la época lluviosa 2014, y salinidades alrededor de los 40 partes en la época seca. Algunas estaciones del Canal del Dique, presentaron una salinidad máxima de 0,28, correspondientes a aguas tipo dulceacuícola. En la zona de Rosario, las aguas presentaron salinidades (entre 36,6 y 39,9) similares en las dos épocas climáticas, por su condición de insular y la influencia marina.

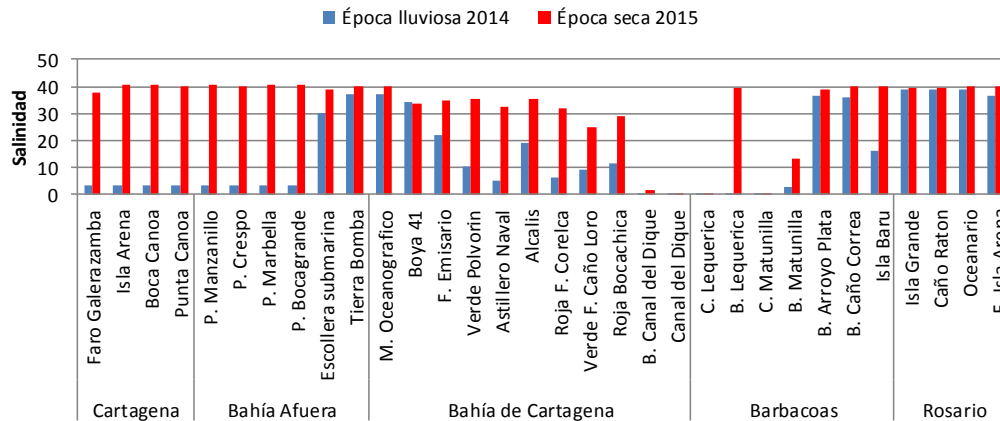


Figura 6.87. Valores de salinidad medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

La temperatura del agua osciló entre 27,1 y 32,9 °C (Figura 6.88), siendo las aguas más cálidas en la época lluviosa ( $30,23 \pm 1,03$  °C) en comparación con la época seca ( $29,12 \pm 1,20$  °C). Estos valores se relacionan con la hora del día en la que se hicieron las mediciones (7:00 a.m. – 1:00 p.m.).

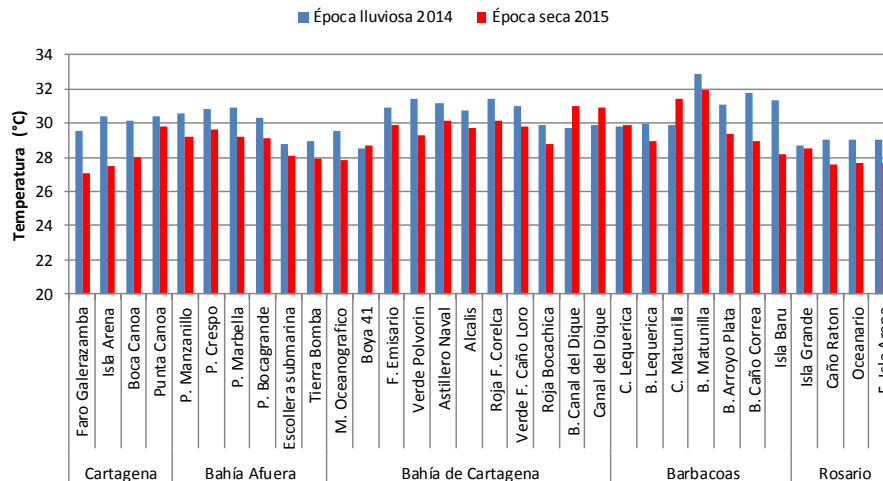


Figura 6.88. Temperatura del agua superficial medida en las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El oxígeno disuelto (OD) fluctuó entre 5,34 y 11,31 mg de O<sub>2</sub>/L (Figura 6.89), valores que se encontraron por encima del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna acuática en aguas cálidas (>4,0 mg de O<sub>2</sub>/L; [MinSalud, 1984](#)). Las concentraciones más altas de oxígeno disuelto se registraron en las estaciones Astilleros Naval (11,13 mg de O<sub>2</sub>/L) y Álcalis (11,31 mg de O<sub>2</sub>/L), valores que indicarían alta producción de oxígeno proveniente de la actividad biológica del fitoplancton.

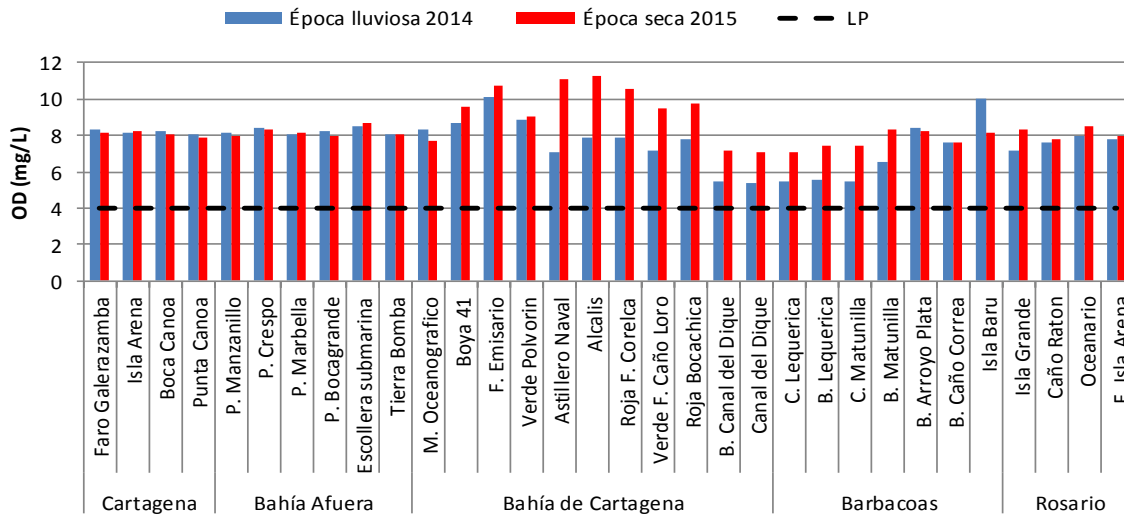


Figura 6.89. Oxígeno disuelto (OD) medido en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en la época lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada indica el límite permisible de oxígeno en aguas cálidas según [MinSalud, 1984](#).

El pH osciló entre 7,31 y 8,93 (Figura 6.90). En las estaciones del Canal del Dique el pH se encontró dentro del rango del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce (4,5 – 9,0; [MinSalud, 1984](#); Figura 6.90). El pH en la mayoría de las estaciones en playas, desembocadura de arroyos y caños, y en otras ubicadas en áreas con aguas marina y estuarinas, también estuvieron dentro del criterio de calidad para aguas cálidas marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; [MinSalud, 1984](#)), a excepción de las estaciones isla Barú (8,60) y punta Canoa (8,93), atribuidos posiblemente a la actividad biológica del fitoplancton.

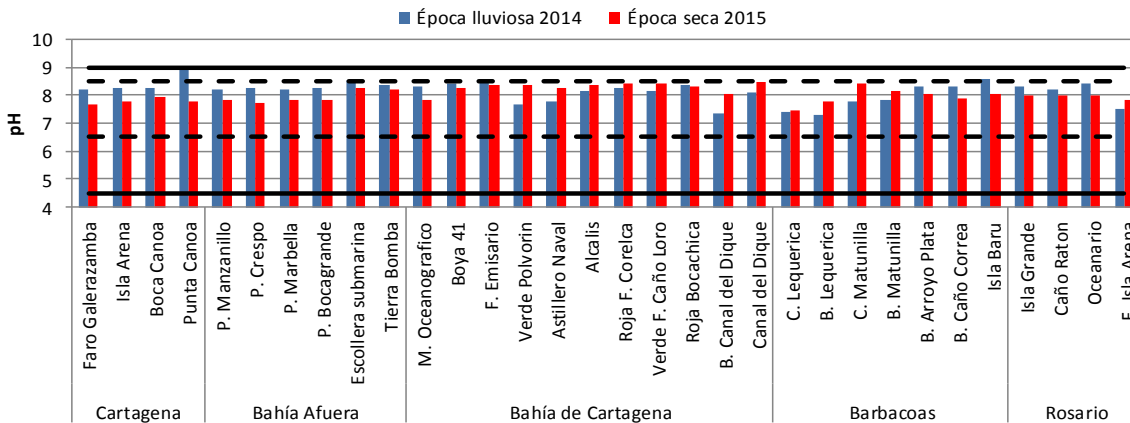
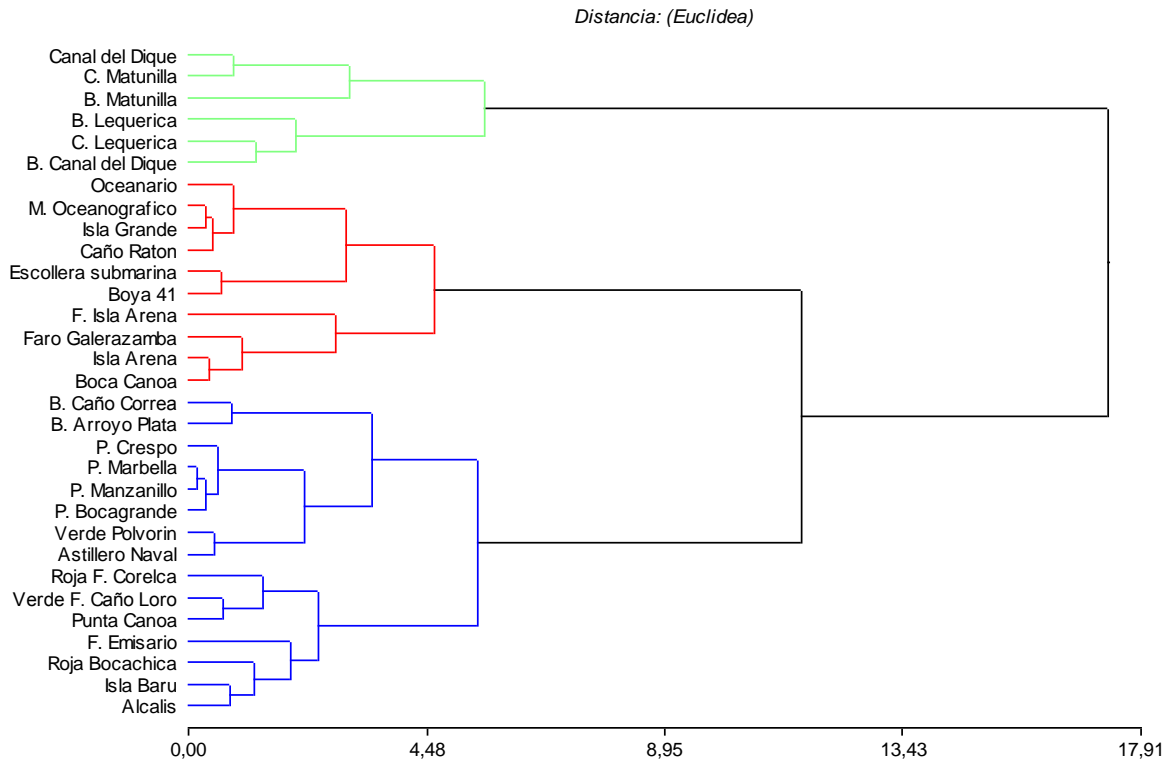


Figura 6.90. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en las épocas lluviosas 2014 y seca 2015. Las líneas negras punteadas señalan el rango permisible en aguas cálidas marinas y estuarinas (6,5-8,5), y las líneas continuas indican el rango permisible en aguas cálida dulce (4,5-9,0) para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)).

Con el propósito de conocer la similitud entre las estaciones teniendo en cuenta los resultados de las variables que caracterizan las condiciones fisicoquímicas del agua (oxígeno disuelto, salinidad temperatura y pH), se realizó un análisis de conglomerados, donde la salinidad fue la variable determinante. Como resultado del análisis, se determinaron dos grandes grupos los cuales se presentan en la Figura 6.91. El primer grupo lo conformaron las estaciones del Canal del Dique, las cuales tienen influencia directa de aguas fluviales. El segundo grupo lo conformaron estaciones marinas (señalados de color rojo en el dendrograma), y estuarinas estacionarias por la época climática (señalados de color azul en el dendrograma; Figura 6.91).



**Figura 6.91. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento de Bolívar, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas verdes indican el primer grupo del canal del Dique, las rojas las de tipo marino y las de azul las estuarinas.**

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 10 y 257 mg de SST/L (Figura 6.92). En las estaciones del Canal del Dique y sus brazos Lequerica y Matunilla, se registraron las mayores concentraciones de SST en la época lluviosa 2014, asociadas a los aportes de limos, arena, minerales de arcilla y materia orgánica que llegan al Canal del Dique por escorrentías y que son transportados hacia las bahías de Barbacoas y Cartagena ([Pinilla et al., 2007](#)). Estas concentraciones pueden facilitar el transporte de nutrientes y contaminantes como pesticidas y metales de las áreas agrícolas de las riberas del canal, e interferir en el proceso de fotosíntesis debido a que los sólidos suspendidos totales en exceso atenúan la luz solar en el agua ([Manahan, 2007](#); [Fabricius, 2005](#)).

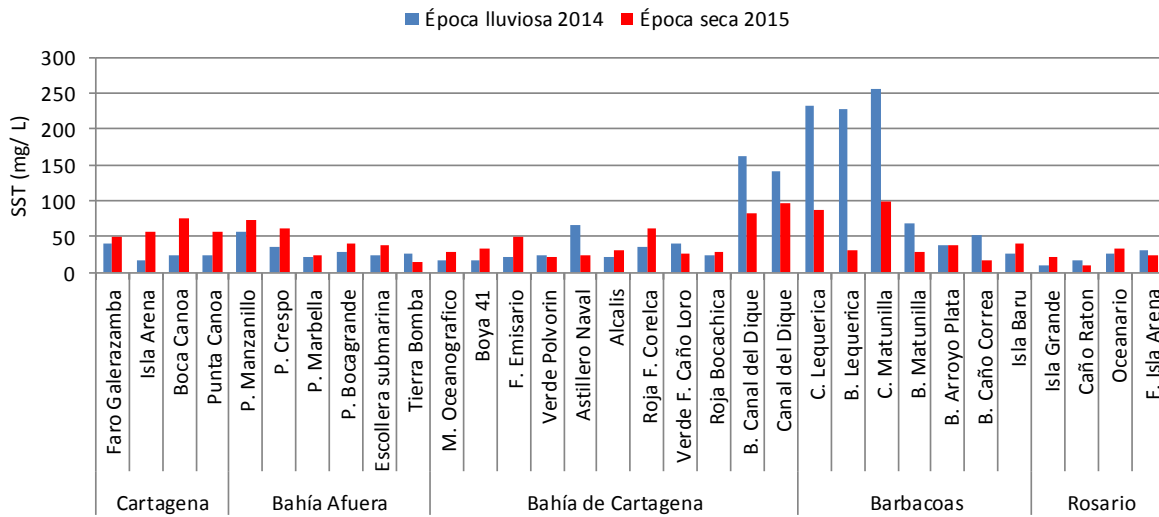


Figura 6.92 Sólidos suspendidos totales (SST) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, en las épocas lluviosa de 2014 y seca 2015.

Históricamente en las estaciones del Canal del Dique se ha evidenciado altos niveles de SST, que ingresan las bahías de Cartagena y Barbacoas, principalmente en la época seca (Figura 6.93), condición que puede estar relacionado con actividades ganaderas, vertimientos de aguas residuales de las poblaciones ribereñas del río Magdalena y del Canal del Dique y con los mismos procesos de resuspensión y arrastre de sedimentos a lo largo de su cauce, por fuerzas naturales y por el tráfico de embarcaciones.

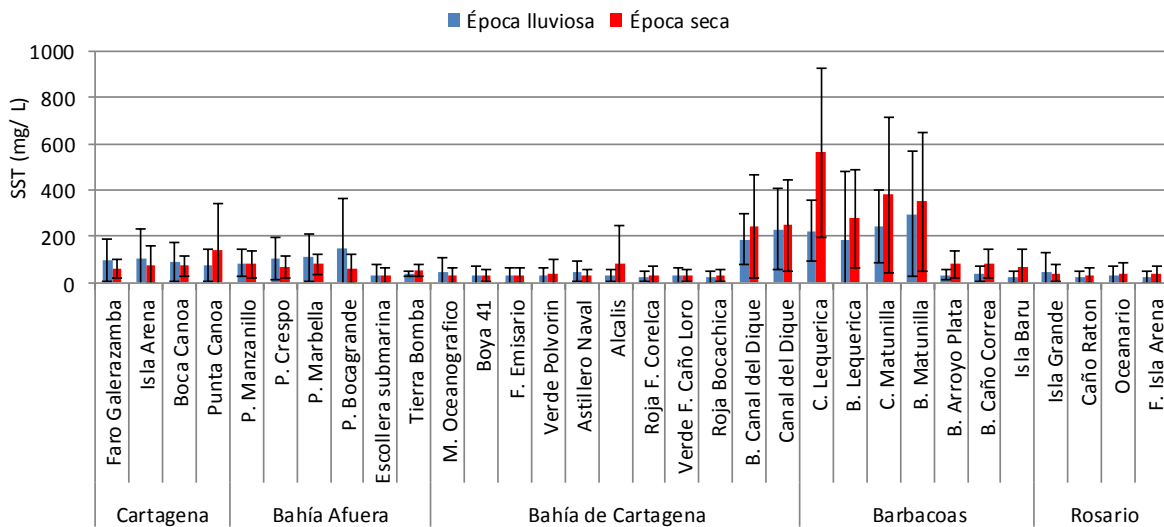


Figura 6.93 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a las desviaciones estándar.



### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

Los nutrientes inorgánicos disueltos de interés ambiental evaluados (nitritos, nitratos, amonio y ortofosfatos), en las aguas marinas y costeras del departamento de Bolívar, se relacionan con las actividades socioeconómicas que se desarrollan en las riberas del Canal del Dique y en la ciudad de Cartagena ([Troncoso et al., 2009](#)). Las concentraciones más elevadas de nitritos se registraron en las zonas de Barbacoas y la bahía de Cartagena (Figura 6.94), principalmente en la época lluviosa, evidenciando la entrada de aguas residuales domésticas que se confirma por los altos niveles de coliformes (ver contaminación microbiológica) y de escorrentías de áreas agrícolas y pecuarias situadas en la ribera del Canal del Dique ([Aguilera, 2006](#)).

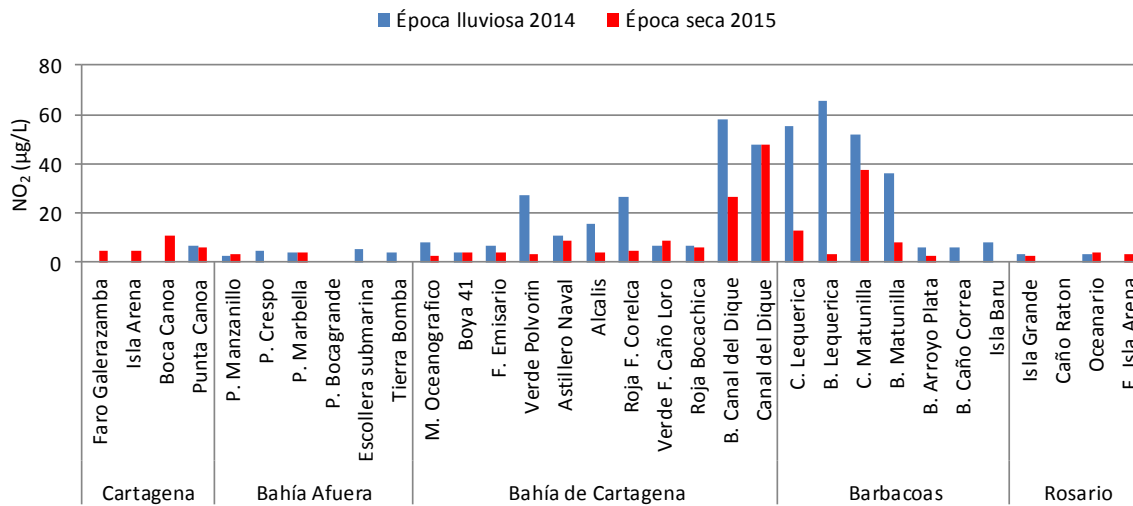


Figura 6.94 Concentraciones de Nitrito (N-NO<sub>2</sub>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente el Canal del Dique ha sido el receptor de los residuos de algunos municipios del Atlántico y Bolívar que se encuentran en las riberas de este cuerpo de agua. Estas poblaciones generalmente no cuentan con sistemas de saneamiento básico, y los desechos sólidos y líquidos son vertidos directamente al cuerpo de agua, aumentando la carga orgánica y concentración de nitritos (Figura 6.95), asociados a altos valores de coliformes. A esto se suma las escorrentías de suelos agrícolas y las actividades ganaderas que se encuentran y desarrollan en la ribera del Canal del Dique, también contribuyen con el deterioro de la calidad del agua y disminución del potencial pesquero ([Aguilera, 2006](#)).

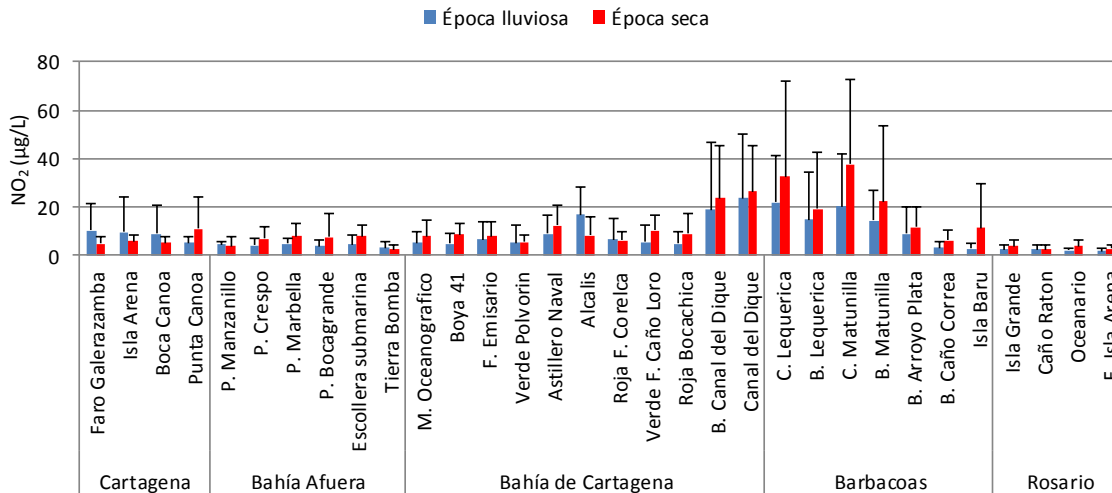


Figura 6.95. Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitritos ( $N-NO_2^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, en las épocas secas y lluviosas. Las barras de error corresponden a las desviaciones estándar.

Los nitratos en las estaciones del Canal del Dique han registrado los valores más altos durante el periodo evaluado (Figura 6.96), encontrándose las mayores concentraciones en la época seca 2015, en el caño Matunilla ( $564,7 \mu\text{g}$  de  $NO_3^-/\text{L}$ ) y su desembocadura ( $398 \mu\text{g}$  de  $NO_3^-/\text{L}$ ), el caño Lequerica ( $620,4 \mu\text{g}$  de  $NO_3^-/\text{L}$ ) y el Canal del Dique ( $423,8 \mu\text{g}$  de  $NO_3^-/\text{L}$ ) y su desembocadura ( $443 \mu\text{g}$  de  $NO_3^-/\text{L}$ ), nutrientes que son descargados en las bahías de Barbacoas y Cartagena, que pueden favorecer el crecimiento excesivo del fitoplancton ([Manahan, 2007](#)). Estas concentraciones registradas se atribuyen a los vertimientos de aguas residuales y escorrentías agrícolas desarrolladas en los municipios ribereños ([Aguilera, 2006](#)).

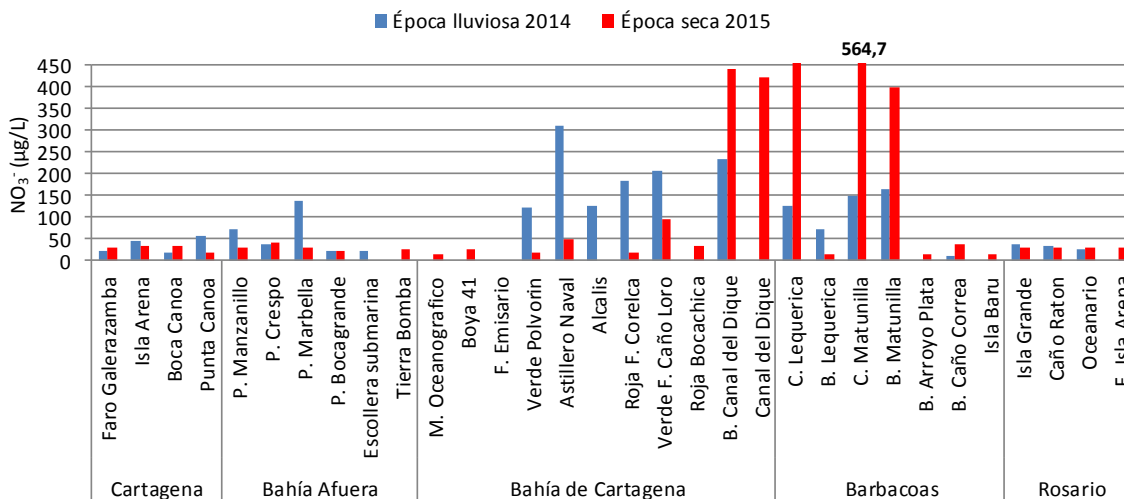


Figura 6.96 Concentraciones de Nitrato ( $N-NO_3^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente, altas concentraciones de nitratos han sido registradas en el Canal del Dique (Figura 6.97), con valores muy fluctuantes, oscilando entre el límite de detección del método utilizado en el laboratorio ambiental de CARDIQUE (10,4) y 1.691,3  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ . Concentraciones muy elevadas fueron registradas en el caño Lequerica (1.276,4  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ ) en la época lluviosa 2001, en la desembocadura del caño Matunilla (1.231,4  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ ) en la época lluviosa de 2001 (Invemar, 2001), en el Canal del Dique (1.670  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ ) en la época lluviosa 2003 (Marín et al., 2004), en el caño Matunilla (723  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ ) en la época seca de 2005 (Marín et al., 2005), en la desembocadura del caño Lequerica (1.691,3  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ ) en la época seca de 2010 (Vivas-Aguas et al., 2010), y en la desembocadura del Canal del Dique (674  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ ) en la época seca 2013 (Vivas-Aguas et al., 2014a), años en los cuales hubo influencia del evento Niña.

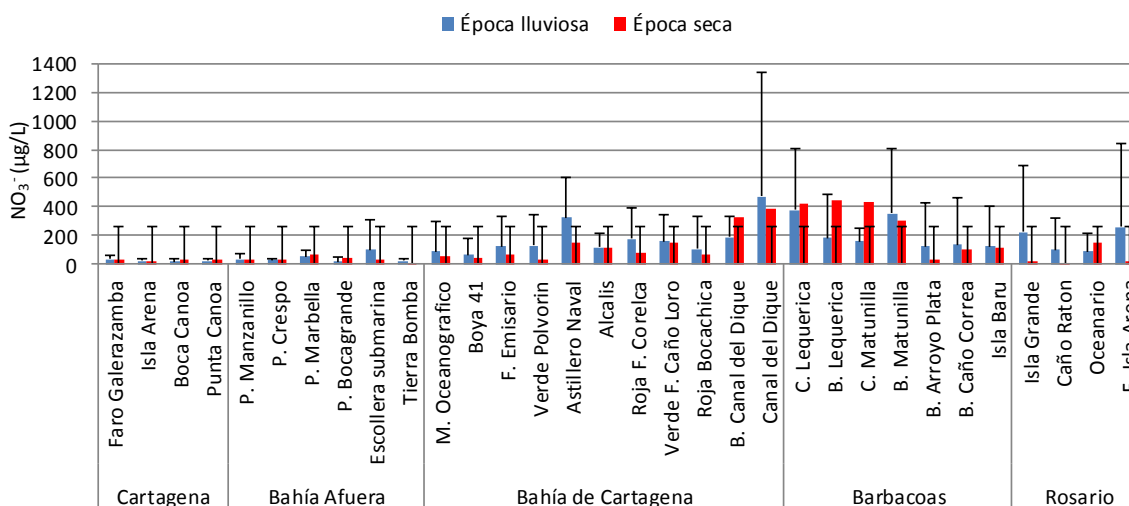


Figura 6.97 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a las desviaciones estándar.

Solo la estación Escollera submarina presentó la concentración de amonio superior al límite de detección del método utilizado en el laboratorio ambiental de CARDIQUE (576  $\mu\text{g}$  de  $\text{NH}_4^+/\text{L}$ ) con un valor de 650  $\mu\text{g}$  de  $\text{NH}_4^+/\text{L}$ , concentraciones significativas de amonio pueden ser indicativas de contaminación debida a vertimiento de aguas residuales domésticas o industriales puesto que implican presencia de materia orgánica o fertilizantes (Quintero et al., 2010).

En cuanto a los ortofosfatos, en el Canal del Dique se encontró la mayor concentración en la época lluviosa 2014, debido a que en esta época las aguas de escorrentía arrastran trazas de fertilizantes utilizados en las áreas agrícolas y al vertimiento de aguas residuales de los municipios aledaños al canal (Aguilera, 2006), los cuales son fuentes de este nutriente (Figura 6.98).

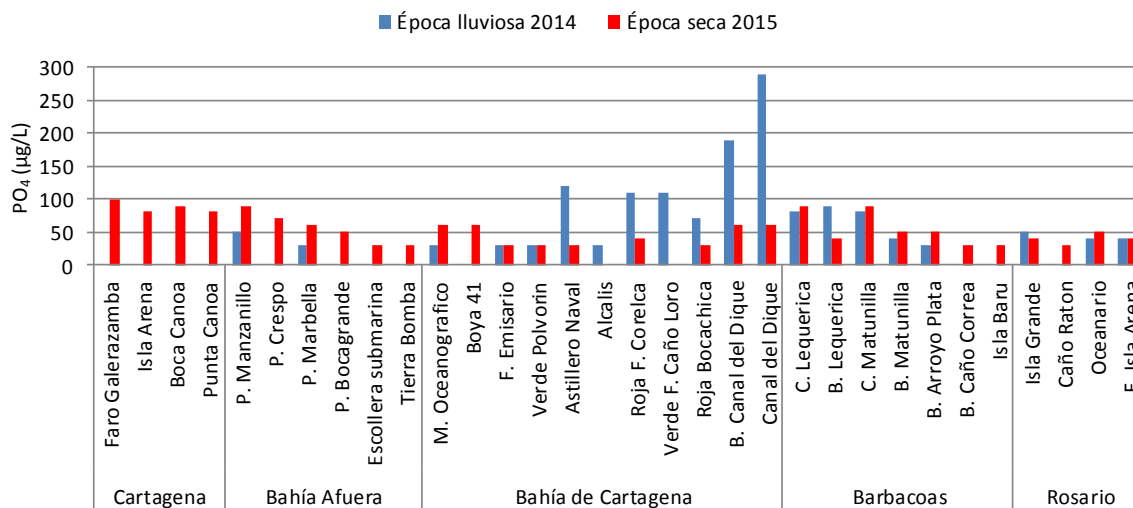


Figura 6.98 Concentraciones de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

La estación Tierra Bomba presentó concentraciones de ortofosfatos muy bajas respecto a los registros históricos (Figura 6.99). La bahías de Cartagena y Barbacoas son las zonas donde se encuentran los valores más altos de ortofosfatos (Figura 6.99), asociados a los vertimientos de aguas residuales, y la influencia agrícola y ganadera, mientras que el sector Rosario a manera general continúa teniendo los niveles más bajos, lo cual es beneficioso para la supervivencia de las especies de coral que allí se encuentran ([Lapointe, 1997](#); [Lapointe et al., 2004](#)).

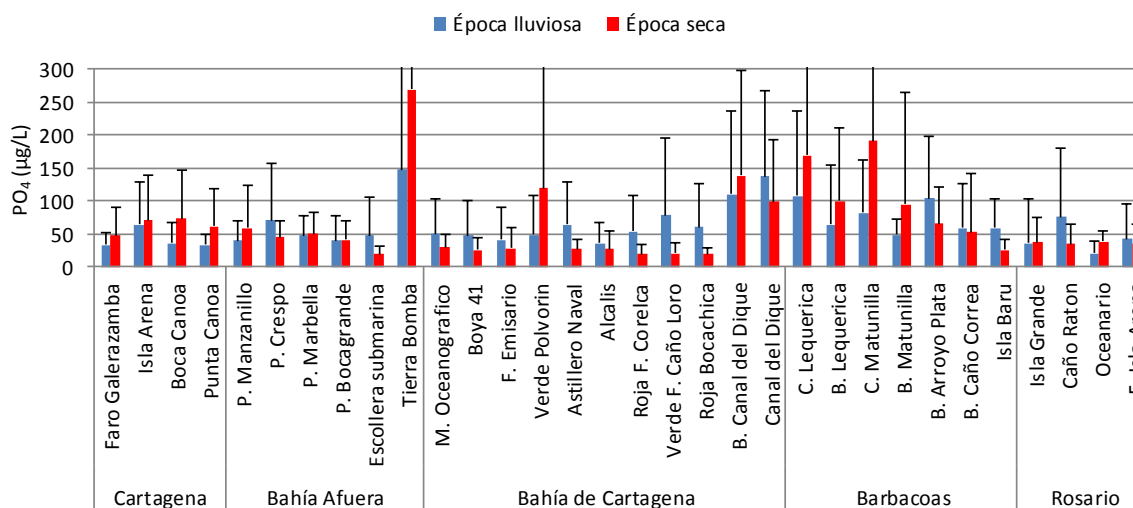
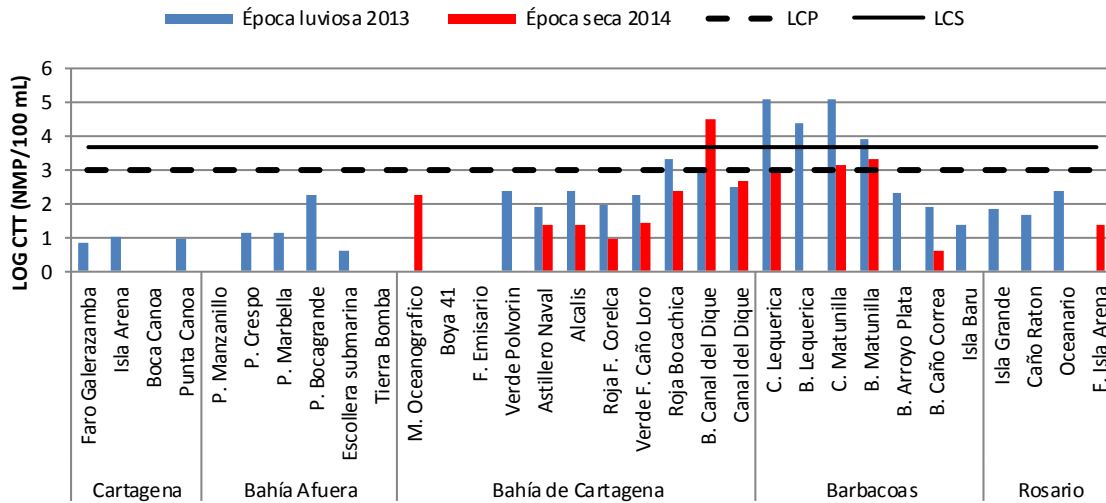


Figura 6.99 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a las desviaciones estándar.

Contaminación Microbiológica

La calidad microbiológica de las aguas marinas y costeras del departamento de Magdalena, se evaluó a partir de las mediciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). Las concentraciones de CTT oscilaron entre el límite de detección del método utilizado en el laboratorio ambiental de CARDIQUE (1,8) y 130.000 NMP de CTT/100 mL (Figura 6.100), presentándose las mayores concentraciones en las estaciones del Canal del Dique, con valores que superan el límite permisible para el uso recreativo del agua por contacto secundario (pesca) del decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#); Figura 6.100), e indican una posible afectación por aguas residuales. En las demás estaciones de playas y sitios turísticos, los CTT estuvieron por debajo de los límites permisibles para uso recreativo por contacto primario (natación y buceo).



**Figura 6.100. Concentraciones de coliformes totales (CTT), medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada corresponde al límite permisible de contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), la línea continua es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7), [MinSalud \(1984\)](#).**

El análisis histórico de los coliformes totales fue realizado por tipo de agua teniendo en cuenta los valores de salinidad registrados en cada una de las estaciones. La Figura 6.101 muestra que las estaciones de tipo de agua fluvial, ubicadas en el canal del Dique y en los caños que divergen de este, presentan generalmente valores inadecuados para el desarrollo de actividades de contacto primario y secundario tanto en la época lluviosa como en la seca. El comportamiento histórico de las estaciones marinas y estuarinas muestra que en general, presentan condiciones óptimas para el desarrollo de actividades de contacto primario.

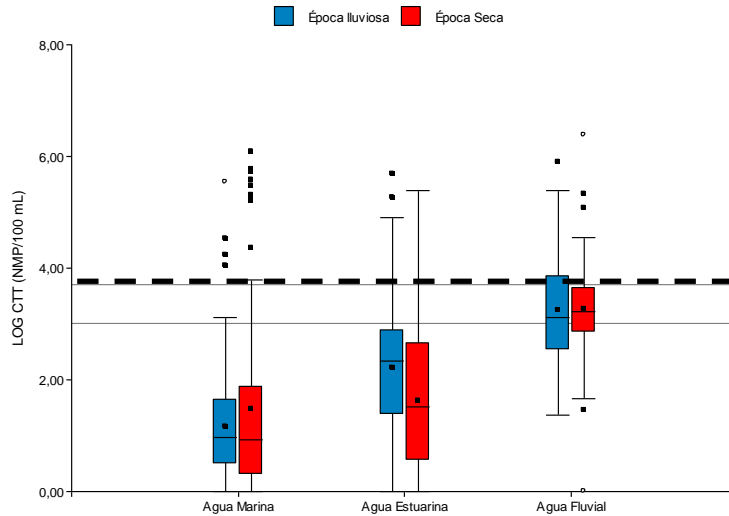


Figura 6.101 Variación histórica (2001-2015) de las concentraciones de coliformes totales por tipo de agua y época climática, registradas en las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar. La línea negra continua corresponde al límite permisible para el uso recreativo del agua por contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log=3,0), y la línea punteada es el límite permisible para contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7), [MinSalud \(1984\)](#).

Los CTE oscilaron entre el límite de detección del método utilizado en el laboratorio ambiental de CARDIQUE (1,8) y 33.000 NMP de CTE/100 mL (Figura 6.102), presentándose las mayores concentraciones en las estaciones del Canal del Dique, confirmando que este canal es receptor de aguas residuales que aumentan los nutrientes inorgánicos disueltos y la contaminación microbiológica por coliformes, que en su mayoría se encuentran por encima del límite permisible para su uso recreativo, y que son descargadas a las bahías de Barbacoas y de Cartagena.

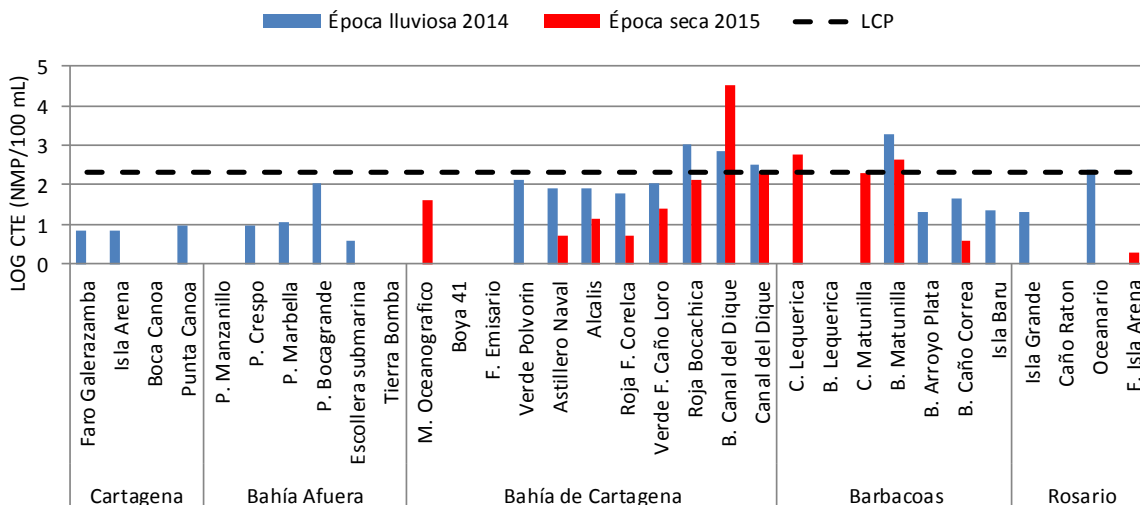


Figura 6.102. Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

En la época lluviosa 2014, se registraron en las playas de arena del departamento, valores de CTE que cumplen con el límite permisible descrito en el decreto 1594 de 1984 (200 NMP de CTE/100 mL; [MinSalud, 1984](#)) para aguas de uso recreativo por contacto primario (Tabla 6.15). En época seca 2015 se encontraron concentraciones que superan el límite permisible en todas las estaciones, no obstante, este no ha sido el comportamiento predominante, puesto que históricamente ninguna de las estaciones supera el 20 % de casos de incumplimiento. En cuanto a los enterococos fecales la estación playas de Bocagrande fue la única que superó el valor de referencia de la OMS (40 UFC/100 mL), el cual representa un menor riesgo sanitario, presentando en la época seca una concentración de 160 UFC/100 mL, lo cual indica un riesgo de 1 a 5 % y de 0,3 a 1,9 % de contraer enfermedades Gastrointestinales (EGI) y Enfermedades Respiratorias Febriles Agudas respectivamente.

**Tabla 6.15. Registro actual e histórico (2001-2015) de coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) medidos en el agua superficial en las estaciones de playas con uso turístico del departamento de Bolívar, en las épocas lluviosas y secas.**

Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico1	2015	Histórico1	2014	Histórico2	2015	Histórico2
Punta Canoa	9,3	27 - <LD	<LD	3.100 - <LD	2	ND	<LD	ND
Playa Manzanillo	<LD	33 - <LD	<LD	4.000 - <LD	2	ND	10	ND
Playa Crespo	9,3	130 - <LD	<LD	11.000 - <LD	1	ND	10	ND
Playa Marbella	11	170 - <LD	<LD	1.000 - <LD	1	ND	<LD	ND
Playa Bocagrande	110	490 - 2	<LD	34.000 - <LD	10	ND	160	ND
Isla Barú	22	40 - <LD	<LD	240 - <LD	5,2	ND	<LD	ND
Isla Grande	20	20 - <LD	<LD	400 - <LD	21	—	<LD	—

\*Valores que se encuentra por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

<sup>1</sup>Rango histórico de coliformes termotolerantes registrado en la base de datos de la REDCAM ([INVEMAR, 2015](#)).

<sup>2</sup>Rango histórico de Enterococos fecales registrado en la base de datos de la REDCAM ([INVEMAR, 2015](#)).

### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Las concentraciones de HAT en las estaciones de muestreo oscilaron entre valores inferiores al límite de detección (0,07) y 35,9 µg/L, presentándose los valores más elevados en la época lluviosa 2015, con valores en las estaciones Oceanario (35,9 µg/L), Punta Canoa (18,1 µg/L) y en la desembocadura del Canal del Dique (13,2 µg/L) que superan la referencia para aguas marinas no contaminadas con hidrocarburos (10 µg/L; [Unesco, 1984](#); Figura 6.103), lo cual puede afectar a las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estas aguas. Para la época seca 2015, las concentraciones determinadas estuvieron por debajo de los 2 µg/L en todas las estaciones. La presencia de estos residuos se debe a factores como el vertimientos de aguas residuales, tráfico de embarcaciones, derrame de hidrocarburos, transporte, cargue y descargue de combustible, entre otros ([Garay y Vélez; 2004](#)).

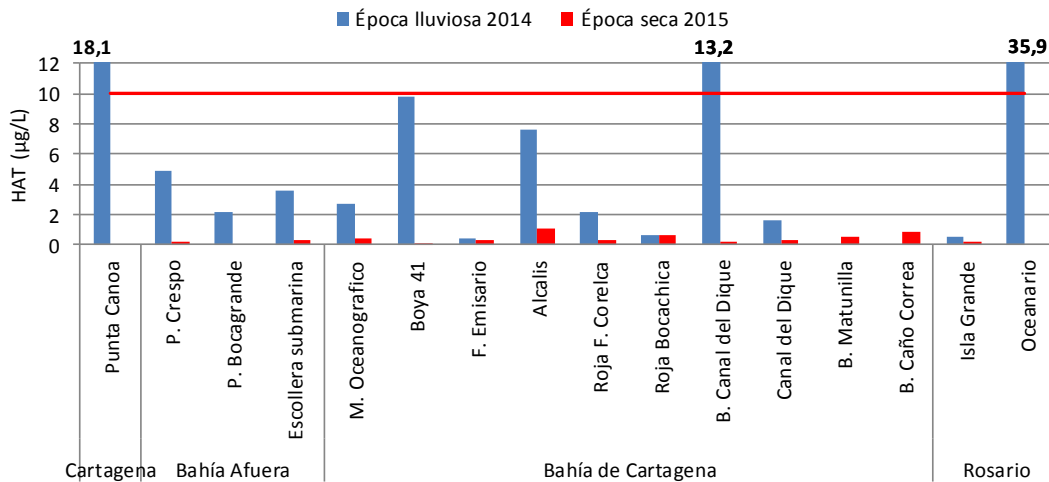


Figura 6.103. Concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea roja representa el valor de referencia para aguas no contaminadas según la UNESCO (1984).

Históricamente las concentraciones de HAT en la bahía de Cartagena han sido las más altas en ambas épocas climáticas, principalmente en las estaciones de la desembocadura del Canal del Dique, Roja frente a Corelca y Boya 41 (Figura 6.104); en estas estaciones se han presentado valores han superado la referencia (Unesco, 1984; Figura 6.104). Como se ha reportado en estudios diferentes estudios y en informes anteriores, la contaminación de la bahía de Cartagena por presencia de HAT se debe principalmente a los vertimientos de residuos oleosos de la actividad marítima y portuaria, el tráfico de buques y lanchas así al transporte de petróleo y sus derivados en el área (Vivas-Aguas et al., 2014a; Guzmán, 2006; Rugeles, 1995).

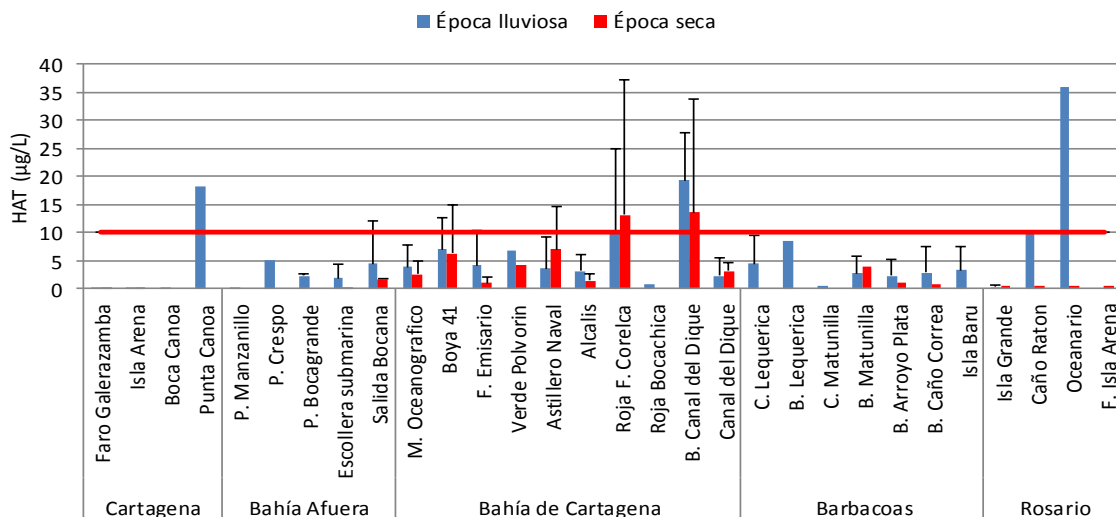


Figura 6.104. Promedio histórico (2001-2015) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea roja representa el valor de referencia para aguas marinas contaminadas (UNESCO, 1984).



### Plaguicidas

En el departamento de Bolívar la actividad agropecuaria genera un aporte equivalente al 11 % del producto interno bruto departamental, ubicándose como la quinta actividad económica en nivel de importancia, que genera una gran variedad de productos, tales como: maíz, arroz, sorgo, algodón, yuca, ñame, plátano, entre otros productos (DNP, 2007). Para garantizar el sostenimiento de esta actividad económica ha sido necesario el uso de plaguicidas para mitigar la presencia de organismos capaces de deteriorar la buena salud de cultivos, zonas de pastoreo y animales de interés ganadero. Sin embargo, en los muestreos realizados en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, solo se detectó la presencia de Clordano (CLORD) en la estación punta Canoa, en una concentración de 25 ng/L, valor que no supera la referencia de 90 ng/L para este compuesto (EPA, 2015).

### Metales Pesados

Desde el año 2001, CARDIQUE realiza el análisis de los siguientes metales pesados disueltos: Pb, Cd y Cr en las aguas marino costeras del departamento de Bolívar. En el presente informe se presentan los resultados de estos metales determinados en el agua superficial de las estaciones REDCAM en la época seca de 2015. Los niveles de Cr estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado (25 µg/L) de forma que no existe riesgo de contaminación por este metal debido a que se encontró por debajo del valor de referencia de 50 µg/L descrito en CONAMA (2005).

El Pb presentó concentraciones entre 117 y 950 µg de Pb/L (Figura 6.105), encontrándose en la zona de Cartagena y bahía Afuera los niveles de Pb más altos, con valores de 790 µg de Pb/L en la estación playa de Crespo y de 950 µg de Pb/L en Faro Galerazamba. En la mayoría de las estaciones en la bahía de Cartagena y Rosario, y en todas las estaciones de la zona de Barbacoas, se encontraron concentraciones que superan el valor de referencia para efectos agudos de la NOAA (210 µg de Pb/L, Buchman, 2008). Estos resultados podrían provocar efectos adversos para la vida acuática, por lo tanto se sugiere continuar con la evaluación de este metal, especialmente en las aguas marino costeras donde se superó el valor de referencia para establecer posibles fuentes de contaminación.

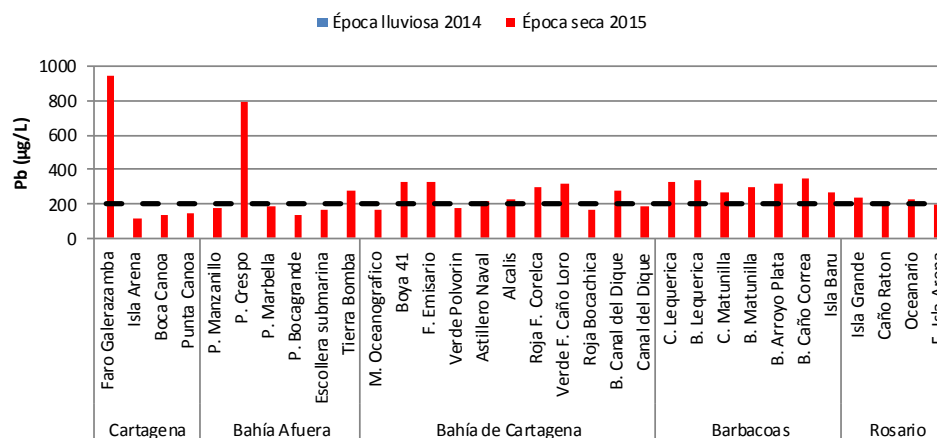
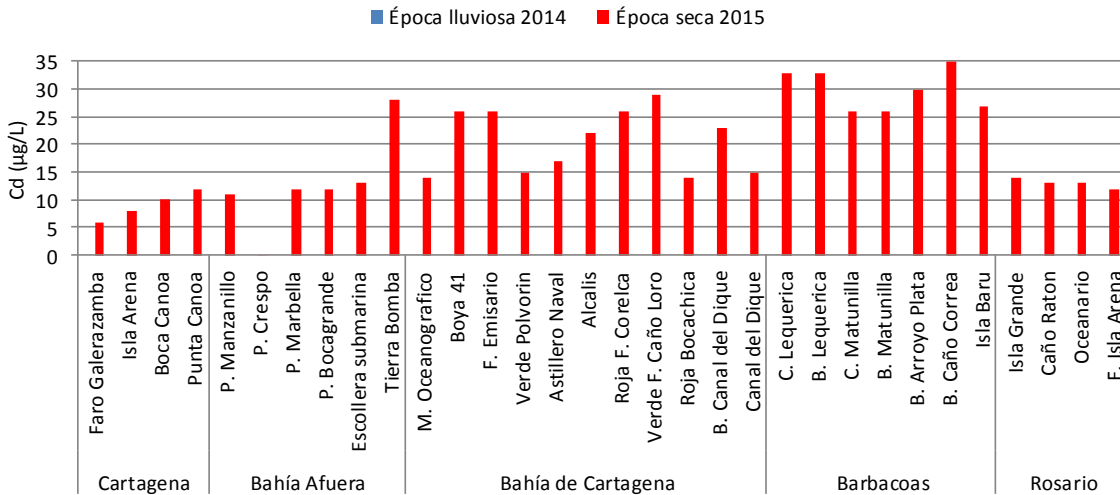


Figura 6.105. Concentraciones de plomo (Pb) medido en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en la época seca 2015. La línea negra punteada representa el valor de referencia para efectos agudos (Buchman, 2008).

Para el Cd osciló entre valores menores del límite de detección del método utilizado en el laboratorio ambiental de CARDIQUE (5) y 35 µg de Cd/L, con un promedio de  $18,8 \pm 9,0$  µg de Cd/L (Figura 6.106). Los valores más altos se presentaron en la zona Barbacoas, sin embargo, ninguno de los sitios muestreados superó el valor de referencia para efectos agudos de la NOAA (40 µg de Cd/L, [Buchman, 2008](#)).



**Figura 6.106. Concentraciones de Cadmio medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar, en la época seca de 2015.**

### Índice de calidad de las aguas

Los resultados del ICAM<sub>PFF</sub> indicaron que durante la época lluviosa 2014 se presenta un mayor número de estaciones con aguas de calidad *inadecuada*, en comparación con la época seca (Figura 6.107). En la época lluviosa 2014 (Figura 6.107a), se presentó una calidad *inadecuada* en Oceanario, punta Canoa, y en las playas Manzanillo y Marbella, atribuida a las altas concentraciones de nitratos, ortofosfatos e HAT, por las escorrentías urbanas en época de lluvias y al desarrollo de actividades antropogénicas en cercanías a las estaciones, como el uso de combustible y aguas servidas.

En la época seca 2015 (Figura 6.107b), la condición *aceptable* estuvo en punta Canoa, Alcalis, Astillero Naval, Frente Emisario, playa Bocagrande, playa Crespo y playa Manzanillo e *Inadecuada* en boca Canoa por las altas concentraciones de ortofosfatos, SST, y DBO<sub>5</sub> (2,72 mg/L) lo cual puede estar relacionado a las actividades que se desarrollen en la zona.

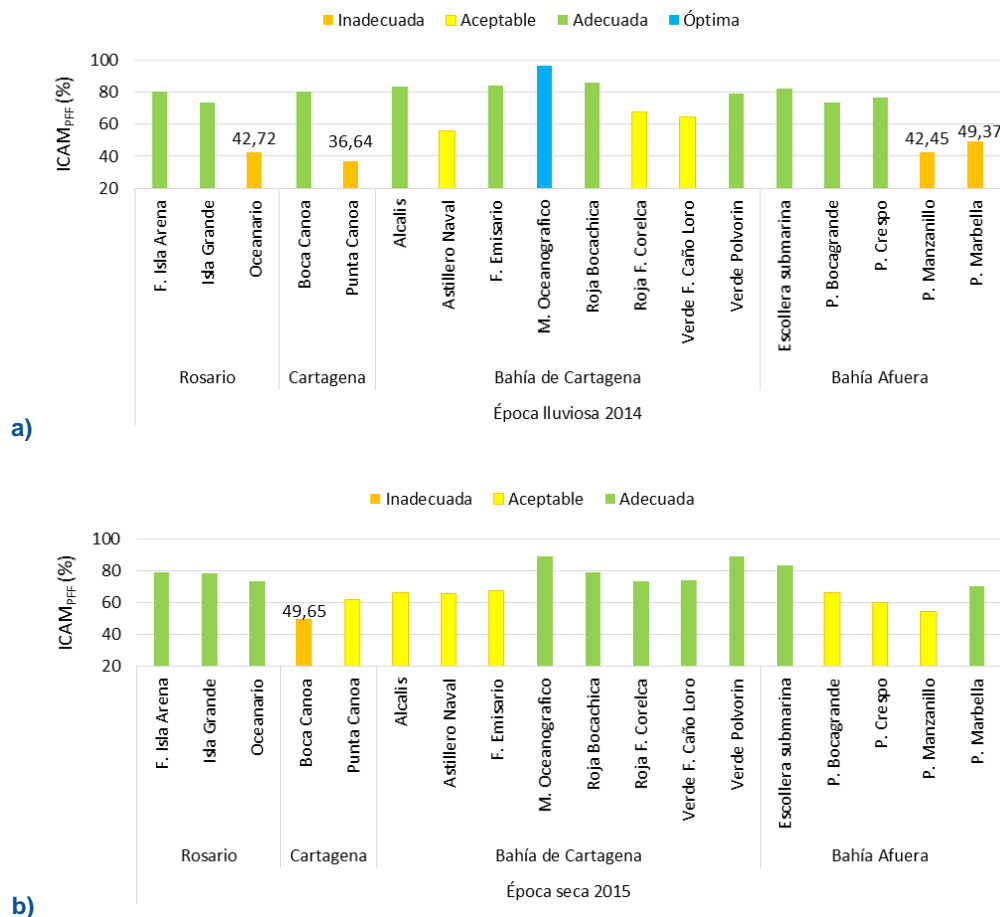


Figura 6.107. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de Bolívar evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>), en las épocas lluviosa 2014 (a) y seca 2015 (b).

### 6.5.2 CONCLUSIONES

El agua marino costera del departamento de Bolívar cumple con los criterios de calidad fisicoquímica en base a variables legisladas como el oxígeno disuelto y el pH, para la preservación de flora y fauna acuática asociada a las zonas de muestreo. No obstante, la calidad del agua puede verse afectada por altas concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos y sólidos suspendidos totales que son aportados por el Canal del Dique a las bahías de Cartagena y Barbacoa, que puede favorecer crecimientos algales, y afectar el recurso hidrobiológico aerobio asociado.

Las altas concentraciones de coliformes en las aguas del Canal del Dique, evidencian la influencia de vertimientos de aguas residuales que aumentan la contaminación microbiológica de sus aguas a niveles por encima del criterio de calidad para el uso recreativo del recurso hídrico, para natación y pesca. Las playas en el departamento de Bolívar se tienen bajas concentraciones de coliformes tanto en la época lluviosa 2014, como en la época seca 2016, indicando condiciones adecuadas para su uso recreativo, aunque estas condiciones se han visto afectadas por eventos puntuales presentados en monitoreos anteriores.

En las aguas marinas y costeras de Bolívar hay presencia de hidrocarburos aromáticos totales, en concentraciones que superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas en las estaciones Oceanario, Punta Canoa y la boca de canal del Dique asociadas al vertimiento de aguas residuales, tráfico de embarcaciones con motor, cargue y descargue de combustibles, entre otros, que pueden afectar la biota acuática asociada. Es importante la dar continuidad a la evaluación de estos contaminantes en el agua e incluir la evaluación en los sedimentos de la zona marino-costera del departamento, ya que estos permitirían hacer un mejor seguimiento a la contaminación por residuos de hidrocarburos, especialmente en la bahía de Cartagena donde su presencia es notoria.

Las aguas marino costeras del departamento de Bolívar presentan niveles altos Pb, que superan el valor de referencia para efectos agudos en la biota acuática. Se sugiere continuar con el monitoreo de estos metales en el agua e incluir su medición en sedimentos en la fracción biodisponibles, para conocer los posibles riesgos de efectos adversos sobre la biota.

# Sucre



Playa del Francés. Foto: Yoselin Nieto

## **EQUIPO TÉCNICO CARSUCRE**

*Tulio Rafael Ruiz – Jefe de Laboratorio de Calidad Ambiental de Morrosquillo*  
*Christian Bolaño Arrieta – Coordinador de Calidad del Laboratorio de Calidad Ambiental de Morrosquillo*  
*Yerman Sierra Zapata – Técnico de Campo*  
*Gustavo Gabriel Galindo – Técnico de Campo*



## 6.6 SUCRE

El departamento de Sucre se encuentra al norte de Colombia, en la región de la llanura del Caribe, ubicado en las coordenadas 07° 00' y 10° 20' de latitud norte y 73° 45' y 78° 37' de latitud oeste ([IGAC, 2008](#)), con una extensión total es de 10.350,66 km<sup>2</sup>. Limita con los departamentos de Córdoba (oeste y sur) y Bolívar (norte, este y sur) y con el mar Caribe (oeste; [Gobernación de Sucre, 2011](#); [PNUD, 2012](#)).

La población costera del departamento para el año 2015 se estimó en 97.040 habitantes ([DANE, 2015](#)), distribuidos en los municipios de San Onofre (52 %), Santiago de Tolú (34 %) y Coveñas (14 %). Se estima que la producción de aguas residuales en los municipios costeros para este mismo año alcanzó los 12.868 m<sup>3</sup>/seg, de los cuales, el 61 % se vierte directamente a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento previo. La producción de residuos sólidos suma los 27,23 t/día, siendo el municipio de Santiago de Tolú el de mayor producción (66 %); estos residuos son dispuestos finalmente en los rellenos sanitarios La Candelaria, Los Cerros y El Oasis ([Superservicios, 2014a](#)).

Aunque en la zona costera de Sucre no desembocan grandes ríos, existen diversos caños y arroyos como los caños Zaragocilla, Guacamayo, Alegría, Guainí, Pechelín y el arroyo Villeros, que circulan por áreas de ganadería intensiva y por áreas urbanas, recibiendo aguas residuales y residuos sólidos que son descargados en el golfo de Morrosquillo. En la costa de Santiago de Tolú se desarrollan diversas actividades que actúan como fuentes de contaminación, como almacenamiento, cague y descargue de combustible y tráfico de embarcaciones con motor, turismo, entre otros.

Con el propósito de apoyar a la Corporación Autónoma Regional de Sucre (CARSUCRE) en temas de calidad ambiental marina, y mantener actualizado el diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento, para conocer las problemáticas y obtener información que soporte la gestión ambiental marina de la Corporación, la REDCAM cuenta con 32 estaciones para evaluar la calidad de las aguas, las cuales se encuentran distribuidas en tres zonas: zona San Onofre, que se extiende desde Matatigre hasta una línea imaginaria con el islote Santa Cruz; la zona de Golfo Afuera, que incluye el golfo de Morrosquillo hasta la estación del Golfo 7 con influencia de aguas marinas y actividades industriales de cargue de combustible, y por último, la zona del corredor Tolú-Coveñas, que va desde el golfo frente a Berrugas hasta arroyo Villeros, donde se encuentran aguas estuarinas y fluviales como los caños y arroyos intermitentes que drenan a la zona costera, así como también se desarrolla la mayor actividad turística en las playas (Figura 6.108).

En el presente informe se presentan los resultados de los muestreos de calidad de aguas realizados por el INVEMAR y CARSUCRE entre los días 19 y 23 de agosto de 2014 (en adelante, época lluviosa 2014) y entre el 11 y 15 de mayo de 2015 (en adelante, época seca 2015) en las tres zonas de muestreo. Adicionalmente se muestran los resultados de la medición de contaminantes en sedimentos de la ciénaga La Caimanera.

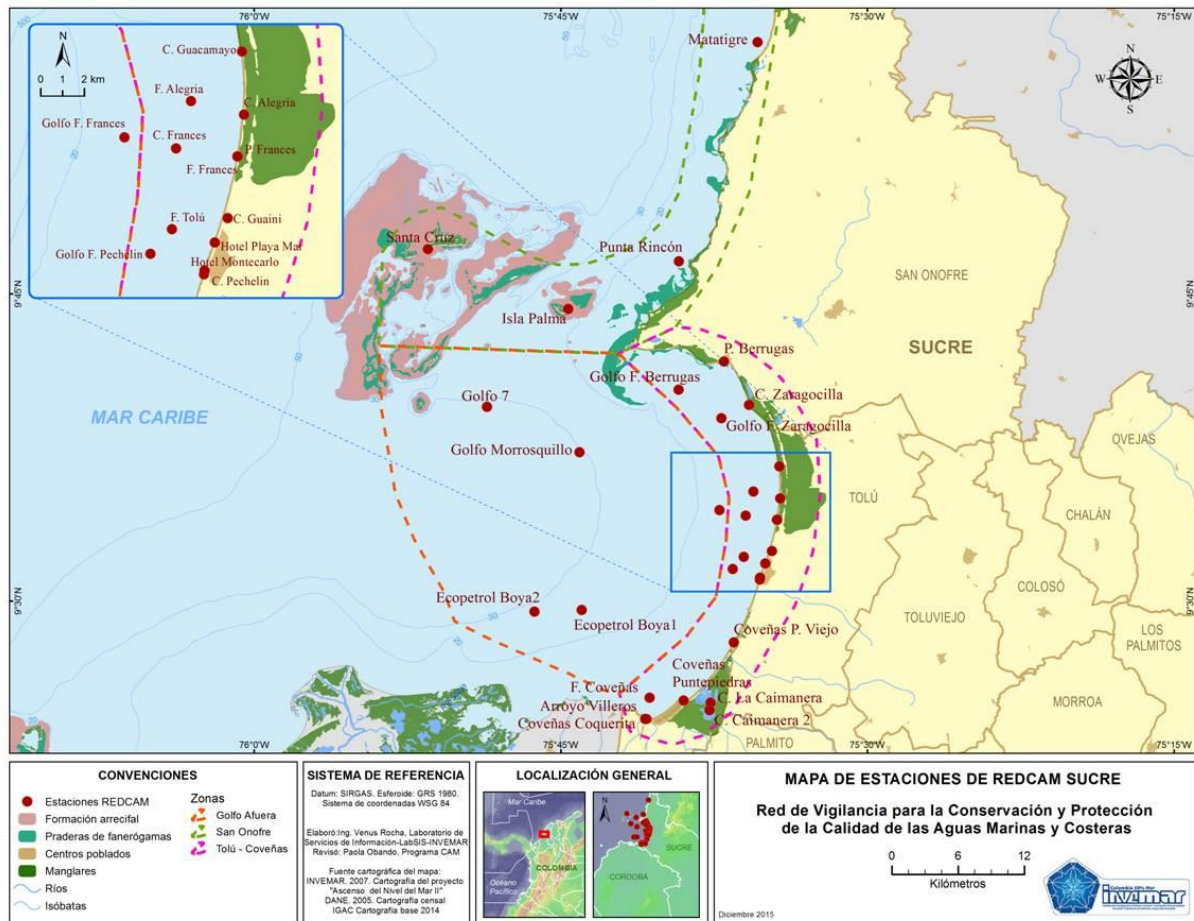


Figura 6.108. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Sucre.

## 6.6.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.6.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

#### Variables fisicoquímicas

##### *In situ y Sólidos suspendidos totales*

Los resultados de las mediciones de la salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo se presentan en la Figura 6.109. De acuerdo a estos resultados, las estaciones de los caños Zaragocilla, Guacamayo, Alegría y Pechelín, el arroyo Villeros y la ciénaga La Caimanera mostraron condiciones estuarinas, por presentar salinidades fluctuantes entre épocas climáticas. El caño Guainí presentó aguas salobres con salinidades de 2,4 en época lluviosa 2014 y de 2,1 en época seca de 2015. Las demás estaciones tuvieron salinidades entre los 30 y 35 partes en ambas épocas climáticas, por lo que el agua es de tipo marina. La temperatura del agua en las estaciones fluctuó entre 28,2 y 32,5 °C en época lluviosa 2014 y entre 30,2 y 35,7 °C en época seca 2015, valores que se relacionan con la hora del día en que se realizaron las mediciones (entre las 7:00 a.m. y 4:00 p.m.).



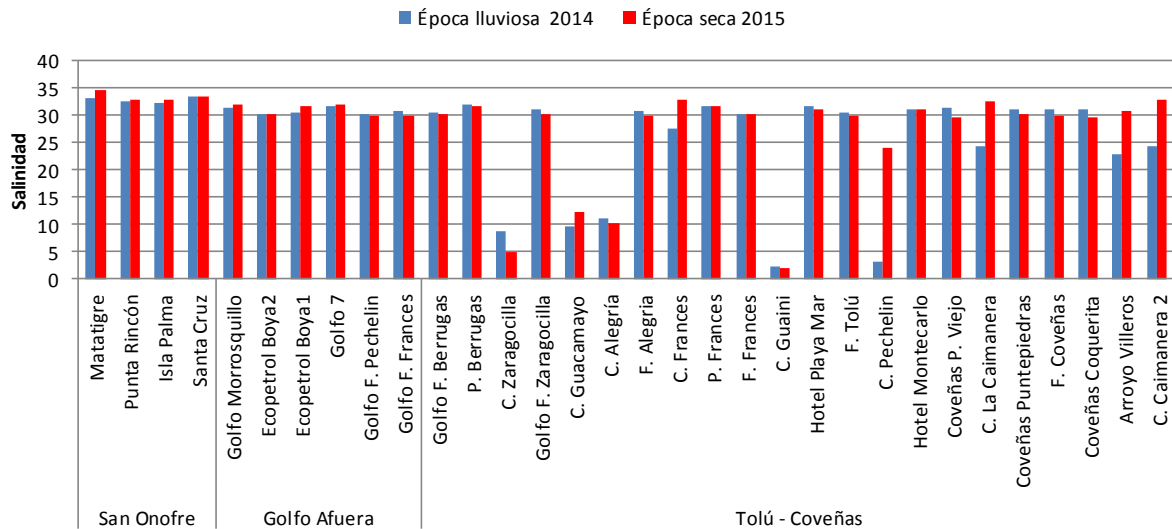


Figura 6.109. Valores de salinidad medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El oxígeno disuelto (OD) osciló entre 0,98 y 18,80 mg de O<sub>2</sub>/L (Figura 6.110), encontrándose valores por debajo del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (>4,0 mg de O<sub>2</sub>/L; [MinSalud, 1984](#)), en las estaciones de los caños Guacamayo (3,76 mg de O<sub>2</sub>/L), Guaini (0,98 mg de O<sub>2</sub>/L) y Zaragocilla (2,80 mg de O<sub>2</sub>/L) en la época lluviosa de 2014, y en las estaciones caño Alegría (2,61 mg de O<sub>2</sub>/L) y frente a Coveñas (3,44 mg de O<sub>2</sub>/L) en la época seca de 2015, atribuidos a vertimientos de aguas residuales. En la zona de San Onofre no se realizaron mediciones de OD en la época seca 2015.

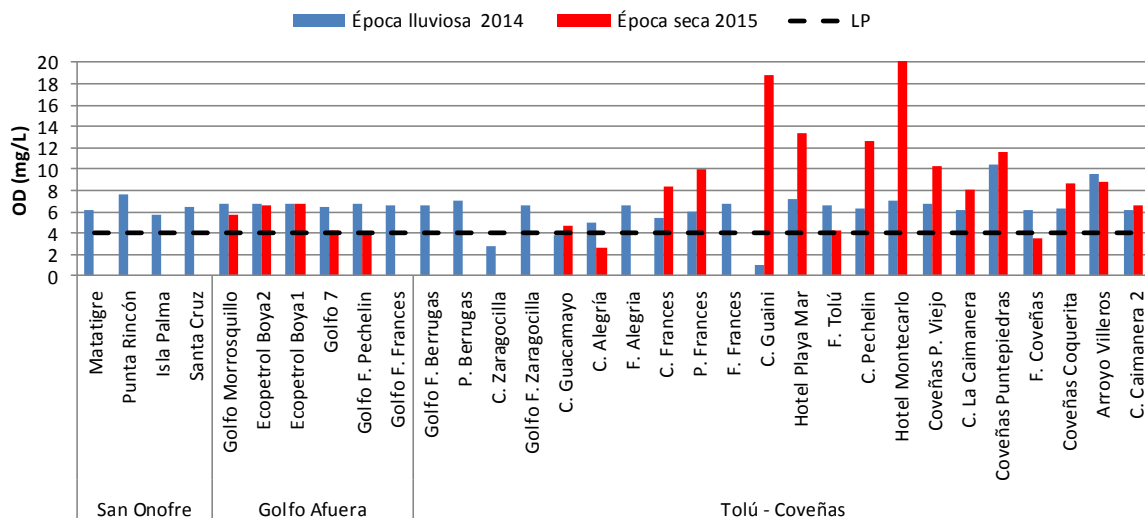


Figura 6.110. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en las épocas lluviosas 2014 y seca 2015. La línea negra punteada indica el límite mínimo permisible para la preservación de flora y fauna acuática ([MinSalud, 1984](#)).

Aunque en las estaciones de los caños Guainí y Pechelín, Hotel playa Mar, Hotel Montecarlo y Coveñas Puntepiedras en la época seca 2015, presentaron valores por encima del criterio de calidad para la preservación del decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)), no garantiza este uso, debido a que aguas sobresaturadas de oxígeno, afectan la supervivencia de peces por la formación de burbujas en el sistema circulatorio (embolia gaseosa; [Fuentes y Massol-Deyá, 2002](#); [Roldán y Ramírez, 2008](#)). Además en horas nocturnas estas altas concentraciones de oxígeno pueden bajar drásticamente, provocando condiciones subóxicas o anóxicas, causando mortandades de organismos aerobios ([Manahan, 2007](#)). Estas altas concentraciones de OD provienen principalmente de la actividad biológica del fitoplancton, que por causa de los vertimientos de aguas residuales con altas concentraciones de nutrientes, favorecen su proliferación, cambiando la coloración aparente del agua a verde pardo (Figura 6.111), al alcanzar densidades  $>1'000.000$  células/L ([Sar et al., 2002](#)).



Caño Guacamayo



Caño Alegría



Caño Francés



Caño Guainí

**Figura 6.111. Color aparente del agua de los principales caños que desembocan en el golfo de Morrosquillo, departamento de Sucre. Fotos: Ostin Garcés.**

Históricamente (Figura 6.112), estos caños y arroyo han presentado mayor recurrencia en el incumplimiento del criterio de calidad para el OD, principalmente en las épocas lluviosas (Figura 6.112a), cuando hay mayor aporte de materia orgánica por escorrentías y vertimientos de aguas residuales, que aumenta la demanda bioquímica de oxígeno, y disminuye la disponibilidad de OD para los organismos aerobios presentes ([Manahan, 2007](#)),

aún en horas del mediodía, cuando el fitoplancton libera O<sub>2</sub> en la fase diurna de la fotosíntesis (Manahan, 2007). En época seca, continúan los aportes de nutrientes y materia orgánica por los vertimientos de aguas residuales domésticas en algunos caños y arroyo, en los cuales se cierra la conexión con el mar, y se disminuye la circulación de agua, favoreciendo la proliferación del fitoplancton que aumenta las concentraciones de oxígeno a niveles de sobresaturación durante el día (Figura 6.112b), por la alta radiación solar en esta época, y persisten los problemas de la mala calidad del agua para la preservación de flora y fauna acuática.

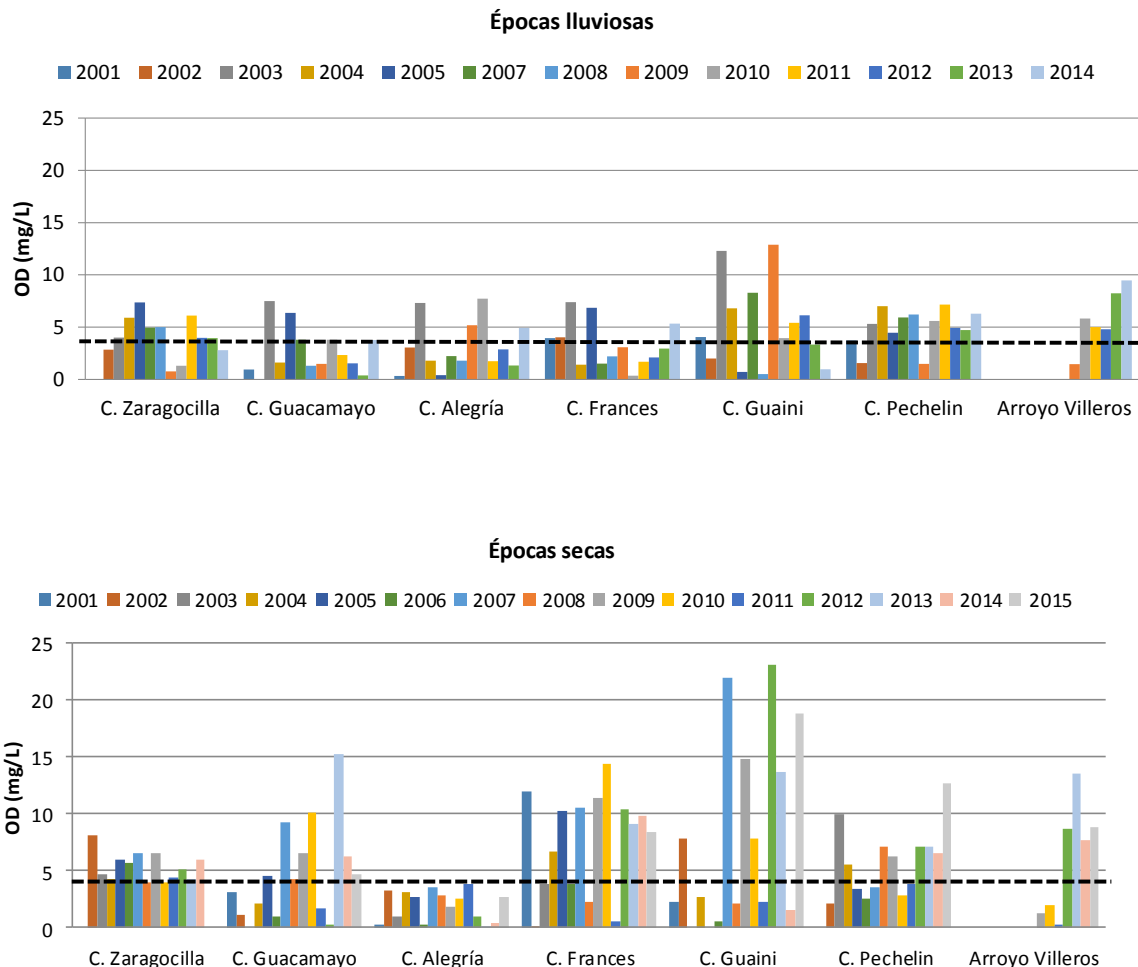


Figura 6.112. Registro histórico (2001-2015) de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en los principales caños y arroyo que desembocan en el golfo de Morrosquillo, departamento de Sucre, en las épocas lluviosas y secas. La línea negra punteada indica el límite mínimo permisible de oxígeno disuelto para la preservación de flora y fauna (MinSalud, 1984).

El pH osciló entre 7,25 y 8,44 (Figura 6.113), valores que estuvieron dentro del rango del criterio de calidad para la preservación de la biota acuática en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0) y marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; MinSalud, 1984).

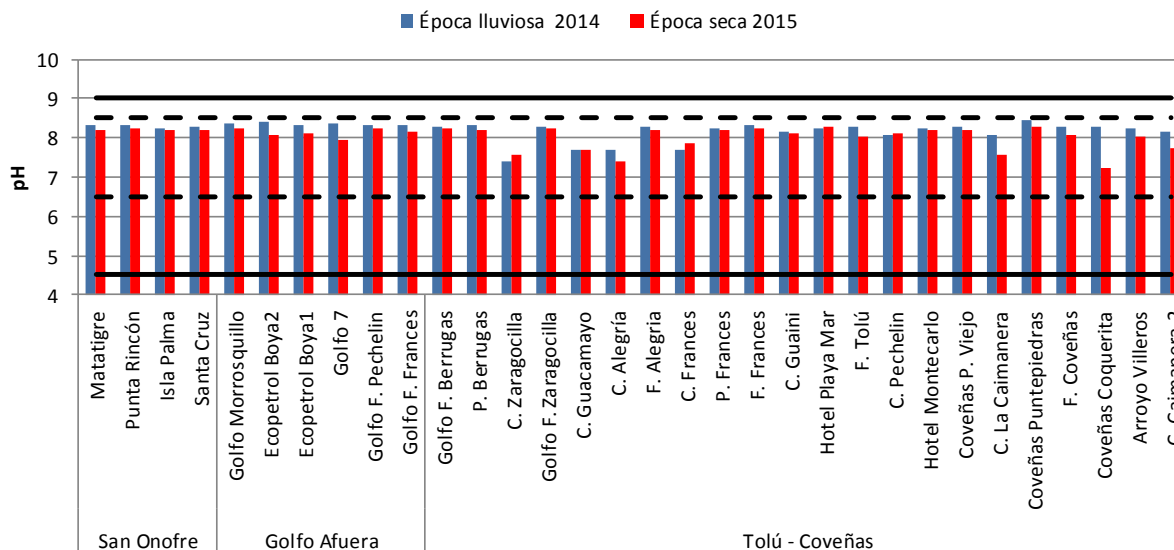
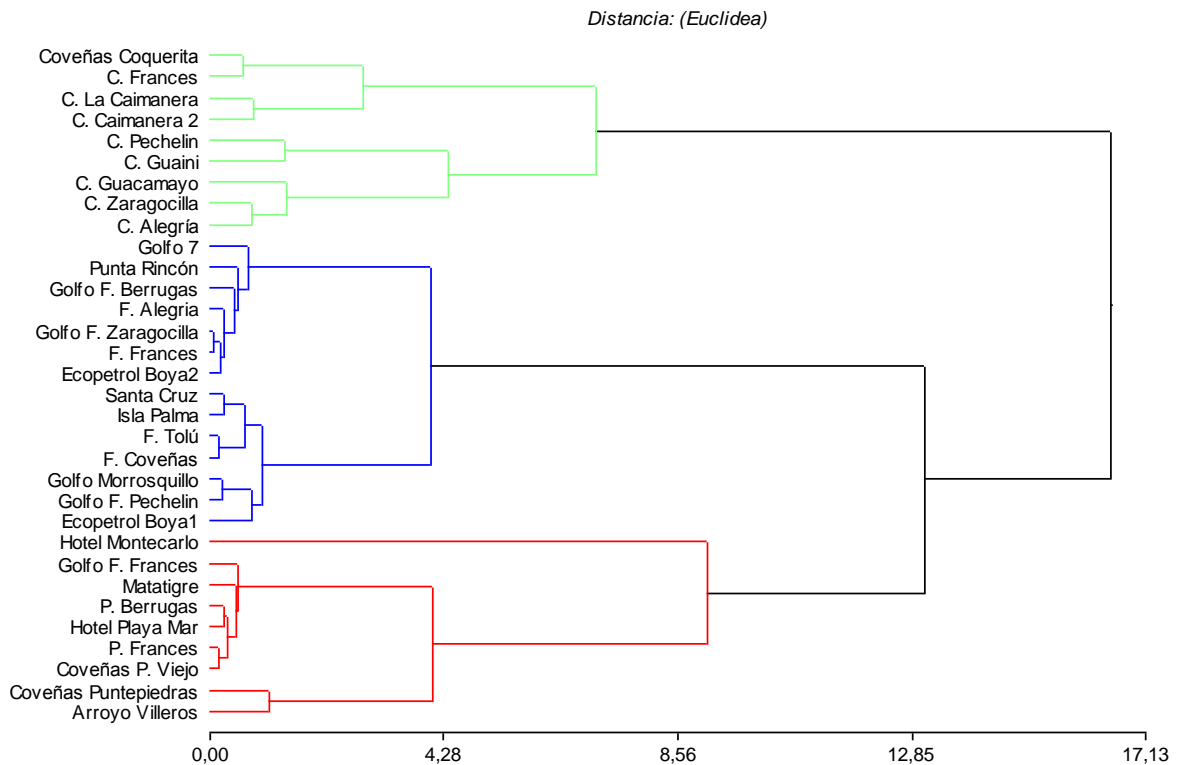


Figura 6.113. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas negra continuas indican el rango permisible en aguas dulceacuicolas y las líneas negras punteadas corresponden al rango permisible en aguas marinas y estuarinas, según [MinSalud \(1984\)](#).

Con el fin de agrupar las estaciones afines entre sí, se realizó un análisis de conglomerado teniendo en cuenta los resultados de la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y pH, en donde la salinidad fue la variable determinante. En la Figura 6.114 se presentan los resultados del análisis, en el cual se distingue dos grupos principales. El primer grupo (color verde en el dendrograma) lo conformaron la mayoría de los caños, los cuales presentaron salinidad y concentraciones de OD bajos y fluctuantes entre épocas climáticas, y el segundo grupo lo integró dos subgrupos (líneas azules y rojas en el dendrograma) que tienen características de aguas marinas con salinidades entre 22,90 y 34,7, y altas concentraciones de OD.



**Figura 6.114.** Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas verdes señalan el primer grupo de las estuarinas y las líneas azules y rojas las de tipo marino costeras.

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 8,3 y 117 mg de SST/L (Figura 6.115). En la zona de San Onofre, según el mapa de ecosistemas disponible en el Sistema de Información Ambiental Marina (SIAM), en la zona costera de Sucre, la mayor cobertura de corales se encuentra en el sector del archipiélago de San Bernardo. En esta zona las concentraciones de SST no superaron el valor de referencia de 50 mg de SST/L en ambas épocas climáticas, para la preservación de corales ([Fabricius, 2005](#); Figura 6.115). En los caños, las altas concentraciones de SST determinadas se le atribuyen a vertimientos de aguas residuales. En las playas de la zona de Tolú-Coveñas existen muchos muros de contención para controlar la erosión (espolones), que crean una serie de lagunas con poca circulación en algunos casos, en donde se están acumulando materia orgánica, y residuos sólidos, a lo cual se le podría atribuir los altos valores de SST.

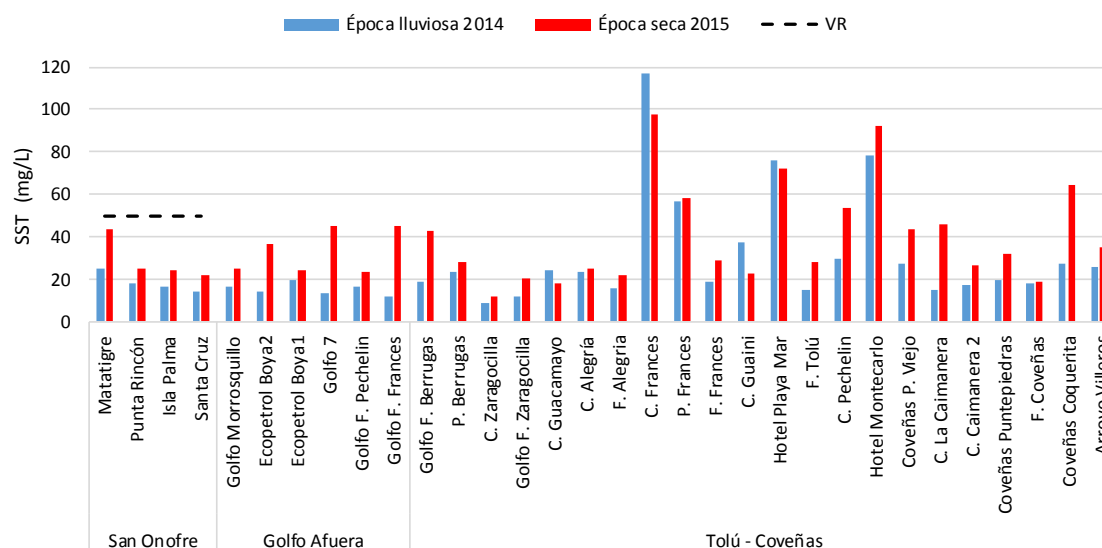


Figura 6.115. Concentración de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, en las épocas lluviosa de 2014 y seca 2015. La línea punteada señala el valor de referencia de 50 mg de SST/L para la preservación de corales ([Fabricius, 2005](#)).

Históricamente, las mayores concentraciones promedio de SST se han registrado en la zona de Tolú-Coveñas (Figura 6.116), por la influencia de los caños y arroyos que desembocan en el golfo de Morrosquillo. Los caños con mayores niveles de SST han sido Zaragocilla y Pechelín en épocas lluviosas por las escorrentías, y en Francés época seca por los vertimientos de aguas residuales y la influencia del manglar que se desarrolla en su ribera. En la zona de San Onofre donde se encuentran corales, los valores de SST en las estaciones Isla Palma y Santa Cruz, han oscilado históricamente entre 3,0 y 99 mg de SST/L, encontrándose valores por encima de la referencia de 50 mg de SST/L para la preservación de corales ([Fabricius, 2005](#)) en la época lluviosa del 2003 (56,4 mg de SST/L; [Marín et al., 2004](#)) y 2009 (117 mg de SST/L; [Troncoso et al., 2009](#)) en Isla Palma, asociado con escorrentías, y en época seca de 2008 (57,4 mg de SST/L; [Invemar, 2008](#)) en Santa Cruz, atribuido a la temporada turística.

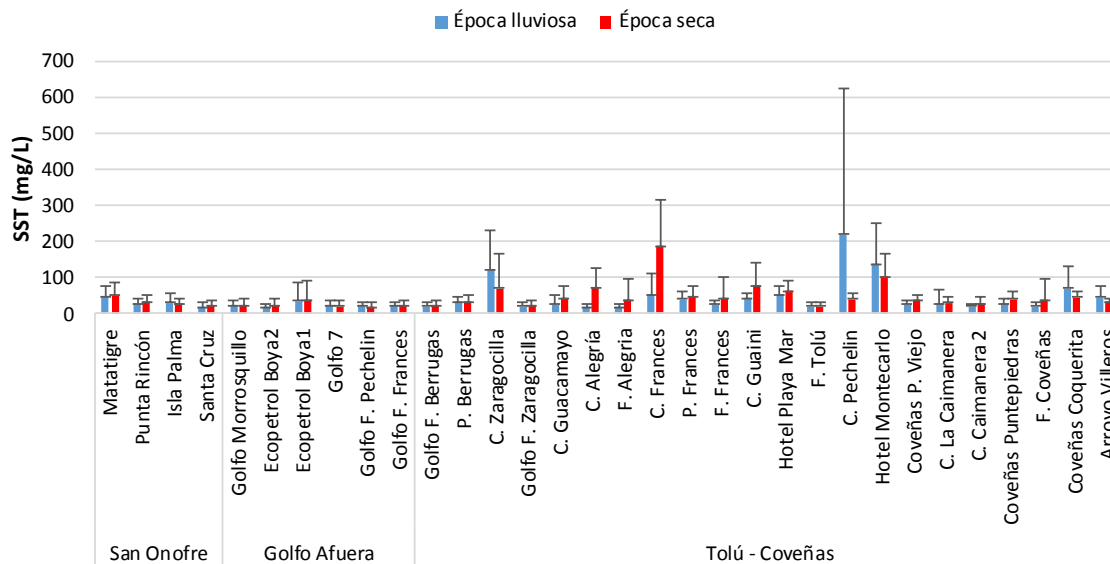


Figura 6.116. Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

Se determinaron las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos de interés ambiental como los Nitritos ( $\text{N-NO}_2^-$ ), Nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ), Amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) y ortofosfatos ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), como indicadores de la calidad de las aguas. Estos nutrientes favorecen el florecimientos algales, que pueden causar grandes oscilaciones del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, creando condiciones adversas para otras especies aerobias, y causando mortandades de estos organismos (Fontúrbel, 2005).

Los nitritos oscilaron entre menor al límite de detección del método utilizado en el LABCAM (0,7) y 52,4  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2^-/\text{L}$  (Figura 6.117), mostraron las mayores concentraciones en la zona Tolú-Coveñas, en donde existe mayor influencia antropogénica por los vertimientos de aguas residuales de las poblaciones de Santiago de Tolú y Coveñas. Los caños Pechelín en la época lluviosa 2014 y Zaragocilla en ambas épocas climáticas presentaron las concentraciones más elevadas (Figura 6.117), evidenciando la presencia de aguas residuales recientemente vertidas. En los caños que desembocan en el golfo de Morrosquillo, la población ribereña arroja diferentes tipos de residuos sólidos y líquidos, provocando deterioro de la calidad de sus aguas, que puede afectar las playas de uso turístico de la zona.

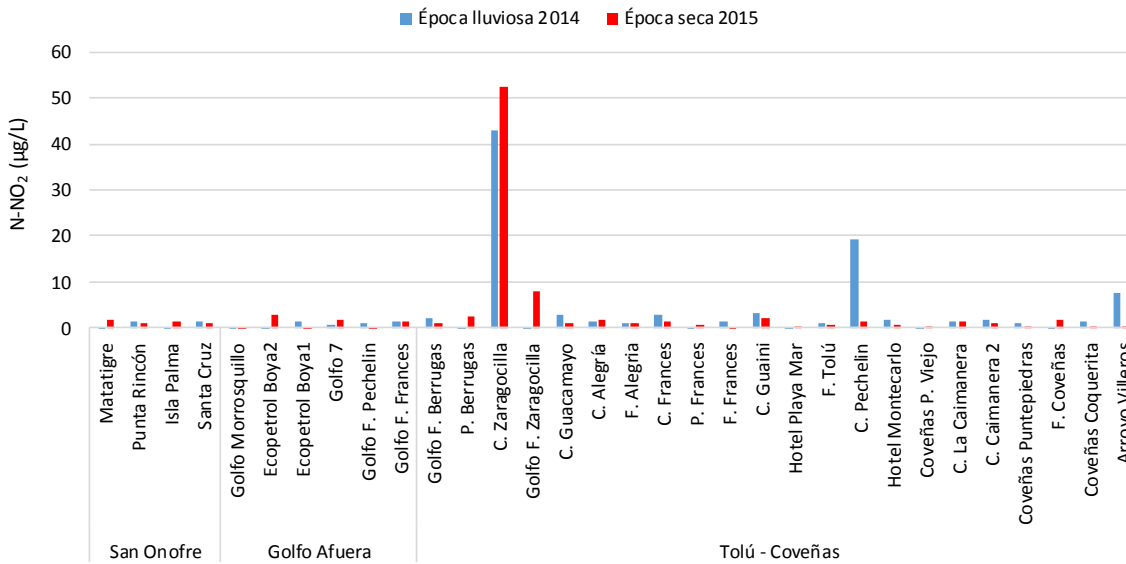


Figura 6.117 Concentraciones de Nitrito (N-NO<sub>2</sub>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente los caños Zaragocilla, Guainí y Pechelín han presentado las mayores concentraciones de nitritos (Figura 6.118), por lo que estos cuerpos de agua han estado afectados por el inadecuado manejo de residuos líquidos y sólidos de la población. En las zonas San Onofre y Golfo Afuera los niveles de nitritos son bajos, debido a la poca influencia antrópica.

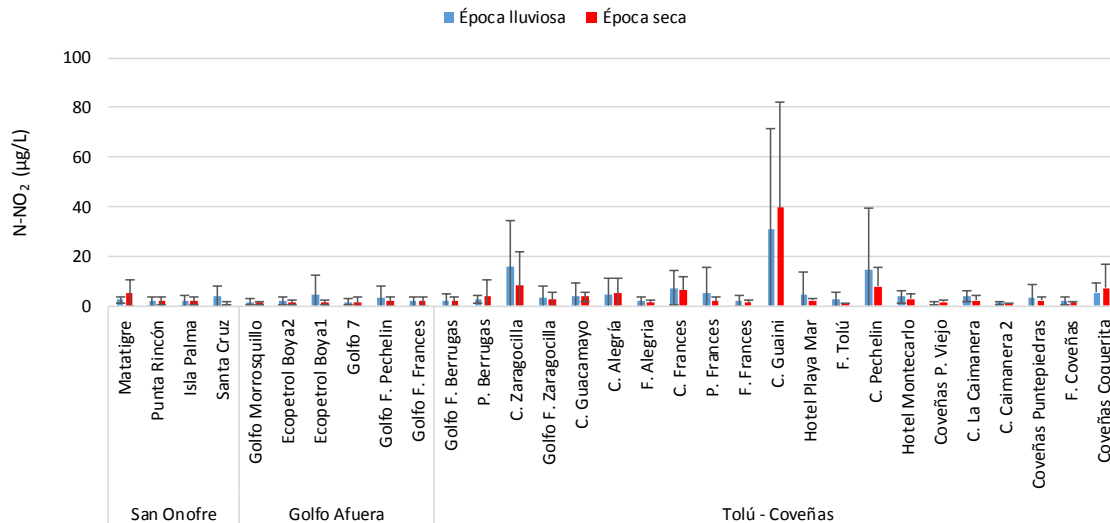


Figura 6.118 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitritos (N-NO<sub>2</sub>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a las desviaciones estándar.



Las concentraciones de nitratos fluctuaron entre menores al límite de detección (2,1) y 699 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (Figura 6.119). Al igual que en los nitritos, los nitratos se encontraron en elevadas concentraciones en la zona de Tolú-Coveñas, principalmente en los caños Zaragocilla y Pechelín, y Coveñas Puerto Viejo en la época lluviosa 2014 y en los caños Guainí, Francés, Guacamaya y Alegría, y en el arroyo Villeros en la época seca 2015, valores asociados a vertimientos de aguas residuales.

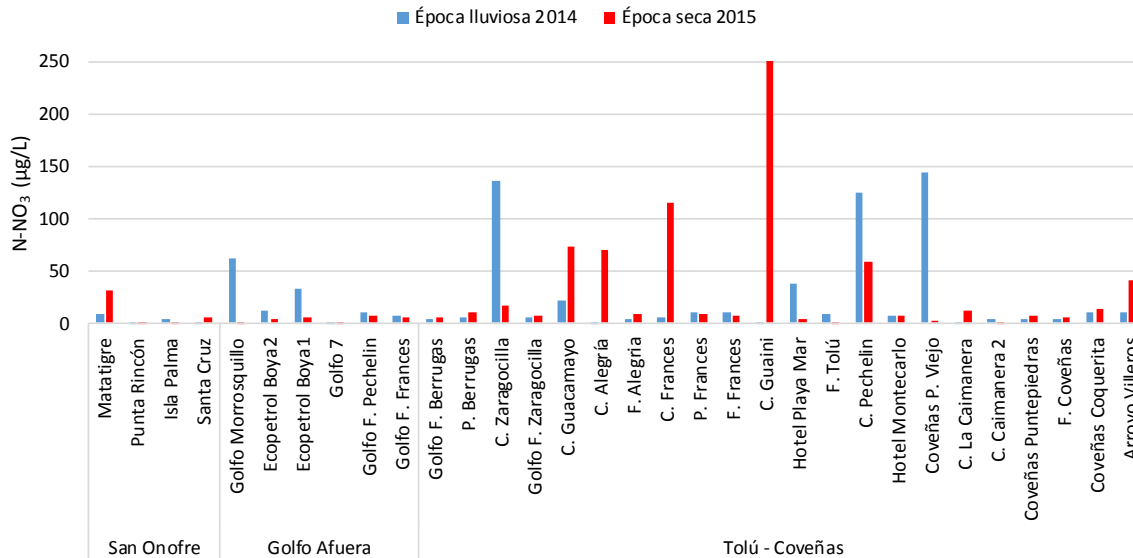


Figura 6.119 Concentraciones de Nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El amonio osciló entre el límite de detección del método utilizado en el LABCAM (3,1) y 6.219,4 µg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L (Figura 6.120). El caño Guainí se destacó en ambas épocas climáticas por presentar las mayores concentraciones de amonio, el cual es característico de aguas con alta carga de materia orgánica en descomposición anaerobia durante la noche, en donde se puede presentar procesos de desnitrificación y nitrificación con producción de amonio (Cárdenas y Sánchez, 2013). La mayor concentración se dio durante la época seca 2015 (6.219,4µg/L), época en la que se encuentra la boca cerrada y el agua es muy tranquila, con altas temperaturas que aumenta la velocidad de las reacciones de la descomposición de la materia orgánica (Manahan, 2007).

Estas altas concentraciones de amonio favorece la proliferación del fitoplancton, que cambia la coloración aparente del agua y provoca grandes oscilaciones de oxígeno disuelto (Sar et al., 2002; Cárdenas y Sánchez, 2013), como se registró en los muestreos.

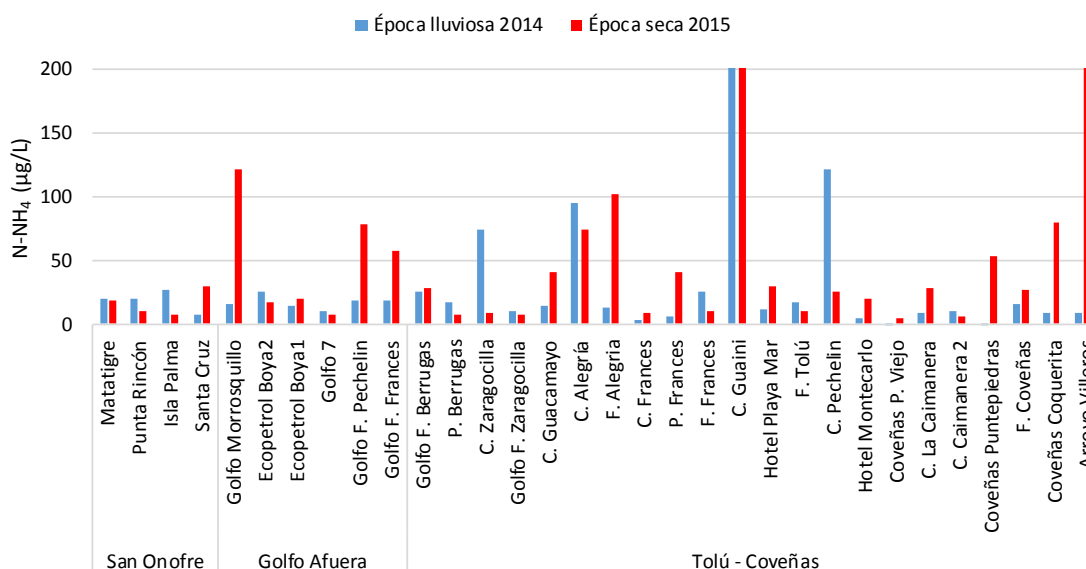


Figura 6.120 Concentraciones de Amonio ( $N-NH_4^+$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, en las épocas lluviosa de 2014 y seca 2015.

Las concentraciones de ortofosfatos oscilaron entre límite de detección del método utilizado (2,4) y 1.085,2  $\mu g$  de  $PO_4^{3-}/L$  (Figura 6.121). Por la influencia de vertimientos de aguas residuales, los caños de la zona Tolú-Coveñas presentaron las mayores concentraciones de ortofosfatos, principalmente en los caños Guainí y Francés durante la época seca 2015, por lo que hay una alta disponibilidad de nitrógeno y fósforo, que favorecen el crecimiento del fitoplancton (Sánchez *et al.*, 2011).

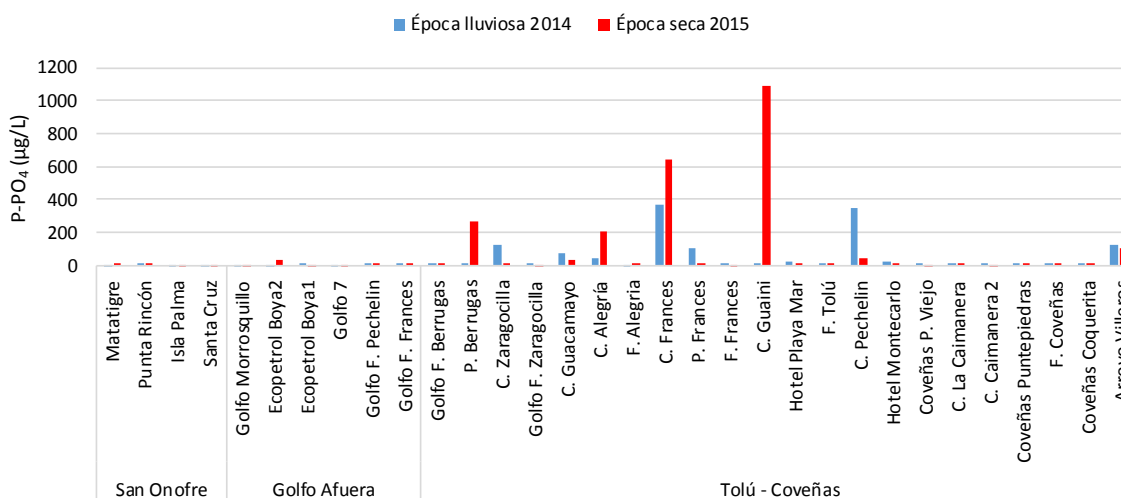
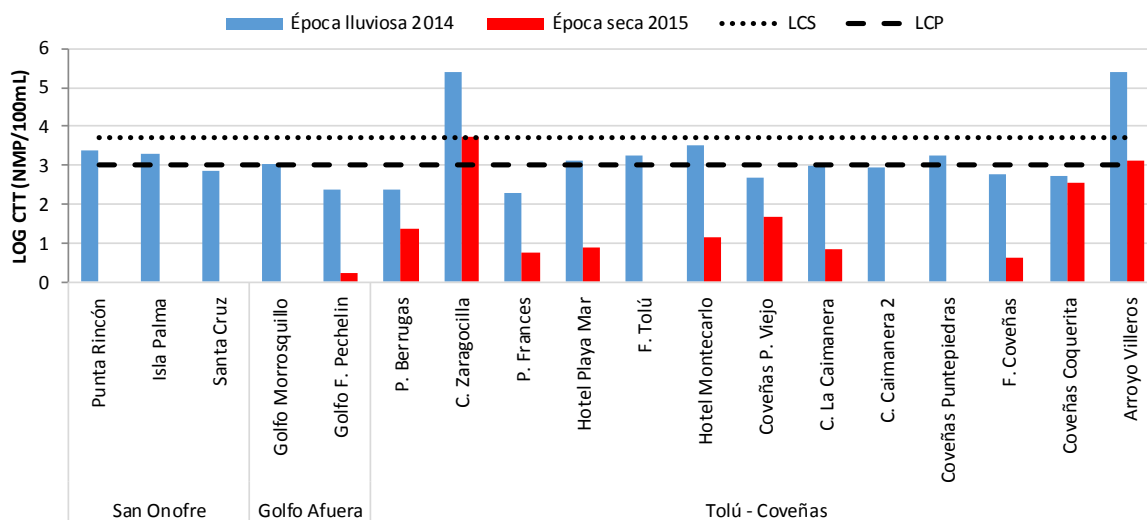


Figura 6.121 Concentraciones de ortofosfatos ( $P-PO_4^{3-}$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Contaminación Microbiológica

La calidad microbiológica de las aguas del departamento se evaluó en base a las concentraciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). Las concentraciones de CTT oscilaron entre <1,8 y 241.960 NMP de CTT/100mL ( $\text{Log}_{10}= 2,54$ ), encontrándose los valores más altos en la época de lluvias 2014 en comparación con la época seca 2015 (Figura 6.122). En las estaciones de los caños Zaragocilla y arroyo Villeros se encontraron las concentraciones más elevadas de CTT, indicando influencia de vertimientos de aguas residuales, que se asocian con los altos niveles de nutrientes y oscilaciones de oxígeno en estas estaciones descritos anteriormente. En la época lluviosa 2014, el 45 % de las estaciones incumplieron con el criterio de calidad para contacto primario establecido en el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#); Figura 6.122), presentándose la mayor concentración en la estación Hotel Montecarlo con 3.448 NMP/100mL ( $\text{Log}_{10}= 3,53$ ). En la época seca 2015, todas las playas presentaron valores adecuados de CTT para el uso recreativo por contacto primario y secundario (Figura 6.122).



**Figura 6.122. Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada gruesa corresponde al límite máximo permisible para el uso recreativo por contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL ( $\text{Log}= 3,0$ ), y la línea punteada delgada es el límite permisible para el contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL ( $\text{Log}=3,7$ ; [MinSalud, 1984](#)).**

La Figura 6.123 muestra la variación histórica de CTT según el tipo de agua estuarino y marino, evidenciando que las estaciones estuarinas que corresponden a los caños y arroyos, en época lluviosa presentan concentraciones que sobrepasan los límites permisibles establecidos en el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)) tanto para contacto primario como para secundario. Dentro de estas estaciones la que ha registrado el mayor número de incumplimientos del límite para contacto secundario es el arroyo Villeros con 84 % de los reportes históricos, debido a vertimientos de residuos domésticos de las poblaciones que se encuentran asentadas en las riberas de este cuerpo de agua ([Vivas-Aguas et al., 2012b](#)). En cuanto a las estaciones marinas, se observó que aun cuando en la temporada lluviosa se presenta un aumento en las concentraciones de CTT, generalmente estas cumplen en algunos casos con los criterios de calidad para el uso contacto primario y secundario.

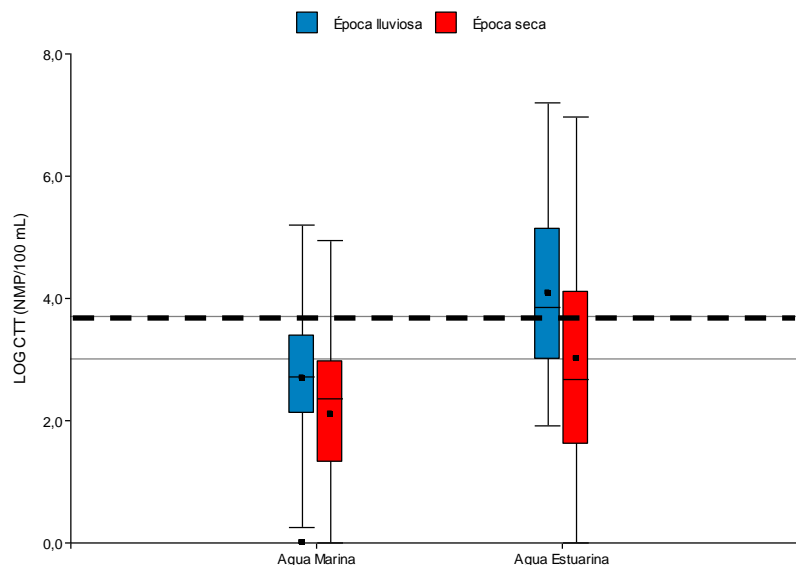


Figura 6.123 Variación histórica (2001-2015) de las concentraciones de coliformes totales (CTT) por tipo de agua y época climática, medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre. La línea negra continua corresponde al límite de contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea punteada es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7), [MinSalud \(1984\)](#).

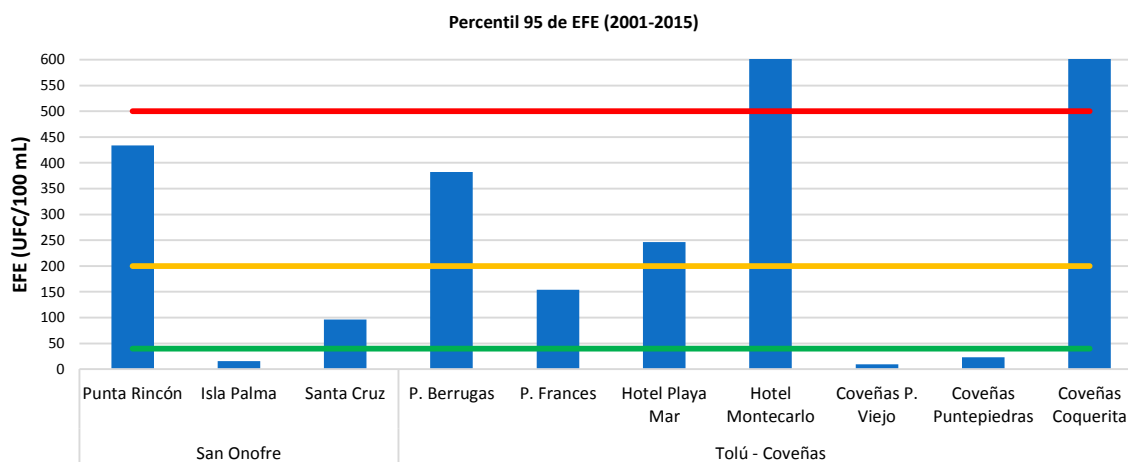
En la Tabla 6.16 se presentan los resultados de las concentraciones de CTE y EFE, así como también los registros históricos para ambos indicadores en las estaciones de playas turísticas del departamento. Con respecto a los CTE, el 60 % de las playas presentaron en la época lluviosa 2014 valores por debajo del límite permisible para el uso recreativo por contacto primario (<200 NMP de CTE/100 mL; [MinSalud, 1984](#)), y el 40 % restante conformado por Punta Rincón, Isla Palma, Hotel Montecarlo y Coveñas Puntepiedras, registraron concentraciones que superaron el límite permisible (Tabla 6.16). En la época seca 2015 sólo la playa Coveñas Coquerita registró una concentración superior al límite permisible debido a la influencia del arroyo Villeros, que desemboca muy cerca de estas playas, y en el cual se registró una concentración de 1.300 NMP de CTE/100 mL.

Tabla 6.16. Concentración de coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) medidos en el agua superficial en las estaciones de playas turísticas del departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, y el rango histórico (2001-2015). <LD: menor al límite de detección del método utilizado en el LABCAM (1,0 NMP de CTE/100 mL).

Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico <sup>1</sup>	2015	Histórico <sup>1</sup>	2014	Histórico <sup>2</sup>	2015	Histórico <sup>2</sup>
Punta Rincón	298	20 - 92000	<LD	<LD - 1700	73	<LD - 1137	3	<LD - 2400
Isla Palma	218	<LD - 240	<LD	<LD - 240	33	<LD - 33	<LD	<LD - 2400
Santa cruz	81	20 - 35000	<LD	20 - 1100	17	8 - 110	1	<LD
Playa Berrugas	11	18 - 16000	13	<LD - 18000	80	1 - 354	1	<LD - 468
Playa Francés	3	1 - 700	3,7	<LD - 9200	1	1 - 64	6	<LD - 2400
Hotel Playa Mar	121	20 - 24000	4,5	<LD - 2400	8	<LD - 310	4	<LD - 2400

Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico <sup>1</sup>	2015	Histórico <sup>1</sup>	2014	Histórico <sup>2</sup>	2015	Histórico <sup>2</sup>
Hotel Montecarlo	259	18 - 24000	6,1	<LD - 16000	9	8 - 402	3	<LD - 2800
Coveñas Puerto Viejo	52	<LD - 5400	49	<LD - 3300	3	<LD - 15	3	<LD - 2000
Coveñas Puntepedras	298	<LD - 1700	<LD	<LD - 3400	10	<LD - 12	2	<LD - 2400
Coveñas Coquerita	31	180 - 160000	350	20 - 90000	6	4 - 3450	52	2 - 2400

Los resultados obtenidos para EFE (Tabla 6.16), muestran que las playas Punta Rincón y Berrugas en la época lluviosa 2014, así como Coveñas Coquerita en época seca 2015, presentaron concentraciones altas. De acuerdo con el percentil 95 del registro histórico de EFE (Figura 6.124) en las playas monitoreadas, las playas del Hotel Montecarlo, y Coveñas Coquerita existe porcentajes de riesgo >10 % y >3,9% de contraer enfermedades diarreicas agudas (EGI) y enfermedades respiratorias febriles agudas (ERFA) respectivamente (OMS, 2003), así mismo las playas Berrugas y Punta Rincón tienen riesgos entre 5 y 10 % de contraer EGI y de 1,9 y3,9 % de contraer ERFA; por lo tanto es importante que se tomen medidas para mitigar la contaminación microbiológica por inadecuados manejos de residuos domésticos, lo cual podría provocar problemas de salud pública.

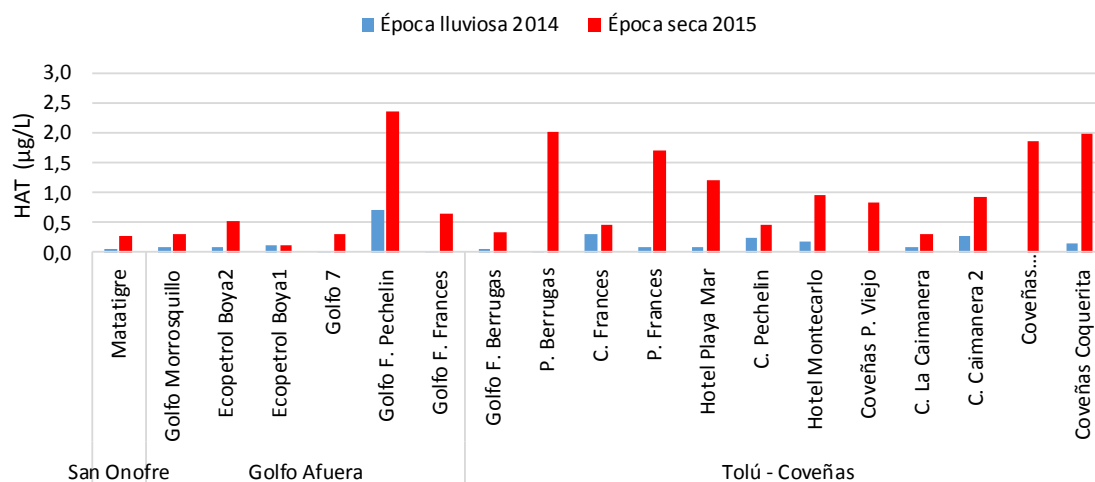


Categoría	Concentración de EFE	Riesgo estimado por exposición
A	≤40 UFC/100 mL	<1% de contraer EGI. <0,3% de contraer ERFA.
B	41–200 UFC/100 mL	1–5% de EGI. 0,3 a 1,9% de ERFA.
C	201–500 UFC/100 mL	5–10% de EGI. 1,9–3,9% de ERFA.
D	>500 UFC/100 mL	>10% de EGI. >3,9% de ERFA

Figura 6.124. Percentil 95 de las concentraciones de enterococos fecales registradas históricamente (2001-2015) en las playas monitoreadas por REDCAM en el departamento de Sucre. Las líneas de colores indican los rangos de concentración de EFE de las categorías y los riesgos estimados por exposición para adquirir enfermedades gastrointestinales (EIG) y respiratorias febril aguda (ERFA) según OMS (2003).

### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Las concentraciones de HAT en las estaciones de muestreo oscilaron entre valores menores al límite de detección (0,07) y 2,34 µg/L (Figura 6.125). En ninguna estación la concentración de HAT superó el valor de referencia de 10 µg/L, considerado de alto riesgo para la biota acuática (Unesco, 1984). Los mayores valores se encontraron en la zona Tolú - Coveñas en la época seca 2015, principalmente en las playas Berrugas (2,00 µg/L), Francés (1,71 µg/L), Coveñas Coquerita (1,97 µg/L) y Coveñas Puntepiedras (1,87 µg/L). En la zona Golfo Afuera, se presentó el valor más alto de todo el monitoreo en la estación Golfo frente a Pechelín (2,34 µg/L), que probablemente puede estar asociado a derrames de hidrocarburos ocurridos a finales del 2014 en el golfo de Morrosquillo. La presencia de residuos de HAT en la zona costera del departamento se relacionan con escorrentías urbanas en la época lluviosa, aguas residuales domésticas y de lavaderos de carros, que son vertidas en los caños y arroyos que desembocan en el golfo de Morrosquillo, la actividad turística y portuaria, tráfico de embarcaciones con motor, derrames de combustible, cargue, descargue y almacenamiento de petróleo.



**Figura 6.125. Concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

A partir del análisis de los registros históricos de HAT medidos desde el 2001 al 2015, se evidenció que en eventos puntuales los valores de HAT han superado la referencia para aguas no contaminadas (Unesco, 1984), condición que puede generar riesgo para la biota acuática de la zona. Así mismo, los resultados permiten determinar que las concentraciones promedio más altas se han registrado en las épocas lluviosas en la zona de Tolú - Coveñas, en las estaciones caño Francés ( $36,46 \pm 118,06$  µg/L) y Coveñas Coquerita ( $12,66 \pm 26,38$  µg/L) y para las épocas secas el valor promedio más alto fue reportado para el caño Pechelín ( $18,20 \pm 52,05$  µg/L; Figura 6.126). Dichas concentraciones evidencian la presencia de estos residuos debido a las actividades de transporte, refinación y usos del petróleo como expendios informales de combustible y lavaderos de vehículos en las zonas aledañas a los caños, así como la influencia de actividades marítimas y portuarias.

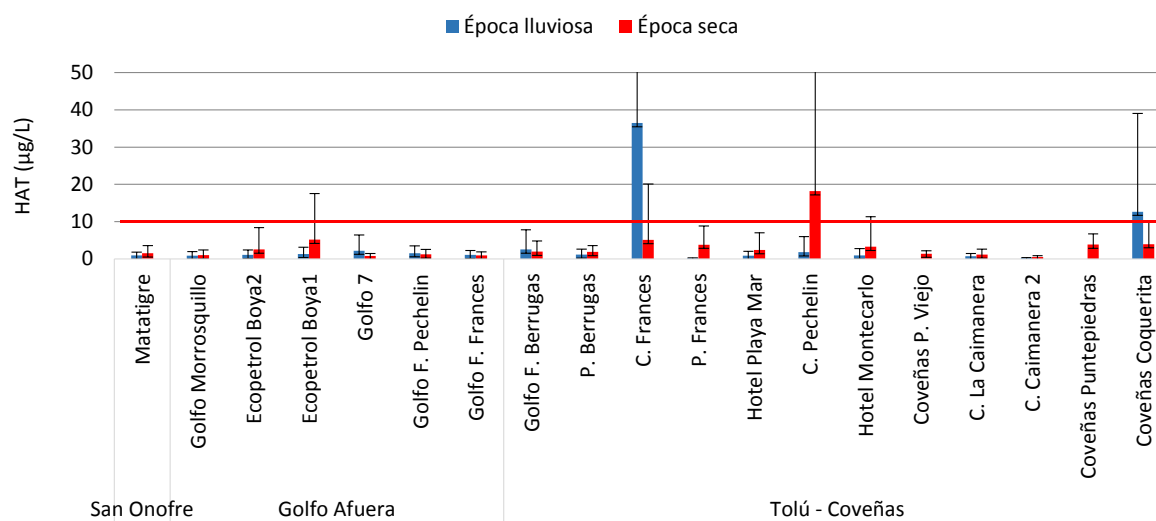


Figura 6.126. Promedio histórico (2001-2015) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidos en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar. La línea roja señala el valor de referencia para aguas no contaminadas con HAT (Unesco, 1984).

### Plaguicidas

Históricamente en el departamento de Sucre se han encontrado presencia de los siguientes plaguicidas organoclorados: 1,1'-(2, 2, 2-tricloroetilidieno)-bis-(4-clorobenceno) conocido como DDT; hexaclorociclohexano (HCH); heptacloro (HEP) y Aldrín (ALD). Para el periodo comprendido entre los años 2009 y 2015 la presencia de plaguicidas fue casi nula, solo tres casos se detectaron estos compuestos: año 2009 en la estación Matatigre (10,4 ng de DDT/L), en el año 2011 en la estación Coveñas Coquerita (7,8 ng de DDT/L) y en 2013 en las estaciones Coveñas Coquerita y golfo Morrosquillo (7,5 ng de DDT/L y 25,5 ng de ALD/L, respectivamente). No obstante, ninguna de las concentraciones determinadas superó los valores de referencia para efectos agudos definidos por la EPA (2015) (ver Tabla 6.17).

Tabla 6.17. Valores máximos de plaguicidas (PLAG) determinados en el monitoreo de la REDCAM en el departamento de Sucre desde el año 2001 al 2015, y valores de referencia para efectos agudos (EPA 2015).

PLAG	Época y año del monitoreo	Estación	Valor determinado por la REDCAM [ng/L]	Valores de referencia para efectos agudos en aguas [ng/L]	
				Aguas dulces	Aguas marinas
ALD	Lluviosa 2008	Coveñas Coquerita	19,2	3.000	1.300
DDT	Lluviosa 2013	Golfo de Morrosquillo	25,5	1.100	130
HCH	Lluviosa 2007	Matatigre	3,9	950	160
HEP	Lluviosa 2008	Ciénaga La Caimanera	11	520	53

## Metales Pesados

Las aguas marino costeras del departamento de Sucre no presentan niveles significativos de metales pesados, ya que el departamento no cuenta con grandes industrias que generen este tipo de contaminantes. Las pocas fuentes de información asocian la contaminación de la zona costera con residuos municipales, la actividad portuaria y la industria maderera ([Garay y Vélez, 2004](#)).

Para el monitoreo realizado entre las épocas lluviosa 2014 y seca de 2015 los niveles de Pb y Cr disuelto en las aguas marino costeras estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado en el LABCAM (Pb: 3,1 µg/L, Cr: 0,97 µg/L). El Cd y Cu disuelto solo se cuantificaron en la época seca 2015 en la estación Coveñas Coquerita con valores de 17,6 µg de Cd/L y 2,1 µg de Cu/L, concentraciones que no afectan la biota acuática debido a que son inferiores a valores de referencia para efectos agudos sugeridos en la guía internacional de la NOAA (Cd: 40 µg/L; Cu: 4,8 µg/L, [Buchman, 2008](#)).

El Ni, por su parte, se detectó en la época lluviosa 2014 en la estación Matatigre con una concentración de 1,8 µg de Ni/L, mientras que en la época seca 2015 fue detectado en las estaciones golfo de Morrosquillo y Coveñas Coquerita con valores de 4,4 y 5,0 µg de Ni/L respectivamente. En general estos niveles están ligeramente por encima del límite de detección del método usado, y por lo tanto no representan riesgo alguno para la biota acuática debido a que son inferiores al valor de referencia para efectos agudos establecido en la guía de la NOAA (74 µg de Ni/L, [Buchman, 2008](#)).

El Zn solo se registró en la época seca 2015 con un promedio de  $20,5 \pm 10,7$  µg de Zn/L donde la concentración más alta se encontró en Coveñas Coquerita con un valor de 30,7 µg de Zn/L. Sin embargo, los niveles estuvieron por debajo del valor de referencia para efectos agudos establecido en la NOAA (90 µg de Zn/L, [Buchman, 2008](#)). El Fe fue el metal que se observó en todas las estaciones con un promedio de  $11,5 \pm 3,6$  µg de Fe/L en época lluviosa 2014 y  $16,3 \pm 9,0$  µg de Fe/L en la época seca 2015 (Figura 6.127). La concentración más alta se encontró en época seca, en la estación Coveñas Coquerita con un valor de 28,1 µg de Fe/L. Estos niveles no representan riesgo para la vida acuática, debido a que están por debajo del valor de referencia para efectos agudos de la guía internacional de la NOAA (300 µg de Fe/L, [Buchman, 2008](#)).

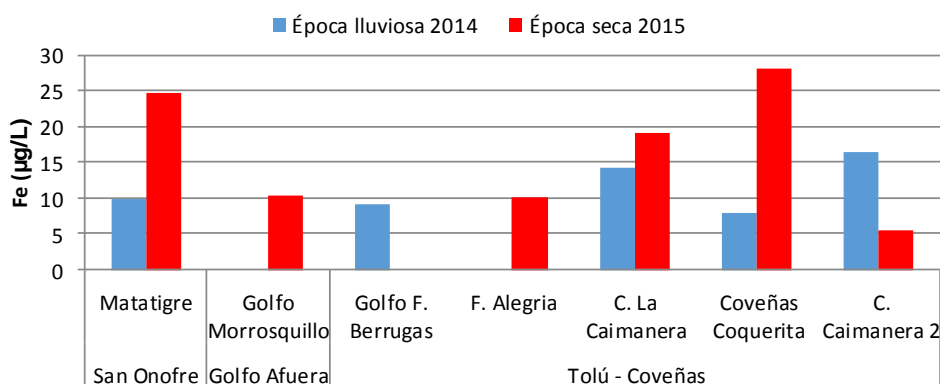


Figura 6.127. Concentraciones de Hierro (Fe) disuelto medido en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.



Índice de calidad de las aguas

El índice de calidad de las aguas para la preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>) mostró que la calidad del agua en la época lluviosa 2014 se encontró en la mayoría de las estaciones en condiciones adecuadas, a excepción de las estaciones Coveñas Puerto Viejo que estuvo en condiciones inadecuadas por la alta concentración de nutrientes (Figura 6.128). En la época seca 2015 se observó un deterioro de la calidad del agua en las estaciones Coveñas Coquerita, Hotel Montecarlo, Hotel Playa Mar y playa Berrugas debido a las altas concentraciones de nutrientes ,oxígeno disuelto y coliformes.

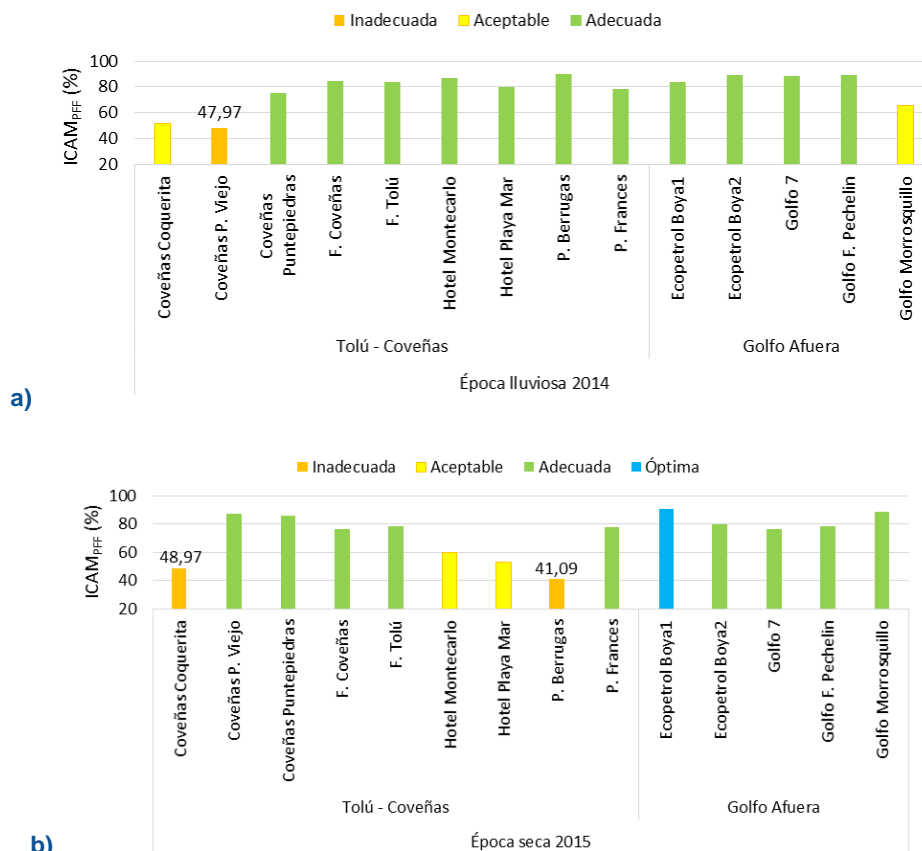


Figura 6.128. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de Sucre evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>), en las épocas lluviosa 2014 (a) y seca 2015 (b).

6.6.1.2 CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS

Materia Orgánica

La concentración de materia orgánica en los sedimentos de la ciénaga La Caimanera osciló entre 23,3 mg/g en época lluviosa 2014 y 2,06 mg/g en época seca 2015. Estos valores pueden asociarse a los aportes de detritus del manglar durante la época lluviosa, los cuales pueden sufrir procesos de descomposición aportando nutrientes y alimentos para organismos presentes en el agua de la ciénaga.

### Hidrocarburos Aromáticos totales (HAT)

Debido a que en Colombia no existen límites permisibles de hidrocarburos en sedimentos, o referencias de concentraciones que puedan causar efectos tóxicos en los ecosistemas marinos; se tomó como referencia el valor determinado por la [NOAA](#) de 3,9 µg/g para sedimentos no contaminados. Las concentraciones de HAT determinadas en los sedimentos de la ciénaga La Caimanera en las épocas lluviosa 2014 (0,33 µg/g) y seca 2015 (0,37 µg/g) no superaron el valor de referencia para sedimentos contaminados, debido a que en este cuerpo de agua la actividad turística y transporte hacia el interior de la ciénaga se realiza en canoas sin motor. En el periodo anterior (seca 2014) las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado en el LABCAM.

### Plaguicidas

El monitoreo de plaguicidas en los sedimentos de la ciénaga La Caimanera inició desde la época seca 2014, y en este periodo se determinó una concentración de 6,0 ng de DDT/L. En la época lluviosa 2014 no se detectaron residuos de plaguicidas, pero en la época seca 2015 se detectó la presencia de Endrín Cetona (ENDCET) en una concentración de 5,1 ng de ENDCET/L, valor que no superó el valor de referencia PEL en aguas marinas (62,4 ng/L; [CCME, 1999](#)). Es importante tener en cuenta que la Endrín Cetona deriva de la degradación del Endrín, un plaguicida de uso restringido de acuerdo a los lineamientos de la resolución 447 de 1974 del Ministerio de Agricultura ([Silva y Correa, 2009](#)), el cual es un compuesto orgánico persistente de alta toxicidad, que se adhiere comúnmente a los sedimentos de ecosistemas acuáticos y capaz de permanecer estable en el medio por periodos de más de 10 años ([ATSDR, 1997](#)), condiciones que potencializan la probabilidad de que se encuentre presente en las mismas estaciones donde se identificó la Endrín Cetona.

### Metales pesados

Se determinaron los metales pesados Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni y Fe para establecer los niveles de concentración en sedimentos superficiales de la ciénaga La Caimanera por su importancia ambiental para la preservación de flora y fauna marina en Sucre. Los resultados se presentan en la Tabla 6.18. Según los valores de referencia PEL (Probable Effect Level) de la NOAA, las concentraciones de Pb, Cd, Cu y Zn determinadas no representan un riesgo para la vida acuática, porque no superan la referencia ([Buchman, 2008](#)). Sin embargo, los elementos Cr y Ni presentaron concentraciones por encima del valor de referencia PEL. Como posible fuente de estos metales se consideran la inadecuada disposición de residuos sólidos de las viviendas aledañas a la ciénaga.

Comparando estos resultados con los obtenidos en el primer monitoreo que se realizó en la época seca 2014, se observó que el Ni fue el único metal que superó el valor de referencia PEL con una concentración de 53,5 µg/g, mientras que para la época seca 2015 su concentración estuvo por debajo del límite de detección del método. Esto sugiere continuar con el monitoreo de este metal para conocer su comportamiento y su biodisponibilidad en el ecosistema.

Tabla 6.18. Concentraciones de metales pesados medidas en sedimentos superficiales de la ciénaga La Caimanera, departamento de Sucre, en las épocas lluviosa 2014 y época seca 2015. Los valores de referencia PEL fueron tomados de la tabla Squirts de la NOAA (Buchman, 2008).

Estación	Lluvia 2014							Seca 2015						
	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)
Ciénaga La Caimanera	15,1	<0,5	170,3	78,9	138,5	68,5	54,3	<4,0	<0,5	<6,4	<1,9	4,54	<2,0	2,5
Valor de referencia PEL	112	4,2	160	108	271	42,8	-	112	4,2	160	108	271	42,8	-

### 6.6.2 CONCLUSIONES

Los nutrientes inorgánicos disueltos mostraron mayor presencia en los caños que reciben desechos y aguas residuales de las poblaciones aledañas, que afectan las concentraciones de oxígeno disuelto para los organismos acuáticos aerobios, esto se da de manera general para ambas épocas climáticas marcando una notable diferencia entre las estaciones ubicadas en la zona Tolú-Coveñas (zona con mayor influencia antrópica) y las de las zonas Golfo afuera y San Onofre.

El aumento en las concentraciones de coliformes está influenciado por las precipitaciones y el aumento de los aportes de los caños, arroyos y escorrentías urbanas, que traen consigo aguas servidas, afectando la calidad microbiológica en algunas de playas, como Coveñas Coquerita.

Las concentraciones de enterococos fecales en las playas turísticas y su comportamiento histórico (percentil 95), presentan un riesgo para las personas que hacen uso recreativo por contacto primario, de contraer enfermedades gastrointestinales, y respiratorias febril aguda, según los valores guía de la OMS para aguas costeras recreativas. Se recomienda realizar un monitoreo más frecuentes de la calidad microbiológica, para conocer el comportamiento de los EFE en las altas y bajas temporadas turísticas.

Los hidrocarburos aromáticos totales no superaron el valor de referencia de la Unesco (<10 µg/L) para aguas no contaminadas, no obstante, este contaminante ha estado presente en las aguas marinas y costeras de Sucre, por la confluencia de embarcaciones con motor, vertimientos de aguas residuales, y actividades de cargue y descargue, y derrame de combustibles.

Los niveles de Cu, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn, en las aguas marino costeras del departamento de Sucre no representan riesgo de contaminación debido a que están por debajo de valores de referencia establecidos en guías internacionales. El Cd en época seca 2015 estuvo por encima del valor de referencia para efectos crónicos en la estación Coveñas Coquerita, posiblemente por influencia del arroyo Villeros, donde se vierten residuos sólidos, que pueden ser fuente de este metal.

No se encontraron residuos de plaguicidas en las aguas marino-costeras muestreadas, lo cual no representa un riesgo para la biota acuática. Por su comportamiento histórico en la zona, es importante dirigir los esfuerzos en la medición de estos contaminantes en la matriz sedimento de los principales caños y arroyos.

Los HAT en los sedimentos de la ciénaga La Caimanera no superan el valor de referencia sugerido por la NOAA (3,9 µg/g) para sedimentos no contaminados, indicando que no existe riesgo para el desarrollo de la vida acuática en este ecosistema. Se recomienda aumentar el número de estaciones para la medición de sedimentos, que permita hacer seguimiento de la presencia de estos contaminantes en el medio, especialmente en zonas del golfo que han sido afectadas por derrame de hidrocarburos y residuos oleosos, en la desembocadura de los caños y arroyos.

En los sedimentos de la ciénaga La Caimanera estuvieron presentes metales pesados como Cr y Ni, en concentraciones durante la época lluviosa 2014 que superan los valores de referencia, no obstante, en la época seca 2015, estos valores estuvieron por debajo de la referencia, cuya fuente posible sería la inadecuada disposición de residuos sólidos. Se recomienda seguir con la evaluación de estos contaminantes en los sedimentos en esta zona para conocer su comportamiento y su biodisponibilidad.

# Córdoba



Bahía de Cispatá. Foto: Johan Muñoz

## **EQUIPO TÉCNICO CVS**

*Rafael Espinosa - Profesional Especializado División de Calidad Ambiental  
María Luisa Sánchez Banda – Bióloga, División de Calidad Ambiental*



## 6.7 CÓRDOBA

El departamento de Córdoba se encuentra ubicado en la costa norte del país, en la parte inferior de la llanura del Caribe, entre los 09° 26'16" y 07° 22'05" de latitud norte; los 74° 47'43" y 76° 30'01" de longitud oeste. Cuenta con una superficie aproximada de 23.980 km<sup>2</sup> lo que representa el 2,1 % del territorio nacional. Limita al norte con el mar Caribe y el departamento de Sucre; al este con el mar Caribe y el departamento de Antioquia; al oeste con los departamentos de Bolívar, Sucre y Antioquia y al sur con el departamento de Antioquia. Cuenta con una población costera aproximada de 146.481 habitantes en el 2015 ([DANE, 2015](#)).

El régimen hidrológico en el departamento es de carácter unimodal, con precipitaciones entre los meses de mayo y octubre, con un máximo en agosto; las cantidades máximas de precipitación se localizan al sur, mientras que las mínimas se presentan al norte del departamento. En el área de estudio los promedios de precipitación anual oscilan entre 1.000 y 1.500 mm/año ([IDEAM, 2005](#)). El sistema hidrográfico está conformado por el río Sinú que forma un valle de una extensión de 1'207.000 hectáreas, el que recoge los afluentes del sur y conforma el alto, medio y bajo Sinú; la zona del Valle del San Jorge, que abarca 965.000 hectáreas en el sureste del departamento, y canaliza las aguas de la ciénaga de Ayapel hacia la cuenca Momposina y la zona de los ríos Canalete y Mangle, al noroeste del departamento ([Gobernación de Córdoba, 2015](#)).

Sus actividades económicas principales son la ganadería, agricultura, maricultura y la minería, las cuales dependen directamente del régimen de lluvias en la región porque determina la organización productiva, esquemas de asentamiento, sistemas de transporte, apropiación de recursos, los ciclos de cultivo, el manejo de la ganadería, las necesidades de riego y de drenaje, la presencia de las inundaciones y los desbordes de los ríos y sus afluentes ([Gobernación de Córdoba, 2015](#)).

Para determinar la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento de Córdoba, la REDCAM estableció 18 estaciones de muestreo, distribuidas en dos zonas a lo largo de la franja costera del departamento (Figura 6.129). La primera zona se extiende desde la bahía Cispatá hasta el frente de la desembocadura del río Sinú; la conforman el delta del río Sinú y lagunas interconectadas con el río y el mar. En esta zona se encuentra uno de los bosques de manglar más importantes del Caribe colombiano ([Bernal et al., 2005](#)), que albergan gran diversidad de especies, y sustenta la pesquería artesanal e industrial de la región ([INVEMAR, 2002](#)). La zona occidental, va desde San Bernardo hasta Puerto Escondido (límites con el departamento de Antioquia). Esta zona se encuentra directamente afectada por los vertimientos de aguas servidas sin tratamiento a los cuerpos de agua, mediante drenajes superficiales, por la baja cobertura y acceso al servicio de alcantarillado, contribuyendo con el ingreso de contaminantes hacia la zona marina y costera ([DNP, 2010](#)).

En este informe se presentan los resultados de los muestreos realizados por el INVEMAR en el mes de agosto del 2014 (en adelante época lluviosa 2014) y en el mes de mayo del 2015 (en adelante, época seca 2015), en las zonas de muestreo, así como los resultados de contaminantes en sedimentos frente al río Sinú.

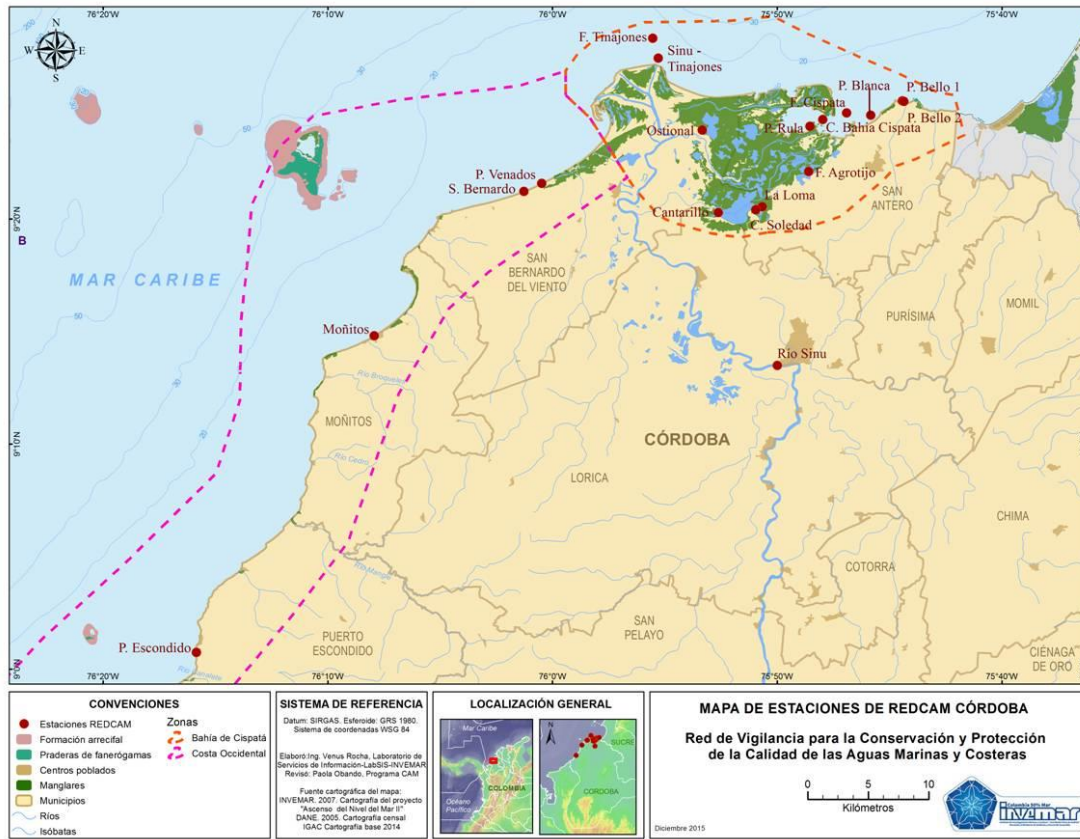


Figura 6.129. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Córdoba.

## 6.7.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.7.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

#### Variables fisicoquímicas

##### *In situ y Sólidos suspendidos totales*

La calidad fisicoquímicas del agua marina y costera del departamento de Córdoba varía de acuerdo con las condiciones climáticas predominantes, y por la influencia de factores socioeconómicos y culturales de la población costera ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#)). La temperatura del agua fluctuó entre 28,2 y 34,2 °C, valores que se relacionan con la hora del día en que se hicieron las mediciones (6:00 a.m. – 3:00 p.m.); la salinidad entre 0 y 33,4 (Figura 6.130), presentándose los valores más bajos en las estaciones río Sinú y Ostional por el tipo de agua dulceacuícola y salobre oligohalina; las estaciones Cantarillo, La Loma, ciénaga Soledad, Sinú-Tinajones, frente Tinajones y frente Agrotijó presentaron salinidades entre 1,7 y 28,9, con fluctuaciones entre épocas climáticas y con influencia de aguas del río Sinú, y las estaciones de las playas con salinidades 24,4 y 33,4 de aguas marinas oligohalina y mesohalina ([Fuentes y Massol-Deyá, 2002](#)).



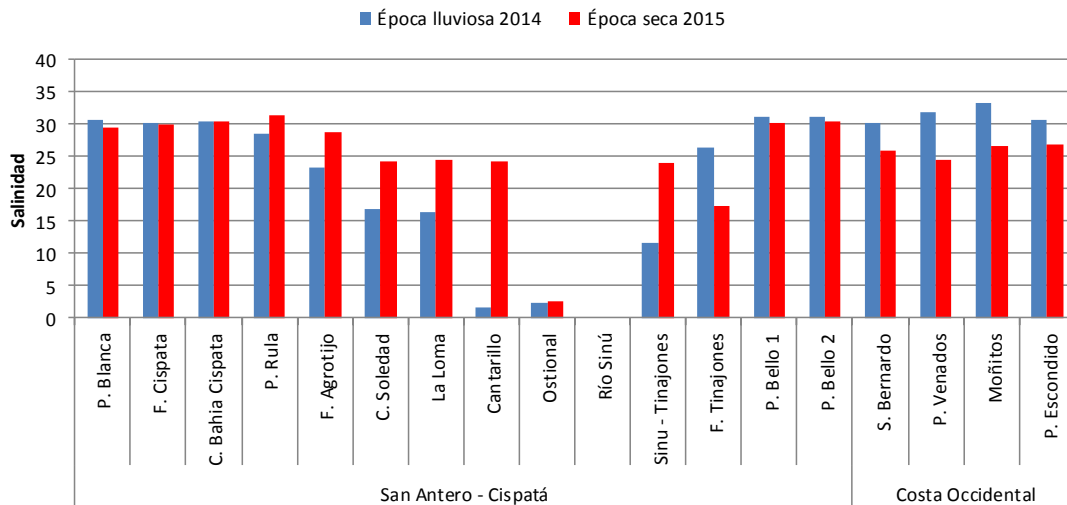


Figura 6.130. Valores de salinidad medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El oxígeno disuelto (OD) osciló entre 3,76 y 11,33 mg de O<sub>2</sub>/L (Figura 6.131), encontrándose en la mayoría de las estaciones valores por encima del valor de referencia propuesto por la legislación nacional para la conservación de flora y fauna (> 4,0 mg de O<sub>2</sub>/L; [Minsalud, 1984](#)), excepto las estaciones ciénaga Soledad (3,76 mg de O<sub>2</sub>/L) en la época lluviosa 2014 y ciénaga La Loma (3,44 mg de O<sub>2</sub>/L) en la época seca 2015. Estas concentraciones de OD se ha registrado históricamente en ambas épocas climáticas, situación que se le puede atribuir principalmente a la poca profundidad de estas ciénagas y la influencia del manglar, debido a la gran cantidad de materia orgánica que se genera en estos sistemas, que al ser degradada genera un elevado consumo de oxígeno.

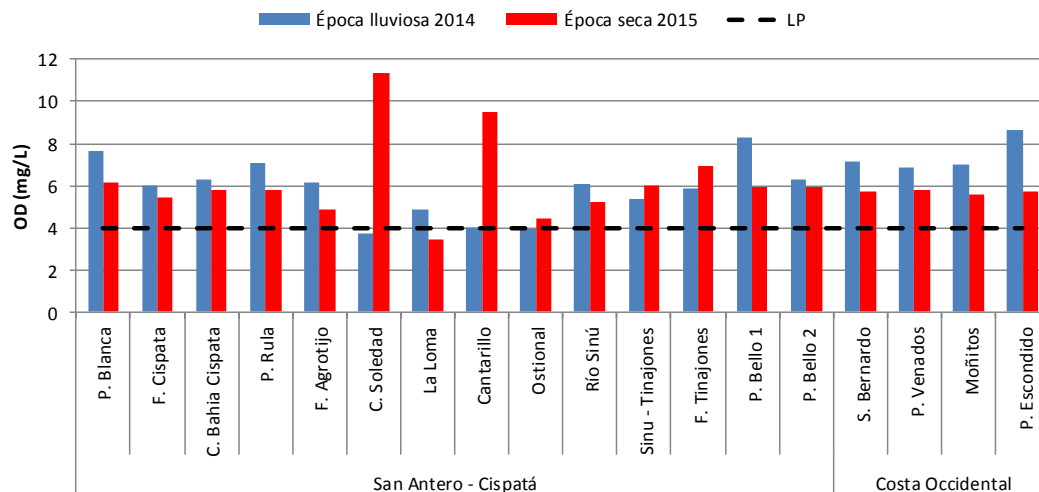
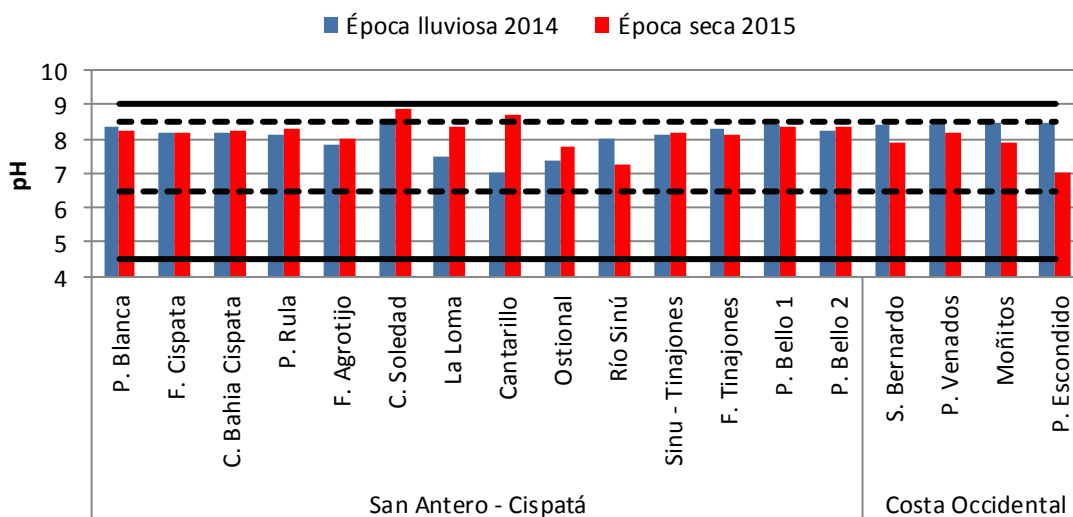


Figura 6.131. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada corresponde al límite permisible para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)).

El pH en las estaciones río Sinú y Ostional osciló entre 7,24 y 8,0, y en las demás estaciones estuarinas y marinas osciló entre 7,02 y 8,91, valores que estuvieron dentro del rango permisible según la legislación colombiana para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce (4,5 - 9,0), marinas y estuarinas (6,5- 8,5; [Minsalud, 1984](#)).



**Figura 6.132. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas negras continuas indica el rango permisible de pH en aguas cálidas dulce, y las líneas punteadas señalan el rango permisible en aguas marinas y estuarinas ([MinSalud, 1984](#)).**

Con el propósito de conocer la similitud entre las estaciones de muestreo de acuerdo con los resultados de las variables fisicoquímicas de salinidad, temperatura del agua, oxígeno disuelto y pH descritos, se realizó un análisis de conglomerados. Como resultado del análisis estadístico las estaciones Cantarillo y la ciénaga Soledad se separaron en un grupo aparte debido a que presentaron los valores más elevados de OD y pH en la época seca 2015 y más bajos de OD en la época lluviosa 2014; las estaciones río Sinú y Ostional se agruparon en un subgrupo por ser las estaciones con las salinidades más bajas; las estaciones marino costeras de playa, frentes de ríos y algunas ciénagas se agruparon por tener valores de comportamientos similares del pH, salinidad y OD. Las estaciones ciénaga La Loma y Frente a Agrotijó tuvieron mayor afinidad por las bajas concentraciones de OD principalmente.

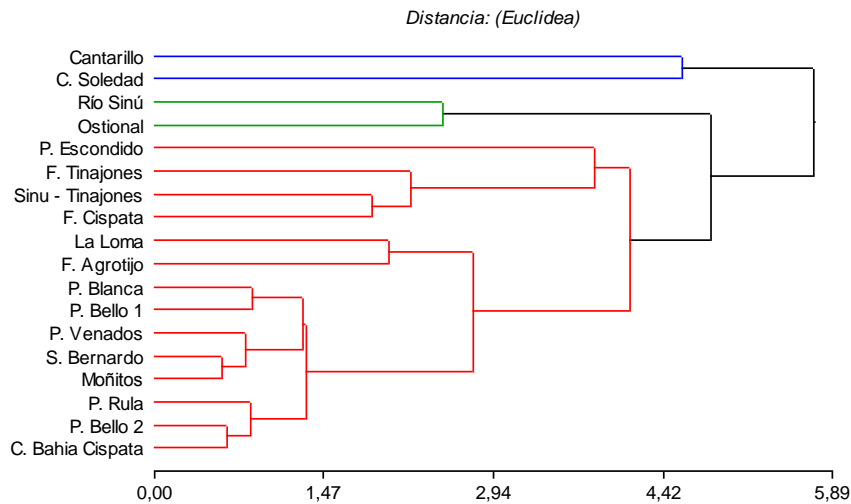


Figura 6.133. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas azules señalan el primer grupo y las líneas verdes el segundo grupo y las rojas tercer grupo.

Los sólidos suspendidos totales (SST) son materiales que no se solubilizan en el agua, como los organismos del plancton, partículas de materia orgánica y materiales inorgánicos como arenas finas, limos y arcillas, entre otros. Estos materiales tienen efectos sobre la calidad de las aguas debido a que facilitan el transporte de nutrientes y contaminantes como pesticidas y metales. Pueden afectar los procesos fotosintéticos de la flora acuática debido a que en exceso disminuyen el paso de la luz a través de la columna de agua (Vaka y Eric, 2008). Los valores de SST estuvieron entre 6,80 y 206,70 mg/L, presentándose las concentraciones más altas en las estaciones río Sinú 136,0 mg/L y Sinú-Tinajones 206,7 mg/L en la época lluviosa 2014 (Figura 6.134), este resultado se debe al aumento del caudal del río por las lluvias, que trae materiales en suspensión, resultados que están dentro del rango histórico de la REDCAM (Figura 6.135).

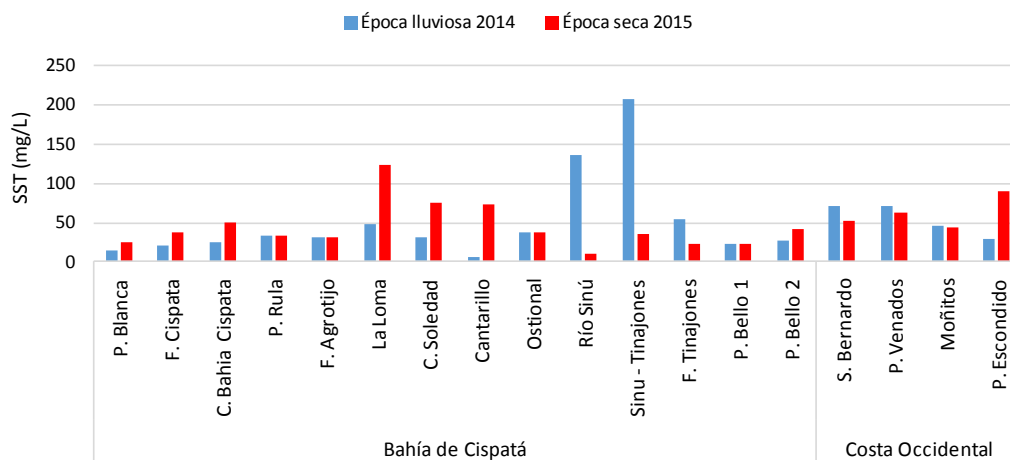


Figura 6.134. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

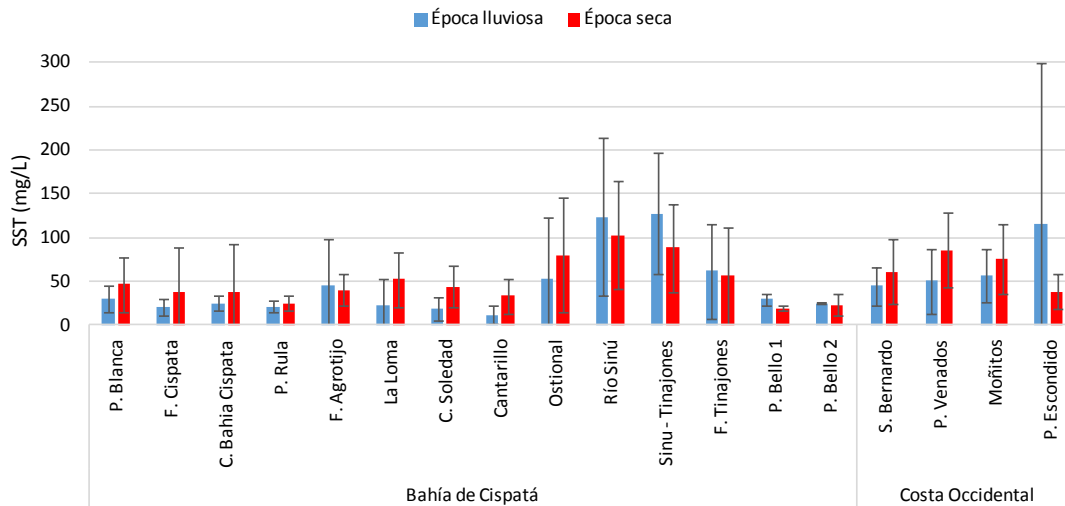


Figura 6.135. Promedio histórico (2001 - 2015) de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

Se determinaron las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos de interés ambiental como los nitritos ( $N-NO_2^-$ ), nitratos ( $N-NO_3^-$ ), amonio ( $N-NH_4^+$ ) y ortofosfatos ( $P-PO_4^{3-}$ ). Los nitritos oscilaron entre menor al límite de detección del método utilizado en el LABCAM (0,7) y 144  $\mu g$  de  $NO_2^-/L$  (Figura 6.136), encontrándose los valores más elevados en las estaciones frente Cispatá, Sinú-Tinajones y frente Tinajones, los cuales están influenciados por el río Sinú que circula por áreas agrícolas y que recibe aguas residuales de poblaciones ribereñas y en donde existe una influencia importante del ecosistema de manglar en la bahía de Cispatá, los cuales aportan detritus al cuerpo de agua que en su descomposición es fuente de este nutriente (Torres *et al.*, 2001; Manahan, 2007).

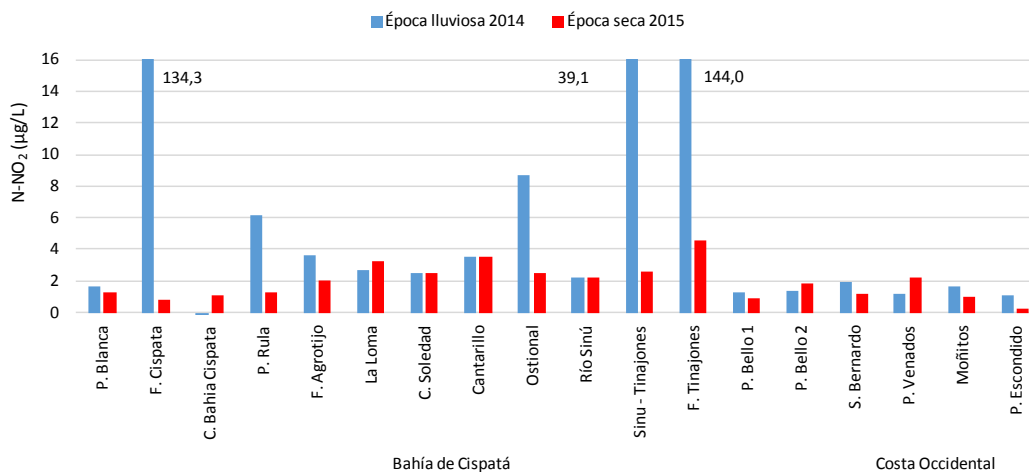


Figura 6.136 Concentraciones de Nitrito ( $N-NO_2^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Los nitratos fluctuaron entre el límite de detección del método usado en el LABCAM (2,1) y 142,5  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  (Figura 6.137), encontrándose las concentraciones más altas de este nutriente en las mismas estaciones con los niveles más altos de nitritos en la época lluviosa 2014, los cuales se asocian a los aportes por las precipitaciones, escorrentías de suelos agrícolas situados en la ribera del río Sinú y vertimientos de aguas residuales. En la playa Puerto Escondido se encontró una alta concentración de nitratos en la época lluviosa 2014 posiblemente por las escorrentías urbanas. En las ciénagas La Loma, Soledad, Cantarillo y Ostional también se asocia a los aportes de detritus del manglar en esta zona ([Torres et al., 2001](#)).

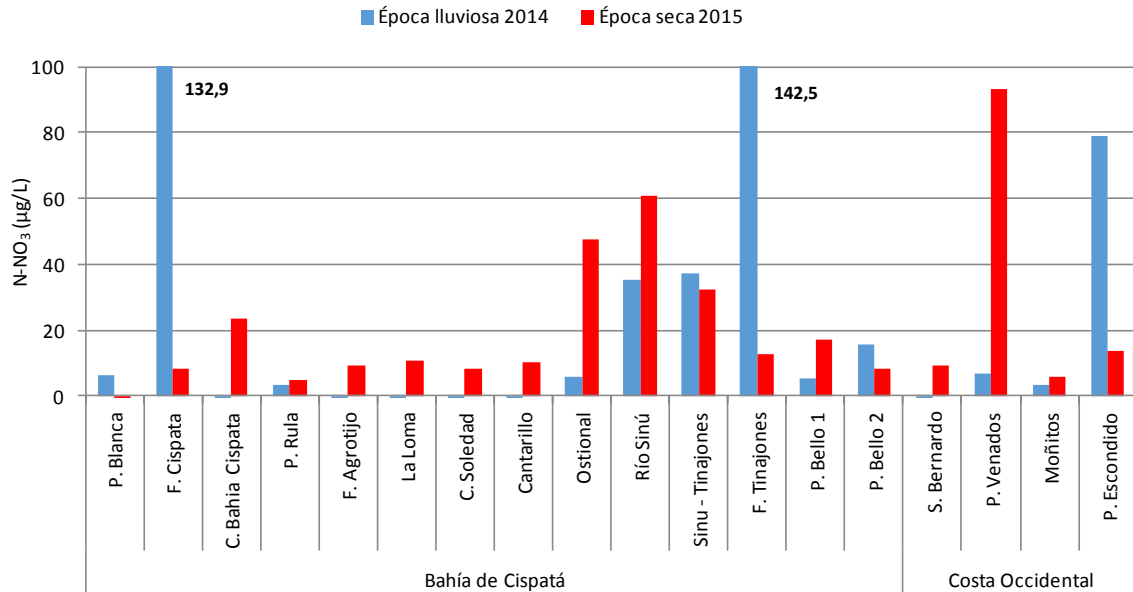


Figura 6.137. Concentraciones de Nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente se ha evidenciado que las mayores concentraciones de nitritos y nitratos se presentan en las épocas lluviosas. Las estaciones de los frentes Sinú-Tinajones, Tinajones y Cispata, han presentado los valores más elevados en la misma época climática (lluviosa; Figura 6.138 y Figura 6.139), mostrando el efecto que tiene el aumento del caudal del río sobre la zona costera. En las ciénagas Cantarillo y Ostional, con las precipitaciones y el aumento de las inundaciones en el bosque de manglar, hay un mayor aporte de detritus y de nutrientes que llegan a estos cuerpos de agua, y que favorece florecimientos algales y por consiguiente oscilaciones en la concentraciones de oxígeno disuelto, si las proporciones de N:P son las necesarias para la reproducción del fitoplancton ([Murgel, 1984](#); [Manahan, 2007](#)).

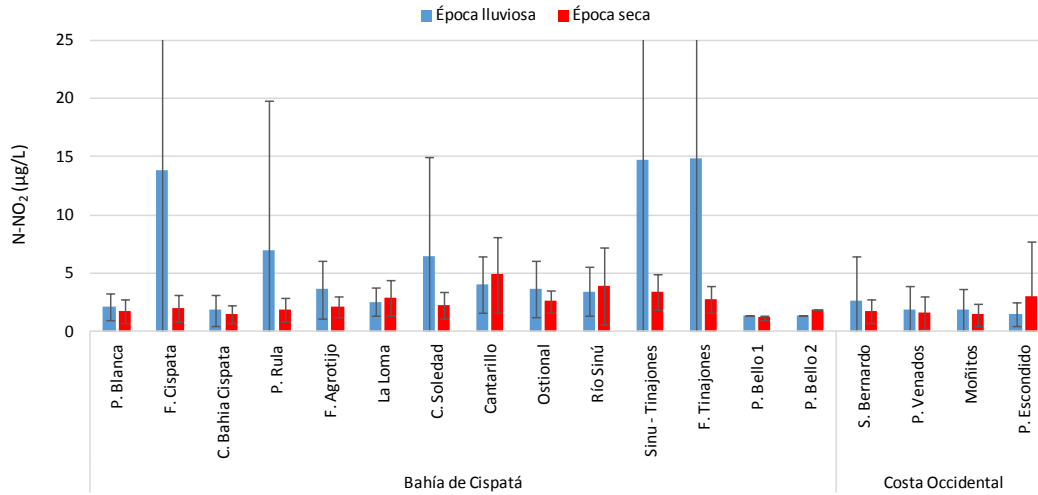


Figura 6.138 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitritos ( $N-NO_2^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

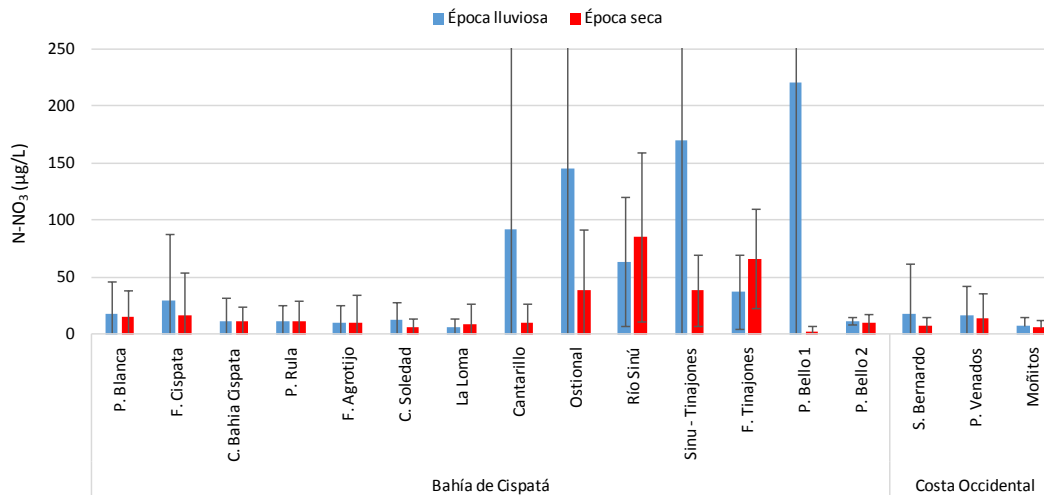


Figura 6.139 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitratos ( $N-NO_3^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

A diferencia de los nitritos y nitratos, el amonio presentó valores superiores en la época seca 2015 que en la lluviosa 2014 en la mayoría de las estaciones (Figura 6.140), lo cual se atribuye principalmente a que durante este periodo el flujo de agua es menor, propiciando la descomposición paulatina de la materia orgánica proveniente del sedimento y de las aguas de desecho residenciales o industriales, influyendo en la elevación de las concentraciones de este nutriente (Martínez *et al.*, 2001; Torres *et al.*, 2001). En cuanto a valores históricos la desembocadura del río Sinú (Sinú- Tinajones) ha mostrado niveles elevados de amonio en ambas épocas climáticas como se muestra en la Figura 6.141, sin embargo el valor actual (583 µg/L) sobrepasó significativamente el promedio histórico de los periodos monitoreados ( $298,15 \pm 284,85$  µg/L).

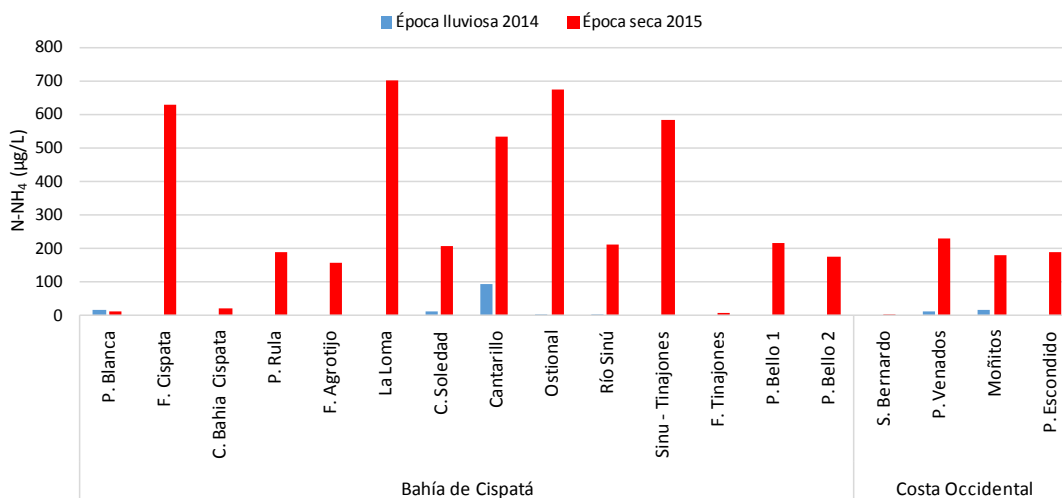


Figura 6.140 Concentraciones de amonio (N-HN<sub>4</sub><sup>+</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa de 2014 y seca 2015.

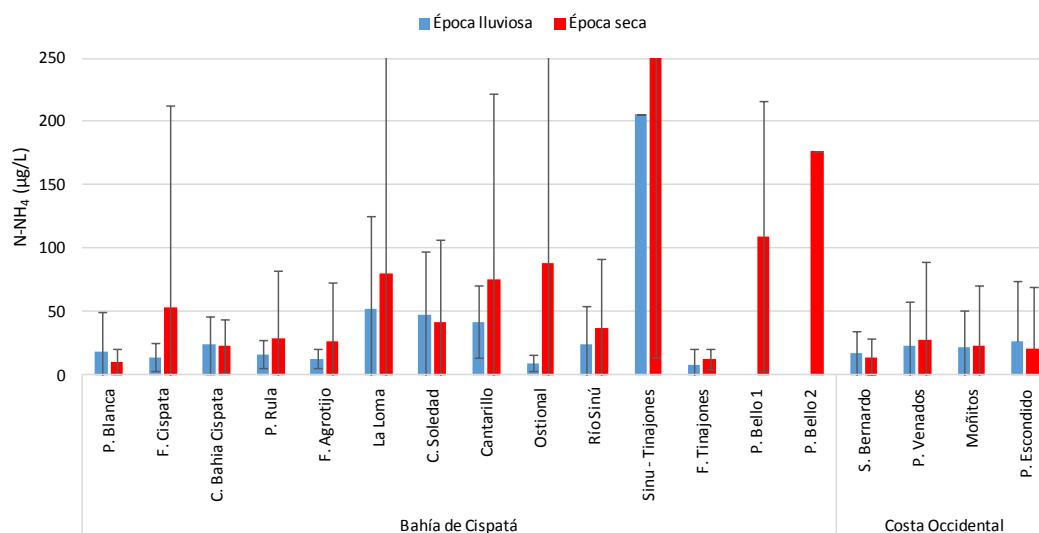


Figura 6.141 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de amonio (N-HNO<sub>4</sub><sup>+</sup>) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

Las concentraciones de ortofosfatos fueron más altas en la época lluviosa 2014, especialmente en las estaciones de las ciénagas Ostional, La Loma y frente a Agrotijó, por aportes de aguas residuales de la industria camaronera y provenientes de la población ribereña del río Sinú, el cual además recibe aguas por escorrentías de áreas agrícolas. También en el proceso de descomposición paulatina de la materia orgánica del detritus (hojarasca del manglar y fitoplancton muerto), las bacterias remineralizan el fósforo contenido para ser reutilizado por el fitoplancton (Yáñez *et al.*, 1998; Benítez-Nelson, 2000). A nivel histórico en la estación Cantarillo se ha registrado el valor más elevado de ortofosfatos en ambas épocas climáticas, si bien, con una alta variabilidad ( $28,44 \pm 32,07$  µg/L; Figura 6.142 y Figura 6.143).

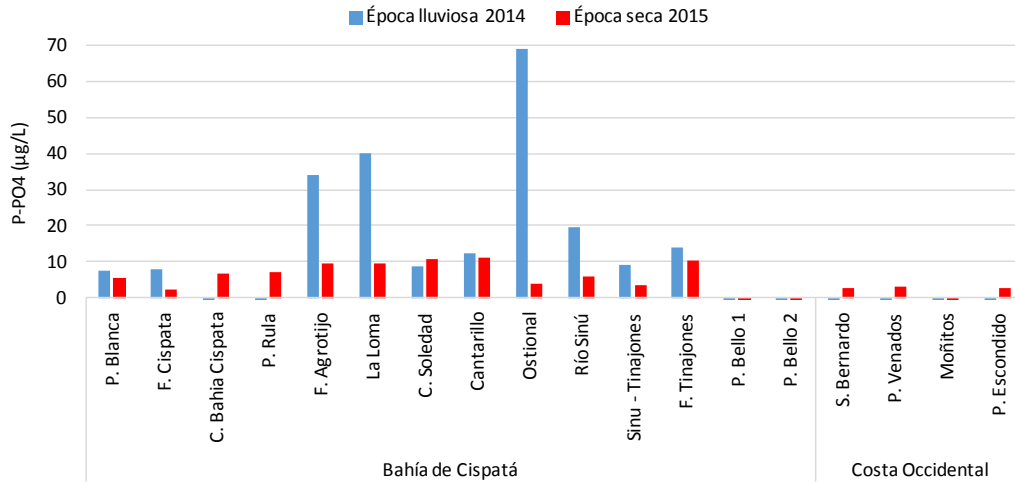


Figura 6.142 Concentraciones de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa de 2014 y seca 2015.

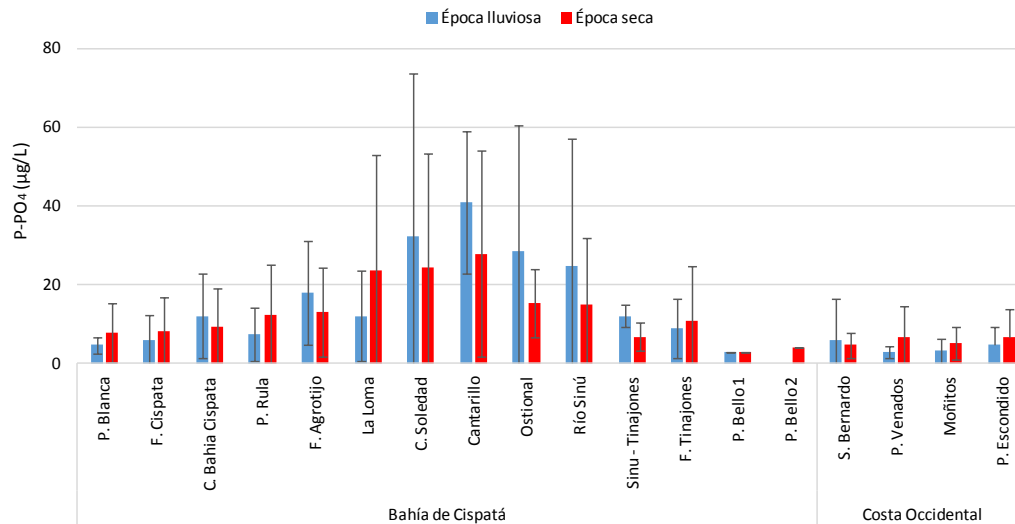


Figura 6.143 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

### Contaminación Microbiológica

La evaluación de la calidad microbiológica de las aguas marino-costeras del departamento de Córdoba se hizo a partir de la determinación de los coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE) en 12 estaciones, de las cuales solo cinco corresponden a playas (Blanca, Moñitos, Puerto Escondido, Venados y San Bernardo) en las cuales además se midieron los enterococos fecales (EFE). A partir de los resultados de los CTT, se evidenció que hay diferencia significativa entre las épocas climáticas ( $p=0,001$ ), en donde las mayores concentraciones se obtuvieron en la época lluviosa, principalmente en las estaciones del río Sinú mostrando influencia de vertimientos de agua residual, que se confirma con los resultados de los CTE (Tabla 6.19). También en época lluviosa 2014, la calidad del agua para uso recreativo por contacto primario en las playas Banca, Puerto Escondido, Venados, Moñitos y San Bernardo no se encontró adecuada, debido a que se presentaron



concentraciones de CTT por encima del límite permisible para este uso (1.000 NMP de CTT/100 mL; [MinSalud, 1984](#); Figura 6.144). En época seca 2015, persisten valores altos de CTT en las playas Puerto Escondido y San Bernardo por encima del límite permisible para uso recreativo por contacto primario (Figura 6.144).

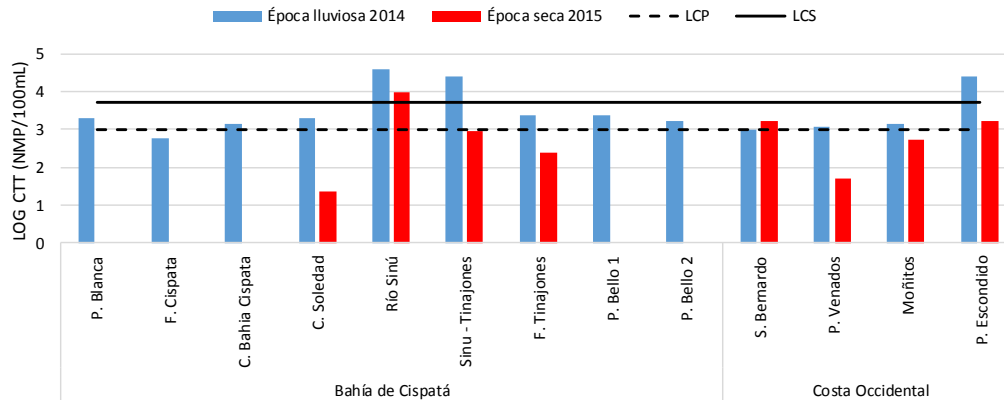


Figura 6.144 Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada corresponde al límite permisible de contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea continua es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7), [MinSalud \(1984\)](#).

En la Figura 6.145, se muestra la variación histórica de los CTT, a partir de la agrupación por tipo de agua y época climática. No se encontró diferencias significativas ( $p=0,5413$ ) entre las épocas climáticas. Cabe destacar que más del 95 % de los registros en las estaciones fluviales se encuentran por encima del límite permisible para contacto secundario (5.000 NMP/100 mL), establecidos en el Decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#); Figura 6.145).

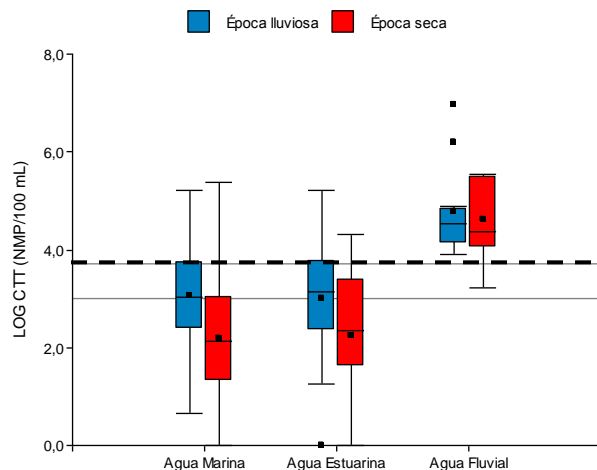


Figura 6.145 Variación histórica (2001-2015) de las concentraciones de coliformes totales (CTT) por tipo de agua y época climática, medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba. La línea negra continua corresponde al límite de contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea punteada es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7), [MinSalud \(1984\)](#).

Las concentraciones de CTE y EFE registradas en las playas de arena, en donde se desarrollan actividades recreativas, se muestran en la Tabla 6.19. En Puerto Escondido las concentraciones de CTE superaron los valores permisibles para contacto primario, en las dos épocas climáticas (200 NMP de CTE/100 mL; [MinSalud, 1984](#)); en las estaciones Moñitos y San Bernardo del Viento, las concentraciones solo superaron el valor permisible, durante la época seca 2015 (540 NMP de CTE/100 mL). El análisis histórico de CTE, desde el 2001 y de EFE, desde el 2006 ([INVEMAR, 2015](#)), muestran que en Puerto Escondido siempre se han registrado las mayores concentraciones de estos dos indicadores, en las épocas secas y lluviosas, lo cual indica que la fuente de contaminación no está ligada a la temporada climática, y se atribuye a la descarga de aguas residuales de la cabecera municipal ([Bordalo, 2003](#)).

**Tabla 6.19 Concentración de coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) medidos en el agua superficial en las estaciones de playa turísticas del departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, y los registros históricos (2001-2015).**

Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico <sup>1</sup>	2015	Histórico <sup>1</sup>	2014	Histórico <sup>2</sup>	2015	Histórico <sup>2</sup>
<b>Playa Blanca</b>	200	18 - 3500	1,8	<LD - 14000	33	2 - 702	<LD	1 - 410
<b>Moñitos</b>	41	20 – 16.000	540*	<LD –16.000	4	4 – 1.194	3	1 – 2.400
<b>Puerto Escondido</b>	359*	120–160.000	540*	20 – 16.000	17	17 – 3.300	70*	<LD –2.400
<b>Playa Los Venados</b>	140	14 – 490	17	<LD – 360	3	3 – 303	3	<LD – 510
<b>San Bernardo</b>	20	4,5 – 2.400	1600*	<LD –16.000	1	<LD – 540	2	<LD – 660

\* Valores que se encuentra por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

<sup>1</sup>Rango histórico de CTE registrado en la base de datos de la REDCAM desde el 2002 hasta la fecha ([INVEMAR, 2015a](#)).

<sup>2</sup>Rango histórico de Enterococos fecales registrado en la base de datos de la REDCAM desde el 2006 hasta la fecha ([INVEMAR, 2015a](#)).

### *Hydrocarburos Aromáticos Totales (HAT)*

Las concentraciones de HAT en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, estuvieron entre menor al límite de detección del método utilizado en el LABCAM (<0,07) y 0,97 µg/L, valores que no superaron el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la [UNESCO \(1984\)](#) para aguas contaminadas (Figura 6.146). Generalmente, las mayores concentraciones de HAT se registraron en la época seca 2015. Estos valores están asociados a vertimientos de aguas residuales domésticas, uso de combustibles en el transporte de embarcaciones, entre otros.

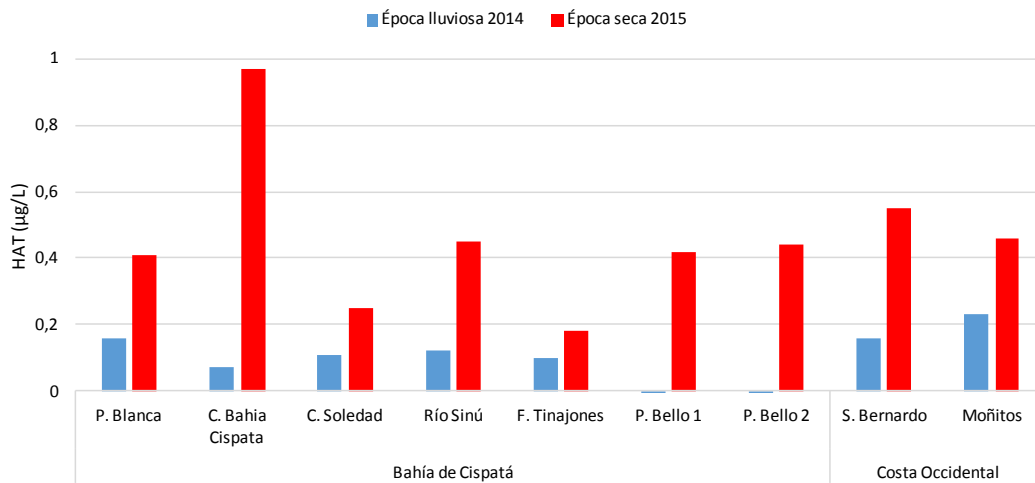


Figura 6.146. Concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa de 2014 y seca 2015.

El análisis histórico ha mostrado que en estaciones ubicadas en la ciénaga Soledad, río Sinú, frente a Tinajones y en San Bernardo, se han registrado concentraciones que superan el valor de referencia (10 µg/L; [UNESCO, 1984](#); Figura 6.147), indicando que la zona costera del departamento se ve expuesta a la contaminación por hidrocarburos, debido al arrastre de aguas residuales sin ningún tratamiento que recibe el río Sinú, a las actividades turísticas y marítimas, tráfico de embarcaciones menores, expendios informales de combustible y lavaderos de vehículos ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)); así como a incidentes en la terminal de Ecopetrol que ha llevado al aumento de estos contaminantes.

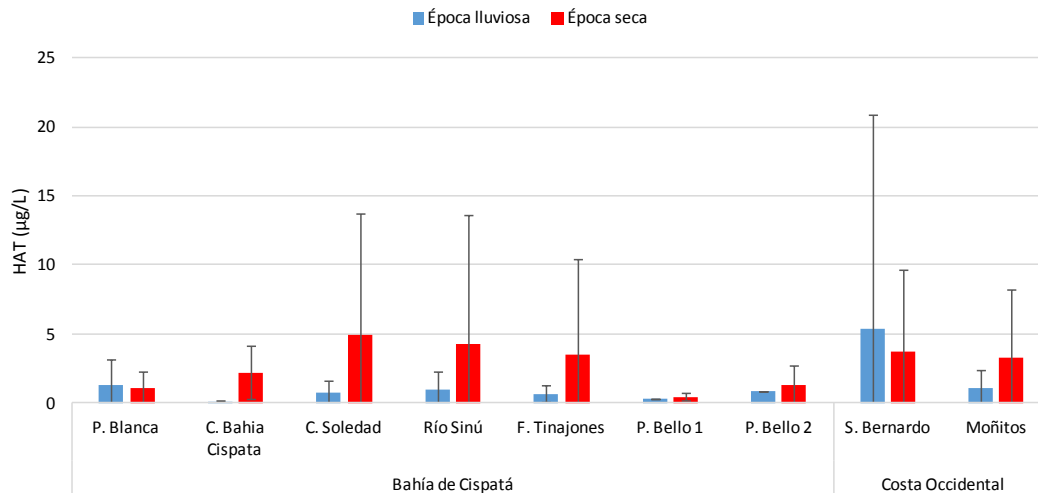


Figura 6.147. Promedio histórico (2001 – 2015) de las concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

## Plaguicidas

Los compuestos de plaguicidas analizados en muestras de agua (diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenamifos, Cis y Trans-permetrina), se encontraron por debajo del límite de detección de las técnicas analíticas empleadas en el LABCAM, lo cual permite inferir que para el momento del monitoreo la presencia de dichos compuestos no representan riesgo de toxicidad para los organismos acuáticos.

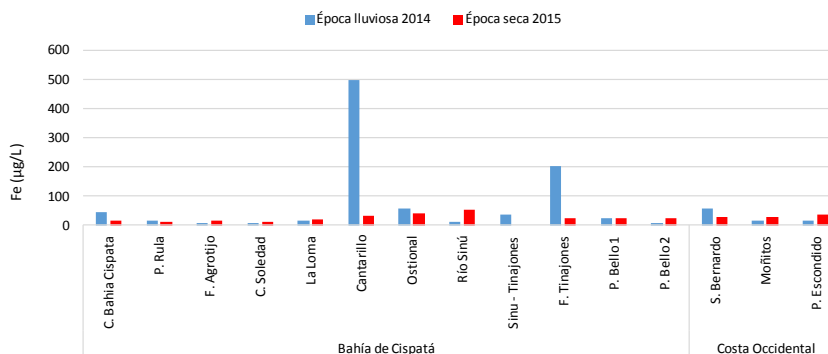
## Metales Pesados

En las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, las concentraciones de Pb, Cd, Cr y Zn estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado en el LABCAM (Pb: 3,1 µg/L; Cd: 0,42 µg/L; Cr: 0,97 µg/L; y Zn: 6,9 µg/L), por lo cual se considera que no existe riesgo de contaminación por estos metales en las aguas marino costeras del departamento, debido a que se encuentran por debajo del valor de referencia para efectos agudos ([Buchman, 2008](#)).

Los niveles de Cu solo se detectaron en tres estaciones, en concentraciones ligeramente superiores al límite de detección; en las estaciones San Bernardo y Puerto Escondido, en la época lluviosa 2014 (1,4 y 1,6 µg de Cu/L respectivamente), y en la estación punta Bello 2, en la época seca 2015 (1,6 µg de Cu/L). Sin embargo, estos valores no superaron la referencia para efectos agudos sugerido por la NOAA (4,8 µg de Cu/L, [Buchman, 2008](#)).

El Ni en la época lluviosa 2014 solo se registró en las estaciones La Loma y Puerto Escondido, con valores de 2,1 y 1,5 µg de Ni/L respectivamente, mientras que en la época seca 2015 solo se registró en algunas estaciones en la bahía de Cispatá, con un promedio de  $5,2 \pm 4,2$  µg de Ni/L, donde la estación Cantarillo fue la que presentó la mayor concentración 11,8 µg de Ni/L. Teniendo en cuenta que estos valores están por debajo del valor de referencia para efectos agudos sugerido por la NOAA (74 µg de Ni/L, [Buchman, 2008](#)), se considera que no representan riesgo de contaminación para la biota acuática.

Las mayores concentraciones de Fe se registraron en las estaciones Cantarillo y frente Tinajones, en la época lluviosa 2014 (497,6 y 202,0 µg de Fe/L, respectivamente; Figura 6.148). Sin embargo en la época seca estas dos estaciones registraron un bajo contenido de Fe, sugiriendo que este metal ingresó por el aumento de caudal del río que trae materiales desde el continente. Solamente la concentración de Fe registrada en la estación Cantillo superó el valor de referencia para efectos agudos propuesto por la NOAA (300 µg de Fe/L, [Buchman, 2008](#)).



**Figura 6.148. Concentraciones de Hierro (Fe) disuelto medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Índice de calidad de las aguas

La calidad del agua evaluada con el ICAM<sub>PFF</sub> fluctuó entre *Adecuada* e *Inadecuada* condición, presentándose fluctuaciones en las estaciones frente a Cispatá, Puerto Escondido, playa Venados y San Bernardo entre las épocas climáticas (Figura 6.149). En la época lluviosa 2014 todas las estaciones estuvieron en adecuada calidad, excepto Puerto Escondido que presentó una condición inadecuada (Figura 6.149a) debido a las altas concentraciones de nitratos (78,8 µg/L) y CTE (359 NMP/100 mL), este último sobrepasando el límite permisible de 200 NMP/100 mL para el uso recreativo por contacto primario (MinSalud, 1984). En la época seca 2015, las estaciones frente a Cispatá, Playa Venados y San Bernardo presentaron calidad entre Aceptable e Inadecuada (Figura 6.149b), debido a altas concentraciones de SST, N-NO<sub>3</sub> y CTE; situación relacionada con el impacto antropogénico ocasionado por los asentamientos y el desarrollo de actividades socioeconómicas en esta zona.

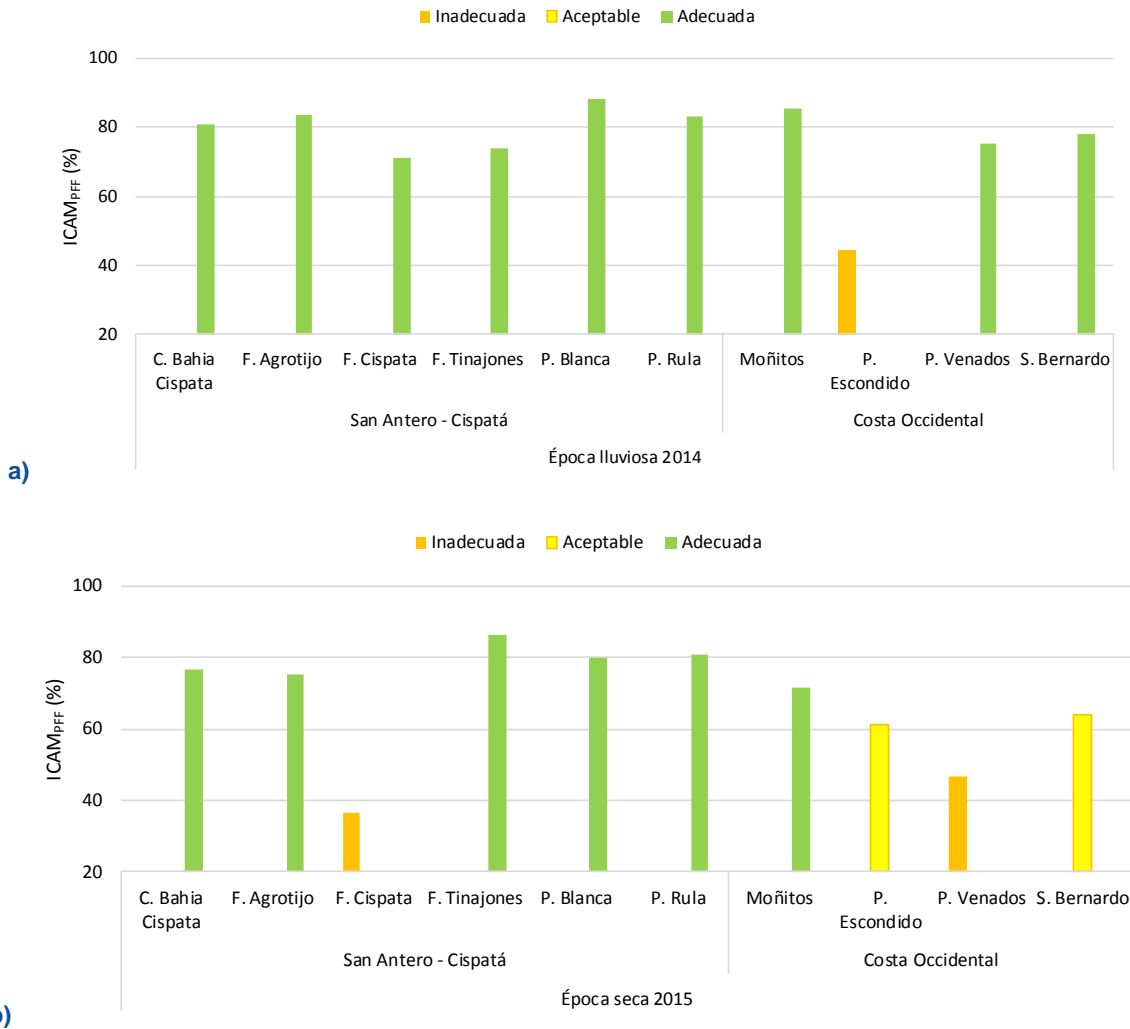


Figura 6.149. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de Córdoba evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>), en las épocas lluviosa 2014 (a) y época seca 2015 (b).

### 6.7.1.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

#### Materia Orgánica

Las concentraciones de materia orgánica en los sedimentos de la estación río Sinú-Tinajones, fue más elevado en la época lluviosa 2014 (89,5 mg/g), en comparación con la época seca 2015 (23,8 mg/g), lo cual se puede explicar por el aumento del agua de escorrentía que llevan material suspendido en la columna de agua, el cual se deposita en el sedimento.

#### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Para el análisis de HAT en sedimentos se tomó como referencia el valor determinado por la NOAA de 3,9 µg/g para sedimentos no contaminados ([NOAA, 1990](#)). En la época lluviosa 2014 se registró una concentración de 0,16 µg/g y en la época seca 3,41 µg/g, estos dos valores estuvieron por debajo del valor sugerido por la NOAA, por lo que no representan un riesgo la biota acuática.

#### Plaguicidas

Los plaguicidas organoclorados y organofosforados medidos en los sedimentos de la estación frente al río Sinú-Tinajones, se encontraron por debajo del límite de detección de las técnicas analíticas empleadas en el LABCAM, lo cual permite inferir que para el momento del monitoreo la presencia de dichos compuestos no representan riesgo.

#### Metales pesados

En el sedimento se analizó el contenido total de metales (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni y Fe), en la época lluviosa 2014 y seca 2015. A excepción del Cd que presentó concentraciones menores al límite de detección del método, los demás metales se encontraron niveles cuantificables (Tabla 6.20). Sin embargo, solo el Ni en la época seca, superó el valor de referencia para efectos probables (PEL, por sus siglas en inglés) establecidos por la NOAA ([Buchman, 2008](#)). Es importante medir la fracción biodisponible de estos metales para conocer el riesgo potencial de contaminación.

**Tabla 6.20. Concentraciones de metales pesados medidas en sedimentos superficiales del departamento de Córdoba en las épocas lluviosa 2014 y seca de 2015. Los valores de referencia PEL fueron tomados de la NOAA ([Buchman, 2008](#)).**

Estación	Lluvia 2014							Seca 2015						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe
	(µg/g)						(mg/g)	(µg/g)						(mg/g)
Frente a río Sinú-Tinajones	12,5	<0,5	76,5	36,6	79,6	17,5	35,5	<4,0	<0,5	62,4	52,8	102,6	46,3	54,8
Valor de referencia PEL	112	4,2	160	108	271	42,8	-	112	4,2	160	108	271	42,8	-

Desde el año 2013 que inició el monitoreo de sedimentos en frente del río Sinú-Tinajones, se observó que el Fe es el metal con mayor concentración. De los metales considerados tóxicos para la vida acuática, el Ni superó el valor de referencia para efectos probables PEL propuestos por la NOAA en la época seca 2014, y en la época seca de 2015 se volvió a

registrar una concentración mayor al nivel referenciado, lo que indica que el Ni está en concentraciones que podrían provocar efectos adversos en la biota acuática. Es importante destacar que a lo largo del río Sinú se localizan 14 municipios del departamento que vierten aguas residuales domésticas, desechos sólidos y los provenientes de las actividades agropecuarias y ganaderas que aportan contaminantes al sistema ([CVS. 1998](#)).

### **6.7.2 CONCLUSIONES**

Los análisis de salinidad, oxígeno disuelto, pH y temperatura, mostraron que las condiciones fisicoquímicas del agua marino costera del departamento de Córdoba están dentro de los dentro de los criterios de calidad propuestos por la legislación nacional, excepto en las estaciones de las ciénagas Soledad y La Loma, en las cuales se registró un valor de oxígeno disuelto por debajo del límite permisible, aspecto presentado históricamente y que se debe principalmente a la poca profundidad de las estaciones y la influencia del manglar.

El río Sinú aporta altas concentraciones de sólidos suspendidos y nutrientes a la zona costera del departamento, principalmente en la época lluviosa, los cuales provienen de aguas residuales domésticas y escorrentías agrícolas.

La calidad microbiológica de las estaciones estuarinas de los departamentos de Córdoba se ve influenciadas por los aportes del río Sinú, principalmente durante las temporadas lluviosas. En cuanto a las estaciones playa, Moñitos y San Bernardo del Viento, en la época seca de 2015 no fueron aptos para su uso recreativo del agua, debido a que las concentraciones de coliformes sobrepasaron los niveles máximos permitidos por la norma colombiana.

Las aguas marino costeras del departamento de Córdoba no se consideran contaminadas por hidrocarburos aromáticos totales, debido a que tanto en aguas como en sedimentos los niveles estuvieron por debajo de los valores de referencia sugeridos por la UNESCO (1984) y NOAA (1990) para aguas y sedimentos no contaminados. Tampoco se consideran contaminadas con plaguicidas, puesto que no fueron detectados en el agua y el sedimento río Sinú-Tinajones.

No se observó contaminación por metales pesados. Sin embargo, en los sedimentos frente de la desembocadura del río Sinú, se han registrado concentraciones de níquel, un poco por encima del valor de referencia de la NOAA, los cuales deben seguir siendo monitoreados y medir la fracción biodisponible de este metal, ya que pueden provocar efectos adversos en la biota acuática.





# Antioquia



Ensenada Rionegro. Foto: Corpourabá

## **EQUIPO TÉCNICO CORPOURABÁ**

*Vanessa Paredes Zuñiga – Subdirectora de Gestión y Administración Ambiental  
Diana Andrade Gamboa – Profesional Universitario, Coordinadora Subprograma UAC Darién  
Harold Garcés Terán – Contratista responsable de la toma de muestras  
Diana Cuervo Paternina – Director técnico Laboratorio de Aguas  
Adelaida Pastrana – Responsable área Microbiología  
Margarita Alquerque – Analista del área Físicoquímica  
Eulicer Cuellar – Analista del área Físicoquímica*



## 6.8 ANTIOQUIA

El departamento de Antioquia se encuentra ubicado geográficamente en los 8° 37' y 7° 55' de latitud norte y 77° 25' y 76° 55' de longitud oeste, posee una línea de costa de 425 km, donde se localiza el golfo de Urabá que acoge a los municipios costeros de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes ([IGAC, 2008](#)). La zona se considera como una de las más lluviosas con una precipitación anual alrededor de 2.000 mm/año, temperatura ambiente entre los 26 y 28 °C y humedad relativa entre el 83 y 86 % ([García y Palacio, 2008](#)).

La población de los municipios costeros del departamento para el año 2015 se estimó en 286.948 habitantes, encontrándose la mayor población en el municipio de Turbo (55,5 %), seguido por Necoclí (21,7 %), Arboletes (14 %) y San Juan de Urabá (8,8 %; [DANE, 2015](#)). La producción de aguas residuales es proporcional al tamaño de la población, y la producción de residuos sólidos suma 72,24 t/día, los cuales son dispuestos finalmente en los rellenos sanitarios Las Praderas, Loma Grande, Centro Industrial de Residuos Sólidos El Tejar y Centro Industrial de Residuos Sólidos de Urabá ([Superservicios, 2014a](#)).

El alto desarrollo agrícola en el Urabá antioqueño, la ha convertido en la región bananera y platanera más importante del país y de varios mercados internacionales, por las condiciones del golfo de Urabá y sus alrededores que son de suma relevancia para la producción agrícola, para monocultivos permanentes de banano, plátano, cultivos mixtos (transitorios y permanentes) de arroz, yuca, maíz, ñame, entre otros ([García-Valencia, 2007](#)). Sin embargo, el incremento de este tipo de actividades hace que sea una de las principales fuentes de contaminantes, pues la escorrentía desde la zona continental arrastra residuos de plaguicidas, nutrientes, sólidos en suspensión, entre otros, que al llegar a la zona costera afecta la calidad de las aguas marinas y costeras ([Espinosa y Betancourt, 2011](#); [Blanco-Libreros et al., 2013](#); [Vivas-Aguas et al., 2015a](#)).

En general, en la escorrentía del golfo predominan los aportes hídricos de los ríos Atrato y León, junto a otros pequeños ríos del departamento. Esta aguas trae consigo una alta carga de sólidos ( $1,1 \cdot 10^6$  ton/año) de importancia para la dinámica del golfo junto a aguas residuales domésticas por la falta de servicio de alcantarillado en algunas zonas ribereñas ([INVEMAR et al., 2007](#)).

Con el propósito de mantener un diagnóstico actualizado del estado del recurso hídrico marino costero del departamento de Antioquia, y dar soporte con información sobre temas de calidad ambiental marina a la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABÁ), para la gestión ambiental, la REDCAM cuenta con 27 estaciones de muestreo para la vigilancia y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras, las cuales se distribuyen en cuatro zonas: la zona de San Juan de Urabá que comprende desde la frontera con el departamento de Córdoba hasta punta Caribaná, la zona Golfo Alto que va desde punta Caribaná hasta Necoclí, la zona Golfo Medio que abarca el área desde Necoclí hasta Turbo y por último está la zona Bahía Colombia que engloba el sector interno del golfo desde Turbo, bahía Colombia y el delta del río Atrato (Figura 6.150).

El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos realizados por CORPOURABÁ en los días 2, 4, 11 y 30 de septiembre; 7, 8 y 31 de octubre; y 5,7 y 10 de noviembre 2014 (época lluviosa 2014) y los días 21, 29, 30 de abril; 6, 7, 12, 20 y 21 de mayo de 2015 (época seca 2015), en las cuatro zonas de muestreo.

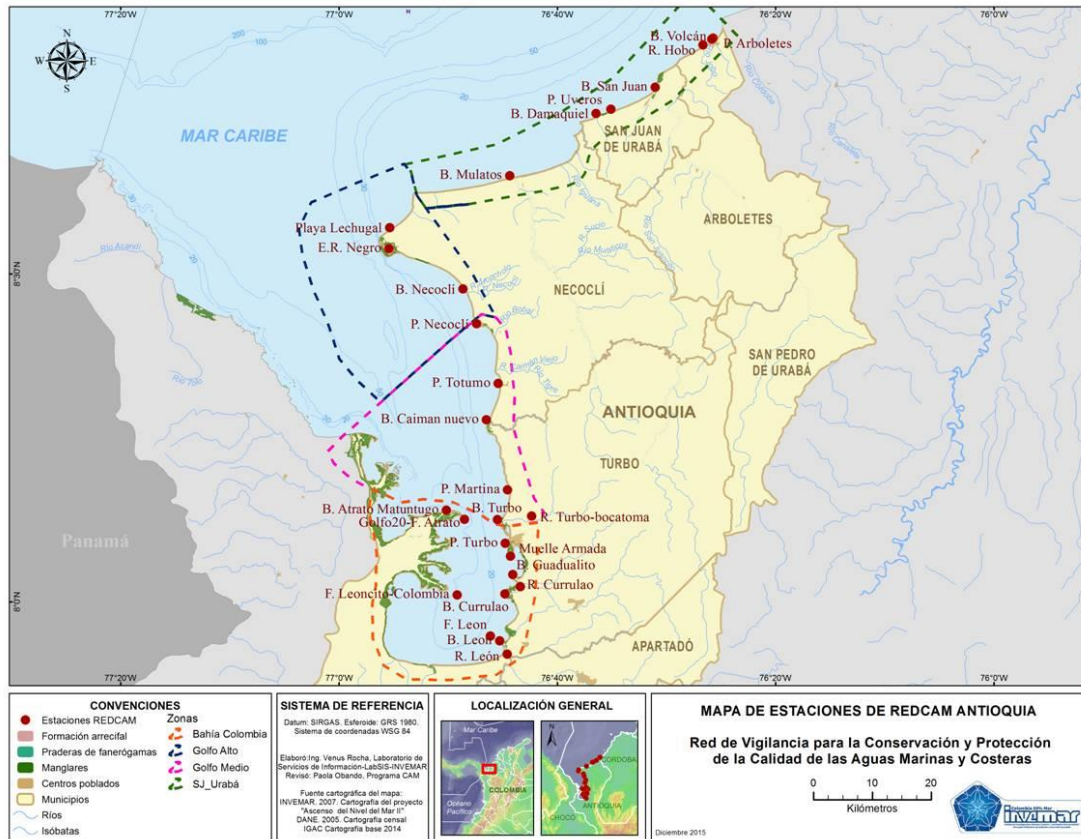


Figura 6.150. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Antioquia.

## 6.8.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.8.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

#### Variables Fisicoquímicas

##### *In situ y Sólidos suspendidos totales*

Las aguas marinas y costeras del departamento de Antioquia muestran características particulares, con predominio de condiciones estuarinas, debido a alto número de ríos que drenan a la zona costeras y al golfo de Urabá ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). Los valores de salinidad registrados en los ríos y sus desembocaduras oscilaron entre 0 y 10,4 partes, presentándose la salinidad más alta en el río Hobo en época lluviosa 2014 (Figura 6.151), época en la que hay una mayor conexión con el mar; las playas y los frentes de los ríos oscilaron entre 3,4 y 22,7. La temperatura del agua osciló entre 25,95 y 31,80 °C, encontrándose las aguas más cálidas en la época seca 2015 ( $29,72 \pm 0,98$  °C) en comparación con la época lluviosa 2014 ( $28,14 \pm 1,08$  °C), no obstante, estos valores se relacionan directamente con la hora del día en que se realizaron las mediciones (6:00 a.m. y 1:00 p.m.).

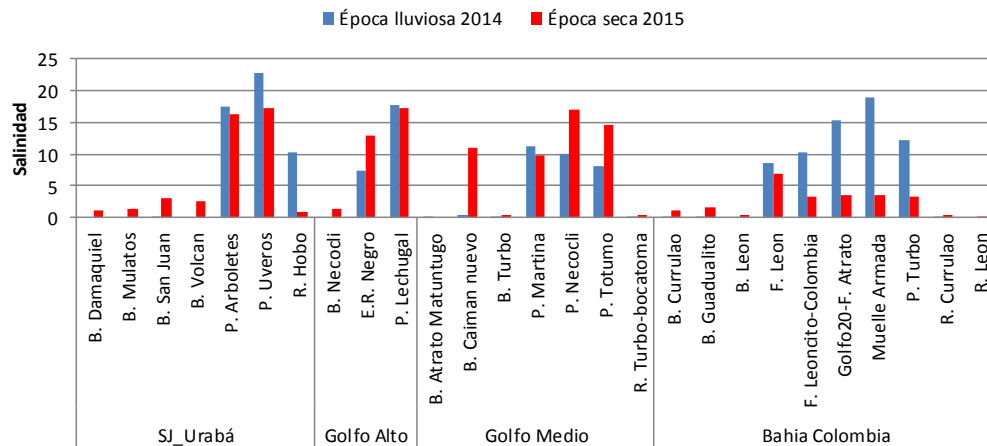


Figura 6.151. Valores de salinidad medida en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El oxígeno disuelto osciló entre 0,50 y 11,69 mg de  $O_2/L$  (Figura 6.152), presentándose las concentraciones más bajas en las estaciones río Currulao (3,43 mg de  $O_2/L$ ), y en las desembocaduras de los ríos Guadualito (3,04 mg de  $O_2/L$ ), Damaquiel (3,04 mg de  $O_2/L$ ), Volcán (0,50 mg de  $O_2/L$ ) y Necocli (2,44 mg de  $O_2/L$ ) en la época lluviosa 2014, y en las estaciones río León (3,80 mg de  $O_2/L$ ), y en las desembocaduras de los ríos León (3,50 mg de  $O_2/L$ ), Damaquiel (3,44 mg de  $O_2/L$ ) y Necocli (0,78 mg de  $O_2/L$ ) en la época seca 2015, incumpliendo con el criterio de calidad para la preservación de la biota acuática en aguas cálidas ( $>4,0$  mg de  $O_2/L$ ; [MinSalud, 1984](#)). Estos resultados se asocian a vertimientos de aguas residuales sin tratamiento previo y a la alta carga de sólidos en suspensión. En la desembocadura del río Guadualito se registró el OD más elevado en época seca 2015, y aunque este valor se encuentre por encima del límite permisible, no garantiza la preservación de los organismos acuáticos aeróbicos, porque puede causar muerte por sobresaturación, o por deficiencia en horas nocturnas ([Murgel, 1984](#); [Manahan, 2007](#)).

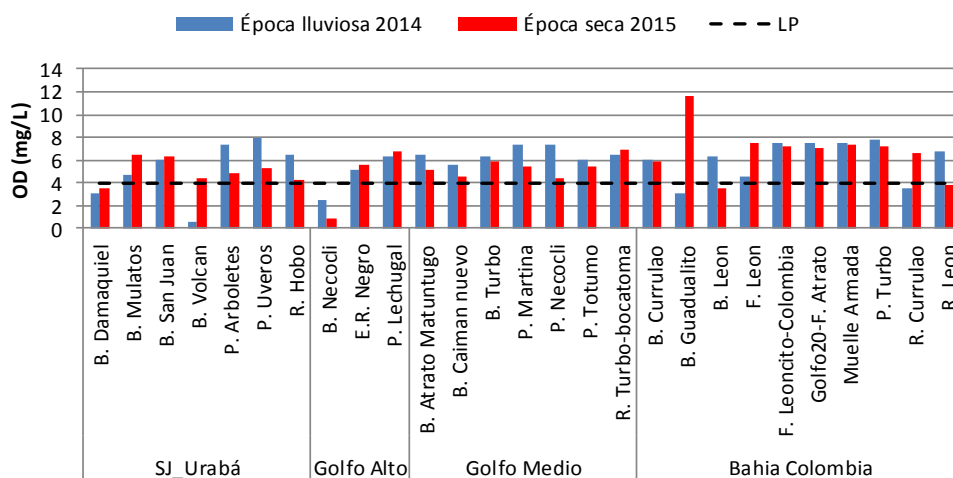


Figura 6.152. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada señala el límite mínimo permisible para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)).

El pH fluctuó entre 6,46 y 8,30 en las estaciones de playas, frentes y desembocaduras de ríos, y entre 7,32 y 8,60 en el agua cálida dulce de los ríos. En todos los tipos de agua, los valores de pH estuvieron dentro de los rangos permisibles para la preservación de la flora y fauna acuática en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0) y marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; [MinSalud, 1984](#)).

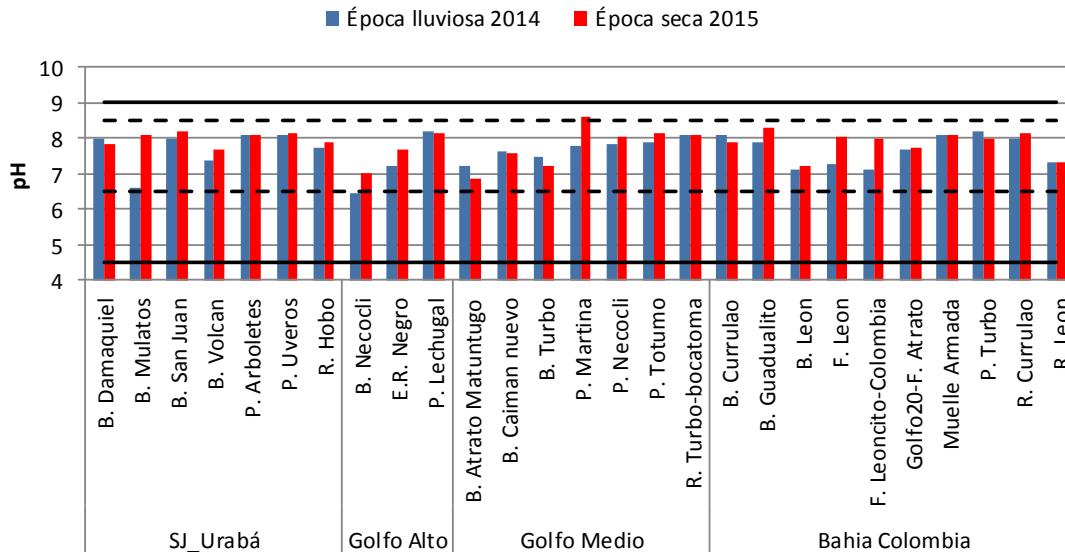


Figura 6.153. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas negra continuas indican el rango permisible en aguas dulceacuícolas y las líneas negras punteadas corresponden al rango permisible en aguas marinas y estuarinas, según [MinSalud \(1984\)](#).

Con el propósito de conocer la similitud entre las estaciones de muestreo, en base a los resultados de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y pH descritos previamente, se realizó un análisis de conglomerados. Como resultado del análisis estadístico se agruparon las estaciones por tipo de agua, donde la salinidad fue la variable determinante de la agrupación, tal y como se muestra en la Figura 6.154. El primer grupo señalado de color rojo en el dendrograma lo conformaron las estaciones marino costeras como playas, ensenada y el frente del río Atrato, los cuales presentaron salinidades entre 3,40 y 22,70 y altas concentraciones de OD en ambas épocas climáticas; y el segundo grupo lo conformaron las estaciones de los ríos, desembocaduras y frentes, las cuales presentaron salinidades entre 0,0 y 11,30, y bajas concentraciones de oxígeno.

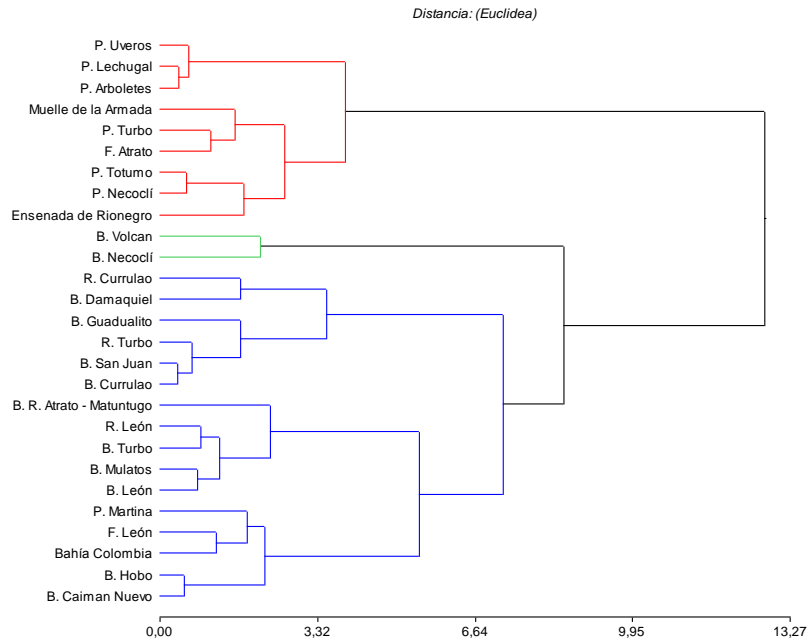


Figura 6.154. Dendrograma de clasificación de las variables *in situ* medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM de la zona costera del departamento de Antioquia para las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas rojas corresponden al primer grupo marino costero, y las líneas verdes y azules agrupan las estaciones del segundo grupo estuarinas.

Los sólidos suspendidos totales se encontraron en mayor concentración en la época lluviosa 2014, principalmente en la ensenada de Rionegro, playa Lechugal, desembocadura del río Caimán Nuevo y río Currulao, asociado a procesos erosivos y arrastre de sedimentos por las escorrentías en la época lluviosa, que se ven favorecidos por la deforestación y cambios en el uso del suelo en la cuenca de los ríos (Blanco-Libreros *et al.*, 2013) y por vertimientos de aguas residuales de las poblaciones ribereñas.

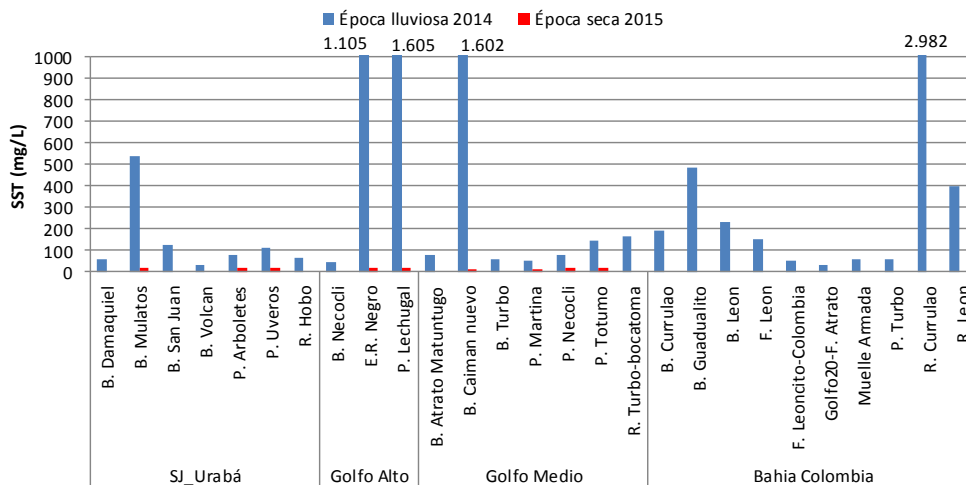
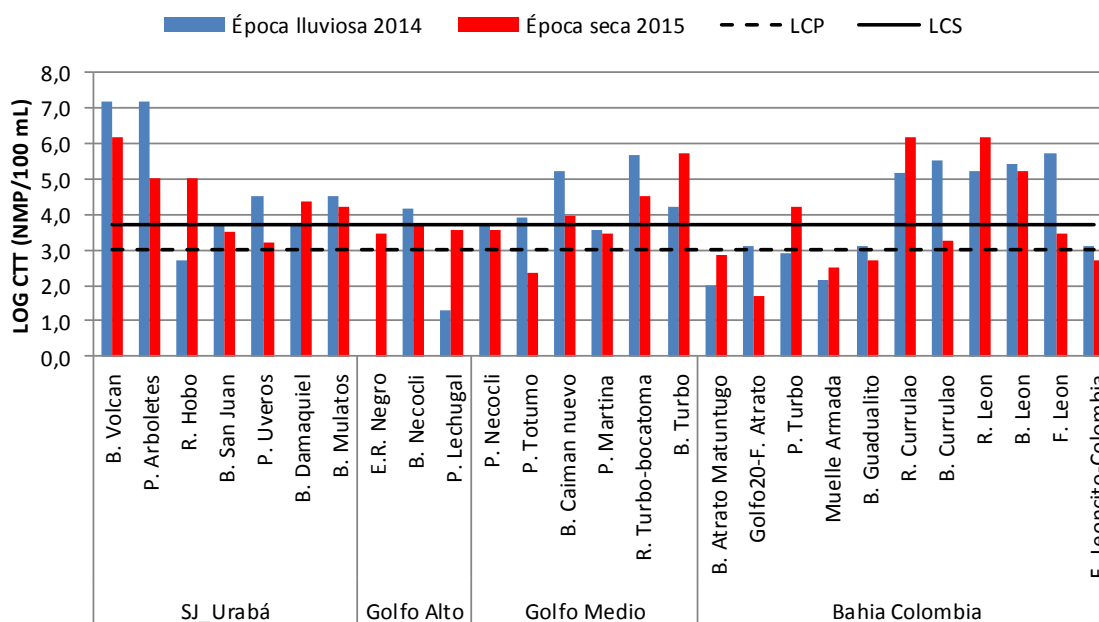


Figura 6.155. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

## Contaminación Microbiológica

La evaluación de la calidad microbiológica de las aguas marino-costeras del departamento de Antioquia se hizo a partir de la determinación de los coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE). Con respecto a las CTT, se registraron los valores más elevados en las estaciones de los ríos y desembocaduras de ríos, superando los límites permisibles para el uso del recurso hídrico por contacto primario y secundario (límite de contacto primario: 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), límite de contacto secundario: 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7); [MinSalud, 1984](#); Figura 6.156). Estos resultados dan un indicio del inadecuado manejo de las aguas residuales de las poblaciones ribereñas, que están causando problemas de contaminación microbiológica. Algunas playas como Turbo, Martina, Totumo, Necoclí, Lechugal, Uveros y Arboletes, también presentaron concentraciones por encima del límite permisible para el uso recreativo de sus aguas para natación y buceo.



**Figura 6.156. Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada corresponde al límite de contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea continua es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7), [MinSalud \(1984\)](#).**

Las concentraciones de CTE registradas, confirman que la contaminación con coliformes es de origen fecal. La concentración más alta se registró en la desembocadura del río Volcán en la época seca 2015 (9'200.000 NMP de CTE/100 mL; Log= 6,96; Figura 6.157). Entre las playas que presentaron condiciones de calidad adecuada para el uso por contacto primario están playa Turbo, playa Lechugal y playa Uvero durante la época de lluvias de 2014, las demás playas registraron altos niveles de contaminación fecal, con valores por encima del límite permisible (Figura 6.157).



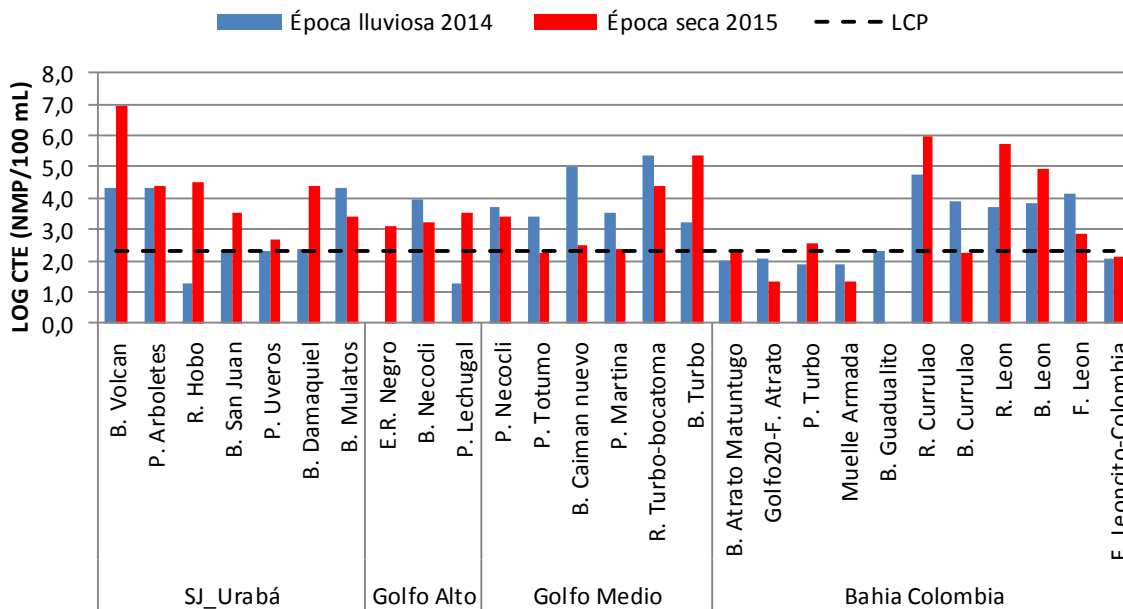


Figura 6.157. Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada corresponde al límite permisible por contacto primario (LCP): 200 NMP/100 mL (Log= 2,3), MinSalud (1984).

### Metales Pesados

Se midieron las concentraciones de Fe y Hg disueltos en las estaciones de muestreo, en la época lluviosa 2015. Estas muestras fueron analizadas por el Laboratorio de Aguas de CORPOURABÁ, cabe resaltar que esta capacidad técnica del laboratorio está en proceso de fortalecimiento. Las concentraciones de Fe oscilaron entre 120 y 1.890 µg de Fe/L (Figura 6.158), encontrándose los valores más altos en las estaciones del río León y su desembocadura, y en la desembocadura del río Volcán. En el río León la concentración de Fe registrada supera el valor de referencia para efectos crónicos en agua dulce de 1.000 µg de Fe/L (Buchman, 2008). En las playas Totumo (560 µg de Fe/L) y Martina (460 µg de Fe/L), las concentraciones registradas superan el valor de referencia para efectos agudos en aguas marinas (300 µg de Fe/L, Buchman, 2008). Estas concentraciones se relacionan con los procesos erosivos y transporte de sedimentos por los ríos, puesto que este metal es muy abundante en la corteza terrestre (Chamizo y Garritz, 1995), también con el inadecuado manejo de residuos municipales.

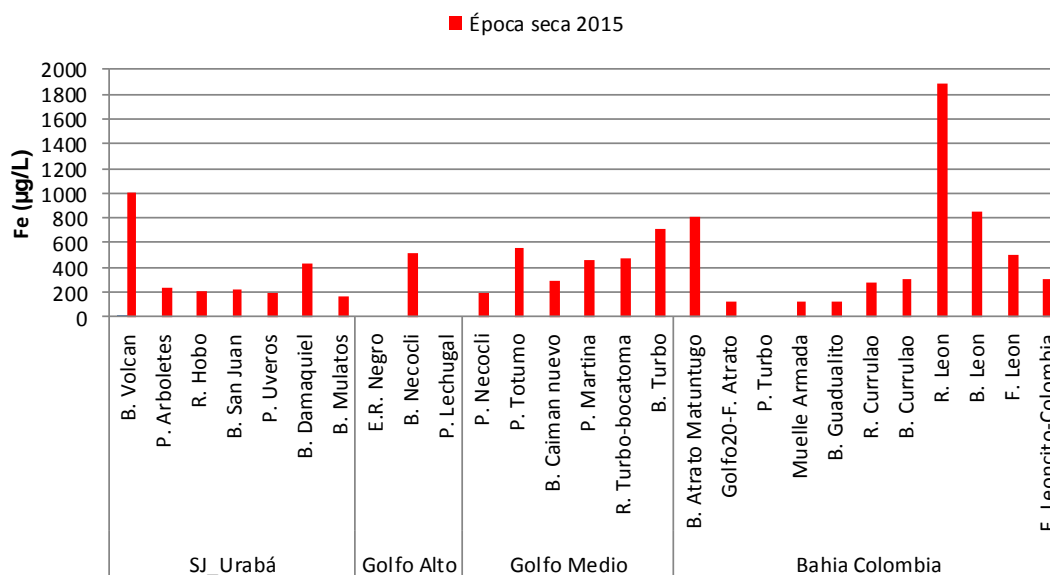


Figura 6.158. Concentraciones de hierro (Fe) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, en la época seca 2015.

Se registraron altas concentraciones de Hg en la mayoría de las estaciones en playas y en ríos y sus desembocaduras y frentes (Figura 6.159), con valores que superan las referencias para efectos crónicos y agudos en aguas dulces y marinas (Buchman, 2008). Estas altas concentraciones se relacionan con las actividades mineras de oro desarrolladas en el departamento, en la cual utiliza mercurio (MinMinas, 2012; Rudas y Espitia, 2013; Villa y Franco, 2013).

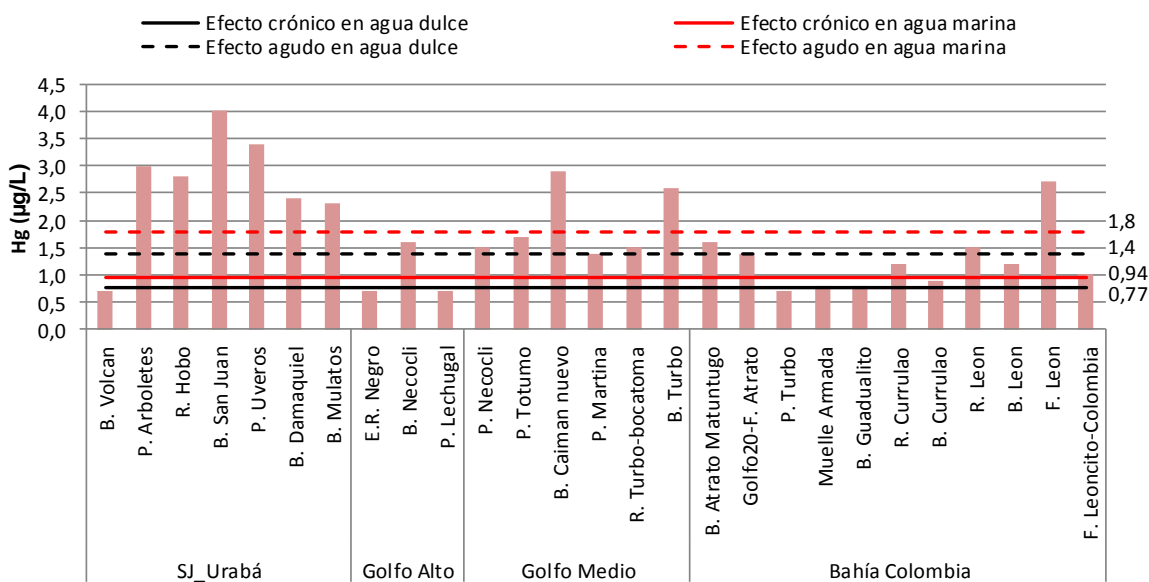


Figura 6.159. Concentraciones de mercurio disuelto (Hg) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia, en la época seca 2015.

Índice de calidad de las aguas

La calidad del agua evaluada con el  $ICAM_{PFF}$  fluctuó entre Óptima y Pésima condición (Figura 6.160). En la época lluviosa 2014 la calidad del agua en la mayoría de las estaciones se encontró en estados pésimos, inadecuados y aceptables (Figura 6.160a), destacándose las playas Arboletes y Uveros por tener aguas con *Pésima* calidad, debido a las altas concentraciones de ortofosfatos (190 y 760  $\mu\text{g/L}$ ), demanda bioquímica de oxígeno (55,3 y 23,5  $\text{mg/L}$ ) y coliformes termotolerantes (20.000 y 199 NMP/100 mL) por la alta intervención antrópica en estas estaciones. En la época seca 2015 la calidad del agua mejoró (Figura 6.160b) con relación a la época lluviosa. Las playas Arboletes y Lechugal presentaron calidad *Inadecuada*, debido a las altas concentraciones de CTE (26.000 y 3.500 NMP/100mL respectivamente), que sobrepasaron el límite permisible para el uso recreativo del agua por contacto primario, como la natación. Las estaciones en playa Necoclí, frente Leoncito-Colombia, golfo 20 frente Atrato y playa Turbo, mantuvieron la misma condición de calidad del agua en ambas épocas climáticas.

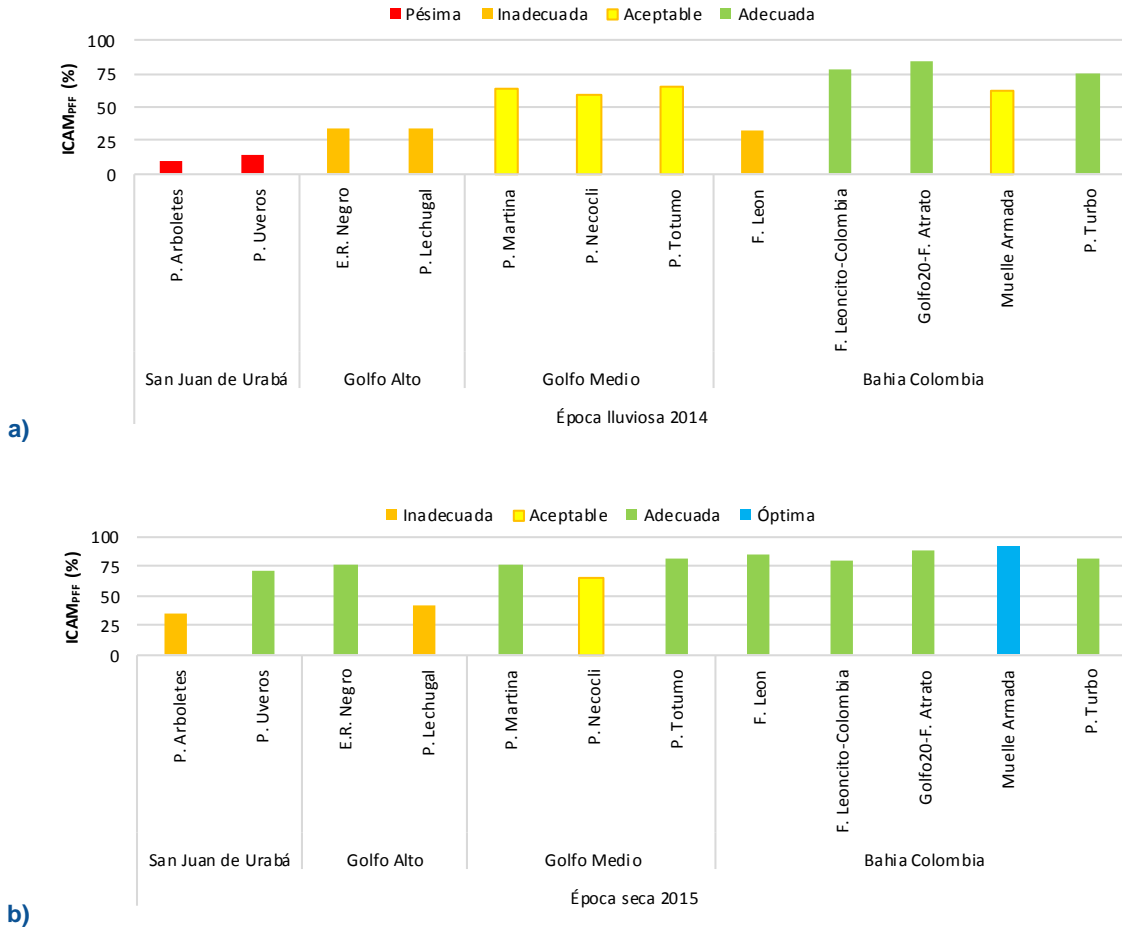


Figura 6.160. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de Antioquia evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna ( $ICAM_{PFF}$ ), en las épocas lluviosa 2014 y época seca 2015.

## 6.8.2 CONCLUSIONES

La calidad fisicoquímica del agua en base a las concentraciones de oxígeno disuelto es inadecuada para la preservación de flora y fauna en algunos ríos del departamento con alto nivel de intervención antrópico por vertimientos de aguas residuales y la influencia de áreas agrícolas, puesto que se presentan condiciones subóxicas, o de sobresaturación, que afecta el desarrollo de organismos aerobios. Los valores de pH del agua superficial en general aunque cumplen con los criterios de calidad para preservación de la biota acuática en aguas cálidas, no indican realmente el estado de calidad del agua.

La contaminación microbiológica de las aguas marinas y costeras del departamento de Antioquia es alta, lo que afecta la calidad de las mismas para el desarrollo de actividades recreativas por contacto primario y secundario, lo cual representa un riesgo alto para la salud pública, por lo que se requiere la gestión y mejora de los sistemas de tratamiento de los residuos domésticos en las poblaciones costeras, por parte de las autoridades competentes.

En las aguas de los ríos y playas del departamento de Antioquia están presentes metales pesados como hierro y mercurio, en concentraciones que superan los valores de referencia para efectos crónicos y agudos de la NOAA. Es importante que se mejoren las herramientas técnicas y continúe el monitoreo de estos metales para conocer el comportamiento de estos contaminantes en las aguas costera del departamento, y el riesgo ambiental asociado.

# Regional Costa del Pacífico



**Puente El Morro, Nariño. Foto: Ostin Garcés**



## 7. CALIDAD DE LAS AGUAS EN LA COSTA PACÍFICA

La costa Pacífica colombiana comprende los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño, con una longitud de línea de costa de 1.392 km aproximadamente ([Posada et al., 2009](#)). Geomorfológicamente, presenta dos tipos de costas contrastante, la costa alta montañosa desde la frontera con Panamá, hasta el sur de cabo Corriente, y la costa baja con geformas y ambientes sedimentarios variados, desde el sur de cabo Corriente hasta la frontera con Ecuador ([Martínez, 1992](#)). La región del Pacífico se caracteriza por tener un clima bastante diverso, con abundantes lluvias en el año debido a la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y otros factores de carácter regional y local, con lluvias promedio de 2.300 mm anual y grandes fluctuaciones de marea de aproximadamente 3,7 m ([Eslava, 1994](#); [Garay et al., 2006](#)).

En los muestreos realizados en las épocas de altas precipitaciones de 2014 (en adelante, lluviosa 2014) y de bajas precipitaciones de 2015 (en adelante, seca 2015), se registraron en el agua superficial salinidades entre 0,0 y 32,8, siendo los valores más altos las aguas marinas de la isla Gorgona, Bahía Solano y la ensenada de Tumaco, y los valores más bajos corresponden a estaciones fluviales de ríos. En los departamentos, la salinidad promedio fue de  $22,6 \pm 9,9$  en Chocó,  $22,27 \pm 10,94$  en Nariño,  $17,7 \pm 13,47$  en Cauca y  $16,10 \pm 6,59$  en Valle del Cauca.

El oxígeno disuelto (OD) fluctuó entre 2,41 y 8,18 mg de  $O_2/L$ , encontrándose en Nariño, Valle del Cauca y Chocó los rangos más amplios en la época lluviosa 2014 (Figura 7.1). En las aguas fluviales (Figura 7.1a), estuarinas y marinas (Figura 7.1b) en la costa Pacífica, fueron pocos los registros de OD por debajo del valor mínimo permisible (4,0 mg de  $O_2/L$ ; [MinSalud, 1984](#)), solo el 6 % de las mediciones estuvieron por debajo del límite permisible, y corresponden a estaciones con mayor influencia antrópica de las poblaciones de Tumaco, Buenaventura y Timbiquí, los cuales vierten aguas residuales domésticas sin ningún tipo de tratamiento previo a los cuerpos de agua, el efecto se intensifica durante la marea baja cuando hay mayor influencia de aguas continentales, al subir la marea, generalmente la calidad del agua mejora porque hay un aumento en la dilución de la materia orgánica contenida ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)).

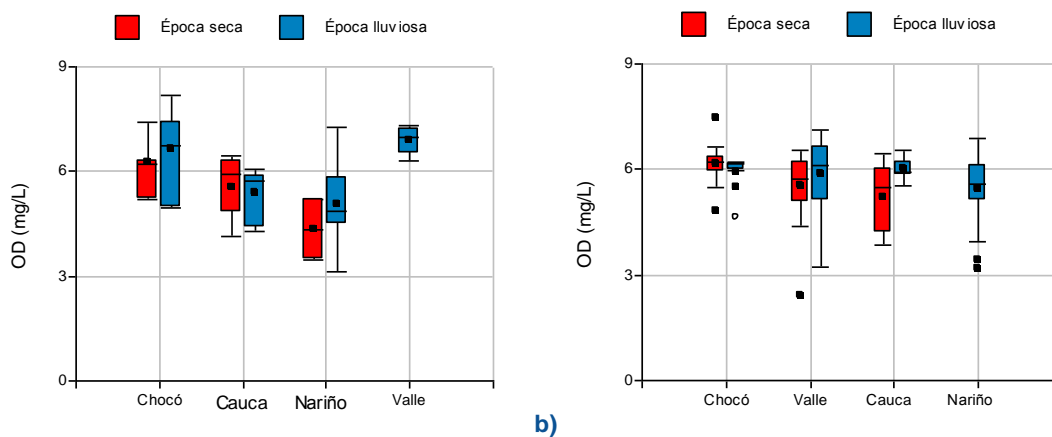
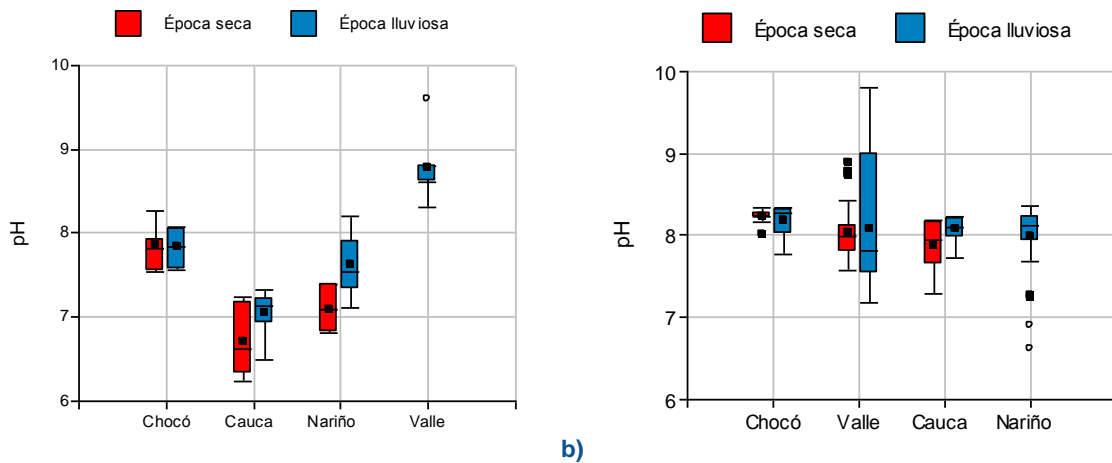


Figura 7.1. Oxígeno disuelto (OD) medido en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina - estuarina (b) de los departamentos de la costa Pacífica colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

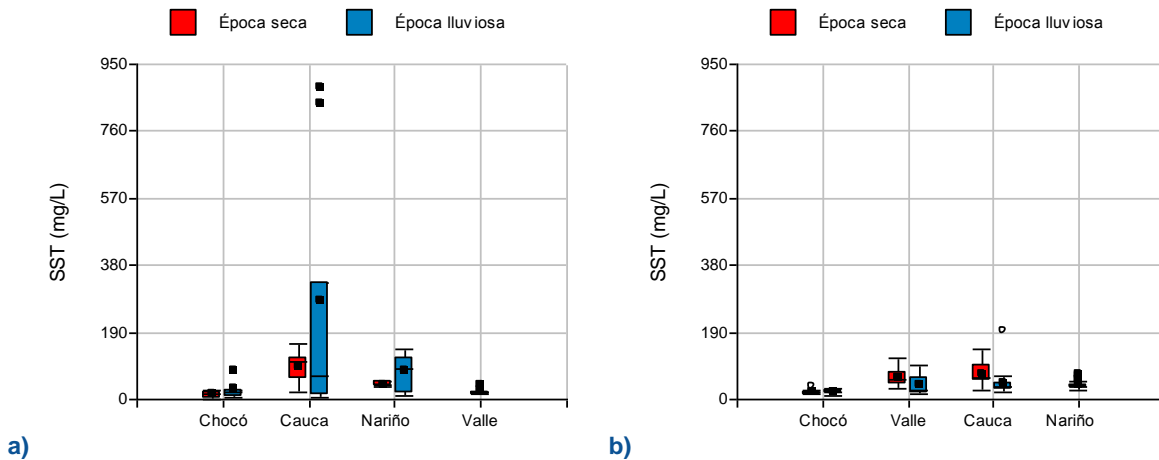
Los valores de pH en las aguas fluviales oscilaron entre 6,50 y 9,60 en la época lluviosa 2014 y entre 6,23 y 8,26 en la época seca 2015 (Figura 7.2a). En los departamentos de Chocó, Cauca y Nariño, los valores de pH registrados se encontraron dentro del rango permisible (4,5-9,0) para este tipo de agua según la legislación ([MinSalud, 1984](#)). En el departamento de Valle del Cauca se registró un valor superior al límite superior permisible (9,60), en el río Dagua en la época lluviosa 2014 en marea alta, con influencia del agua marina y posiblemente por la actividad del fitoplancton, que en el proceso de fotosíntesis consume CO<sub>2</sub> favoreciendo en el incremento del pH ([Murgel, 1984](#); [Manahan, 2007](#)). En las estaciones con tipo de aguas estuarinas y marinas, el pH fluctuó entre 6,62 y 9,80 en época lluviosa 2014, y entre 7,29 y 8,89 en época seca 2015, encontrándose valores que sobrepasan el límite máximo permisible (8,5) para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas marinas y estuarinas ([MinSalud, 1984](#)) en la bahía de Buenaventura durante la época lluviosa, por la alta productividad de sus aguas ([Ríos-Marmol et al., 2015](#)).



**a)** **b)**  
**Figura 7.2. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina -estuarina (b) de los departamentos de la costa Pacífica colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Los sólidos suspendidos totales (SST) se encontraron en mayor concentración en las estaciones de los ríos (Figura 7.3a) en la época lluviosa 2014, en los departamentos de Cauca y Nariño, asociados a un mayor transporte de sedimentos y materia orgánica que son arrastrados por los ríos por efecto de la erosión, resuspensión de sedimentos y vertimientos de aguas residuales de poblaciones ribereñas ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). En las estaciones de agua tipo estuarinas y marinas (Figura 7.3b), las mayores concentraciones de SST están asociadas a las desembocaduras de los ríos caudalosos de Nariño y Cauca, que además reciben aporte de detritus de los exuberantes manglares que se desarrollan en sus riberas. En la zona insular isla Gorgona en Cauca, se registraron entre 18,4 y 134 mg de SST/L, encontrándose los valores más elevados en las estaciones playa Blanca (134 mg de SST/L) y Gorgonilla (56,8 mg de SST/L) en la época seca 2015, valores que son considerados perjudiciales para los arrecifes que en esta zona se desarrollan ([Fabricius, 2005](#)).





**Figura 7.3. Sólidos suspendidos totales medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina -estuarina (b) de los departamentos de la costa Pacífica colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Los nutrientes inorgánicos disueltos determinados como el amonio, nitrito, nitrato (Figura 7.4), y ortofosfatos (Figura 7.5) se encontraron en mayores concentraciones en la época lluviosa 2014, en comparación con la época seca 2015. Estas concentraciones están asociadas a vertimientos de aguas residuales y las escorrentías en áreas agrícolas, las cuales son fuentes de nutrientes, que finalmente llegan a los ríos y al océano Pacífico (Escobar, 2000). En las aguas fluviales de los departamentos de Chocó, Cauca y Nariño las concentraciones de amonio fueron más altas en la época seca en comparación con la época lluviosa (Figura 7.4A2), mientras que en las aguas estuarinas y marinas de estos mismos departamentos, las mayores concentraciones de amonio se presentaron en la época lluviosa (Figura 7.4A2). Nariño y Valle del Cauca se destacan por presentar los mayores valores de nitratos y nitritos tanto en aguas fluviales (Figura 7.4B1 y C1) como en aguas estuarinas y marinas (Figura 7.4B2 y C2).

Las concentraciones de ortofosfatos en las aguas fluviales oscilaron entre 4,30 y 21,6  $\mu\text{g/L}$  en la época lluviosa 2014 y entre 2,80 y 45,7  $\mu\text{g/L}$  en la época seca 2015, presentándose en los departamentos de Nariño y Cauca los rangos de variación más amplios (Figura 7.5a). En las aguas marinas y estuarinas se registraron valores de ortofosfatos entre 1,40 y 144,9  $\mu\text{g/L}$  en la época lluviosa 2014 y entre 2,60 y 191,0  $\mu\text{g/L}$  en la época seca 2015 (Figura 7.5b), siendo los departamentos de Valle del Cauca y Cauca los que registraron los mayores valores. Estos resultados están asociados a vertimientos de aguas residuales de las poblaciones ribereñas, a las escorrentías agrícolas y a los aportes naturales de detritus del manglar (Benítez-Nelson, 2000; Torres *et al.*, 2001; Vivas-Aguas *et al.*, 2015a).

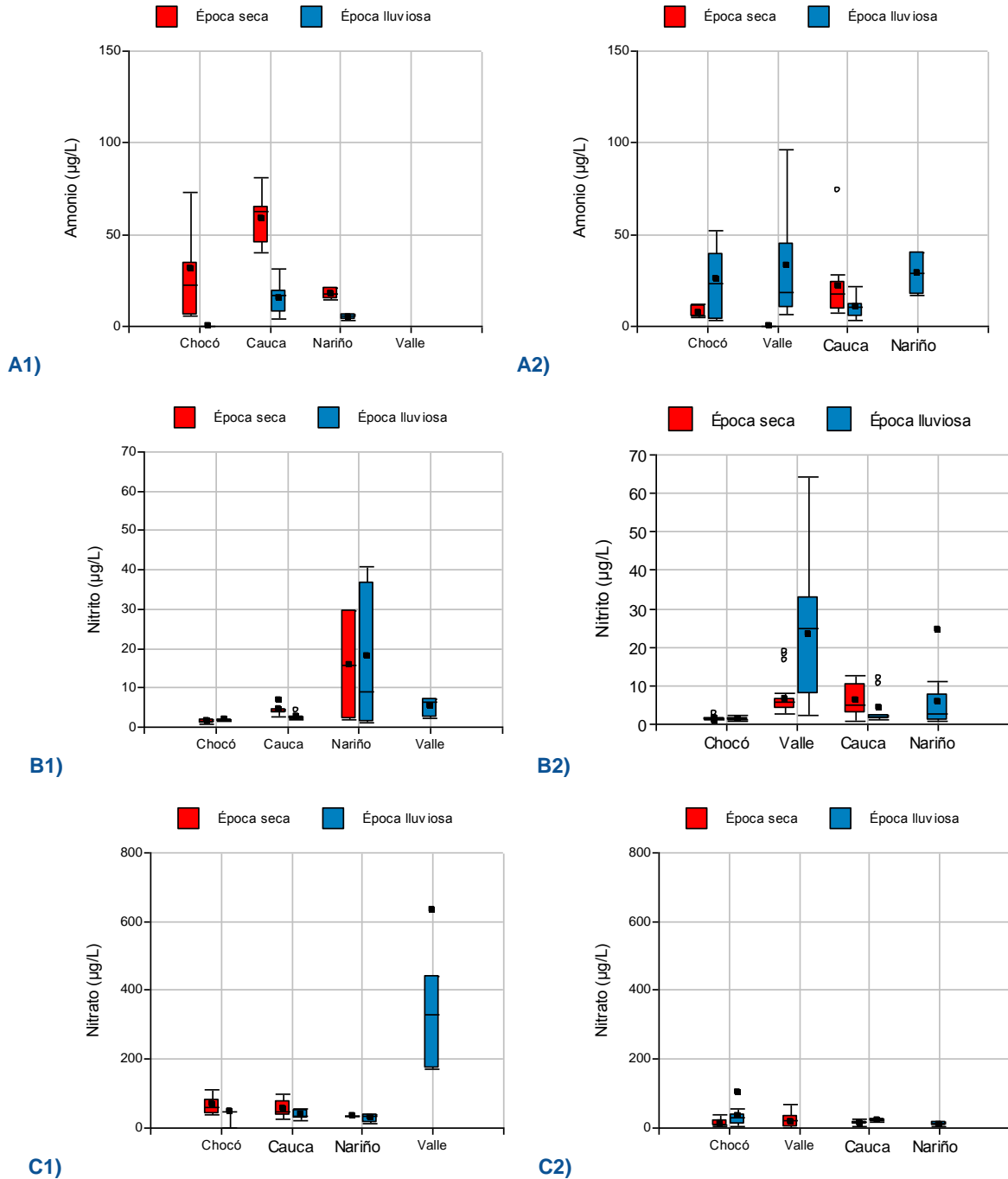


Figura 7.4. Nutrientes inorgánicos disueltos: (A) Amonio ( $N-NH_4^+$ ), (B) Nitritos ( $N-NO_2^-$ ) y (C) Nitratos ( $N-NO_3^-$ ), medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (1) y marina - estuarina (2) de los departamentos de la costa Pacífico colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

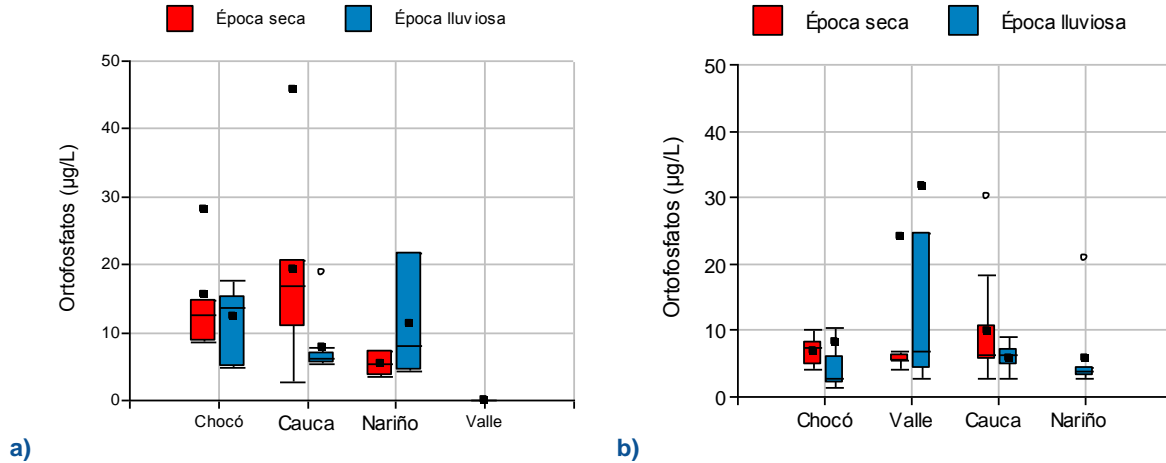


Figura 7.5. Ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina -estuarina (b) de los departamentos de la costa Pacífica colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Las concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) en las aguas superficiales oscilaron entre valores menor al límite de detección y 540.000 NMP/100 mL, presentándose en las aguas de tipo fluvial las concentraciones más elevadas (Figura 7.6a), principalmente en el departamento de Chocó en la Quebrada Chocolatal y el río Jella los cuales circulan por áreas urbanas del municipio de Bahía Solano, en donde reciben vertimientos de aguas residuales con alta carga microbiana, los cuales se reflejaron en los resultados. En las estaciones de tipo estuarino y marino (Figura 7.6b) las concentraciones de CTE más elevadas se presentaron en la época lluviosa 2014. Valle del Cauca y Nariño presentaron los valores más altos, sobrepasando el límite permisible para el uso recreativo del agua por contacto primario (<200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)) en un 53,9 % de los muestreos realizados en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

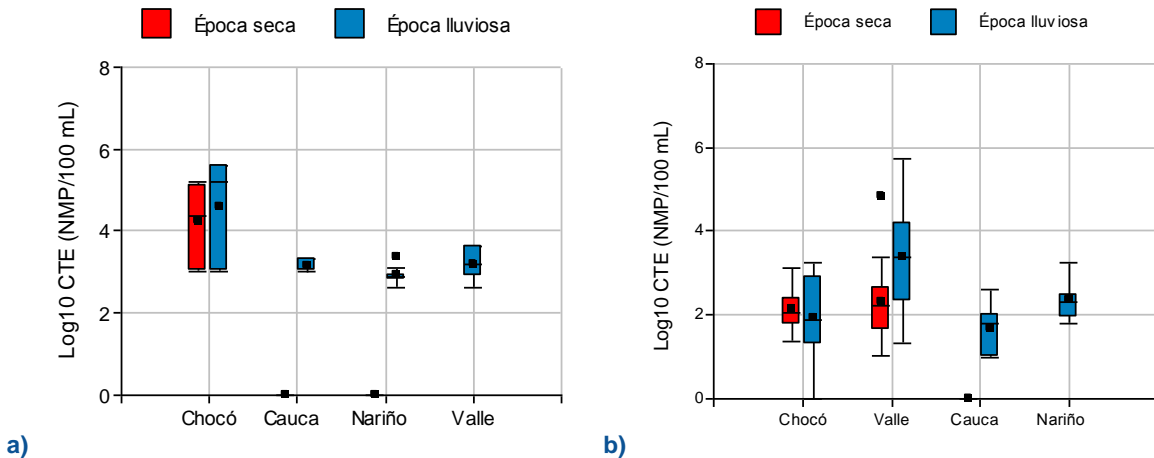
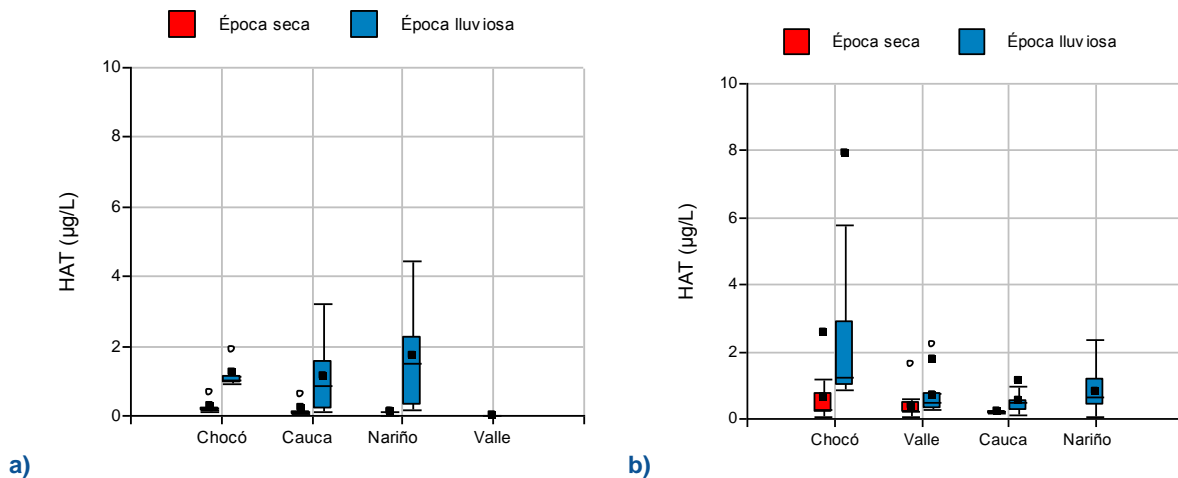


Figura 7.6. Logaritmo base 10 de coliformes termotolerantes (CTE) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina -estuarina (b) de los departamentos de la costa Pacífica colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

En las aguas superficiales fluviales, estuarinas y marinas en la costa Pacífica colombiana se registró la presencia de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) debido al uso de combustible en actividades cotidianas como el transporte entre asentamientos humanos por medio de lanchas con motor, además del tráfico de embarcaciones en las zonas portuarias de la región y también por eventos de derrame de combustible por causa de atentados a oleoductos o derrames accidentales ([Invemar, 2015c](#)). En las aguas fluviales, se destaca el departamento de Nariño por presentar los valores más altos en la época lluviosa 2014 (Figura 7.7a), esto está asociado a derrame y la extracción ilegal de combustibles que han afectado ríos como Rosario y Mira. En las aguas estuarinas y marinas, las concentraciones de HAT más elevados se han registrado también en la época lluviosa 2014, en Chocó y Nariño los valores fueron los más altos, asociados a eventos puntuales de derrame de combustibles. No obstante, aunque la presencia de este contaminante es común en todos los departamentos de la costa Pacífica, los valores que se han registrado no superan la referencia de 10  $\mu\text{g/L}$  para aguas marinas no contaminadas ([UNESCO, 1984](#)).



**Figura 7.7. Hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM de tipo fluvial (a) y marina -estuarina (b) de los departamentos de la costa Pacífica colombiana, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

## **8. CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA COSTA PACÍFICA**



El Morro, Nariño. Foto: Ostin Garcés



# Chocó



Playa de la Ensenada de Utría, Chocó. Foto: Ostin Garcés

## **EQUIPO TÉCNICO CODECHOCO**

*Iván Rodrigo Restrepo – Subdirector de Calidad y Control Ambiental  
Samir Serna Córdoba – Químico, Contratista  
Danny Yennecsy Palomeque Largacha – Ingeniera Ambiental, Contratista*





## 8.1 CHOCÓ

El Departamento de Chocó está situado al occidente del país, entre los 04° 05' y 08° 40' de latitud norte y los 75° 50' y 77° 55' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 46.530 km<sup>2</sup> y con una diversidad de climas, cálido en un 92 %, templado en 6,4 % y el resto entre frío y muy frío ([IGAC, 2008](#)).

Las condiciones climáticas están determinadas fundamentalmente por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) que genera precipitación durante todo el año en una distribución de tipo bimodal, que se caracteriza por la presencia alternada de dos temporadas, muy lluviosas y menos lluviosas. La primera temporada lluviosa inicia normalmente en el mes de abril y se prolonga hasta finales de junio. La segunda temporada lluviosa, la más intensa, incluye el periodo de septiembre a noviembre, en las zonas norte y central; y octubre a diciembre en la zona sur, con máximas intensidades en octubre y noviembre. La temporada menos lluviosa, incluye los meses de diciembre y marzo, cuando la ZCIT se encuentra en el sur y no ejerce influencia condicionante en la región del Pacífico; excepto en la zona Sur donde la ZCIT logra que éste no sea el periodo menos lluvioso sino que sean los meses de julio, agosto y parte de septiembre, cuando la ZCIT está en el norte del país ([Poveda, 2004](#)).

La población costera del departamento al año 2015 se estimó en 78.585 habitantes, distribuidos en los municipios de Acandí (12,2 %) y Unguía (19,2 %) en la costa Caribe y en Bahía Solano (11,9 %), Bajo Baudó (22,1 %), Litoral San Juan (19,4 %), Juradó (4,2 %) y Nuquí (10,9 %; [DANE, 2015](#)) en la costa Pacífica. Las coberturas de alcantarillado son bajas (2 – 45 %; DANE), y la producción de aguas residuales doméstica en estos municipios es proporcional a la población ([UNEP-RCU/CEP, 2010](#)). La producción de residuos sólidos oscila entre 0,08 y 3,21 t/día, los cuales son dispuestos en los botaderos a cielo abierto y en celdas transitorias ([Supersevicios, 2014a](#)).

Con el propósito de apoyar con información sobre temas de calidad ambiental marina a la Corporación Autónoma Regional del Chocó (CODECHOCÓ), para la gestión ambiental del recurso hídrico marino y costero del departamento, la REDCAM ha establecido una red de 17 estaciones de muestreo para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras, las cuales se encuentran ubicadas en la extensión central del departamento en la costa Pacífica, dadas las condiciones de acceso a la zona. El área de muestreo incluye las zonas de bahía Solano y el golfo de Tribugá donde se localiza el Parque Nacional Natural de Utría, los esteros Tribugá y Jurubidá, playas de interés turístico y ríos importantes que desembocan en el litoral Pacífico como el San Juan, Jella, Valle y Nuquí (Figura 8.1).

En este informe se presentan los resultados de los muestreos realizados por el INVEMAR y CODECHOCÓ en el mes de noviembre del 2014 (época de alta precipitación) y en el mes de mayo del 2015 (época de baja precipitación), por lo cual, los gráficos y el análisis de la información se muestran como la época lluviosa 2014 y época seca 2015 respectivamente, para ser coherentes con la dinámica del análisis de la REDCAM.

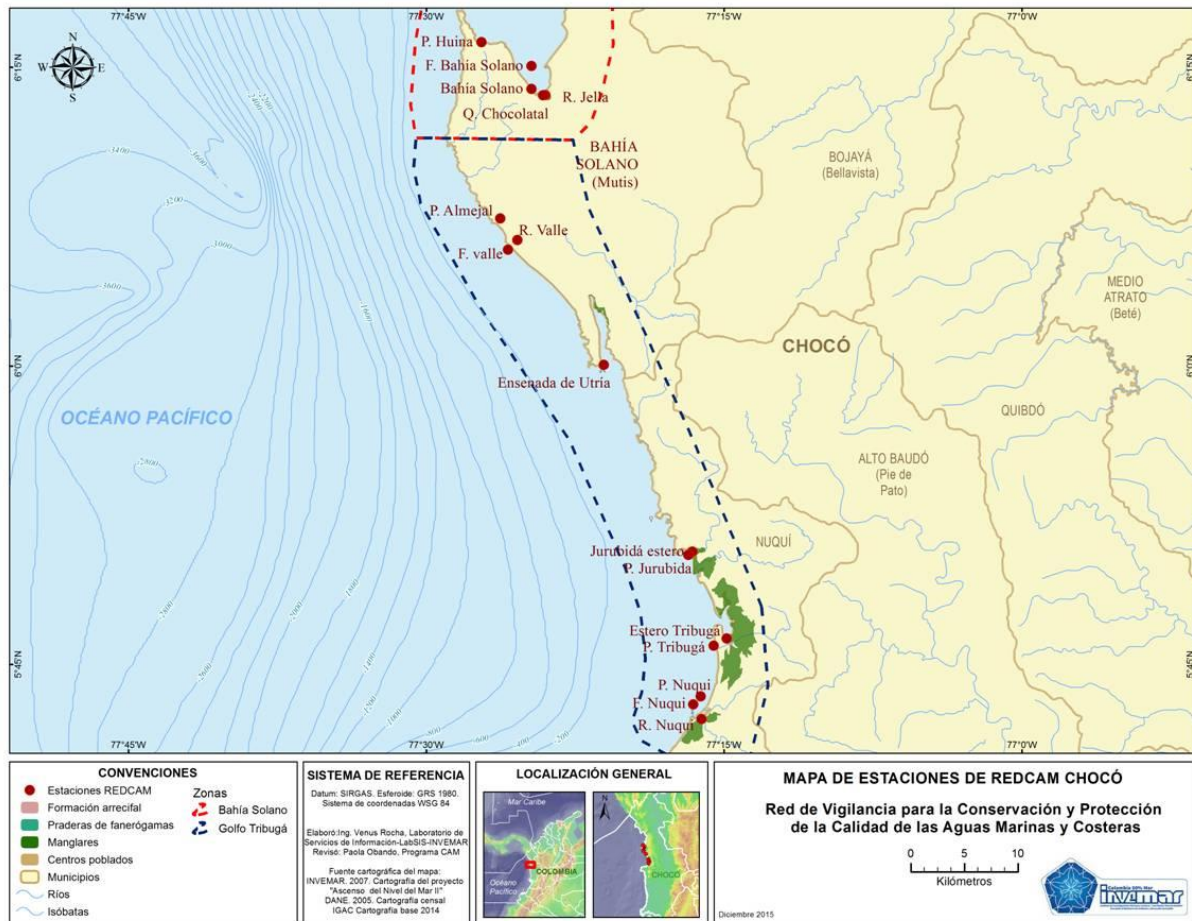


Figura 8.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Chocó.

## 8.1.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

#### Variables fisicoquímicas

#### *In situ y Sólidos suspendidos totales*

Las condiciones fisicoquímicas del agua marino costera del departamento de Chocó se relacionan con las épocas climáticas, la hidrodinámica de las mareas y crecientes de los ríos y por las actividades socioeconómicas que se desarrollan en la franja costera ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#)). La salinidad del agua osciló entre 0 y 31,3 (Figura 8.2), encontrándose en los ríos, valores que se relacionaron con los estados de marea (alta, media y baja), como en los ríos Nuquí y Jella, y los esteros Jurubidá y Tribugá en donde se registraron bajas salinidades en la época lluviosa 2014 en marea baja con predominio de aguas dulceacuícolas del río, y salinidades altas (alrededor de 30 partes) en época seca 2015 en marea alta-media con dominio de aguas marinas mezcladas con los aportes de los ríos.

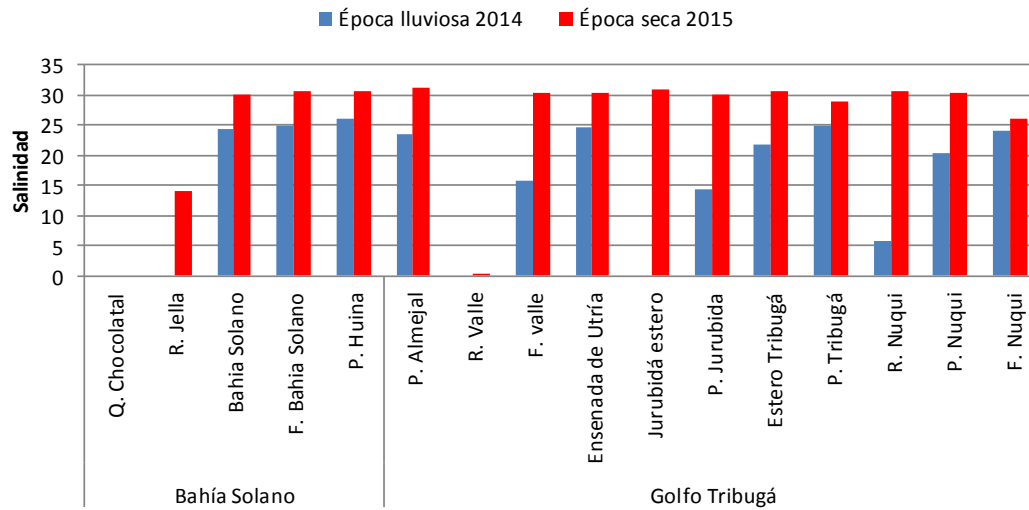


Figura 8.2. Salinidad medida en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Chocó, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El oxígeno disuelto (OD) se encontró entre 4,64 y 8,18 mg de O<sub>2</sub>/L, valores adecuados teniendo en cuenta el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en la legislación nacional (>4,0 mg de O<sub>2</sub>/L, [MinSalud, 1984](#)). Los valores más bajos y altos se presentó en la época lluviosa 2014 (4,64 y 8,18 mg de O<sub>2</sub>/L) comprado con la época seca 2015 (4,79 y 7,48 mg de O<sub>2</sub>/L). Las menores concentraciones se presentaron en las estaciones estero Tribugá en ambas épocas climáticas y en el río Nuquí en época lluviosa 2014, las cuales están influenciadas por los residuos domésticos de la población de Nuquí y por la influencia del manglar. En el estero Jurubidá en época lluviosa 2015 no se realizaron mediciones de OD.

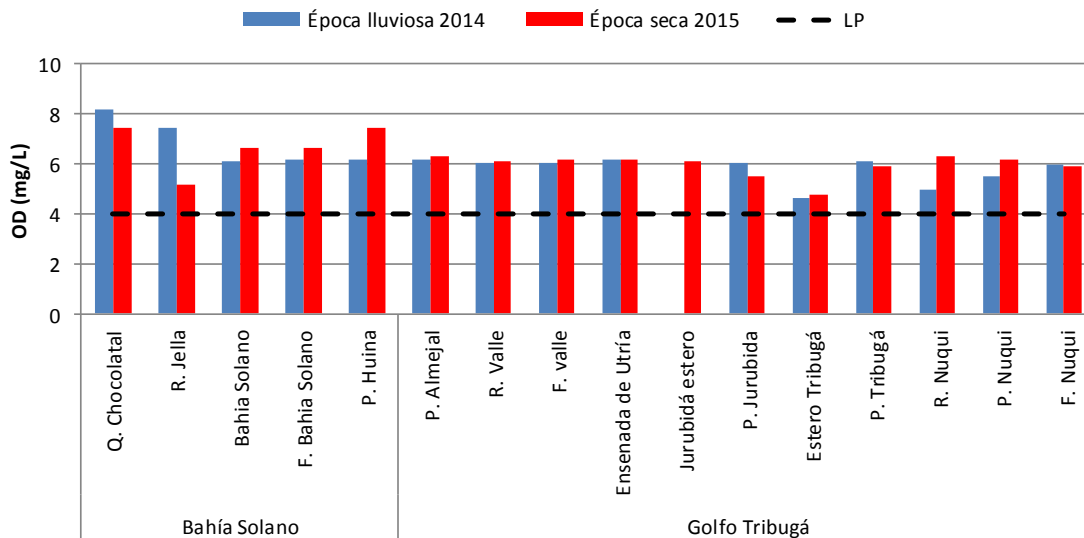
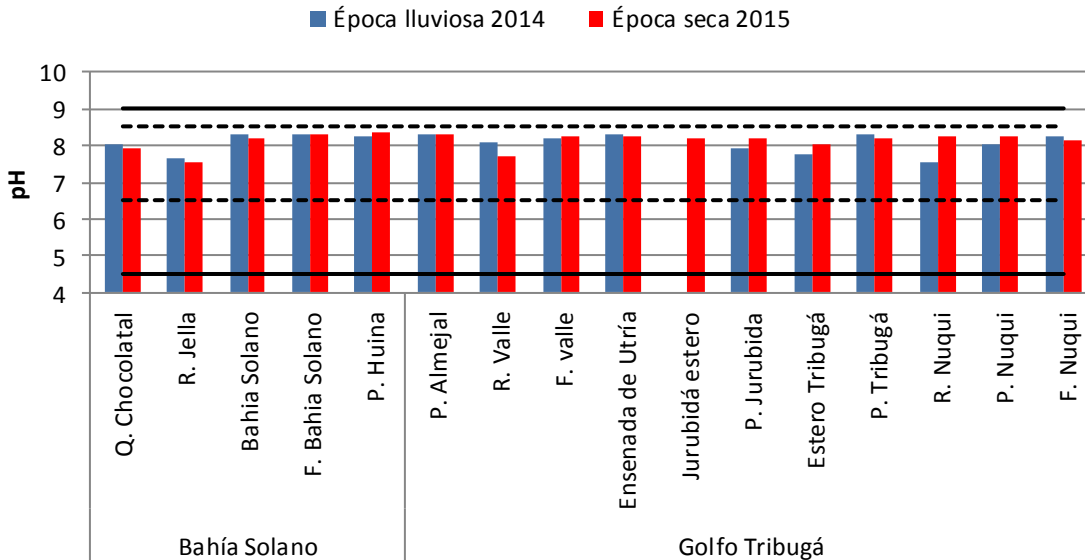


Figura 8.3. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Chocó, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El pH osciló entre 7,55 y 8,26 en las estaciones de los ríos, y entre 7,92 y 8,34 en las estaciones de las playas y frentes de ríos (Figura 8.4), valores que cumplieron con los rangos permisibles establecidos en la legislación nacional para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0) y en aguas marinas y estuarinas (6,5- 8,5; [Minsalud, 1984](#)), sin presentar diferencias significativas entre las épocas climáticas ( $p>0,05$ ). La temperatura del agua presentó valores entre 24,3 y 37,4 °C.



**Figura 8.4. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Chocó, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Con el propósito de conocer las estaciones con mayor afinidad entre sí, teniendo en cuenta las variables que caracterizan las condiciones fisicoquímicas del agua descritas anteriormente (oxígeno disuelto, salinidad, temperatura y pH), se realizó un análisis de conglomerados que permitió separar las estaciones en tres grupos según el tipo de agua, donde la salinidad fue la variable determinante (Figura 8.5). Las estaciones de los ríos, quebrada y el estero Jurubidá se separaron de las demás estaciones definiéndose como fluviales (líneas de color verde en el dendrograma) por presentar salinidades entre 0 y 14. Las estaciones frente bahía Solano y bahía Solano se clasificaron como marinas al registrar salinidades entre 24,5 y 30,6 (líneas de color rojo en el dendrograma); el resto de las estaciones registró salinidades entre 5,7 y 31, 3 clasificándose como estuarinas (líneas de color azul en el dendrograma).

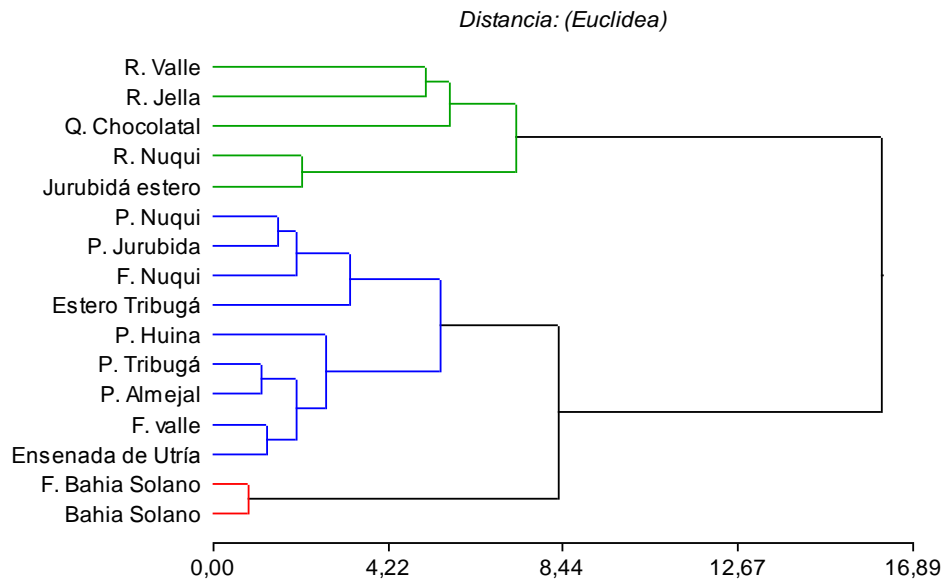


Figura 8.5. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento de Chocó para las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas verdes indican el primer grupo fluvial, las rojas las de tipo marino y las de azul las estuarinas.

Se evaluaron los sólidos suspendidos totales (SST) como indicadores de la calidad de las aguas superficiales en el departamento del Chocó formando dos zonas de muestreo: Bahía Solano y golfo Tribugá, encontrándose en esta última zona la concentración más elevada en el río Nuquí con 79,3 mg/L ( Figura 8.6) durante la época lluviosa 2014. Esto puede deberse a que durante la época lluviosa las aguas de escorrentía arrastran arenas y limos, además de que las corrientes resuspenden el material particulado elevando la concentración de sólidos en suspensión ([Beltrán y Rangel, 2012](#)).

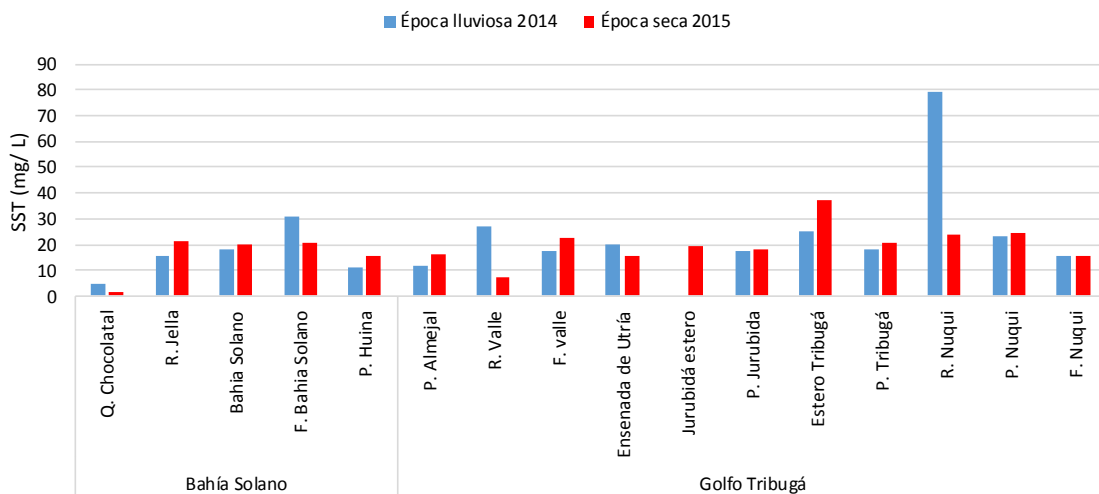


Figura 8.6. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones de muestreo del departamento del Chocó, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente la estación río Nuquí ha presentado promedios elevados de SST en comparación con las demás estaciones del departamento, posiblemente por el aporte de residuos domésticos de las poblaciones ribereñas. Los valores más bajos de SST en ambas épocas climáticas se presentaron en la quebrada Chocolatal (4,6 mg/L durante la época lluviosa 2014, y 1,75 en la época seca 2015) por la influencia de vertimientos de aguas residuales. Cabe destacar que en la estación estero de Tribugá se registró un valor de 36,9 mg/L en la época seca, sin embargo, esta concentración representa menos de la mitad de la encontrada en el río Nuquí, en donde existe mayor influencia antropogénica por el pueblo de Nuquí. Los datos históricos muestran que este comportamiento ha sido típico para la estación del río Nuquí desde 2001 hasta 2015, con una alta variabilidad, como muestra la desviación estándar (Figura 8.7). Esto se explica con el hecho de que esta variable se ve afectada por diferentes factores como intensidad de lluvias, vertimientos y temperatura (Beltrán y Rangel, 2012).

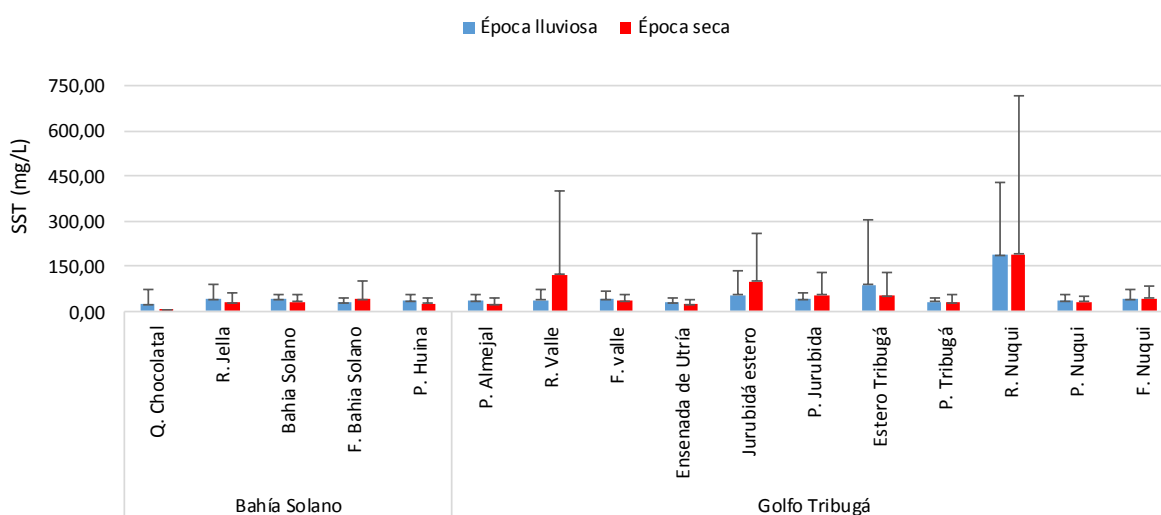


Figura 8.7. Promedios histórico (2001 – 2015) de las concentraciones de Sólidos Suspendedos Totales (SST) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Chocó, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan la desviación estándar.

### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

Se determinaron las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos en forma de nitrito ( $N-NO_2^-$ ), nitrato ( $N-NO_3^-$ ), amonio ( $N-NH_4^+$ ) y ortofosfatos ( $P-PO_4^{3-}$ ) como indicadores de la calidad de las aguas. Estos nutrientes tienen diversos orígenes como disolución geológica, arrastre de los depósitos atmosféricos por las lluvias, escorrentías y descomposición de la materia orgánica presente por acción de microorganismos (Murgel, 1984; Torres et al., 2001; Manahan, 2007). También pueden ser de origen antropogénico por el uso de agroquímicos, vertimiento de aguas residuales domésticas o industriales (Cárdenas y Sánchez, 2013).

El incremento de éstos nutrientes, puede llevar a los ecosistemas a presentar procesos de eutrofización, los cuales tienen origen principalmente antrópico y traen consecuencias como la disminución de la biodiversidad por proliferación de ciertas especies vegetales como algas que a su vez pueden generar una disminución del oxígeno disuelto y por ende amenazar la

vida de otras especies ([Murgel, 1984](#); [Fontúrbel, 2005](#)); incremento de la materia orgánica en descomposición que puede generar además de malos olores, la presencia de organismos que representen riesgos para la salud; y las elevadas concentraciones de ion nitrito que pueden considerarse como indicios de contaminación debido a su toxicidad ([Murgel, 1984](#); [Manahan, 2007](#); [Cárdenas y Sánchez, 2013](#)).

Los nitritos no presentaron una tendencia marcada de abundancia por época. La mayor concentración se presentó en la estación estero Tribugá (Figura 8.8) en la época seca 2015 (2,6  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2^-/\text{L}$ ), este valor no superó el registro histórico de la estación ( $3,1 \pm 2 \mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2^-/\text{L}$ ), por lo tanto no se considera como riesgoso para el ecosistema.

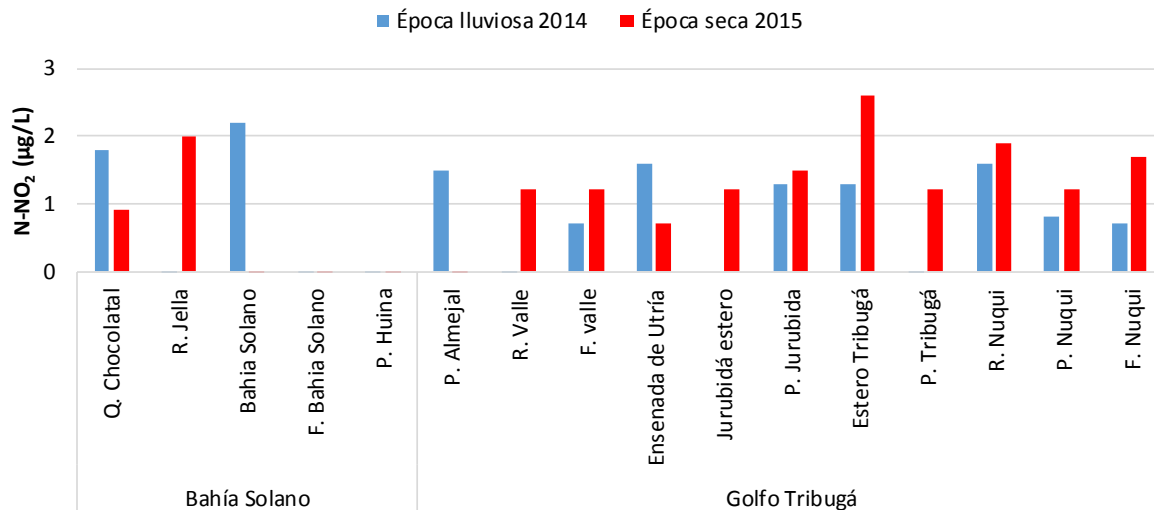


Figura 8.8. Concentraciones de Nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Los nitratos también presentaron su mayor valor en la época seca 2015 en la estación quebrada Chocolatal (Figura 8.9). Históricamente (2001 – 2015) esta estación ha presentado para la misma época valores altos de nutrientes, con un promedio de  $118,8 \pm 96,4 \mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  (Figura 8.10). Estas concentraciones se pueden atribuir a los vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes de la población de Bahía Solano. En la época lluviosa se destacó la estación playa Almejal por presentar la mayor concentración de nitrato ( $103,0 \mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ ; Figura 8.9.), condiciones que ha sido poco común en esta estación, solo en el año 2004 se registró un valor muy alto ( $521,3 \mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ ; [Marín et al., 2004a](#)), lo cual puede atribuirse a los aportes del río Valle.

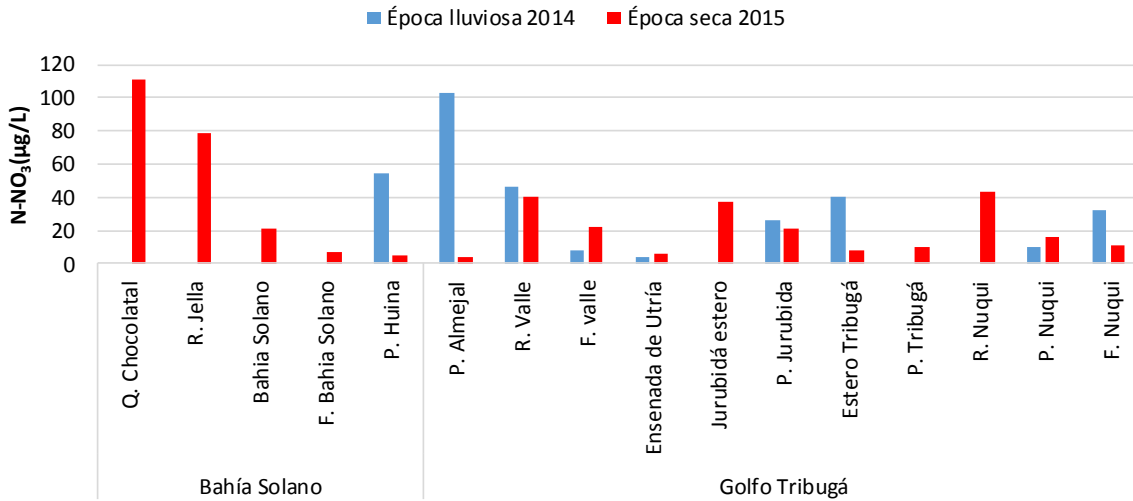


Figura 8.9. Concentraciones de Nitrato ( $N-NO_3^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

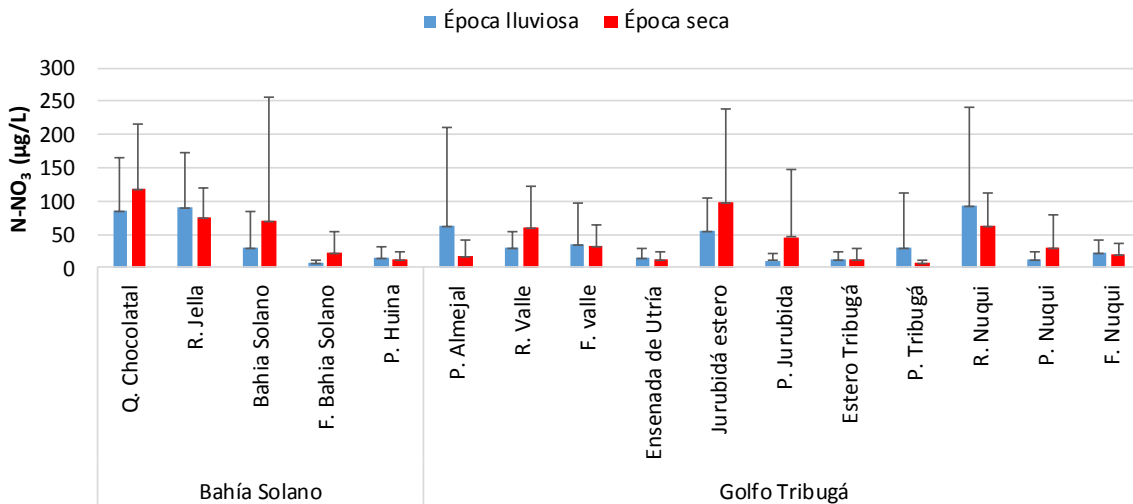


Figura 8.10. Promedios histórico (2001-2015) de las concentraciones de Nitrato ( $N-NO_3^-$ ) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

Las mayores concentraciones de amonio se presentaron en la zona de Bahía Solano (Figura 8.11). En la época lluviosa 2014, los valores más altos se encontraron en las estaciones Bahía Solano ( $51,9 \mu\text{g de } NH_4^+/L$ ) y ensenada de Utría ( $39,3 \mu\text{g de } NH_4^+/L$ ) y en la época seca 2015 en los ríos Jella ( $72,9 \mu\text{g de } NH_4^+/L$ ) y Nuquí ( $34,5 \mu\text{g de } NH_4^+/L$ ; Figura 8.11). Las elevadas concentraciones de amonio se deben principalmente a aportes de aguas residuales de las poblaciones ribereñas, debido a que este catión se encuentra primordialmente asociado a residuos de fertilizantes y heces (Quintero *et al.*, 2010). En la ensenada de Utría la espesa vegetación se convierten en un reservorio de nutrientes por lo tanto las concentraciones de este amonio pueden asociarse a los aportes del detritus de los manglares (Torres *et al.*, 2001).



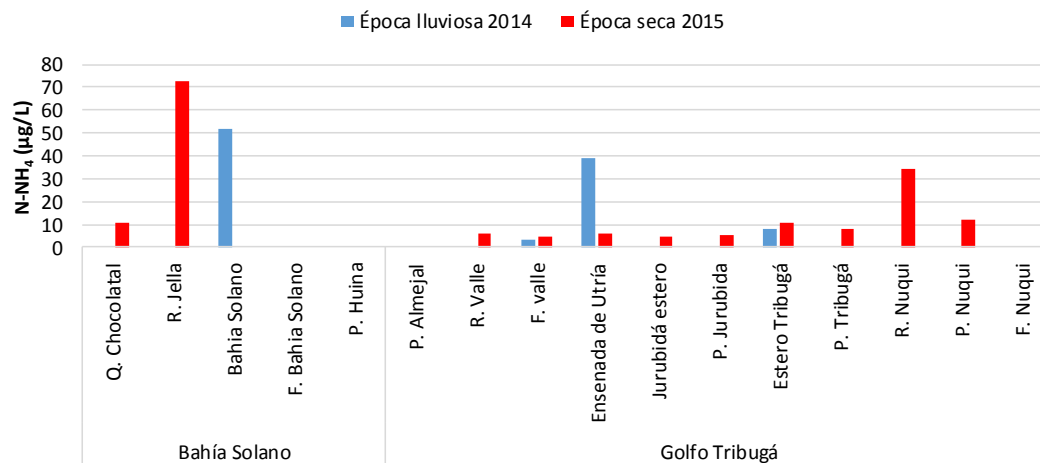


Figura 8.11. Concentraciones de Amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Chocó, para los muestreos realizados en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

En la ensenada de Utría en la época lluviosa 2014, el amonio se encontró por encima de su promedio histórico (15,60 ± 17,12 µg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L) en la misma época climática, de igual forma bahía Solano (17,19 ± 19,52 µg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L) en época lluviosa y el río Nuquí (26,88 ± 25,99 µg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L) en época seca, que a su vez presentó valores del orden de los presentados durante el 2012 (Vivas-Aguas et al., 2012c) en las mismas épocas climáticas y que mostraron tendencia a disminuir durante los dos años siguientes con valores de 4,05 y 8,1 µg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L en 2013 y 2014 respectivamente (Vivas-Aguas et al., 2014a; Vivas-Aguas et al., 2015a). Al contrastar el valor obtenido en el río Jella actualmente con el promedio histórico, se puede observar que esta estación se ha destacado por tener la concentración más alta de amonio en la época seca (Figura 8.12). Este resultado se atribuye a vertimientos de aguas residuales de la población de Bahía Solano.

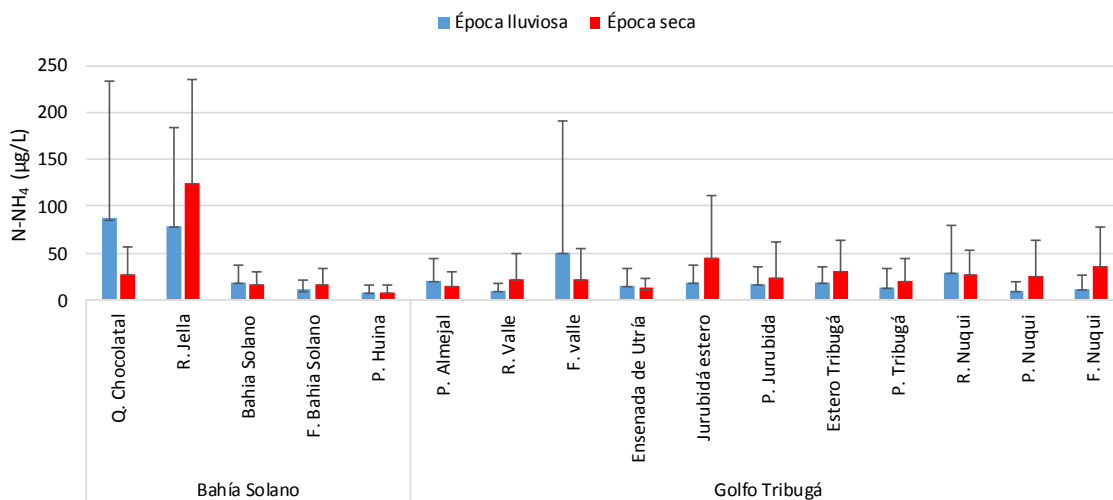
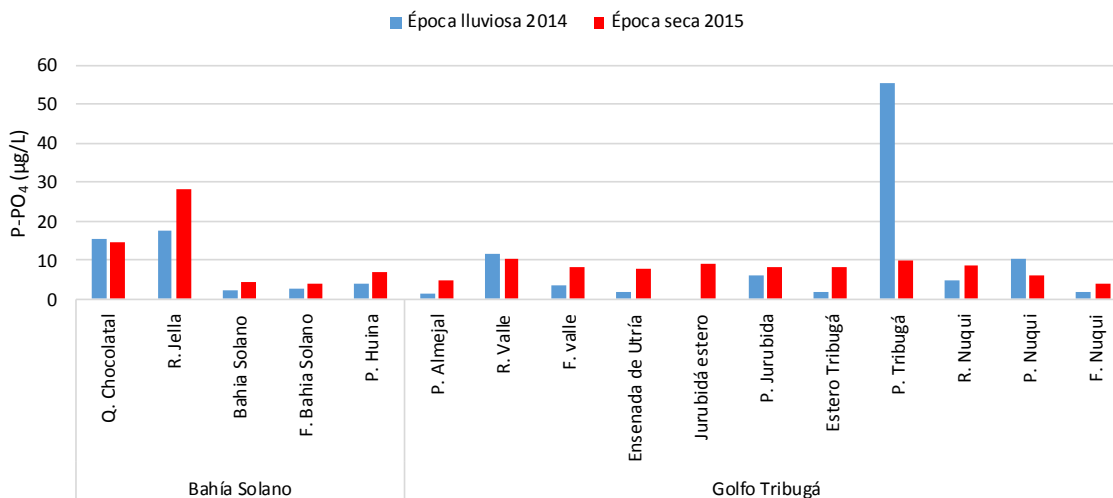


Figura 8.12. Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de Amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Chocó, en épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

La playa Tribugá presentó el valor más elevado de ortofosfatos en la época lluviosa del 2014 (Figura 8.13), los cuales provienen principalmente de vertimientos de residuos domésticos con trazas de detergentes fosfatados. Durante ésta época, las precipitaciones pudieron facilitar el transporte de ortofosfatos por las aguas de escorrentía provenientes de las áreas de cultivo, en las cuales hay presencia de residuos de los fertilizantes utilizados en los cultivos ([Quintero et al., 2010](#)).



**Figura 8.13** Concentraciones de ortofosfatos ( $P-PO_4^{3-}$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Chocó, para los muestreos realizados en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

### Contaminación Microbiológica

El análisis de las condiciones microbiológicas de las aguas marino costeras del departamento del Chocó se realizó a partir de la medición de los coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE). Durante el muestreo, se presentaron inconvenientes con el transporte del material microbiológico, lo cual impidió tener resultados para CTT y CTE en 8 estaciones (río Jella, playa Huina, ensenada de Utría, playa Jurubidá, playa Nuquí, río Nuquí, río Valle y playa Almejal) en la época lluviosa 2014; y de enterococos fecales (EFE) en la seca 2015. Los CTT en las estaciones fluviales sobrepasaron los límites para contacto secundario en ambas temporadas climáticas (Figura 8.14), presentándose la concentración más altas en el río Jella con 1'119.900 NMP de CTT/100 mL ( $\text{Log}_{10}=6,0$ ). En cuanto a las estaciones de aguas marinas y estuarinas, aquellas ubicadas en los municipios de Bahía Solano y Nuquí presentaron las concentraciones de CTT más altas debido a la influencia de los tributarios Jella y Nuquí, respectivamente, sobrepasando los límites de contacto primario para las estaciones Bahía Solano, frente de Bahía Solano, playa Nuquí y frente al río Nuquí ([MinSalud, 1984](#)).

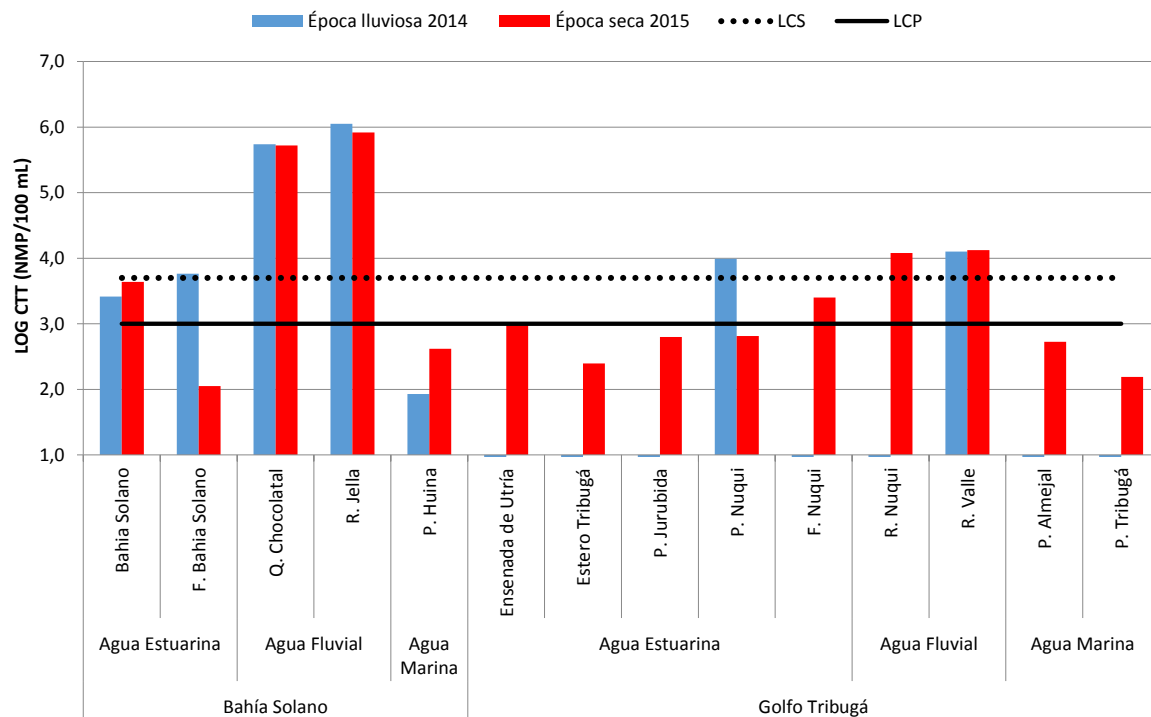
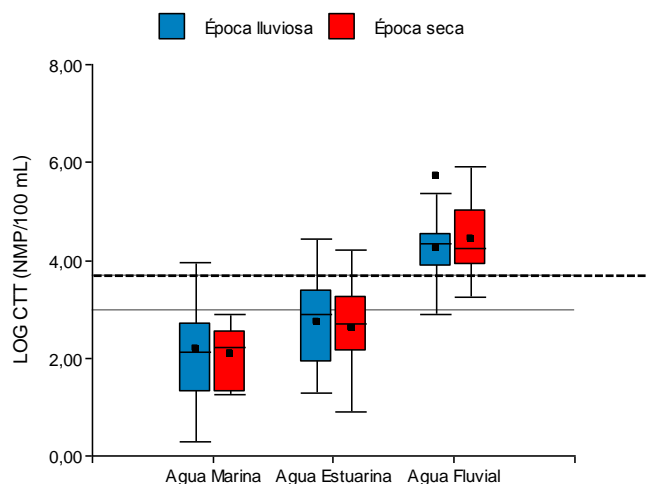


Figura 8.14 Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Chocó en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea sólida color negro corresponde al límite de contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log=3,0), la línea punteada es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7).

Los registros históricos de los CTT en el departamento del Chocó, no solo demuestran una tendencia a que las concentraciones de las estaciones fluviales se encuentren por encima de los límites permisibles para cuerpos de agua con usos recreativos por contacto primario y secundario, sino que no existen diferencias significativas entre las épocas climáticas (Figura 8.15; [MinSalud, 1984](#)). Este resultado se atribuye a que el Pacífico se considera una zona de alta pluviosidad durante todo el año, donde a pesar de tener un periodo de máximas intensidades entre septiembre y noviembre el resto del año se pueden presentar abundantes precipitaciones que mantienen la constante descargas de los tributarios a la zona costera afectando la calidad en las estaciones estuarinas y marinas gran parte del año ([Eslava, 1994](#)).



**Figura 8.15 Variación histórica de las concentraciones de Coliformes totales en cada tipo de agua por época climática en el departamento del Chocó. La línea sólida color negro corresponde al límite de contacto primario (LPS): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), la línea punteada es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7).**

En la mayoría de las estaciones de playa, se registraron condiciones de calidad adecuadas durante la época seca de 2015, a excepción de Bahía Solano y playa Jurubidá, las cuales sobrepasaron el límite para contacto primario para CTE de 200 NMP/100 mL (Tabla 8.1). Estos resultados se atribuyen a la presencia de poblaciones ribereñas cerca a fuentes continentales de aguas, como el río Jella en Bahía Solano o el estero Jurubidá en la playa del mismo nombre, las cuales son en su mayoría palafítica y no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, por lo cual estos residuos líquidos son descargados directamente a cuerpos de agua naturales. Si bien durante el último periodo no se pudieron recolectar suficiente información en cuanto a los EFE, cabe resaltar que los valores se han encontrado en un rango entre 41 y 200 UFC/100 mL, lo cual según los valores de referencia de la OMS, indica un bajo riesgo con menos del 5 % de posibilidad de contraer alguna enfermedad gastrointestinal (OMS, 2003).

**Tabla 8.1 Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) medidos en aguas superficiales de las estaciones de playas con uso turístico del departamento de Chocó durante el último periodo evaluado 2014-2015.**

Estación	CTE (NMP/100 mL)				EFE (UFC/100 mL)			
	Época lluviosa		Época seca		Época lluviosa		Época seca	
	2014	Histórico <sup>1</sup>	2015	Histórico <sup>1</sup>	2014	Histórico <sup>2</sup>	2015	Histórico <sup>2</sup>
Bahía Solano	776*	70 – 2.400	1.354*	45 – 1.700	6	3 – 50	ND	<LD – 32
Playa Huina	1	1 – 3.000	108,1	20 – 790	3	<LD – 5	ND	<LD – 4
Ensenada de Utría	ND	20 – 2.400	111,9	20 – 490	ND	<LD – 25	ND	<LD – 32
Playa Almejal	ND	20 – 3.500	56,5	18 – 490	ND	<LD – 54	ND	<LD – 28
Playa Jurubidá	ND	20 – 490	248,9*	20 – 441	ND	<LD – 59	ND	<LD – 35
Playa Nuquí	985*	40 – 22.000	23,5	<LD – 16.000	ND	<LD – 57	ND	<LD – 40
Playa Tribugá	1	1 – 230	140,1	18 – 170	3	<LD – 17	ND	<LD – 12

<LD= Valores por debajo del límite de detección de la técnica para CTE (1,8 NMP/100 mL) y EFE (1 UFC/100 mL).

ND= Valores no disponibles por falta de registros históricos, la medición se inició en el segundo semestre de 2014.

\* Valores que se encuentran por encima del límite permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL; MinSalud, 1984).

<sup>1</sup> Rango histórico de CTE registrado en la base de datos de la REDCAM desde el 2002 hasta la fecha (INVEMAR, 2015a).

<sup>2</sup> Rango histórico de Enterococos fecales registrado en la base de datos de la REDCAM desde el 2006 hasta la fecha (INVEMAR, 2015a).

### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Las concentraciones de HAT determinadas en el agua superficial en la mayoría de las estaciones de muestreo, no superaron el valor de referencia de 10 µg/L considerado de alto riesgo para la biota acuática (UNESCO, 1984), a excepción de la estación frente al río Nuquí (49,33 µg/L) el cual presentó el valor más alto registrado durante la época lluviosa 2014 (Figura 6.82). La concentración de HAT encontrada en frente del río Nuquí fue el más alto registrado históricamente desde el año 2001, superando cerca de cinco veces el valor de referencia, que posiblemente pudo ser consecuencia de un evento puntual de derrame de hidrocarburos, por lo tanto es importante hacer seguimiento a estas condiciones para valorar el riesgo para la flora y fauna que se desarrollan en este sector de gran importancia ecológica, que está considerando como área marina protegida (Maldonado et al., 2010).

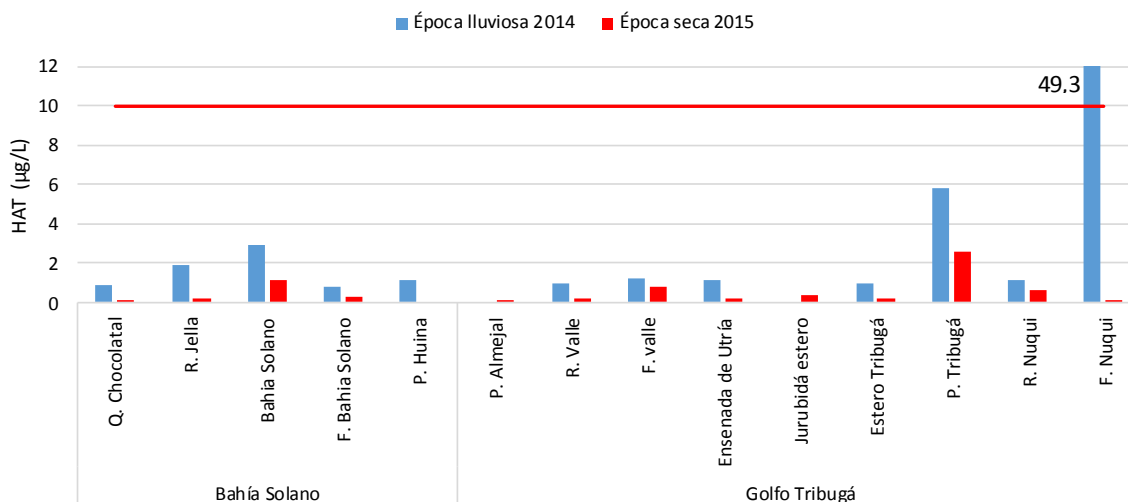
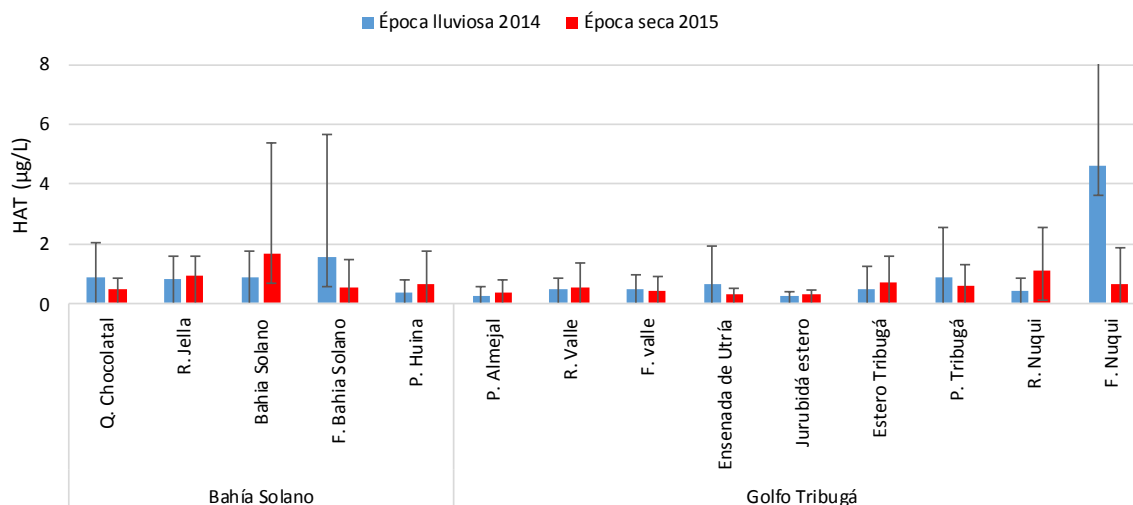


Figura 8.16. Concentraciones de hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Chocó durante las épocas lluviosa 2014 y 2015. La línea roja representa el valor de Referencia para aguas contaminadas según la UNESCO (1984).

Los registros históricos desde el 2001 al 2015, muestran que los valores más altos se registraron en las estaciones de frente a Bahía Solano ( $1,55 \pm 4,12$  µg/L), la quebrada Chocolatal ( $0,90 \pm 1,12$  µg/L) y frente al río Nuquí ( $4,62 \pm 14,01$  µg/L) en las épocas de lluvias (Figura 6.83). En las épocas secas, las máximas concentraciones promedio se registraron en Bahía Solano ( $1,65 \pm 3,71$  µg/L) y el río Nuquí ( $1,10 \pm 1,46$  µg/L). La dispersión presentada demuestra que existe una entrada constante de estos contaminantes al medio, por el uso de combustible en actividades cotidianas como el transporte en embarcaciones con motor, y en algunos casos se han presentado concentraciones que superaron la referencia de UNESCO (1984), un caso particular se presentó en el 2001 en la estación de Bahía Solano (13,88 µg/L), en 2003 en su frente (13,95 µg/L), y frente al río Nuquí en la época de lluvias 2014. Estas concentraciones pueden estar relacionadas también con corrientes de aguas de lluvia, y vertimientos de aguas residuales domésticas y de lavaderos de carros captadas por las quebradas y ríos que recorren zonas urbanas hasta llegar al mar.



**Figura 8.17. Promedio histórico (2001-2015) de Hidrocarburos Aromáticos Totales - HAT (µg/L) medidos semestralmente en épocas lluviosas y secas en las estaciones REDCAM del departamento de Chocó. Las barras de error representan las desviaciones estándar.**

### Plaguicidas

Las posibles fuentes de contaminación por plaguicidas en el departamento del Chocó se derivan del uso de estos compuestos en la agricultura, una de las actividades económicas que sustentan el desarrollo del departamento, la cual se caracteriza por la producción de palma africana, coco, caña, plátano, maíz, arroz y otros productos autóctonos, como el borjón, el chontaduro, la papa china, el árbol del pan (Cifuentes, 2002), y cultivos ilícitos; adicionalmente son aplicados en la industria maderera y como herramienta en el control de vectores virales.

En el departamento del Chocó, con el monitoreo REDCAM entre los años 2002 y 2010, se han identificado los siguientes plaguicidas organoclorados (POC): DDT; Hexaclorociclohexano (HCH); Heptacloro (HEP) y Aldrín (ALD). En la Tabla 8.2 se presentan los mayores valores de estos analitos reportados históricamente en la REDCAM. Cabe destacar que las mayores concentraciones se registraron en la quebrada Chocolatal (23,7 ng de ALD/L y 8,8 ng de HCH /L) en las épocas de mayor precipitación en la zona, debido a la acción de lluvias y escorrentía que arrastran estos residuos procedentes de la comunidad de Bahía Solano hasta la Quebrada. Es importante tener en cuenta que las escorrentías facilitan el transporte de estos contaminantes de zonas agrícolas, hasta llegar a los cuerpos de aguas naturales, pudiendo afectar según las concentraciones los recursos hidrobiológicos disponibles para el consumo humano (García, 2002). No obstante, ninguno de los valores históricos reportados en la base de datos de la REDCAM superó los valores de referencia para efectos agudos definidos por EPA (2015). A partir del año 2011 y hasta el primer semestre del 2015 las concentraciones de los POC analizados han estado por debajo del límite de detección del método (6,0 ng/L), este resultado se debe a que el uso de estos compuestos fue prohibido desde 1974 (Resolución 447 de 1974 del Ministerio de Agricultura), y se han ido degradando en el medio.

Tabla 8.2. Valores máximos de plaguicidas determinados durante la REDCAM, en el departamento del Chocó, desde el 2002 al 2015 y valores de referencia para efectos agudos (EPA, 2015).

PLAG	Época y año del monitoreo	Estación	Valor determinado por la REDCAM [ng/L]	Valores de referencia para efectos agudos en aguas [ng/L]	
				Aguas dulces	Aguas marinas
ALD	Lluviosa 2002	Quebrada Chocolatal	23,7	3.000	1.300
DDT	Seca 2010	Estero Jurubidá	36,4	1.100	130
HCH	Lluviosa 2007	Quebrada Chocolatal	8,8	950	160
HEP	Seca 2002	Río valle	17,7	520	53

### Metales Pesados

Durante el monitoreo realizado entre las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, las concentraciones de Pb, Cd, Cr, Cu y Ni estuvieron por debajo del límite de detección del método de análisis utilizado (Pb: 3,1 µg/L; Cd: 0,42 µg/L; Cr: 1,0 µg/L; Cu: 0,9 µg/L y Ni: 1,0 µg/L). Estos niveles son muy similares a los obtenidos en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014, donde las concentraciones fueron menor o ligeramente superior al límite de detección del método, lo cual indica que en esta zona no hay contaminación por estos metales, al estar muy por debajo de valores de referencia para efectos agudos reportados en guías internacionales (Pb: 210 µg/L; Cd: 40 µg/L; Cu: 4,8 µg/L, Ni: 74 µg/L [Buchman, 2008](#) y Cr: 50 µg/L [CONAMA, 2005](#)).

Concentraciones de Zn por encima del límite de detección solamente se registraron en la época lluviosa 2014 en los ríos Valle y Nuquí (12,1 y 43,8 µg/L, respectivamente). Cabe destacar que estas concentraciones no afectan la biota acuática al estar muy por debajo del valor de referencia para efectos agudos de la NOAA (90 µg/L, [Buchman, 2008](#)).

La concentración promedio de Fe para el muestreo en la época lluviosa 2014 fue de  $36,6 \pm 26,3$  µg/L, con un máximo de 98,9 µg/L en río Valle. En la época seca 2015, el promedio fue de  $291 \pm 18,5$  µg/L, con un valor máximo de 57,0 µg/L en frente del río Valle (Figura 8.18). Sin embargo, en ninguna de las estaciones marinas el nivel de Fe superó el valor de referencia para efectos agudos establecido por la NOAA para este tipo de aguas (300 µg/L; [Buchman, 2008](#)). Estos niveles pueden provenir de fuentes naturales, como la roca madre en donde los minerales contenidos son liberados al medio por el proceso de meteorización, y arrastrados por las escorrentías hasta llegar a los cuerpos de agua naturales ([Feria et al., 2010](#)).

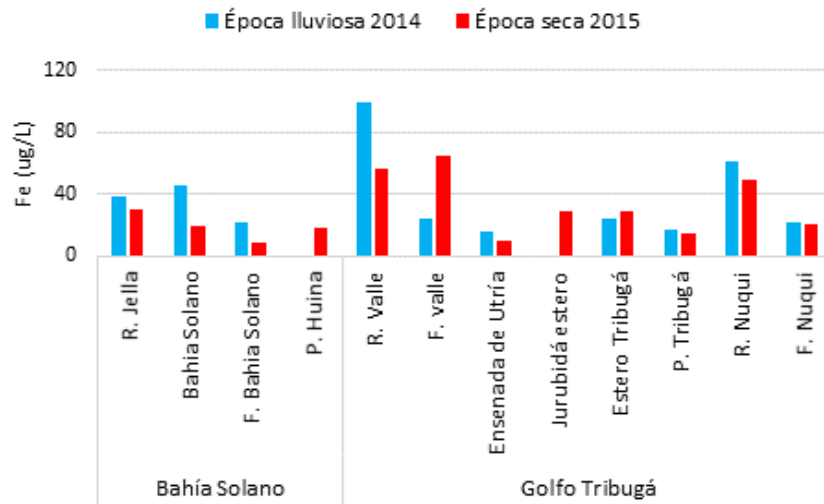


Figura 8.18. Concentraciones de Hierro disuelto en µg/L en las aguas marino costeras del departamento del Chocó para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2014 y seca de 2015.

### Índice de calidad de las aguas

La calidad del agua evaluada con el ICAM<sub>PFF</sub> fluctuó entre *óptima* y *adecuada*, presentándose las mejores condiciones en la época seca 2015, en comparación con la época lluviosa 2014 (Figura 8.19). En la época lluviosa 2014, la playa Tribugá tuvo condición *Aceptable* por una alta concentración de ortofosfatos (55,6 µg/L) relacionada a las descargas de aguas residuales domésticas y uso de detergentes, a los cuerpos de aguas naturales aledaños; y en la estación frente al río Nuquí la calidad del agua fue *Inadecuada* por la alta concentración de HAT (49, 33 µg/L), valor que superó el nivel de referencia (10 µg/L, [Unesco, 1984](#)) considerado de alto riesgo para la biota acuática. En la época seca 2015, la calidad del agua mejoró, presentándose una condición *Adecuada* en playa Tribugá y frente al río Nuquí; y una condición *Óptima* en Playa Huina.

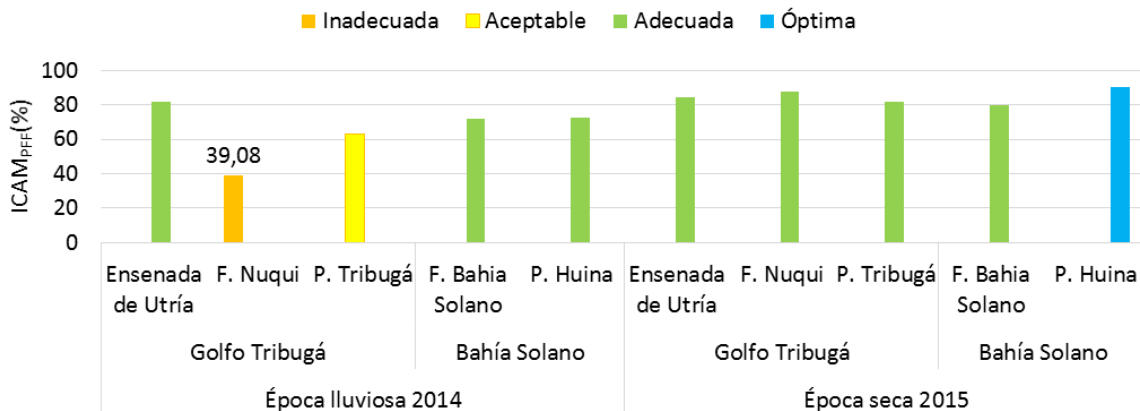


Figura 8.19. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de Chocó evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>), en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.



### 8.1.1.2 CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS

#### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Puesto que en Colombia no existen valores de referencia para hidrocarburos en sedimentos, se tomó como referencia el valor determinado por la [NOAA \(1990\)](#) de 3,9 µg/g para sedimentos no contaminados. Los sedimentos evaluados fueron recolectados en la estación de Bahía Solano. En la época lluviosa 2014 la concentración de HAT superó el valor de referencia (Tabla 8.3), y además fue superior al valor reportado en el monitoreo anterior (época lluviosa 2013; 1,02 µg/g; [Vivas-Aguas et al., 2015a](#)), indicando la ocurrencia de un evento puntual de contaminación con hidrocarburos, y la necesidad de continuar con el monitoreo en esta zona para valorar los posibles efectos sobre el ambiente. Durante la época seca 2015, se registró una concentración de HAT de 0,73 µg/g, mientras que en año anterior se encontró por debajo del límite de detección (Tabla 8.3; [Vivas-Aguas et al., 2015a](#)).

**Tabla 8.3. Concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales medidos en sedimentos del departamento de Chocó, durante la época lluviosa de 2014 y seca de 2015.**

Estación	Época Lluviosa 2014	Época seca 2015
	HAT (µg/g)	HAT (µg/g)
Bahía Solano	5,05	0,73
Valor de referencia ( <a href="#">NOAA, 1990</a> )	3,9 *	3,9 *

#### Plaguicidas

El análisis de plaguicidas en sedimentos de la estación Bahía Solano, departamento del Chocó, inició el segundo semestre del año 2013 y se tiene información hasta el primer semestre de 2015. En este periodo no se han encontrado concentraciones de plaguicidas en el medio, en su mayoría se registraron valores por debajo de los límites de detección del método. Sólo se detectó DDT en una concentración de 4,2 ng/g, en la época seca del año 2014, que no llega a superar los valores de referencia sugeridos por Consejo Canadiense de Ministros del Medio ambiente ([CCME, 1999](#)) para la calidad de sedimentos asociados a ecosistemas acuáticos (ver Tabla 8.4). Cabe resaltar que para los muestreos siguientes no se vieron reflejados estos valores de DDT entre los resultados obtenidos, posiblemente por la degradación de este compuesto, en sus metabolitos DDE y DDD, los cuales no se determinaron.

**Tabla 8.4. Valor máximo de plaguicidas organoclorados (POC) determinado en sedimentos de la estación Bahía Solano, departamento del Chocó, durante la época lluviosa de 2014 y valores de referencia PEL para sedimentos asociados a ecosistemas acuáticos ([CCME, 1999](#)).**

POC	Valor máximo determinados durante la REDCAM [ng/g]	Valores de referencia PEL [ng/g]	
		Sedimentos de ecosistemas dulceacuícolas	Sedimentos marinos
DDT	4,2	4,77	4,77

## Metales Pesados

Los resultados del monitoreo realizado en la época lluviosa de 2014 y época seca de 2015 en la estación Bahía Solano, se presentan en la Tabla 8.5, donde se puede observar que las concentraciones de Pb y Cd se encuentran por debajo del límite de detección del método utilizado. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el monitoreo realizado entre la época seca de 2013 y época lluviosa de 2014 donde estuvieron por debajo del límite de detección ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)), indicando que no hay entradas significativas de estos metales a la matriz sedimentaria. Los elementos Cr, Cu, Ni y Fe, en la época lluviosa 2014 superaron los valores de referencia PEL (Probable Effect Level) de la NOAA ([Buchman, 2008](#)). Estos resultados son similares a los obtenidos en el monitoreo anterior donde también se presentaron elevadas concentraciones de Cr, Ni, Cu y Fe en la época lluviosa ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)). El Zn, no superó el valor de referencia PEL de la NOAA ([Buchman, 2008](#)).

**Tabla 8.5. Concentraciones de metales pesados medidas en sedimentos superficiales del departamento del Chocó en la época lluviosa de 2014 y época seca de 2015. Los valores de referencia fueron tomados de la NOAA ([Buchman, 2008](#)).**

Estación	Lluvia 2014							Seca 2015						
	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)
Bahía Solano	<4,0	<0,5	251,3	116	78,6	105	73	<4,0	<0,5	46	57,7	137,8	32,5	55,1
Valor de referencia PEL	112	4,2	160	108	271	42,8	-	112	4,2	160	108	271	42,8	-

### **8.1.2 CONCLUSIONES**

Las concentraciones de nutrientes y sólidos suspendidos totales en las zonas del golfo Tribugá y Bahía Solano, hacen suponer que a través de los aportes de los ríos cercanos, se están descargando a la zona costera aguas residuales domésticas y aguas de escorrentía.

Las concentraciones de coliformes totales y termotolerantes más elevadas fueron obtenidas en las estaciones correspondientes al río Jella, quebrada Chokolatal, río Nuquí y río Valle, los cuales reciben aguas residuales de las poblaciones ribereñas. Con respecto a las playas se resalta la adecuada condición de las playas Huina, Almejal y Tribugá, y la ensenada de Utría en la época seca 2015.

En cuanto a los hidrocarburos, se llama la atención sobre los riesgos generados por altas niveles de HAT en las aguas superficiales frente al río Nuquí, puesto que este sitio tiene una gran diversidad que está siendo sugerida como un área marina protegida. De igual forma, la concentración en los sedimentos provenientes de Bahía Solano superaron el valor de referencia sugerido por la NOAA para sedimentos no contaminados; es importante continuar su monitoreo teniendo en cuenta que en esta estación históricamente se han presentado valores altos de HAT en aguas superficiales.

De acuerdo con los resultados de plaguicidas obtenidos a partir de los monitoreos de la REDCAM en la zona, podemos concluir que se ha reducido de manera circunstancial el uso

de plaguicidas organoclorados. Esto se evidencia al hacerse indetectable la presencia de estas sustancias, a partir del segundo semestre del año 2008, en la mayoría de las estaciones monitoreadas. Adicionalmente, las concentraciones reportadas en todo el histórico de la REDCAM se caracterizan por estar por debajo de los valores de referencia internacionales.

Los metales pesados en aguas superficiales de la zona costera del departamento del Chocó se encuentran en concentraciones bajas o por debajo del límite de detección para algunos elementos indicando que no representan algún riesgo para el desarrollo de la vida acuática. En el sedimento de la estación bahía Solano hay presencia de algunos metales tóxicos como Cr y Ni en altas concentraciones, que requiere seguir monitoreando y evaluar la fracción biodisponible de estos metales para conocer el riesgo de afectación de la biota acuática.



# Valle del Cauca



Muelle Turístico de Buenaventura. Foto: José Sánchez

## EQUIPO TÉCNICO CVC

*Luisa Marina Baena – Profesional Especializada, Coordinadora Laboratorio Ambiental*  
*Miguel Ángel Quintero Núñez – Bacteriólogo, Profesional Contratista*  
*Carolina López Charry – Analista Química, Técnico Operativo*  
*Jairo Calle Velasco – Tecnólogo Químico, Técnico Operativo*  
*Wilson Neiber Grajales Gomez – Analista Químico, Técnico Operativo*  
*Héctor Fabio Hernández Betancourth – Ingeniero Químico, Profesional Especializado*  
*Líber Ernesto Carabalí Peña– Técnico Operativo (campo)*  
*James Larrahondo Posú – Técnico Operativo (campo)*



## 8.2 VALLE DEL CAUCA

El Departamento del Valle del Cauca está situado en el occidente del país, en la región del Chocó biogeográfico entre los 03° 05' y 05° 10' de latitud norte y los 75° 45' y 77° 36' de longitud oeste, limitando por el norte, con los departamentos del Chocó, Caldas y del Quindío; por el este, con los departamentos del Quindío y del Tolima; por el sur, con el departamento del Cauca; y por el oeste, con el océano Pacífico y el departamento del Chocó, con una superficie de 22.140 km<sup>2</sup> ([FONADE, SF](#)).

En el departamento se encuentra clima templado en un 52,4 % del territorio, cálido en un 25,1 % y el resto entre frío y extremadamente frío. Las condiciones climáticas del Pacífico están determinadas por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) que genera precipitación durante todo el año y responde a una distribución de tipo bimodal, que se caracteriza por la presencia alternada de dos temporadas muy lluviosas y las menos lluviosas ([Eslava, 1994](#)). La primera temporada lluviosa inicia normalmente en el mes de abril y se prolonga hasta finales de junio. La segunda temporada lluviosa, la más intensa, incluye el periodo entre septiembre y noviembre, en las zonas norte y central; y entre octubre y diciembre en la zona Sur, con máximas intensidades en octubre y noviembre. La temporada menos lluviosa, incluye los meses de diciembre y marzo, cuando la ZCIT se encuentra en el Sur y no ejerce influencia condicionante en la región del Pacífico; excepto en la zona Sur donde la ZCIT logra que éste no sea el periodo menos lluvioso sino que sean los meses de julio, agosto y parte de septiembre cuando la ZCIT está en el norte del país ([CRC, 2009](#)).

Buenaventura es único municipio costero del departamento. En este municipio se ha registrado precipitación máxima en el mes de octubre (800 mm) y una mínima en el mes de febrero (295 mm); la temperatura del aire fluctúa entre 25,7 y 26,5 °C; con una humedad relativa multianual de 88,4 % (Datos IDEAM 1997-2013 en [Vivas-Aguas et al., 2015b](#)). La población de Buenaventura para el año 2015 se estimó en 399.764 habitantes ([DANE, 2015](#)). La producción de aguas residuales es proporcional a la población, la cobertura de saneamiento básico es bajo, y no existe sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo cual las aguas servidas son vertidas directamente a los cuerpos de agua naturales ([Vivas-Aguas et al., 2014b](#)). La producción de residuos sólidos en el municipio alcanza los 191,88 t/día, los cuales son dispuestos en celdas transitorias y en los cuerpos de agua naturales ([Superservicios, 2014a](#)).

En la bahía de Buenaventura se encuentra la zona portuaria más importante del Pacífico Colombiano, conformado por 12 muelles compartidos entre la Armada Nacional y la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura, siendo la actividad portuaria la de mayor importancia entre las actividades productivas. También se desarrollan actividades agropecuarias, turismo, comercio, industria y de servicios ([Pérez, 2007](#)).

Con el propósito de vigilar la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento del Valle del Cauca, de las fuentes de contaminación y como una herramienta para obtener información sobre temas de calidad ambiental marina, que apoye la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), la REDCAM cuenta con una red de 52 estaciones de muestreo distribuidas en las zonas bahía Málaga, Buenaventura afuera, Buenaventura urbana y costa sur Buenaventura (Figura 8.20).

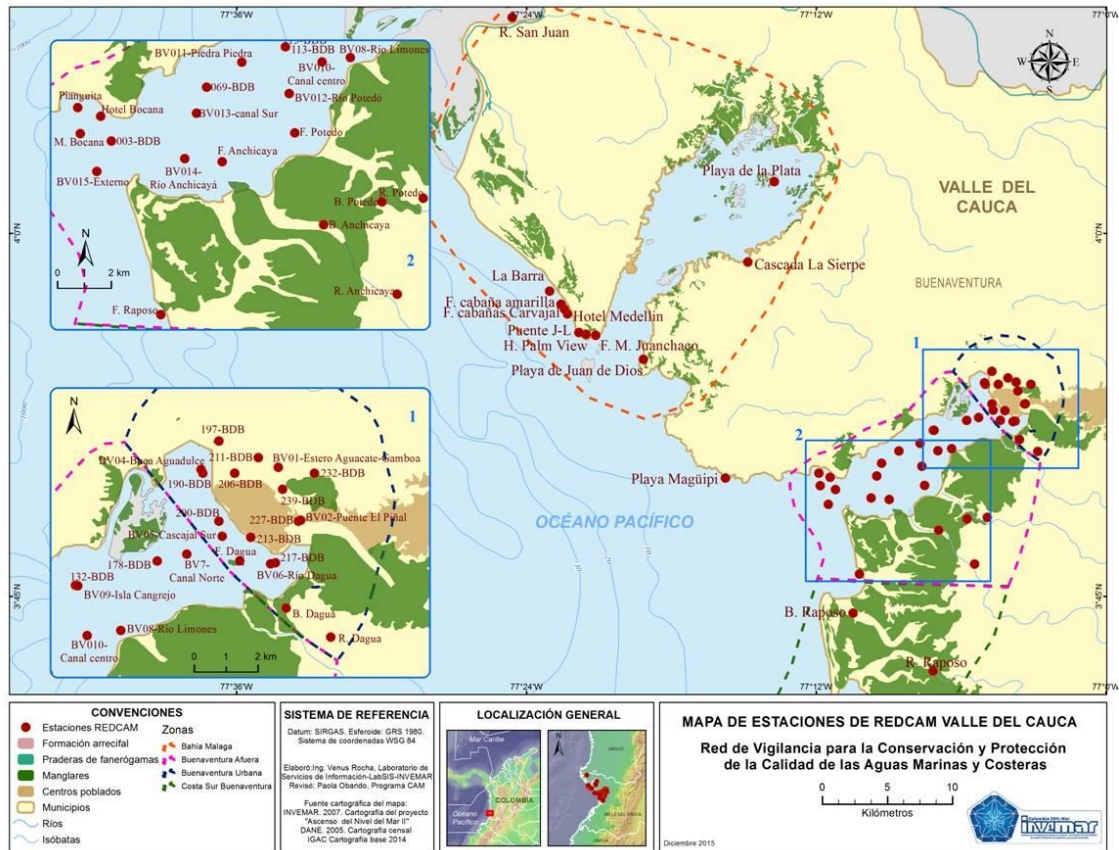


Figura 8.20. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Valle del Cauca.

El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos realizados por CVC e INVEMAR en los meses de mayo (época de bajas precipitaciones) y agosto (época de altas precipitaciones) del 2015. Monitoreo que hizo parte del proyecto Determinación de objetivos de Calidad por usos del recurso hídrico en la bahía de Buenaventura – sector Cascajal, a través de la modelación de coliformes y DBO<sub>5</sub> para definir diferentes escenarios de calidad del agua (Ríos-Mármol *et al.*, 2015).

## 8.2.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.2.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

La circulación del agua en zonas marinas y estuarinas juega un papel importante en el transporte de nutrientes, sedimentos, sales, materiales disueltos y en suspensión. En estas zonas, tanto la calidad del agua y el establecimiento de especies dentro del ecosistema, están directamente relacionados con los patrones locales de circulación, la mezcla del agua y el régimen de corrientes que se ven determinados por la entrada de aguas dulces continentales, lo que induce a una circulación gravitacional (intrusión salina), el régimen de mareas y la intensidad del viento (Snedaker y Snedaker, 1984). En la bahía de Buenaventura el régimen de mareas y el volumen de mezcla define la variabilidad de las concentraciones de las sustancias, al generarse una zona de mezcla durante la marea alta, con el aporte de



12 tributarios entre ríos, brazos de ríos y esteros sobre la bahía; en el caso de las playas de Juanchaco y ladrilleros su comportamiento es característico de aguas marinas.

Las variables de calidad de agua en la bahía de Buenaventura fueron medidas en condiciones de flujo y reflujo mareal, mientras que en las playas de Juanchaco, ladrilleros y la Bocana son datos puntuales, sin influencia mareal.

### Variables fisicoquímicas

#### *In Situ y Sólidos suspendidos totales*

La temperatura superficial del agua de la bahía de Buenaventura en la época de bajas precipitaciones osciló entre 29,1 y 31,5 °C en ambos instantes de marea y se encontró un patrón general de temperatura (Figura 8.21). Durante el flujo de marea la temperatura se conservó en los 29,9 °C en la mayor parte de la bahía. En la condición de reflujo la temperatura del agua también se mantuvo en 29,4 °C desde el interior, con la mayor variación en las estaciones Piedra-Piedra y canal Sur, acercándose a la salida de la bahía. En la época de altas precipitaciones, la temperatura superficial del agua de la bahía descendió un poco entre 27,8 y 30,4 °C, a diferencia de la época de bajas precipitaciones no se encontró un patrón general en ambos instantes de marea (Figura 8.21c y d). Durante el flujo se observó que las estaciones ubicadas frente a la desembocadura de los ríos Anchicayá, Potedó y Dagua respectivamente presentaron mayor temperatura del agua (29,7 °C aproximadamente) y en reflujo la mayor temperatura se registró frente a la desembocadura del Estero Aguadulce con 30,4 °C.

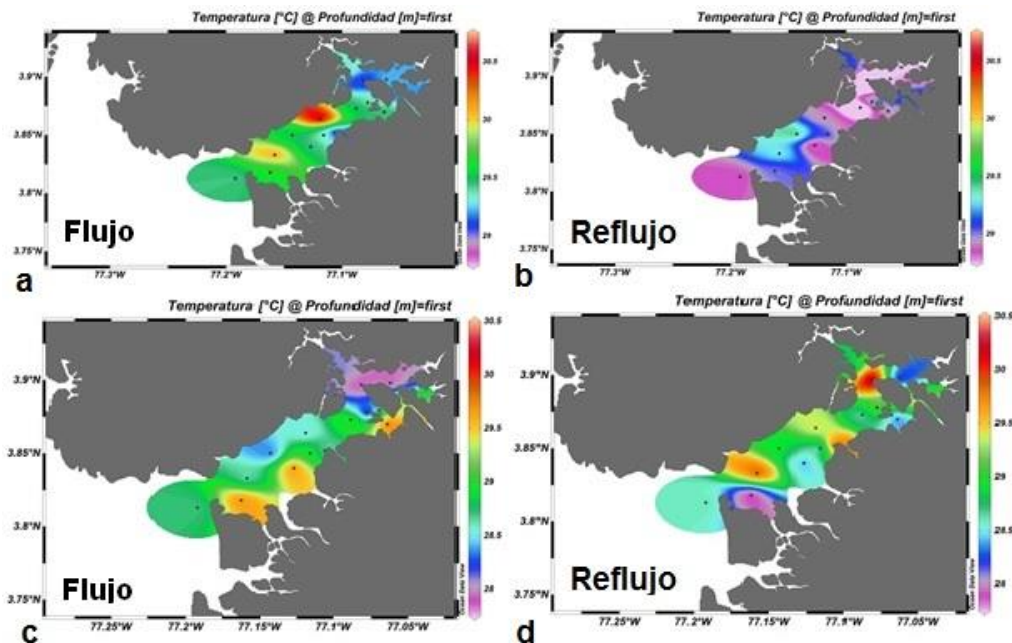
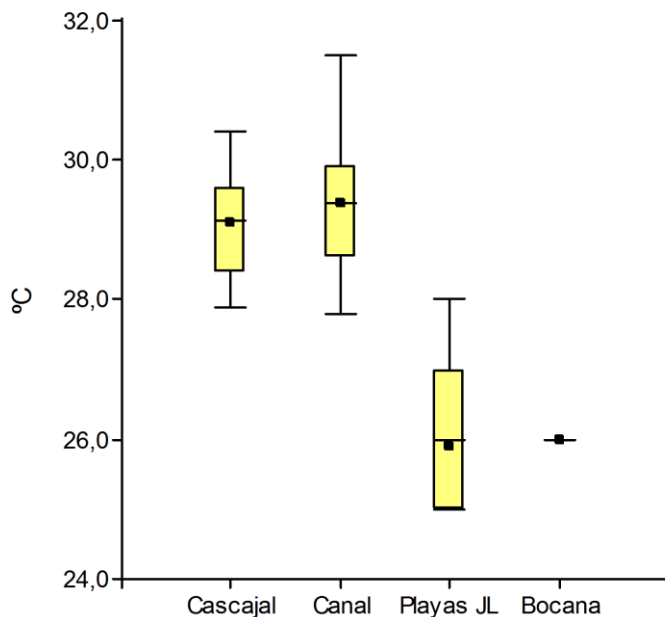


Figura 8.21 Variación de la Temperatura del agua superficial en la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

Los resultados mostraron diferencias entre los sectores ( $p > 0,05$ ; Figura 8.22), presentando los promedios más bajos en las playas de la Bocana ( $26,0 \pm 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ), Juanchaco y Ladrilleros ( $25,91 \pm 1,04 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Temporalmente no se observaron diferencias, sin embargo, en la época de altas precipitaciones se registraron los valores más bajos, debido principalmente a la entrada de aguas continentales y a las precipitaciones que disminuyen la temperatura. Lo anterior puede obedecer a variaciones interanuales en la cuenca del Pacífico colombiano, donde se presentan dos máximos y dos mínimos de temperatura. Los máximos se observan entre junio y diciembre y los mínimos de febrero a marzo y de agosto a octubre ([Malikov y Camacho, 1998](#)).



**Figura 8.22. Temperatura del agua superficial medida en los sectores de la bahía de Buenaventura y las playas Juanchaco, Ladrillero y Bocana en el año 2015.**

La salinidad presentó patrones similares para ambas condiciones de marea en la época de bajas precipitaciones, con los mayores valores de salinidad en la entrada del mar a la bahía y las menores al interior, debido a los aportes continentales de los ríos en la parte interna de la bahía, que disminuyen la salinidad de forma gradual tanto en flujo como en refluo. En época de altas precipitaciones el comportamiento de la salinidad fue similar al de bajas precipitaciones, destacándose en el flujo de marea un gradiente más definido con la tendencia a disminuir gradualmente la salinidad desde la parte oceánica hacia la parte interna de la bahía (Figura 8.23).

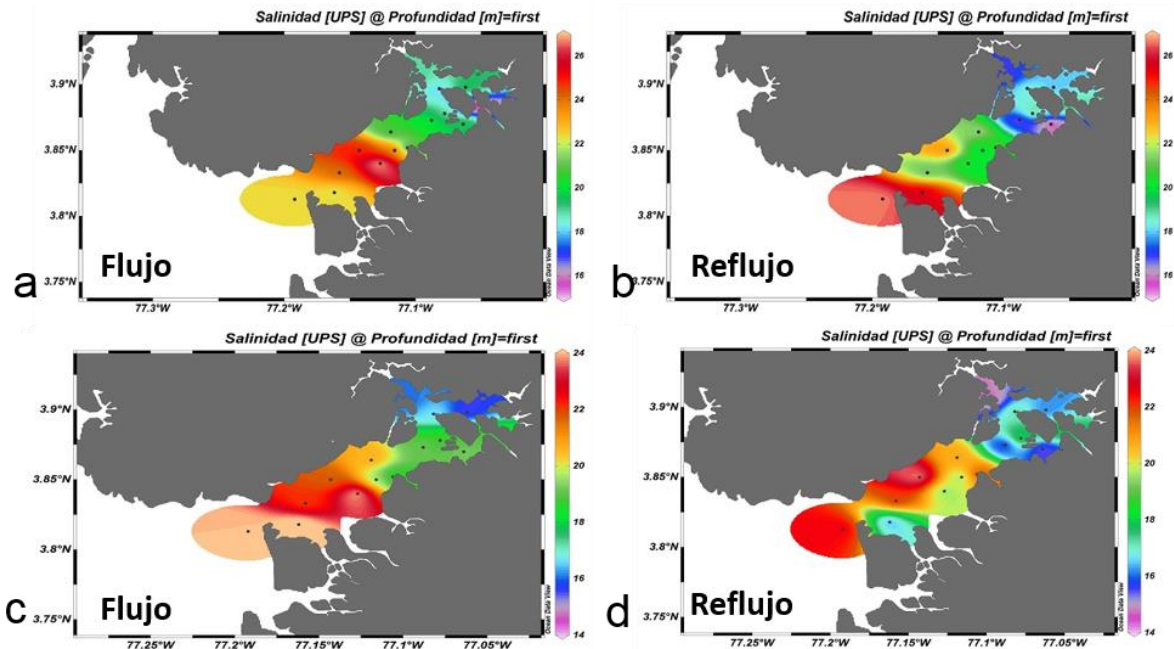


Figura 8.23 Variación de la Salinidad del agua superficial en la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

Entre sectores, la salinidad osciló entre 10,7 y 27,0 y el análisis estadístico evidenció diferencias en la bahía ( $p < 0,05$ ), con los valores más bajos la isla Cascajal ( $17,28 \pm 2,05$ ), debido a la influencia del río Dagua principalmente, mientras que las salinidades más altas se presentaron en la Bocana y el canal de acceso (Figura 8.24). No obstante, en el análisis temporal no se encontraron diferencias.

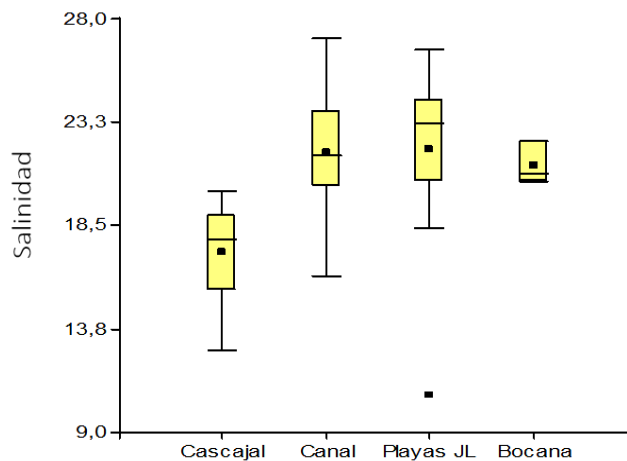


Figura 8.24. Salinidad del agua superficial medida en los sectores de la bahía de Buenaventura y las playas Juanchaco, Ladrillero y Bocana en el año 2015.

Los cambios de salinidad en la superficie del agua se deben, principalmente a los procesos de mezcla, evaporación y precipitación. En las zonas estuarinas la salinidad puede variar entre sitios y niveles de marea desde casi cero en las cabeceras de los estuarios en marea baja, hasta valores de 30 o más en las zonas más externas, como las bocanas o cuando los registros se toman en marea alta. En promedio la salinidad normal para aguas superficiales oceánicas del Pacífico es de 33,0 (CCCP, 2002).

Los valores de pH en la bahía de Buenaventura para la época de bajas precipitaciones oscilaron entre 7,20 y 8,88 durante el flujo y reflujo de la marea (Figura 8.25). En el flujo de marea se ve claramente la entrada de aguas más básicas en la parte externa de la bahía (8,77), la cual va disminuyendo el pH (7,2) a medida que van entrando a la bahía (Figura 8.25.a), mientras que en condiciones de reflujo ocurre lo opuesto (Figura 8.25.b).

Entre tanto, en altas precipitaciones los valores de pH en la bahía de Buenaventura estuvieron entre 7,29 y 8,12 durante el flujo y reflujo de la marea. Durante el flujo mareal se observó disminución del gradiente de pH desde la parte externa, entrando con 8,12 y hasta llegar a 7,36 en la parte interna de la bahía (Figura 8.25a). En reflujo el pH del agua no mostró un patrón definido, sin embargo en las estaciones de la parte media de la bahía alcanzó su máximo valor con 8,02 y el mínimo con 7,29 entre los esteros Aguacate y Gamboa (Figura 8.25.b).

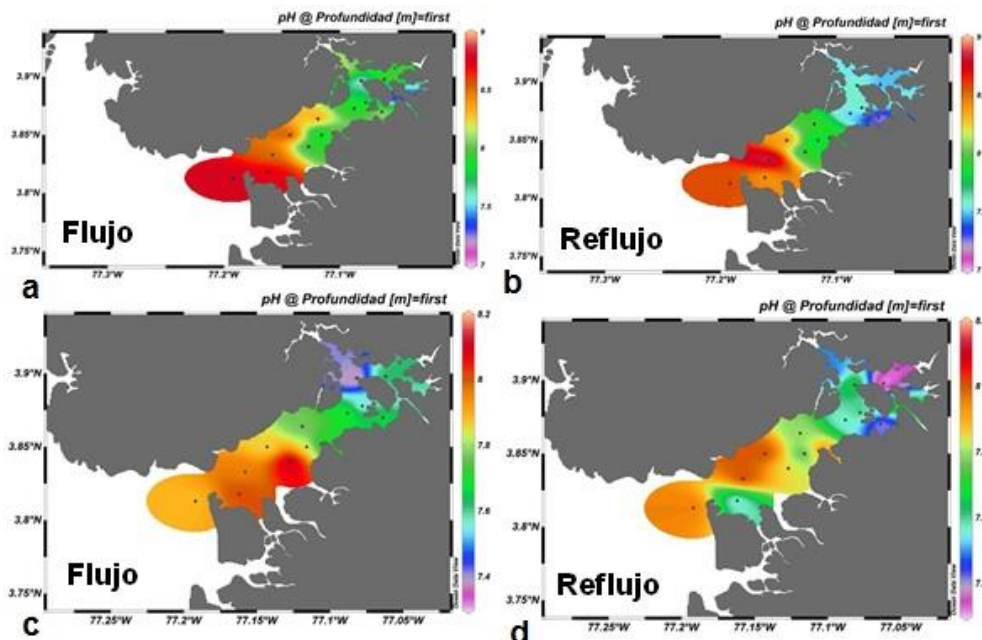


Figura 8.25. Variación del pH del agua superficial en la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

En los sectores del Canal y la Bocana el pH se registró un rango estrecho de variación cercanos a 8,0, lo cual era de esperarse porque se encuentran más influenciados por el agua marina, debido a la presencia de carbonatos (sodio, potasio, calcio, etc.) y la absorción de CO<sub>2</sub> (Odum y Warrett, 2006). En general, las variaciones de pH observadas, corresponden a procesos de dilución de las sales básicas, encontrándose dentro del rango de 6,5 a 8,5

unidades establecido por el decreto 1594 de 1984 para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas marinas y estuarinas ([MinSalud, 1984](#)).

El pH del agua evidenció diferencias entre los sectores ( $p < 0,05$ ), registrándose aguas con los valores más bajos en la isla Cascajal debido a la influencia del río Dagua ( $7,61 \pm 0,24$ ), y los más altos en las playas de Juanchaco y Ladrilleros ( $7,97 \pm 0,17$ ) y el Canal de acceso ( $8,07 \pm 0,36$ ), debido a la influencia de aguas oceánicas (Figura 8.26). De igual forma se encontró diferencias entre muestreos ( $p < 0,05$ ), presentándose los valores más bajos en la época de altas precipitaciones debido a la entrada de aguas dulces con pH más neutros por las lluvias, las escorrentías, resuspensión de sedimentos y la materia orgánica en descomposición contenida en el agua de los ríos.

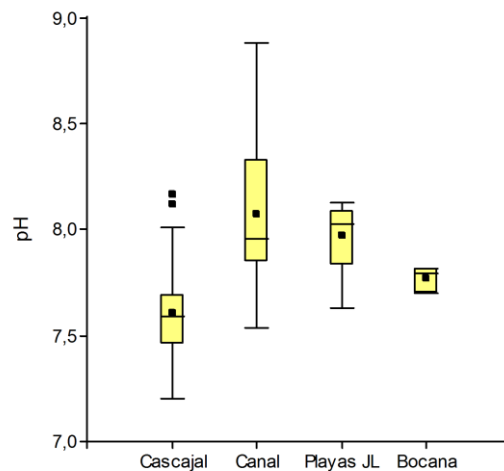
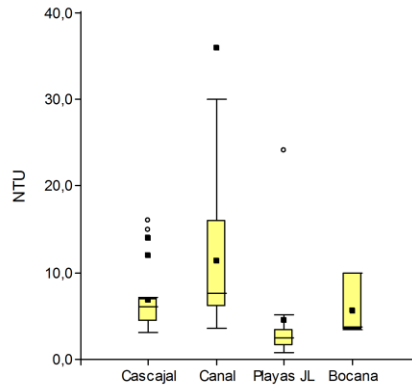


Figura 8.26. Comportamiento del pH del agua superficial medido en los sectores de la bahía de Buenaventura y las playas Juanchaco, Ladrillero y Bocana en el año 2015.

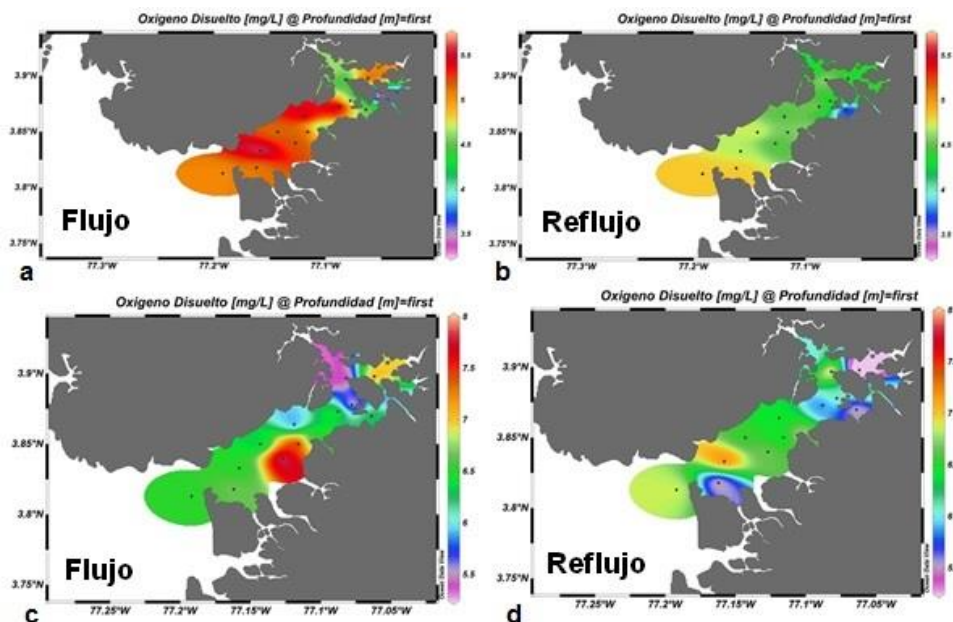
La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de partículas suspendidas y disueltas, materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación ([Marcó et al., 2004](#)), debido a que los sólidos dispersos y las partículas presentes en el agua pueden actuar como portadores de parásitos, bacterias, gérmenes y virus. Adicionalmente, atenúa la luz solar, actuando como un factor limitante en la productividad primaria y disminuyendo los niveles de OD ([Boyes y Elliott, 2006](#)).

La turbidez varió entre 0,7 y 36,0 NTU (Figura 8.27) y mostró diferencia entre sectores, con los promedios más altos en el canal de acceso ( $11,36 \pm 7,72$  NTU) y ( $6,84 \pm 3,35$  NTU), mientras que los más bajos en las playas de la Bocana ( $5,67 \pm 3,66$  NTU) y Juanchaco y Ladrilleros ( $4,45 \pm 6,66$  NTU), debido a que los dos primeros sectores se encuentran influenciados por las desembocaduras de los ríos Dagua, Anchicayá, Raposo y Potodó que traen consigo material particulado que afecta la turbidez de estas aguas (Figura 8.27).



**Figura 8.27. Comportamiento de la Turbidez (NTU) del agua superficial medida en los sectores de la bahía de Buenaventura y las playas Juanchaco, Ladrillero y Bocana en el año 2015.**

La concentración de oxígeno disuelto (OD) varió entre 2,79 y 7,86 mg de O<sub>2</sub>/L. En la época de bajas precipitaciones, el comportamiento del OD para flujo y reflujó se vio influenciado por la marea regente (Figura 8.28). Durante el flujo, los valores de OD oscilaron entre 3,54 y 6,20 mg de O<sub>2</sub>/L, mientras que en reflujó osciló entre 4,21 y 6,06 mg de O<sub>2</sub>/L, mostrando un gradiente de aumento desde la parte interna de la bahía hacia el exterior (Figura 8.28). En altas precipitaciones el OD osciló entre 4,88 y 7,86 mg de O<sub>2</sub>/L. Cabe resaltar que durante el flujo mareal, el OD se mantuvo en 6,5 mg de O<sub>2</sub>/L en la mayoría de estaciones del canal, excepto en las estaciones de las desembocaduras del río Potedó (7,86 mg/L) y el estero Limones (7,68 mg/L); y los mínimos se presentaron (3,4 y 5,0 mg de O<sub>2</sub>/L) cerca a la isla Cascajal (Figura 8.28a). Para reflujó el máximo valor se observó en el canal Sur de la bahía (7,24 mg de O<sub>2</sub>/L) con influencia marina y el mínimo se observó entre los esteros Aguacate y Gamboa con 4,88 mg/L (Figura 8.28b).



**Figura 8.28 Variación de oxígeno disuelto (mg/L) del agua superficial medido en la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujó (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujó (d).**

El análisis espacial no evidenció diferencias significativas entre los sectores ( $p=0,09$ ); mientras que el análisis temporal sí mostró contraste; con los valores más bajos en la época de bajas precipitaciones ( $4,99 \pm 0,66$  mg de  $O_2/L$ ; Figura 8.29). Las concentraciones menores al criterio de calidad ( $<4$  mg de  $O_2/L$ ) de la legislación colombiana, se localizaron en las estaciones Puente el Piñal ( $3,54$  mg de  $O_2/L$ ) y frente al río Potedó ( $2,79$  mg de  $O_2/L$ ), ambas en marea baja, condición que se presenta recurrentemente por la entrada de descargas continentales y vertimientos domésticos con alta carga de materia orgánica, lo cual afecta la calidad del agua para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)).

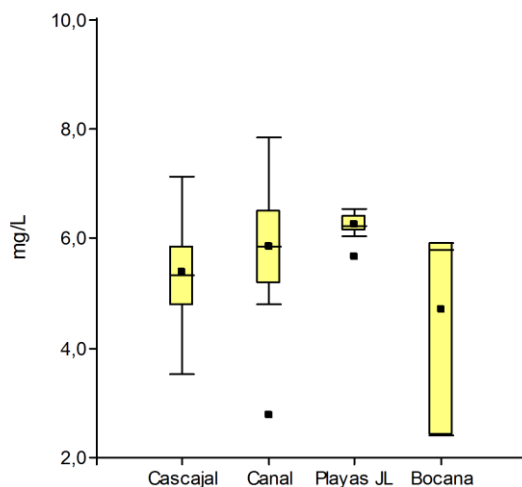


Figura 8.29. Comportamiento del oxígeno disuelto (OD) del agua superficial medido en los sectores de la bahía de Buenaventura y las playas Juanchaco, Ladrillero y Bocana en el año 2015.

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre  $28,4$  y  $74$  mg/L (Figura 8.30). En la época de bajas precipitaciones, el flujo de marea presentó los valores más altos de SST en la parte externa de la bahía ( $74$  mg/L), en el sector Canal, debido a la entrada del oleaje y la acción de la marea que produce resuspensión de los sedimentos (Figura 8.30a.). Mientras que en refluo el valor más elevado se registró en frente al río Potedó ( $72,2$  mg/L; Figura 8.30b). En época de altas precipitaciones disminuyeron los SST, oscilando entre  $3,08$  y  $36,03$  mg/L, sin embargo, el comportamiento entre estaciones fue similar a la época de bajas precipitaciones, con el valor más alto en la bahía externa durante el flujo de marea ( $36,03$  mg/L; Figura 8.30c), y para el refluo el valor más elevado se registró en Piedra-Piedra con  $9,13$  mg/L (Figura 8.30d).

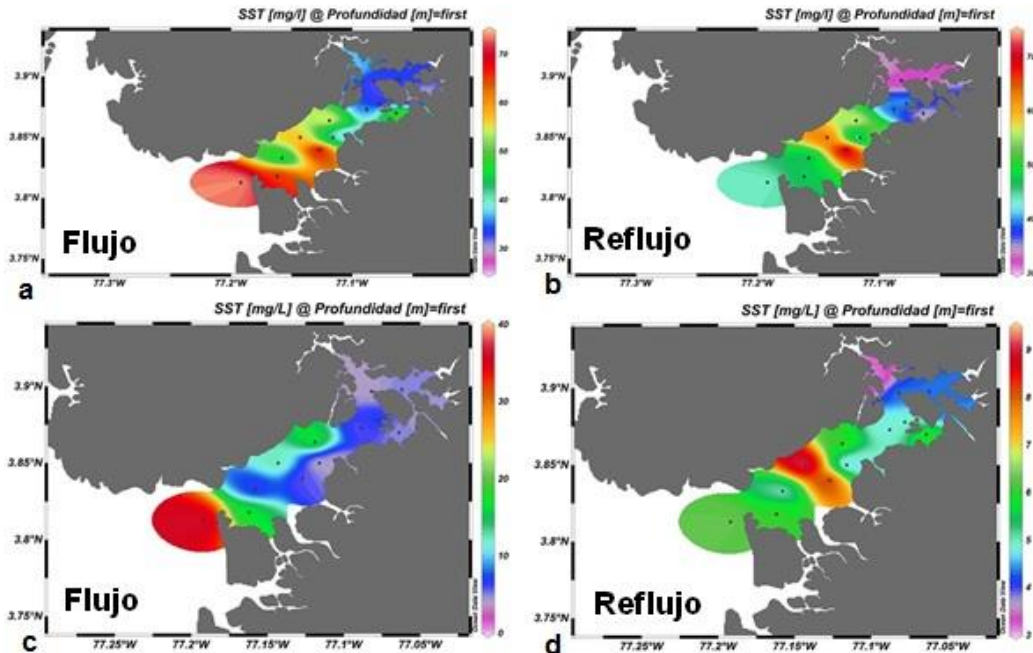


Figura 8.30. Variación de sólidos suspendidos totales (SST) del agua superficial medidos en la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujos (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujos (d).

La carga de SST que recibe la bahía es aportada principalmente por los ríos Dagua, Anchicayá, Potedó y Raposo ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#)), lo cual se refleja en el incremento de la turbiedad y la baja transparencia de sus aguas. En todos los sectores la concentración de SST varió entre 3,08 y 116,0 mg/L marcando una diferencia espacial ( $p < 0,05$ ) y presentando los valores más altos en las playas de la Bocana ( $78,33 \pm 8,62$  mg/L) y Juanchaco y Ladrilleros ( $66,59 \pm 29,25$  mg/L), debido al oleaje que puede resuspender las arenas y arcillas presente en estos sectores. El análisis temporal también mostró variaciones y los valores más altos en bajas precipitaciones ( $49,30 \pm 28,81$  mg/L), debido a los aportes de los ríos que tributan en la bahía y a la resuspensión de los sedimentos por acción de las mareas (Figura 8.31).

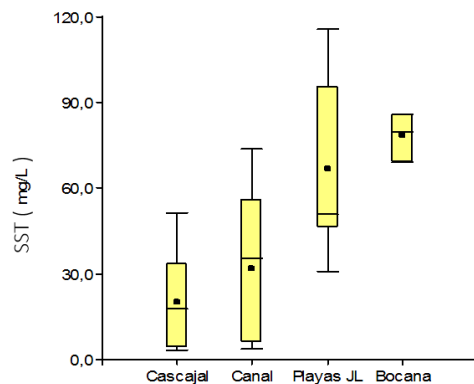


Figura 8.31. Sólidos suspendidos totales (SST) del agua superficial medida en los sectores de la bahía de Buenaventura y las playas Juanchaco, Ladrillero y Bocana en el año 2015.



### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

Las concentraciones de nitritos ( $\text{N-NO}_2^-$ ) en la época de bajas precipitaciones oscilaron entre 4,0 y 8,7  $\mu\text{g/L}$  durante el flujo (Figura 8.32a) y entre 3,5 y 8,0  $\mu\text{g/L}$  en reflujo (Figura 8.32b), con los mayores valores en el puente el Piñal y Piedra-Piedra durante la condición del flujo de marea, mostrando alta variabilidad en toda la bahía (Figura 8.32a). En el reflujo los nitritos mostraron uniformidad en la zona interna y externa de la bahía en un rango de 4 y 6  $\mu\text{g/L}$ , excepto en la estación Piedra-Piedra (8  $\mu\text{g/L}$ ) y Anchicayá (14  $\mu\text{g/L}$ ; Figura 8.32b). En la época de altas precipitaciones, las concentraciones de  $\text{N-NO}_2^-$  aumentaron con respecto a la época de bajas precipitaciones, con concentraciones que oscilaron entre 2,2 y 34,4  $\mu\text{g/L}$  para flujo (Figura 8.32c) y entre 7 y 30,3  $\mu\text{g/L}$  en reflujo (Figura 8.32d). Cabe resaltar que para ambos instantes de marea, se observó un gradiente con tendencia a aumentar en las aproximaciones de la isla cascajal y la disminución hacia la parte externa de la bahía.

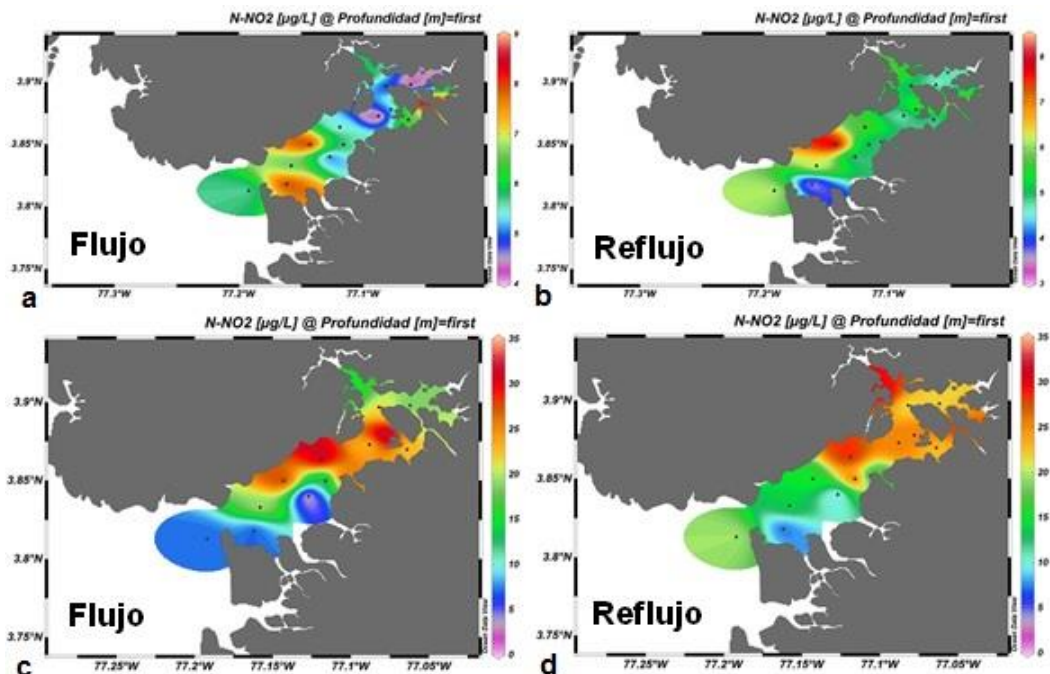


Figura 8.32 Variación de nitritos medidos en el agua superficial de la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

La Figura 8.33a y b muestra el comportamiento del nitrato inorgánico disuelto ( $\text{N-NO}_3^-$ ) en la época de bajas precipitaciones, el cual osciló entre 12,1 y 88,2  $\mu\text{g/L}$  en flujo de marea y entre 12,3 y 68,6  $\mu\text{g/L}$  en reflujo. Se presentó una alta variabilidad de los nitratos en ambos instantes de marea, donde la máxima concentración se presentó durante el flujo en el sector Cascajal (88,2  $\mu\text{g/L}$ ), lo cual evidencia contaminación en este sector; mientras que el valor más bajo se observó en el río Anchicayá (12,1  $\mu\text{g/L}$ ; Figura 8.33a). El comportamiento en condición de reflujo presentó la máxima concentración en el estero Aguadulce con 68,6  $\mu\text{g/L}$ , lo cual indica descargas de aguas residuales domésticas. La menor concentración se obtuvo en la parte externa de la bahía (12,3  $\mu\text{g/L}$ ; Figura 8.33a y b).

Los valores de nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) descendieron en altas precipitaciones y oscilaron entre 1,1 y 36,1  $\mu\text{g/L}$ . En general el comportamiento de los nitratos mostró una amplia variación en toda la bahía sin seguir ningún tipo patrón definido, aunque si mostró diferencias entre flujo y reflujo marea.

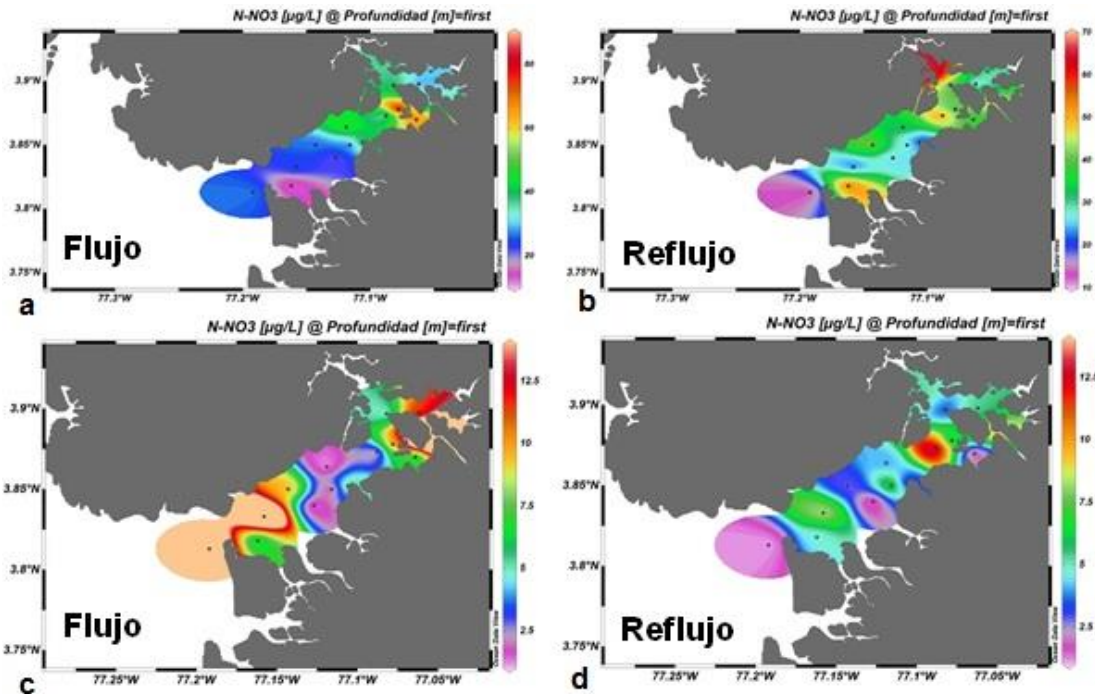


Figura 8.33. Variación de los nitratos medidos en el agua superficial de la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

Los ortofosfatos ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) mostraron un patrón de comportamiento uniforme para ambos instantes de marea (flujo y reflujo) y oscilaron entre 1,24 y 21,4  $\mu\text{g/L}$ , sin embargo se observaron picos en condiciones de flujo (Figura 8.34a) en el río Potedó (98,2 4  $\mu\text{g/L}$ ) y en reflujo en el canal sur (191,1 4  $\mu\text{g/L}$ ; Figura 8.34b), estos valores de ortofosfatos están asociados a los vertimientos de aguas residuales domésticas o escorrentías agrícolas que traen residuos de fertilizantes del suelo y productos de limpieza, lo cual podría causar florecimiento de algas (Manahan, 2007). En altas precipitaciones los ortofosfatos disminuyeron ligeramente en comparación con la época de altas precipitaciones (1,2 y 18,9  $\mu\text{g/L}$ ), en condición de flujo el máximo valor se observó en el puente El Piñal (16,3  $\mu\text{g/L}$ ; Figura 8.34a), mientras que en reflujo en Isla Cangrejo (18,9  $\mu\text{g/L}$ ; Figura 8.34b), al igual que los nitratos, los ortofosfatos no mostraron un patrón de comportamiento definido en los dos instantes de marea.

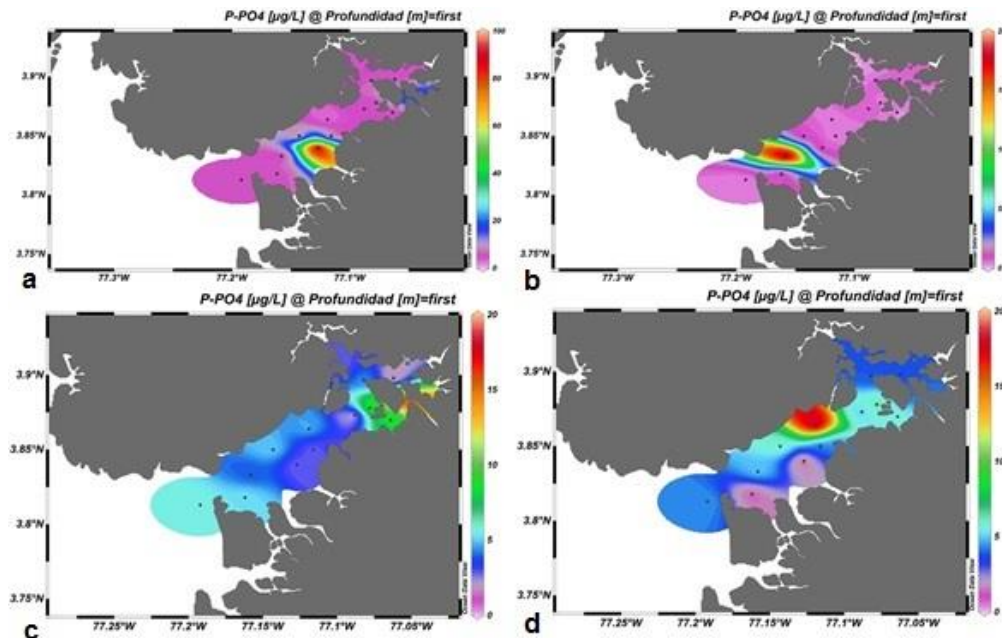


Figura 8.34. Variación de ortofosfatos ( $\mu\text{g/L}$ ) medidos en el agua superficial de la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

En general, las concentraciones de nutrientes ( $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NO}_2^-$  y  $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) analizadas en 2015 se encontraron dentro del rango históricos en la bahía de Buenaventura ( $\text{NO}_3^- = 225,2 \pm 151,9 \mu\text{g/L}$ ;  $\text{NO}_2^- = 13,7 \pm 27,5 \mu\text{g/L}$  y  $\text{P-PO}_4^{3-} = 54,2 \pm 27,9 \mu\text{g/L}$ ). El análisis espacial mostró que no hay diferencias entre los sectores ( $p=0,36$ ;  $p=0,86$  y  $p=0,60$  para el  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , respectivamente), pero que las concentraciones más altas de nutrientes se presentaron en el sector de la isla Cascajal, como consecuencia del aporte de aguas servidas sin tratamiento (Figura 8.35). El análisis temporal mostró diferencias significativas entre épocas climáticas para los nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) registrando los valores más altos en bajas precipitaciones, especialmente en el sector de la isla Cascajal producto de la descarga de aguas residuales domésticas y a las descargas del río Dagua.

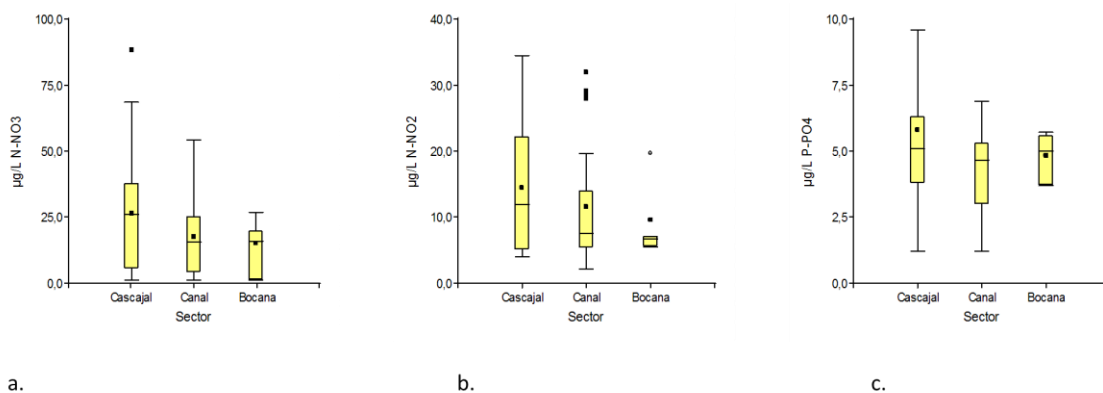
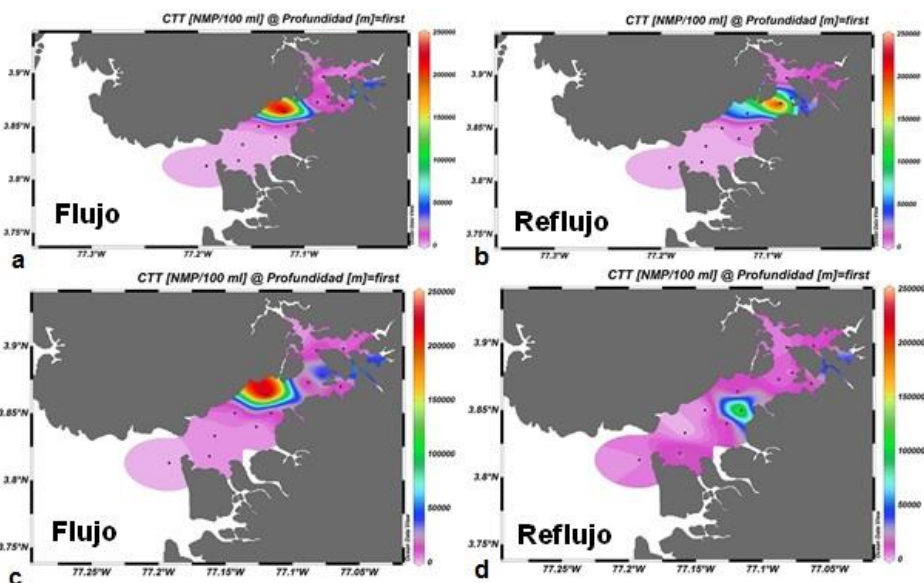


Figura 8.35. Comportamiento de los nutrientes inorgánicos disueltos ( $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NO}_2^-$  y  $\text{P-PO}_4^{3-}$ ;  $\mu\text{g/L}$ ) superficial del agua medidos en los sectores de la bahía de Buenaventura y las playas en el año 2015.

### Contaminación Microbiológica

La calidad microbiológica de la bahía en la época de bajas precipitaciones, mostró que las concentraciones más altas de coliformes totales (CTT) se encontraron en flujo de marea, especialmente en el canal norte e isla Cangrejo, con valores de 240.000 NMP/100mL y la mejor calidad se obtuvo en canal sur y en el río Anchicayá, que reciben la influencia marina. En general el patrón de comportamiento de esta variable fue uniforme, teniendo en cuenta que el 60 % de las estaciones presentaron concentraciones inferiores a 2.400 NMP de CTT/100mL en toda la bahía. El 40 % de estaciones superaron el límite para contacto secundario de la normatividad colombiana en ambas condiciones de marea (5.000 NMP de CTT/100 mL, [MinSalud, 1984](#); Figura 8.36).

En época de bajas precipitaciones la concentración más alta de CTT se encontró en la isla Cangrejo (240.000 NMP de CTT/100mL) y las más baja en la bahía externa (180 NMP de CTT/100mL), fueron muy similares a los resultados obtenidos en la época de bajas precipitaciones. En general el patrón de comportamiento fue uniforme para flujo y reflujos, teniendo en cuenta que el 83 % de las estaciones presentaron concentraciones superiores a 2.000 NMP de CTT/100mL en toda la bahía, lo cual es una calidad inadecuada (Figura 8.36).



**Figura 8.36.** Variación de coliformes totales (CTT) medidos en el agua superficial de la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujos (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujos (d).

Las concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) más altas se presentaron en isla Cangrejo (66.000 NMP de CTE/100 mL) y puente Piñal (15.000 NMP de CTE/100 mL) en ambas mareas de flujo y reflujos, observándose que en Isla Cangrejo las concentraciones permanecieron altas debido al vertimiento de aguas residuales (Figura 8.36). La bahía presentó en general un comportamiento uniforme en el 90 % de las estaciones, con concentraciones menores a 2.100 NMP de CTE/100mL, el 10 % restante con concentraciones mayores a 15.000 NMP de CTE/100mL, sobrepasando el valor permisible para contacto primario según la normatividad colombiana (200 NMP de CTE/100 mL, [MinSalud, 1984](#); Figura 8.37).

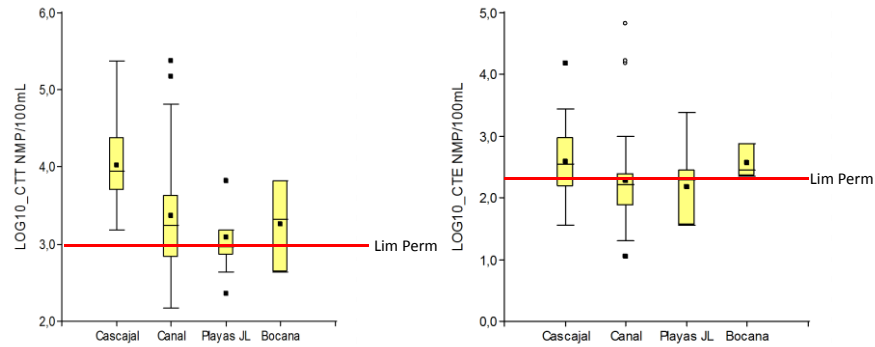


Figura 8.37 Variación de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidos en agua superficial de los sectores de la bahía de Buenaventura y las plays en el año 2015.

Las concentraciones de *Escherichia Coli* fueron similares a los coliformes termotolerantes (CTE), debido a que *E. coli* es predominante en el grupo de las bacterias CTE (Ashbolt et al., 2001), y presentaron un comportamiento similar a CTE, isla Cangrejo y puente Piñal, con valores de 14.000 NMP/100 mL y 12.000 NMP/100 mL, respectivamente en marea reflujo, lo que revela la influencia directa de la zona continental que drena vertimientos de aguas residuales municipales provenientes de estos sectores. Igualmente esta variable tuvo un patrón de comportamiento uniforme en el 90 % de sus estaciones las concentraciones no sobrepasaron los 1.600 NMP/100 mL y el restante superó los 7.500 NMP/100 mL (Figura 8.38).

Como era de esperarse las concentraciones de *E. coli* durante la época de altas precipitaciones fueron ligeramente mayores a las obtenidas bajas precipitaciones, presentándose el mayor valor en el canal Centro de la bahía con 17.000 NMP/100 mL durante el reflujo mareal (Figura 8.38). En esta temporada climática el 87 % de las estaciones estuvieron por debajo de 1.000 NMP/100 mL (Figura 8.38).

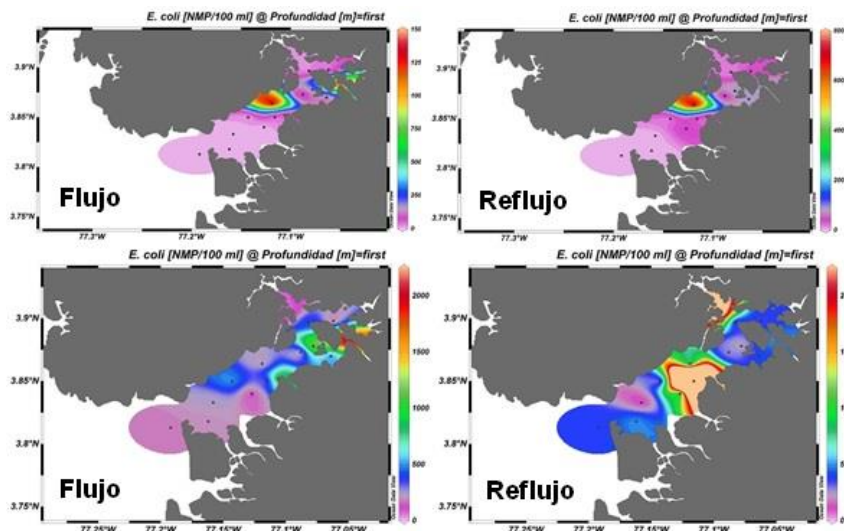


Figura 8.38. Variación de *Escherichia coli* (NMP/100 mL) medida en el agua superficial de la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

En el Pacífico colombiano se presentan problemas de contaminación en los ambientes marinos por microorganismos de origen fecal, principalmente por las descargas de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento, procedentes de las zonas urbanas adyacentes (CAN, 2001; Vivas-Aguas *et al.*, 2014b). Aunque se considera que el mar tiene alta capacidad de autodepuración y dilución sustancias y materiales orgánicos no deseados provenientes de ríos y fuentes de aguas residuales, en ocasiones, debido a la gran cantidad de desechos que se vierten, estas virtudes pueden verse afectadas (Boyd y Tucker, 1992).

### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

A pesar de que los HAT en la bahía de Buenaventura durante la época de bajas precipitaciones tuvieron comportamientos diferentes en el flujo y reflujo de la marea, todos los datos oscilaron entre menor al límite de detección de la técnica analítica utilizada en el LABCAM (0,07  $\mu\text{g/L}$ ) y 1,90  $\mu\text{g/L}$ , indicando la presencia de residuos de hidrocarburos en la zona, debido al tránsito de embarcaciones menores y de gran calado a lo largo de la bahía, sin embargo, no sobrepasaron la referencia de 10  $\mu\text{g/L}$  de la Unesco (1984) para aguas no contaminadas (Figura 8.39a). En época de altas precipitaciones los HAT fueron superiores comparados con la época de bajas precipitaciones, donde oscilaron entre 2,12 y 2,30  $\mu\text{g/L}$ , sin embargo, son valores bajos y el 93 % de las estaciones estuvieron por debajo de la referencia de Unesco, 1984. Los hidrocarburos no siguieron un patrón definido para los dos instantes de marea (Figura 8.39b).

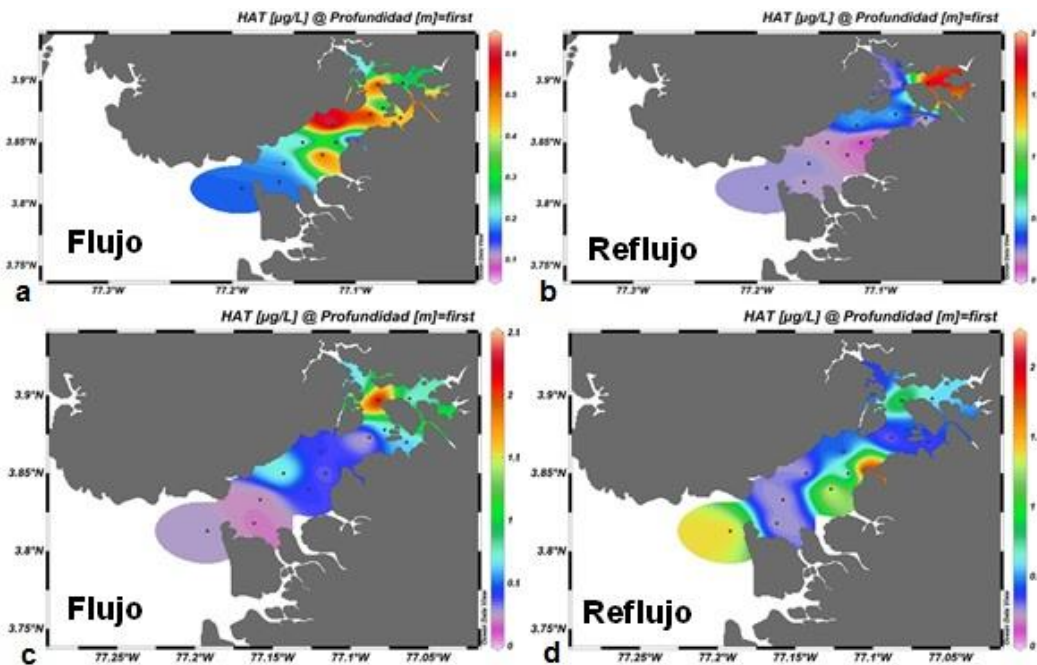


Figura 8.39. Variación de los Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidos en el agua superficial en la bahía de Buenaventura en época de bajas precipitaciones (mayo) durante las condiciones de flujo (a) y reflujo (b); y en altas precipitaciones (agosto) en flujo (c) y reflujo (d).

El análisis espacial no evidenció diferencia entre los sectores ( $p=0,06$ ), pero los valores más altos se presentaron en el sector de la isla Cascajal, donde se desarrolla la actividad portuaria (Figura 8.40); mientras que el análisis temporal mostró diferencias y los valores más altos en la época de altas precipitaciones ( $0,63 \pm 0,54 \mu\text{g/L}$ ), como consecuencia de los derrames invisibles y el arrastre de residuos de hidrocarburos a través de las escorrentías continentales y de actividades humanas de la zona (Xu y Obrad, 2004).

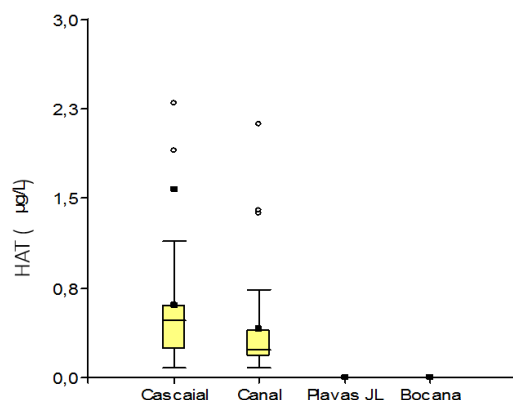


Figura 8.40. Hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en agua superficial de los sectores de la bahía de Buenaventura y las playas Juanchaco, Ladrilleros y Bocana en el año 2015.

### Índice de calidad de aguas

Utilizando el Índice de Calidad Ambiental Marina (ICAM) se evaluaron de manera integral los cambios en la calidad del agua, teniendo en cuenta las dos épocas climáticas (altas y bajas precipitaciones) y las condiciones de reflujos y flujos de la marea en la bahía de Buenaventura. Los resultados del ICAM mostraron condiciones adecuadas e inadecuadas para el desarrollo de actividades recreativas y de preservación de flora y fauna, con valores que fluctuaron entre 37,5 y 86,8, demostrando así la variabilidad de las características del recurso hídrico de la bahía.

En la época de bajas precipitaciones, la calidad del agua mostró mejor estado durante el flujo de marea (alta; Figura 8.41) en comparación con el estado del agua en reflujos (marea baja; Figura 8.42), donde se encontró una calidad inadecuada en isla Cangrejo, río Potedó y Canal Sur de la bahía en el sector del canal de acceso. El estado de calidad encontrado en la isla Cangrejo se debe a la alta concentración de CTE (66.000 NMP/100 mL), el cual superó el criterio de calidad de la legislación colombiana para el uso del agua por contacto primario ( $< 200$  NMP de CTE /100 mL; MinSalud, 1984) y en las estaciones río Potedó y Canal Sur a la alta concentración de ortofosfatos (98,2 y 191  $\mu\text{g/L}$  respectivamente), producto de la descarga de aguas residuales en la bahía. La calidad inadecuada se presentó en las estaciones puente El Piñal, Boca Aguadulce, Cascajal sur y río Dagua, debido a que en reflujos (marea baja) son más evidentes las descargas de aguas residuales por el sector de la Isla Cascajal y esteros a la bahía.

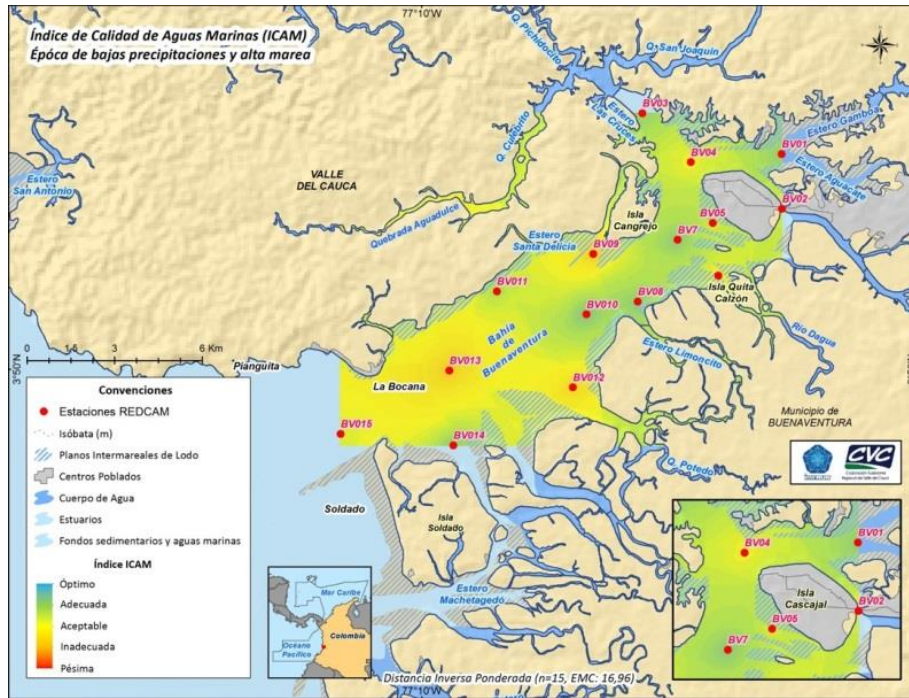


Figura 8.41. Índice de Calidad de Aguas Marinas (ICAM) en época de bajas precipitaciones y flujo de marea (alta).

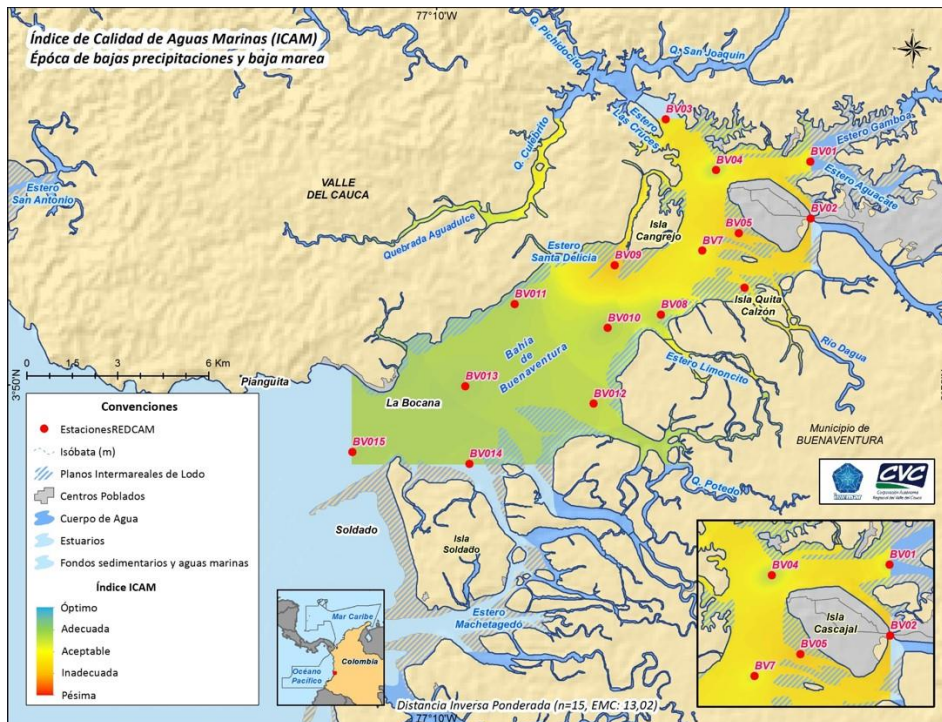


Figura 8.42. Índice de Calidad de Aguas Marinas (ICAM) en época de bajas precipitaciones y reflujo de marea (baja)



En la época de altas precipitaciones, el 93 % de las estaciones en flujo (marea alta; Figura 8.43) y el 73 % de las estaciones en reflujó (marea baja; Figura 8.44) presentaron calidad *adecuada*, sin embargo las estación 2 ubicada en el puente el Piñal presentó una calidad inadecuada en marea alta, debido a que los CTE superaron el criterio de calidad (930 NMP/100mL) y los nitratos fueron relativamente altos (46,8 µg/L); la estación ubicada en el canal de acceso igualmente registró una calidad inadecuada, debido a la alta concentración de CTE de 17000 NMP/100mL, lo cual se podría atribuir a las descargas de aguas servidas de la poblaciones cercanas.

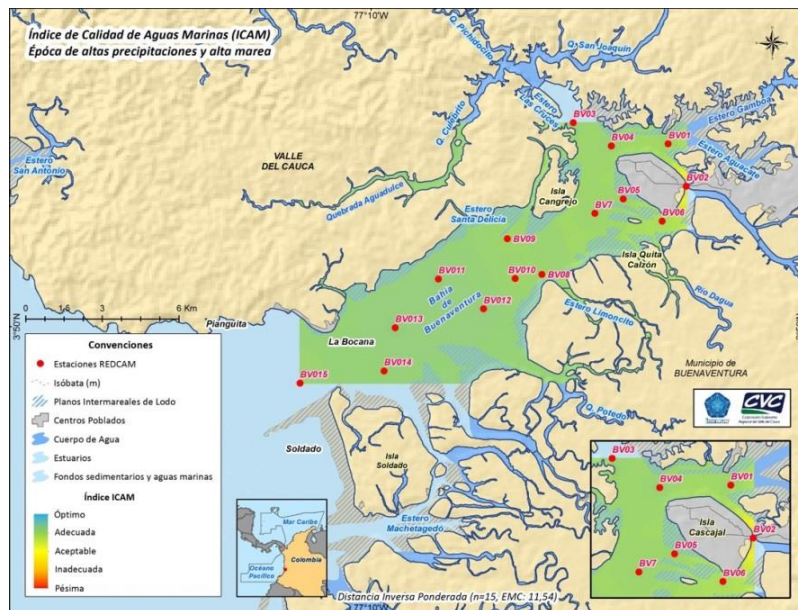


Figura 8.43. Índice de Calidad de Aguas Marinas (ICAM) en época de altas precipitaciones y flujo de marea (alta).

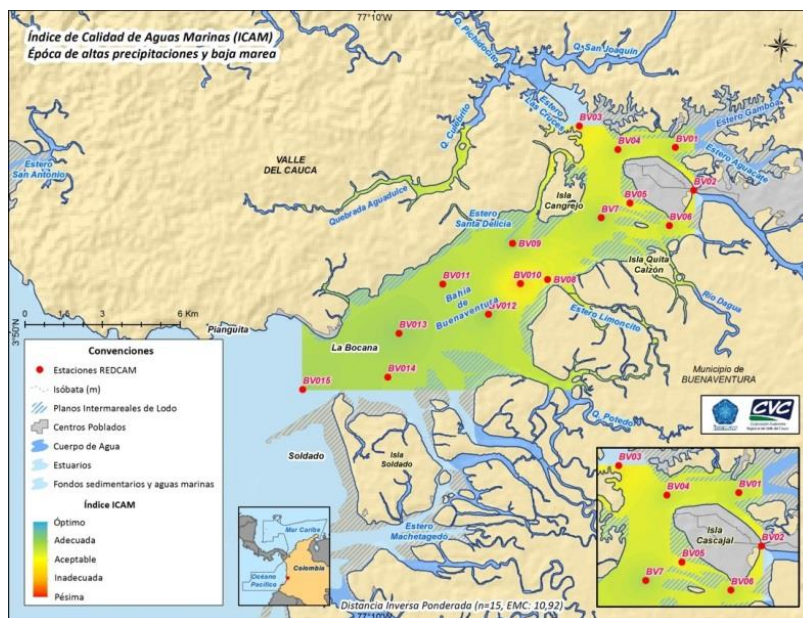


Figura 8.44. Índice de calidad de aguas marinas (ICAM) en época de altas precipitaciones y reflujó de marea (baja).

### **8.2.2 CONCLUSIÓN**

La calidad del agua en la bahía de Buenaventura y las playas Juanchaco, Ladrilleros y Bocana se ve afectada por el inadecuado manejo de residuos municipales, y por la influencia de otras actividades productivas, las cuales aportan altas concentraciones de materia orgánica, nutrientes, sólidos en suspensión, y microorganismos de origen fecal, que deterioran la calidad del agua y limita sus diferentes usos. El efecto se ve intensificado en época de bajas precipitaciones y en condiciones marea baja.

# Cauca



Isla Gorgona. Foto: José Sánchez

## **EQUIPO TÉCNICO CRC**

*Luz Marina Prieto Bayer – Profesional Especializado  
Julio César Rodríguez – Asesor de la Dirección*



### 8.3 CAUCA

El departamento de Cauca está situado en el suroccidente del país, en la región de la llanura del Pacífico entre los 01° 00' y 03° 22' de latitud norte y los 75° 52' y 78° 00' de longitud oeste. La cuenca del Pacífico abarca el 33 % del departamento y comprende el área de drenaje al mar de las corrientes que se originan en la cordillera Occidental. Los principales ríos que llegan a la zona costera son Micay, Guapi, Timbiquí y Naya ([CRC, 2002](#)).

En el departamento del Cauca las condiciones climáticas están determinadas fundamentalmente por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que genera precipitación durante el año, con una distribución de tipo bimodal, que se caracteriza por la presencia alternada de dos temporadas muy lluviosas y las menos lluviosas ([Eslava, 1994](#)). La primera temporada lluviosa se inicia normalmente en el mes de abril y se prolonga hasta finales de junio; su máxima intensidad se presenta en abril en la zona sur y en el mes de mayo en las zonas norte y central. La segunda temporada lluviosa, la más intensa, se da entre los meses de septiembre y noviembre en las zonas norte y central; y entre octubre y diciembre en la zona sur, con máximas intensidades en octubre y noviembre. La temporada menos lluviosa, en general tiene lugar entre los meses de diciembre y marzo, cuando la ZCIT se encuentra en el sur y no ejerce influencia condicionante en la región del Pacífico; excepto en la zona sur donde la ZCIT logra que éste no sea el periodo menos lluvioso sino que sean los meses de julio, agosto y parte de septiembre cuando la ZCIT está en el norte del país ([CRC, 2009](#)).

La zona insular del departamento corresponde a las Islas Gorgona y Gorgonilla, las cuales están a 46 km del continente en Guapi, localizada en la zona intertropical ecuatorial, por lo que influye grandemente en su clima y vegetación. Por la presencia de asociaciones vegetales particulares y la alta diversidad biológica marina en estas islas, fue declarada Parque Natural Nacional en 1980, convirtiéndose en un área natural protegida en el Pacífico colombiano ([Giraldo et al., 2008](#)). Es importante destacar que en la zona de influencia costera de isla Gorgona, se encuentran dos de los arrecifes coralinos más desarrollados y diversos del Pacífico oriental tropical, y el más grande del Pacífico colombiano ([Glynn et al., 1982](#); [Zapata et al., 2001](#) ; [Giraldo et al., 2008](#)).

La población costera del departamento al año 2015 se estimó en 71.655 habitantes, distribuidos en los municipios de Guapi (41,5 %), López de Micay (28,4 %) y Timbiquí (30,2 %; [DANE, 2015](#)). Los residuos sólidos producido en estos municipios, alcanza los 3,69 t/día, los cuales son dispuestos finalmente en el relleno sanitario Temuey, en los botaderos a cielo abierto de Timbiquí y López de Micay ([Superservicios, 2014a](#)) y en los cuerpos de agua naturales. La producción de aguas residuales domésticas es proporcional al tamaño de la población costera, y son vertidos directamente a los cuerpos de agua naturales sin ningún tipo de tratamiento previo o dispuesto sobre el terreno.

Con el propósito de mantener un diagnóstico actualizado del estado del recurso hídrico marino costero del departamento de Cauca, y aportar información sobre temas de calidad ambiental marina que soporte a futuro la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), la REDCAM cuenta con 21 estaciones de monitoreo para evaluar la calidad de las aguas, las cuales se encuentran distribuidas en tres zonas: López-Timbiquí, Guapi e Isla Gorgona (Figura 8.45). El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos realizados por el INVEMAR y CRC entre el 29 de septiembre y el 04 de octubre del 2014 (época de alta precipitación) y del 20 al 24 de abril de 2015 (época de baja precipitación), en consecuencia los gráficos y el análisis de la información se muestran como

la época lluviosa 2014 y época seca 2015 respectivamente, para ser coherentes con el análisis nacional de todos los departamentos.

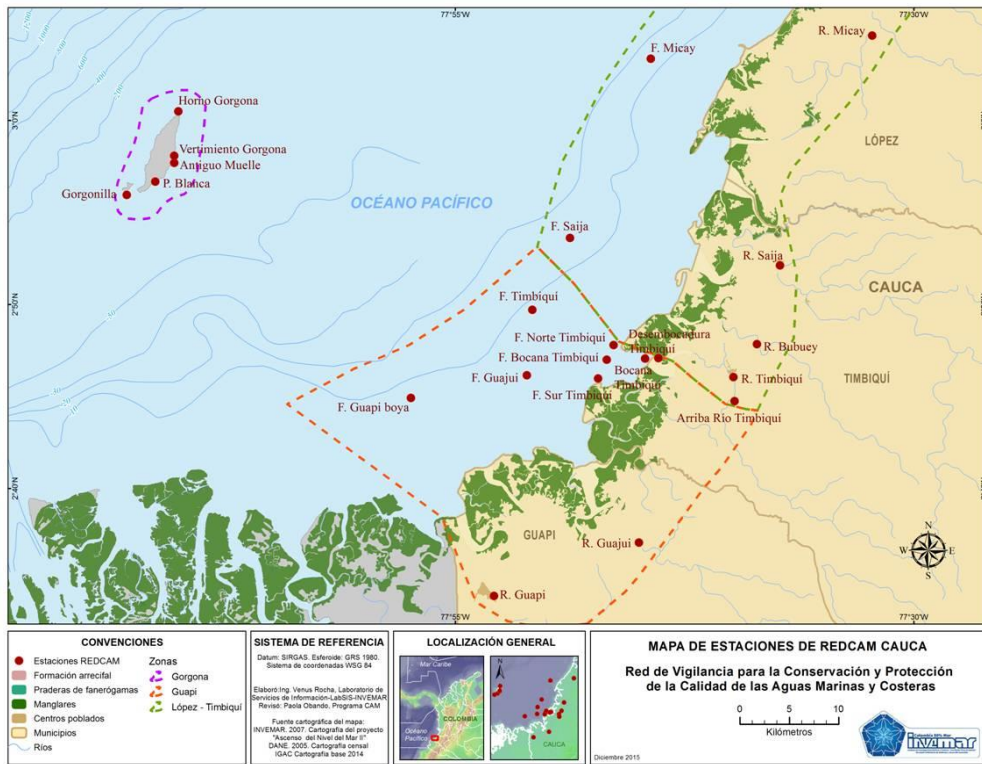


Figura 8.45. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Cauca.

### 8.3.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 8.3.1.1 CALIDAD DE LAS AGUAS

##### Variables fisicoquímicas

##### *In situ y Sólidos suspendidos totales*

La calidad fisicoquímicas del agua marino costera del departamento de Cauca, cambia de acuerdo con las condiciones ambientales climáticas y de hidrodinámica (mareas y crecientes de los ríos) predominantes, además de las actividades socioeconómicas que se desarrollan en la zona costera, las cuales pueden ser fuentes de contaminación al océano Pacífico caucano (Vivas-Aguas *et al.*, 2015a). La temperatura del agua superficial en las estaciones de muestreo osciló entre 25,6 y 30,3 °C en la época lluviosa 2014 y entre 24,7 y 29,9 °C en época seca 2015, valores asociados a la hora del día que se realizaron las mediciones (7:00 a.m. y 3:00 p.m.). La salinidad del agua (Figura 8.46) en las estaciones de los ríos registró un valor máximo de 1,3 partes, correspondiente a aguas dulceacuícolas. En las estaciones de las desembocaduras de los ríos y sus frentes la salinidad fluctuó entre 2,0 y 30,1, valores asociados con los estados de marea, indicando condiciones del agua estuarina. En las estaciones de la zona Gorgona, el agua de característica marina registró salinidades de  $29,8 \pm 0,1$  en la época lluviosa 2014 y de  $32,5 \pm 0,4$  en la época seca 2015.

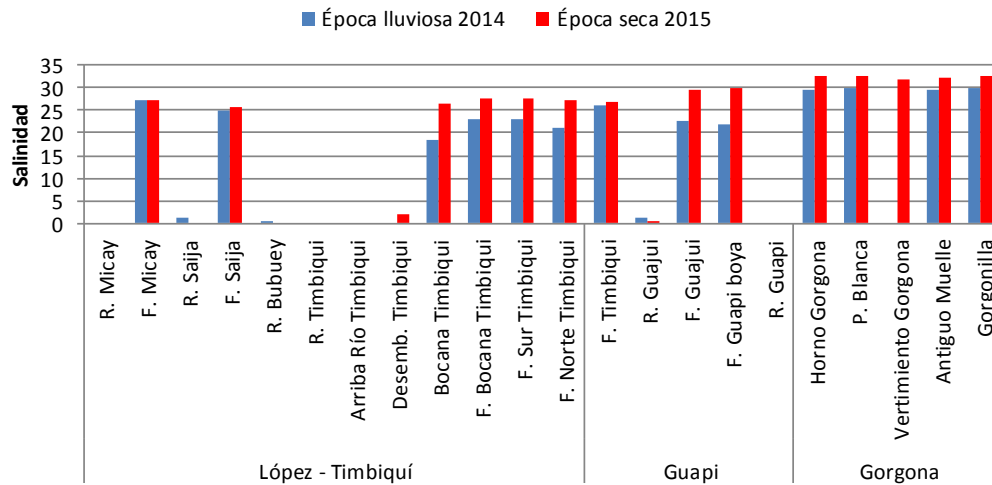


Figura 8.46. Salinidad medida en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El oxígeno disuelto (OD) osciló entre 3,84 y 6,53 mg de  $O_2/L$  (Figura 8.47), presentándose valores por debajo del límite permisible ( $>4,0$  mg de  $O_2/L$ ; [MinSalud, 1984](#)) para la preservación de flora y fauna en las estaciones frente Bocana Timbiquí (3,84 mg de  $O_2/L$ ) y frente Norte Timbiquí (3,91 mg de  $O_2/L$ ) en la época seca 2015. Estos resultados pueden atribuirse a la hora del día en que se realizaron las mediciones (7:40 – 7:50 a.m.), momento en el cual el cielo se encontraba nublado, y había poca radiación solar para los organismos fotosintetizadores (fitoplancton), sumado a la turbiedad del agua por las lluvias presentadas el día anterior al muestreo y a la permanente influencia del manglar y de la población ribereña en esta zona, que aportan materia orgánica, que en su descomposición consume oxígeno ([Manahan, 2007](#); [Vivas-Aguas et al., 2015a](#)).

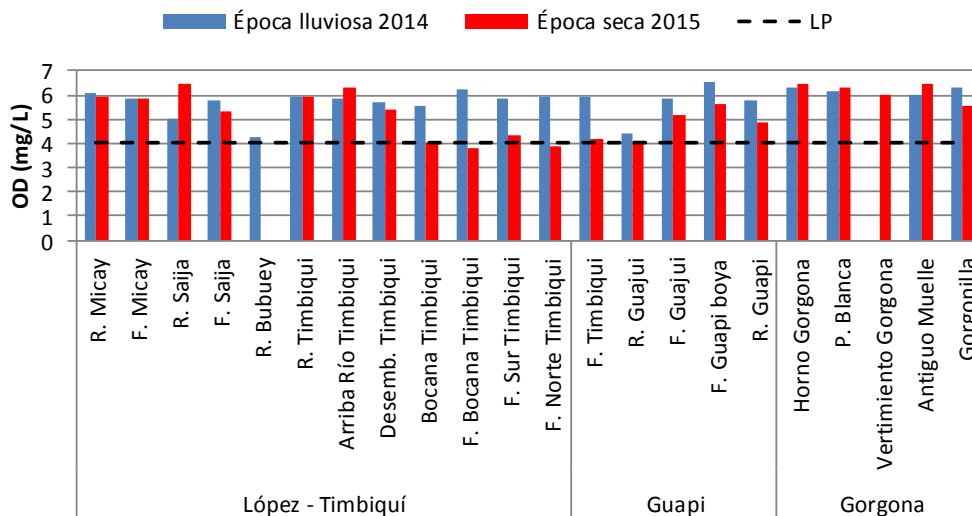
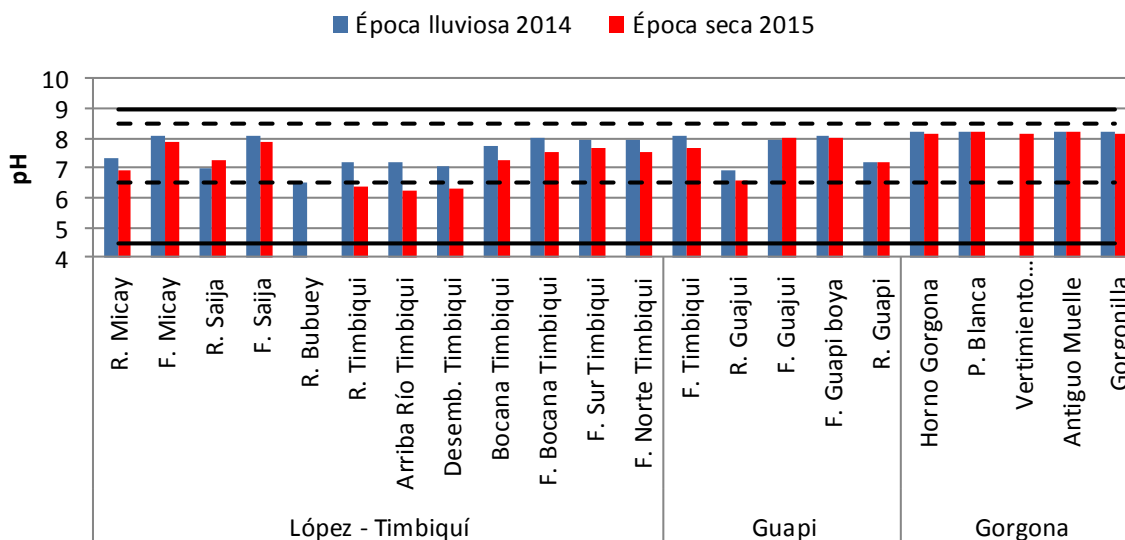


Figura 8.47. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

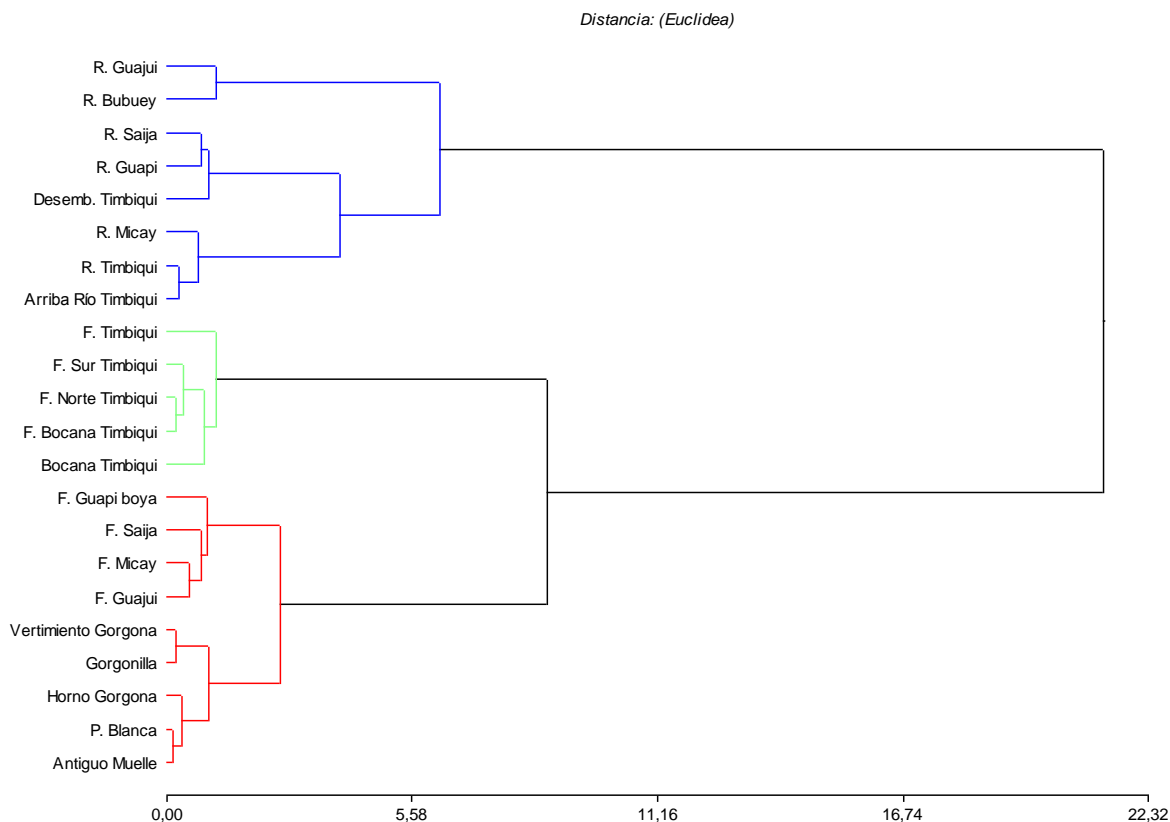
El pH osciló entre 6,23 y 7,32 en las estaciones de los ríos, entre 6,33 y 8,12 en las estaciones estuarinas de las desembocaduras y frentes de los ríos, y entre 8,15 y 8,23 en las estaciones de agua marina, las cuales se encontraron dentro del rango permisible en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0) y en aguas marinas y estuarinas (6,5- 8,5; Figura 8.48) para la preservación de flora y fauna, descritos en el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)).



**Figura 8.48. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas negra continuas indican el rango permisible en aguas cálidas dulce, y las líneas negra punteada el rango permisible en aguas marinas y estuarinas, para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)).**

Con el propósito de conocer la similitud entre las estaciones de acuerdo a las características fisicoquímicas del agua (oxígeno disuelto, salinidad, temperatura y pH), se realizó un análisis de conglomerado. Como resultado del análisis estadístico se agruparon o separaron las estaciones por tipo de agua, donde la salinidad fue la variable determinante de la agrupación, tal y como se muestra en la Figura 8.49. Las estaciones de los ríos Guajuí, Bubuey, Saija, Guapi, Micay y Timbiquí, desembocadura del río Timbiquí y arriba río Timbiquí; registraron salinidades entre 0,0 y 2,0 unidades, agrupándolas como fluviales (líneas de color azul en dendrograma); la agrupación de aguas estuarinas quedó conformada por las estaciones frente del río Timbiquí, frente sur del río Timbiquí, frente norte del río Timbiquí, frente Bocana del río Timbiquí y Bocana del río Timbiquí (líneas verdes en el dendrograma) por valores de salinidad y OD fluctuantes entre épocas climáticas; y el resto de las estaciones se agruparon como marinas por los valores de pH y salinidad similares.





**Figura 8.49. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento Cauca en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas de color azul muestran las estaciones del primer grupo de tipo fluvial, y las de color verde las estuarinas y rojo señalan las estaciones con características marinas.**

Los sólidos suspendidos totales (SST) fluctuaron entre 6,0 y 884,0 mg de SST/L (Figura 8.50). La zona López-Timbiquí presentó las concentraciones más elevadas de SST, destacándose la estación río Timbiquí y las demás estaciones situadas en este río por presentar los valores más altos en la época lluviosa 2014 (Figura 8.50). En las estaciones Arriba río Timbiquí, desembocadura río Timbiquí, frente boca río Timbiquí, frente sur río Timbiquí y frente norte río Timbiquí no se realizaron mediciones de SST en la época seca 2015. En la zona de Gorgona, las concentraciones de SST se registraron entre 18,4 y 134 mg de SST/L, encontrándose los valores más elevados en las estaciones playa Blanca (134 mg de SST/L) y Gorgonilla (56,8 mg de SST/L) en la época seca 2015 (Figura 8.50). Estas concentraciones son consideradas perjudiciales para la preservación de los parches coralinos presentes en estas zonas, debido a que superan el valor de referencia de 50 mg de SST/L (Fabricius, 2005).

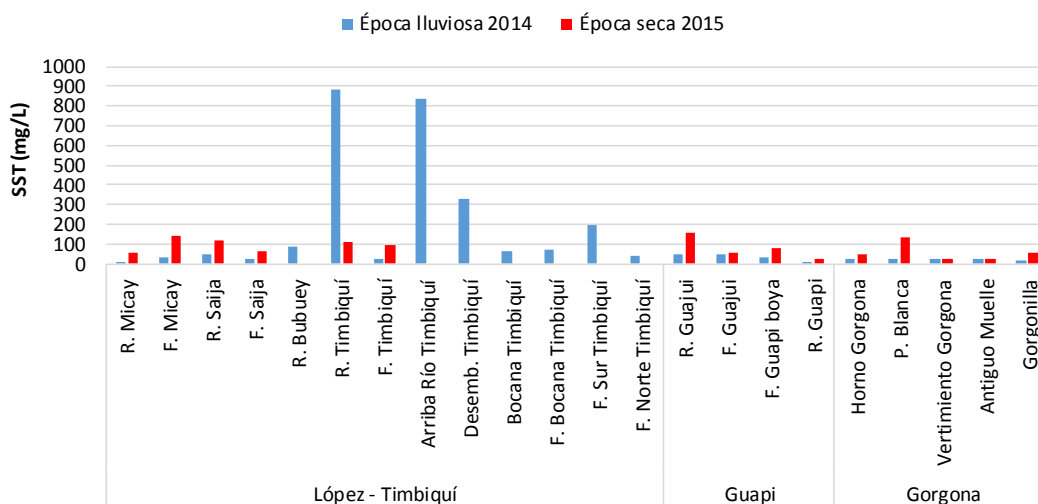


Figura 8.50 Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Cauca, en la época lluviosa 2014 y la época seca 2015.

La concentración de SST registrada en el río Timbiquí en la época lluviosa 2014, superó su promedio histórico (Figura 8.51). En esta estación se han registrado concentraciones superiores a 100 mg de SS/L en la misma época climática de los años 2005 (153,5 mg/L; [Marín et al., 2005](#)), 2012 (114,5 mg/L; [Vivas-Aguas et al., 2012c](#)), 2013 (115,2 mg/L; [Vivas-Aguas et al., 2014a](#)) y 2014 (884 mg/L; [Vivas-Aguas et al., 2015a](#)), mostrando una tendencia al aumento. El último valor registrado es un indicativo de residuos sólidos o remoción de sedimentos en el cauce del río, que pueden traer implicaciones para la calidad del agua y por lo tanto el recurso biótico del ecosistema estuarino. La estación arriba río Timbiquí continúa presentando una elevada concentración según los registros históricos de la REDCAM (Figura 8.51).

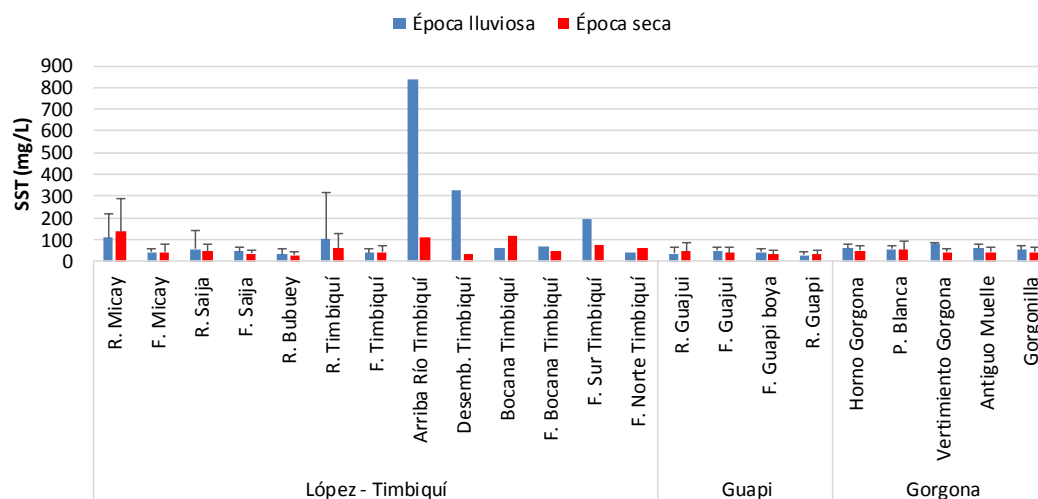


Figura 8.51 Promedio histórico (2001-2015) de las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Cauca, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

Se evaluaron los nutrientes inorgánicos disueltos de interés ambiental: Nitritos ( $\text{N-NO}_2^-$ ), Nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ), Amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) y Ortofosfatos ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ). Las concentraciones de nitritos oscilaron entre menor al límite de detección del método utilizado en el LABCAM (0,7) y 12,5  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_2^-/\text{L}$  (Figura 8.52), destacándose las estaciones de los frentes de los ríos Saija, Timbiquí y Guajuí por presentar las concentraciones más altas, lo cual se puede atribuir al arrastre de los iones provenientes de las aguas residuales vertidas a estos ríos. La zona Gorgona presentó menores concentraciones, lo cual es indicativo de bajos aportes antropogénicos que puedan alterar las concentraciones naturales del ión (Figura 8.52).

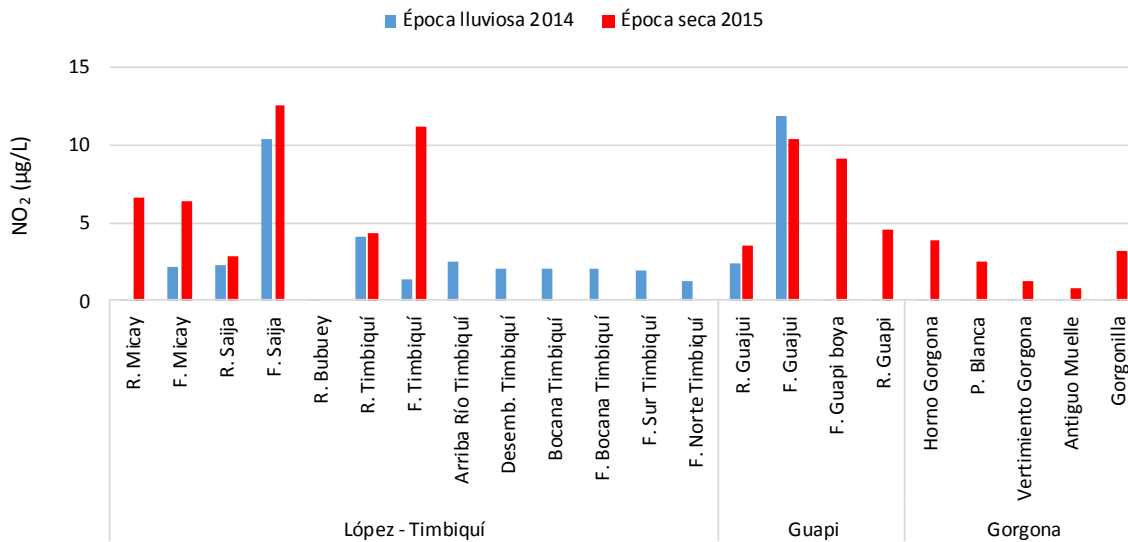


Figura 8.52 Concentraciones de Nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca, en la época lluviosa 2014 y la época seca 2015.

Los nitratos fluctuaron entre menor al límite de detección (2,1) y 100  $\mu\text{g}$  de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  (Figura 8.53). Las mayores concentraciones se presentaron en la época seca 2015 en las tres zonas de muestreo, incluyendo el valor más alto de nitratos, que se registró en la estación río Saija. Las actividades humanas actuales han aumentado el aporte de iones inorgánicos en los ríos del departamento, esto puede notarse en que las mayores concentraciones se dieron en los ríos y sus zonas de influencia como lo muestra la Figura 8.53.

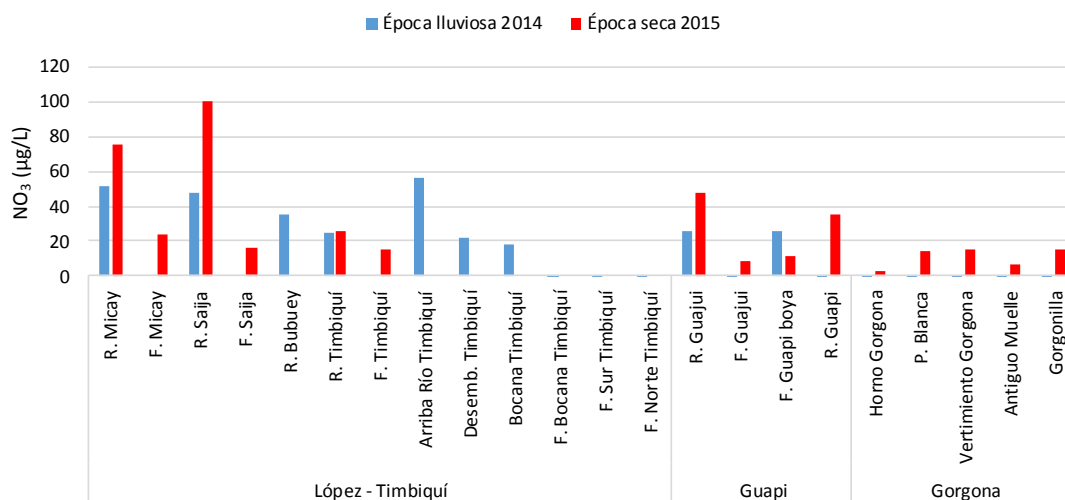


Figura 8.53 Concentraciones de Nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca, en la época lluviosa 2014 y la época seca 2015.

El amonio en altas concentraciones es un indicador de contaminación con heces o fertilizantes mientras que los ortofosfatos puede indicar contaminación proveniente del uso de detergentes fosfatados, ambos iones implican también el vertimiento de aguas residuales no tratadas, en el cuerpo de agua naturales ([Quintero et al., 2010](#); [Cárdenas y Sánchez, 2013](#)). Las concentraciones de amonio oscilaron entre menor al límite de detección del método (0,7) y 12,5 µg de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L (Figura 8.54), y de ortofosfatos entre 2,6 y 45,7 µg de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L (Figura 8.55). Los ríos continúan mostrando elevadas concentraciones de amonio y ortofosfatos en comparación con las demás estaciones de muestreo, principalmente durante la época seca 2015 (Figura 8.54), debido a que las mayores poblaciones y áreas agrícolas se sitúan en las riberas de los ríos del departamento, sumado a la alta influencia de manglares, que aportan materia orgánica en forma de detritus, que en su descomposición paulatina aportan estos nutrientes ([Murgel, 1984](#); [Torres et al., 2001](#); [Cárdenas y Sánchez, 2013](#)).

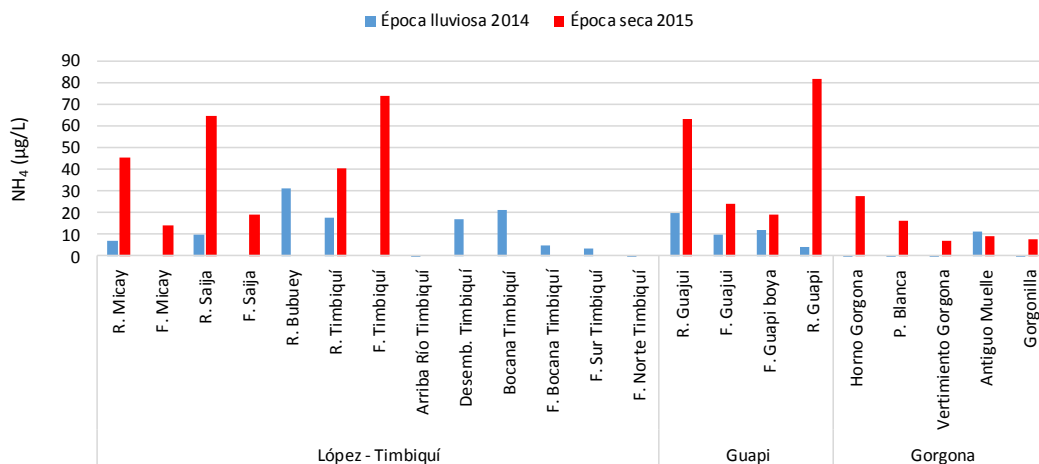


Figura 8.54. Concentraciones de Amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

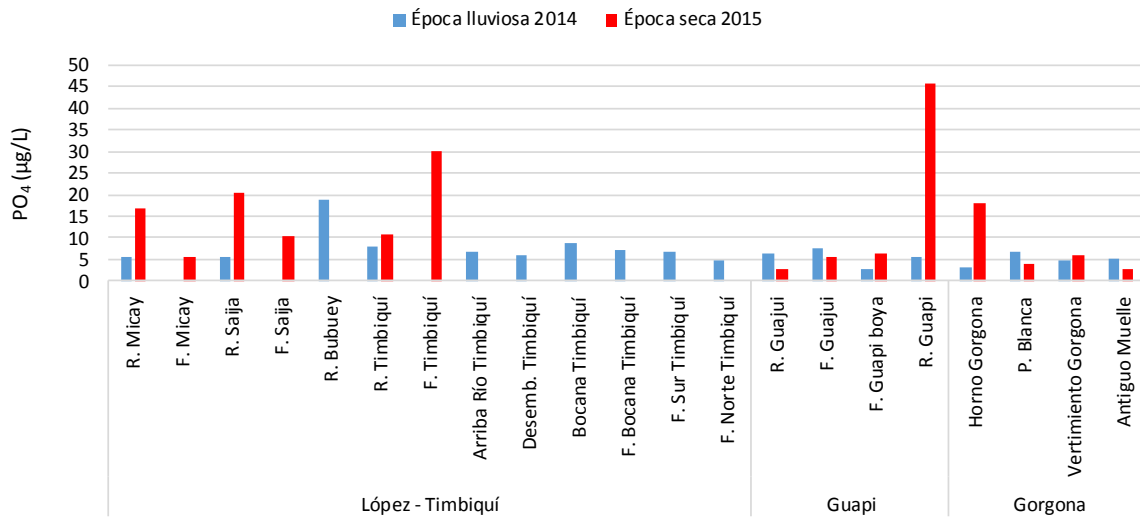


Figura 8.55 Concentraciones de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Históricamente, las concentraciones de amonio (Figura 8.56) y ortofosfatos (Figura 8.57) en la zona López-Timbiquí han sido las más altas. En la mayoría de los ríos las mayores concentraciones se han registrado en las épocas lluviosas, en comparación con las épocas secas, debido a que las escorrentías y las crecientes de los ríos arrastran estos iones de los suelos urbanos ribereños y suelos agrícolas.

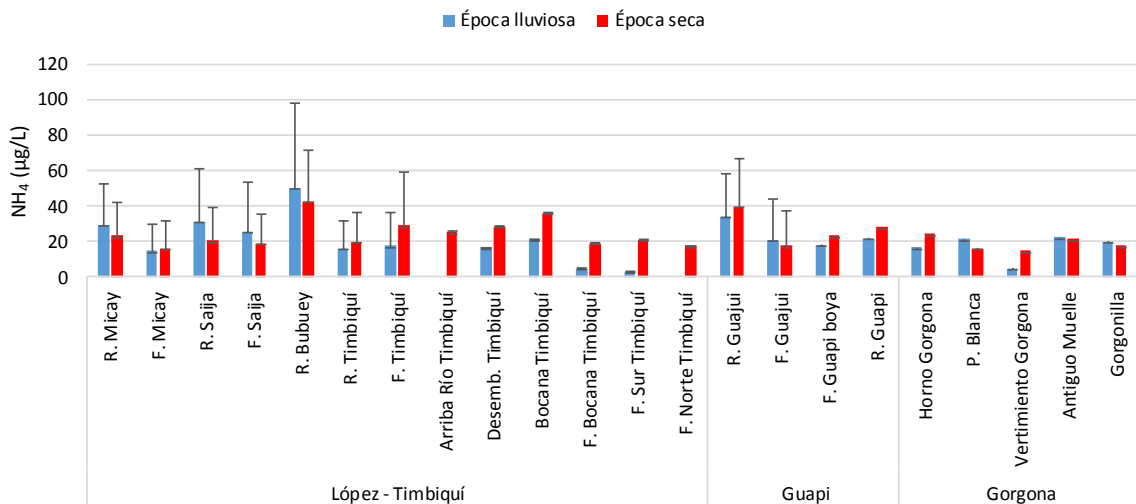


Figura 8.56 Promedios histórico (2001-2015) de las concentraciones de Amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

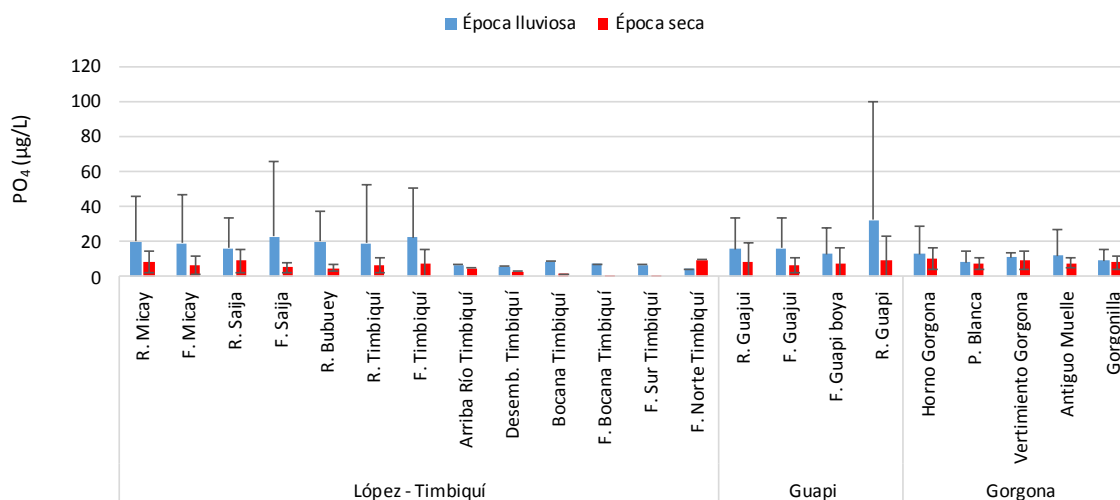


Figura 8.57 Promedios histórico (2001-2015) de las concentraciones de ortofosfatos ( $P-PO_4^{3-}$ ) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

### Contaminación microbiológica

La calidad microbiológica de las aguas del departamento de Cauca se evaluó en base a las concentraciones de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE) obtenidos en las 15 estaciones de la REDCAM. En la Figura 8.58, se muestran las concentraciones de CTT obtenidas en las aguas marinas (4), estuarinas (5) y fluviales (6) en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Por logística no fue posible la recolección de muestras del río Bubuey en la época seca 2015, por lo tanto no se cuenta con información para ese muestreo. Se encontraron altas concentraciones de CTT en las estaciones de los ríos Guajui (172.200 NMP de CTT/100 mL) y Bubuey (6.300 NMP de CTT/100 mL) en la época lluviosa 2014, y los ríos Micay (114.000 – 61.310 NMP de CTT/100 mL), Timbiquí (1.800 – 5.520 NMP de CTT/100 mL) y Saija (8.600 – 7.230 NMP de CTT/100 mL) en ambas épocas climáticas, valores que sobrepasaron los límites permisibles para contacto primario (LCP: 1.000 NMP de CTT/100 mL) y secundario (LCS: 5.000 NMP de CTT/100 mL; Figura 8.58).

La estación Horno Gorgona también incumplió el límite permisible para el uso recreativo por contacto primario en la época lluviosa 2014. El comportamiento de las estaciones durante este último monitoreo, demostró que a lo largo de la zona costera del departamento los ríos mantienen elevadas concentraciones de bacterias indicadoras de contaminación fecal, indistinta de la temporada climática.

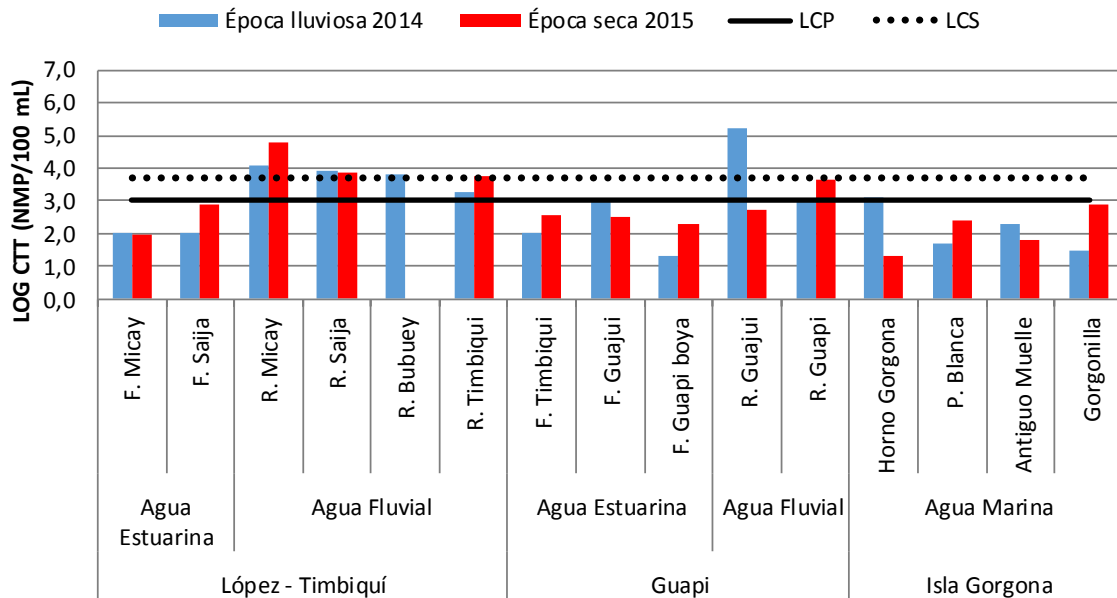
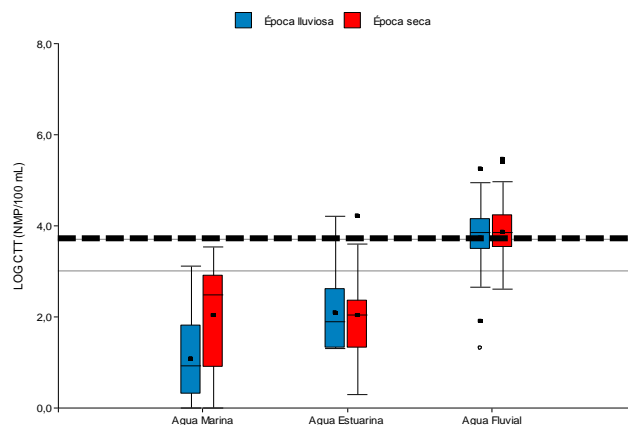


Figura 8.58 Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Cauca en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra continua corresponde al límite permisible para el uso recreativo por contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log=3,0), y la línea punteada es el límite permisible para el contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7).

Según los registros históricos de las concentraciones CTT (Figura 8.59), los ríos han sobrepasado los límites permisibles en la mayoría de las veces, sin diferencias significativas entre épocas climáticas ( $p < 0,005$ ). Lo anterior indica que los ríos descargan gran número de coliformes sobre las aguas marinas indiferente la época, debido a que estos cuerpos de agua son los receptores de vertimientos de aguas residuales domésticas de las poblaciones ribereñas. Este comportamiento es similar en las estaciones estuarinas, las cuales se ubican frente a las desembocaduras de los ríos, donde a pesar de los grandes aportes de los ríos las concentraciones de CTT se encuentran bajo los límites permisibles gracias a la alta capacidad de dilución y eliminación de la carga microbiana de las aguas marinas. Para las estaciones de aguas marinas, las cuales se ubican en las Islas Gorgona y Gorgonilla, se han mantenido bajo los valores permisibles para uso recreativo del agua por contacto primario, aun así presentándose casos puntuales donde se sobrepasaron.



**Figura 8.59 Variación histórica de las concentraciones de coliformes totales (CTT) por tipo de agua en las épocas secas y lluviosas, en el departamento de Cauca. La línea negra continua corresponde al límite de contacto primario (LPS): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), la línea punteada es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7; [MinSalud, 1984](#)).**

En la Tabla 8.6 se presentan los resultados de las concentraciones de CTE obtenidas en las estaciones de la zona Isla Gorgona, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, con los rangos históricos (2006-2015). Las concentraciones de CTE se encontraron por debajo del límite máximo permisible para uso recreativo por contacto primario (200 NMP de CTE/100 mL; [MinSalud, 1984](#)). Estos resultados pueden atribuirse a escorrentías que arrastran residuos fecales de animales mamíferos presentes en la isla, o relacionarse con las temporadas turísticas que aumentan la capacidad hotelera y los aportes de aguas servidas que llegan al mar.

**Tabla 8.6 Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) medidos en aguas superficiales de las estaciones de playas con uso turístico en la zona de la Isla Gorgona, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015, y los registros históricos.**

Estación	CTE (NMP/100 mL)			
	Lluviosa 2014	Histórico <sup>1</sup>	Seca 2015	Histórico <sup>1</sup>
Horno Gorgona	40	<LD - 40	10	<LD - 540
Playa Blanca	10	<LD - 240	20	<LD - 170
Antiguo Muelle	10	<LD - 11	10	<LD - 130
Gorgonilla	1	<LD - 49	92	<LD - 170

<LD= Valores por debajo del límite de detección de la técnica para CTE (1,8 NMP/100 mL).

<sup>1</sup>Rango histórico de CTE registrado en la base de datos de la REDCAM desde el 2006 al 2015 ([INVEMAR, 2015a](#)).

### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Las concentraciones de HAT registrados en las épocas lluviosa 2014 y seco 2015, no superaron el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la [Unesco \(1984\)](#). En la época lluviosa 2014 se encontraron las mayores concentraciones en comparación con la época seca 2015. En 14 de las 15 estaciones, los valores de HAT oscilaron en un rango entre menores al límite de detección del método utilizado (0,07) y 1,50 µg/L, a excepción del río Timbiquí que presentó la concentración más alta (3,19 µg/L; Figura 8.60). Estas concentraciones detectadas en el agua posiblemente están asociadas al manejo inadecuado



de combustibles en las zonas ribereñas, transporte marítimo, descarga directa de aguas residuales domésticas y residuos oleosos de aceites de motor, actividades que permanentemente se realizan en estas zonas.

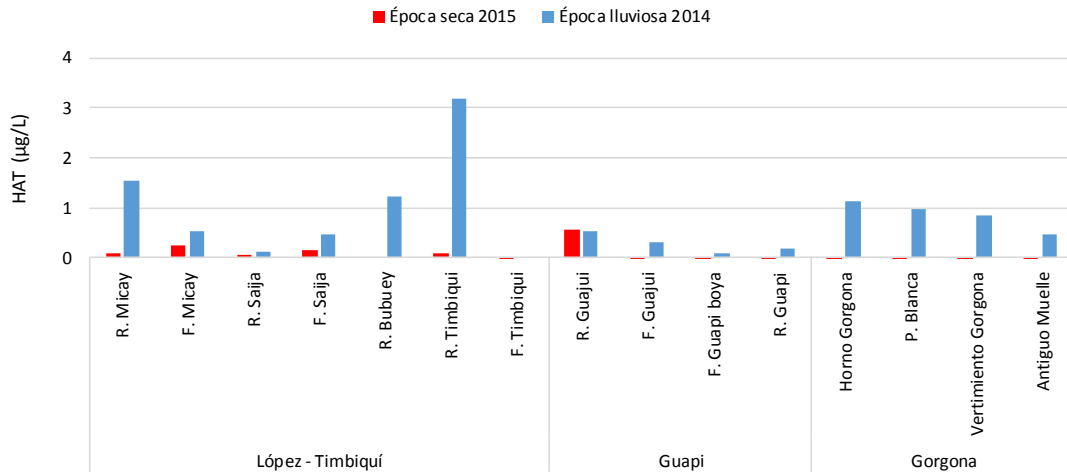


Figura 8.60. Concentraciones de hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El análisis de los registros históricos del período entre el año 2001 y 2015, mostró que los promedios más altos se han presentado en la zona de Guapi, principalmente en las épocas secas (Figura 8.61); así mismo, la variación interanual mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), registrando en el año 2001 concentraciones de HAT superiores al valor de referencia en los ríos Guapi (31,80 µg/L) y Guajui (19,10 µg/L), y en los frentes de los ríos Guajui (19,60 µg/L) y Guapi (10,30 µg/L; [Invemar, 2001](#)).

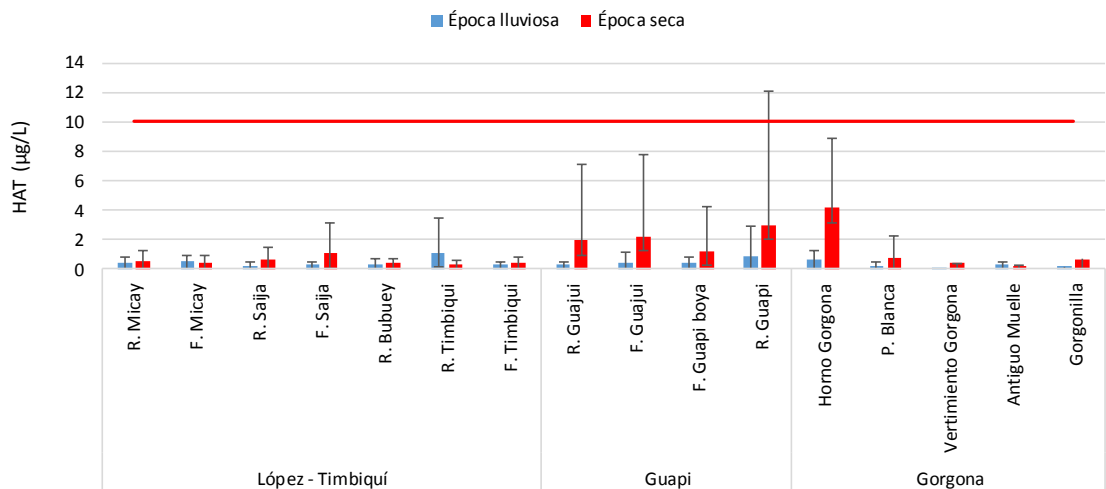


Figura 8.61. Promedio histórico (2001-2015) de hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en las épocas lluviosas y secas. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

## Plaguicidas

En la Tabla 8.7 se presentan los valores máximos de plaguicidas detectados en los muestreos realizados entre los años 2001 y 2008 en el departamento del Cauca. Entre los plaguicidas organoclorados (POC) detectados están: 1,1'-(2, 2, 2-tricloroetilidieno)-bis-(4-clorobenceno) conocido como DDT; Hexaclorociclohexano (HCH); Heptacloro (HEP) y Aldrín (ALD). Para el último monitoreo llevado a cabo en la época seca 2015, se detectó la presencia de Endrín cetona (END CET) en la estación del río Guapi, en una concentración de 30,0 ng/g. Este compuesto es un producto de la degradación del plaguicida Endrín que no hace parte de la gama de compuestos objeto de seguimiento de la REDCAM. Al contrastar estos valores con la referencia para efectos agudos establecidos por la [EPA \(2015\)](#), encontramos que todos los valores de plaguicidas obtenidos en la REDCAM se encuentran por debajo de la referencia. Entre las posibles fuentes de estos compuestos está su uso en la agricultura como productos para el control de insecticidas.

**Tabla 8.7 Valores máximos de plaguicidas determinados durante la REDCAM, en el departamento del Cauca, desde el 2001 al 2015 y valores de referencia para efectos agudos (EPA, 2015).**

PLAG	Época y año del monitoreo	Estación	Valor determinado por la REDCAM [ng/L]	Valores de referencia para efectos agudos en aguas [ng/L]	
				Aguas dulces	Aguas marinas
DDT	Seca 2001	Río Guajui	48,5	1.100	130
HCH	Seca 2001	Frente río Guajui	61,9	950	160
ALD	Seca 2004	Frente río Micay	4,2	3.000	1.300
HEP	Seca 2010	Playa Blanca	8,1	520	53
END CET	Seca 2015	Río Guapi	30	86	37

## Metales Pesados

Los elementos metálicos Cd y Cr determinados en las aguas marino costeras del departamento del Cauca en las épocas lluviosa 2014 y época seca 2015, no representan ningún riesgo para la vida acuática, debido a que sus niveles se encontraron por debajo del límite de detección del método de análisis utilizado (Cd: 0,42 µg/L; Cr: 1,0 µg/L) y de los valores de referencia para efectos agudos ([Buchman, 2008](#)). El Pb solo se detectó en la zona Gorgona, en la estación Gorgonilla con un valor de 3,3 µg de Pb/L, y los niveles de Cu se observaron solamente en el río Timbiquí con una concentración de 11,06 µg de Cu/L en época lluviosa 2014 y de 3,5 µg de Cu/L en época seca 2015. Estos niveles concuerdan con los reportados en los últimos monitoreos en donde las concentraciones han sido relativamente bajas ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)), indicando que en los sitios de muestreo no hay contaminación por estos metales, ya que están muy por debajo de valores de referencia para efectos agudos establecidos en guías internacionales (Cd: 40 µg/L; Cu: 4,8 µg/L; Pb: 210 µg/L [Buchman, 2008](#) y Cr: 50 µg/L [CONAMA, 2005](#)).

Los niveles de Ni y Zn solo se registraron en la época lluviosa de 2014. Para el Ni se determinaron concentraciones de 5,08 µg de Ni/L en río Timbiquí y de 1,3 µg de Ni/L en río Guapi. El Zn se presentó en las estaciones río Bubuey y río Timbiquí con valores de 14,3 y 18,15 µg de Zn/L, respectivamente. Ambos metales no superaron los valores de referencia para efectos agudos de la NOAA (Ni: 74 µg/L; Zn: 90 µg/L [Buchman, 2008](#)).

El Fe fue el metal que se presentó en todos los sitios muestreados con un promedio de  $60,7 \pm 88,7 \mu\text{g/L}$  en época lluviosa 2014 y  $58,6 \pm 41,2 \mu\text{g/L}$  en época seca de 2015 (Figura 8.62). La concentración más alta se determinó en época lluviosa 2014 en la estación río Timbiquí con un valor de  $304 \mu\text{g/L}$ , el cual no supera el valor de referencia para efectos crónicos en aguas dulces ( $1.000 \mu\text{g/L}$ , [Buchman, 2008](#)). Las estaciones marinas presentaron niveles por debajo del valor de referencia para efectos agudos de la NOAA ( $300 \mu\text{g/L}$ , [Buchman, 2008](#)).

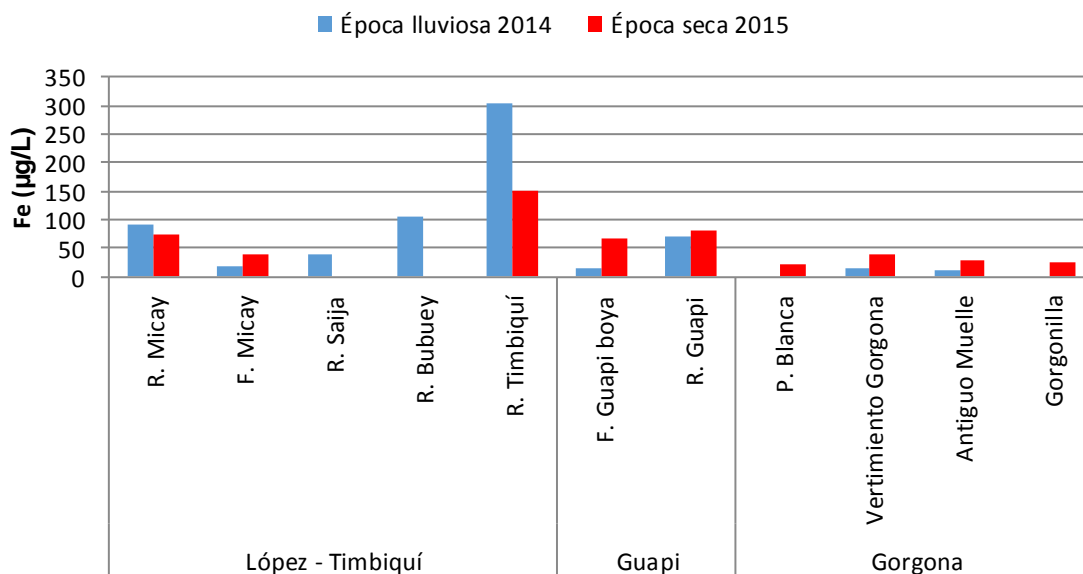
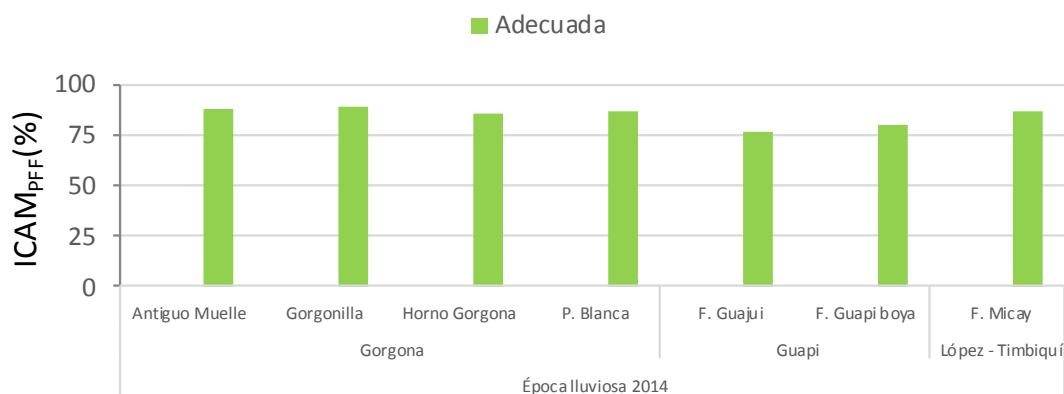


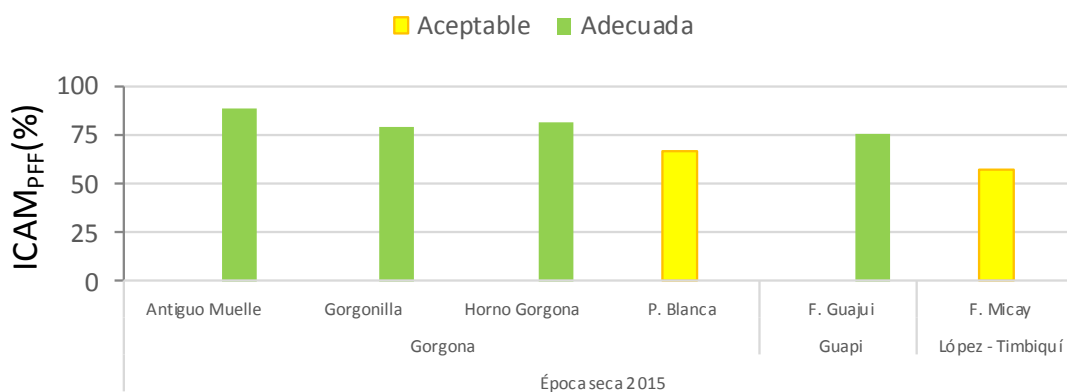
Figura 8.62. Concentraciones de Hierro disuelto en  $\mu\text{g/L}$  en las aguas marino costeras del departamento del Cauca para los muestreos realizados en la época lluviosa de 2014 y época seca de 2015.

### Índice de calidad de las aguas

La calidad del agua evaluada con el  $\text{ICAM}_{\text{PFF}}$  fluctuó entre *Adecuada* e *Inadecuada* condición, presentándose las mejores condiciones en la época lluviosa 2014 (Figura 8.19), en donde las estaciones presentaron *Adecuada* calidad para la preservación de la flora y fauna marina, lo cual además se ve favorecido por el efecto que el intercambio intermareal característico del Pacífico. Mientras tanto, durante la época seca 2015, las estaciones playa Blanca y frente Micay estuvieron en condición *Aceptable*; atribuida a las concentraciones de SST y nitratos, relacionadas con las descargas del río Micay y el efecto de mareas.



a)



b)

Figura 8.63. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de Cauca, evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>), en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

### 8.3.1.2 CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS

#### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

El sedimento es una matriz compleja, que proporciona información importante sobre la calidad del medio ambiente acuático dada la capacidad de acumular sustancias contaminantes (Bonert y Estrada, 1996). Debido a que en Colombia no existen criterios de calidad sobre niveles permisibles o valores umbrales de hidrocarburos en sedimentos, o referencias de concentraciones que puedan causar efectos tóxicos a la vida marina; se tomó como referencia para evaluar la contaminación por hidrocarburos, el valor determinado por la NOAA de 3,9 µg/g (NOAA, 1990) para sedimentos no contaminados. Los sedimentos evaluados fueron recolectados durante la época seca 2015 en las estaciones de las bocanas de los ríos Timbiquí y Saija. Las concentraciones de HAT determinadas se encontraron por debajo del límite de detección de la técnica (0,07 µg/L), y por tanto no superaron el valor de referencia determinado por la NOAA (Tabla 8.8).

Tabla 8.8. Concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en sedimentos del departamento del Cauca, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Estación	Época Lluviosa 2014	Época seca 2015
	HAT ( $\mu\text{g/g}$ )	HAT ( $\mu\text{g/g}$ )
Bocana río Timbiquí	-	<LD
Bocana río Saija	-	<LD
Valor de referencia	3,9*	3,9*

<LD= Menor al límite de detección (<0,07  $\mu\text{g/L}$ ).

- No determinado.

\*Valor de referencia para sedimentos no contaminados (NOAA, 1990)

### Plaguicidas

En la época seca 2015 se encontraron concentraciones de Endrín Cetona (END CET) en sedimentos de las estaciones bocana de río Timbiquí (13,5 ng/g) y bocana del río Saija (32,9 ng/g), las cuales no superaron los valores de referencia PEL de la CCME, el cual corresponde a 62,4 ng/L tanto para aguas dulces como para aguas marinas/estuarinas (CCME, 1999). También es importante tener en cuenta que la Endrín Cetona deriva de la degradación del Endrín, un plaguicida de uso restringido de acuerdo a los lineamientos de la resolución 447 de 1974 del Ministerio de Agricultura (Silva y Correa, 2009), el cual es un compuesto orgánico persistente de alta toxicidad, que se adhiere comúnmente a los sedimentos de ecosistemas acuáticos y capaz de permanecer estable en el medio por periodos de más de 10 años (ATSDR, 1997), condiciones que potencializan la probabilidad de que se encuentre presente en las mismas estaciones donde se identificó la Endrín Cetona.

### Metales Pesados

La actividad minera que se realiza en el municipio de Timbiquí genera un riesgo potencial para la vida acuática, ya que para esta actividad se usan máquinas retro-excavadoras las cuales remueven el suelo, y lo ciernen para seleccionar el oro y otros minerales provenientes de depósitos aluviales antiguos que por medio de escorrentías pueden llegar al sistema hídrico contaminando sus aguas y sedimentos (CRC y Corpocauca, 2006). Los ríos de mayor influencia en el municipio son Timbiquí y Saija, vinculados con la actividad minera.

En el presente trabajo se evaluó la calidad de los sedimentos en las bocanas del río Timbiquí y río Saija por considerarse vías importantes de contaminación al mar y de especies hidrobiológicas de interés comercial y ecológico. Se determinó el contenido total de los metales Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni y Fe y se comparó con los valores de referencia PEL (Probable Effect Level) propuestos en la NOAA (Buchman, 2008), con el fin de conocer el grado de contaminación. Las muestras analizadas fueron colectadas en la época seca 2015 y los resultados se muestran en la Tabla 8.9.

Las concentraciones de Pb y Cd se encontraron por debajo del límite de detección del método usado (Pb: 4,0  $\mu\text{g/g}$ , Cd: 74  $\mu\text{g/g}$ ). El Ni fue el único metal que superó el valor de referencia PEL en ambas estaciones de las bocanas de los ríos Saija y Timbiquí, encontrándose en este último la concentración más alta (Tabla 8.9). En la bocana del río Timbiquí se han registrado valores altos de Ni en las época seca y lluviosa en concentraciones de 120,9 y 86,0  $\mu\text{g/g}$  en respectivamente (Vivas-Aguas et al., 2015a). De

acuerdo a estos resultados es importante realizar una investigación puntual en estas zonas con monitoreo más frecuentes y mediciones de la fracción biodisponible, para conocer el riesgo real de la biota asociada a estas zonas.

**Tabla 8.9. Concentraciones de metales pesados en sedimentos superficiales del departamento del Cauca medidas en época seca de 2015. Los valores de referencia fueron tomados de la NOAA (Buchman, 2008).**

Estación	Pb (ug/g)	Cd (ug/g)	Cr (ug/g)	Cu (ug/g)	Zn (ug/g)	Ni (ug/g)	Fe (mg/g)
Bocana del río Timbiquí	<4,0	<0,5	49,7	58,0	55,1	85,9	54,0
Bocana del río Saija	<4,0	<0,5	47,5	28,5	47,5	65,9	43,3
Valor de referencia PEL	112,0	4,2	160,0	108,0	271,0	42,8	-

### 8.3.2 CONCLUSIONES

La zona Gorgona presenta los valores más bajos de nutrientes y sólidos mostrándose con esto la baja influencia antropogénica, lo cual es valioso para la supervivencia de corales y demás especies de la zona. Los ríos presentan las concentraciones de nutrientes y sólidos más elevados, por los vertimiento de aguas residuales, escorrentías agrícolas y la influencia de manglares, que en algunos casos afectan la concentraciones de oxígeno disuelto.

La calidad microbiológica de las aguas fluviales del departamento del Cauca, fueron inadecuadas por encontrarse niveles de coliformes en su mayoría los límites permisibles según la legislación nacional, indicando un alto grado de contaminación de origen fecal atribuido a aguas residuales domésticas sin tratamiento que son vertidas a los ríos. En cuanto a las playas de Gorgona y Gorgonilla, las condiciones microbiológicas fueron adecuadas y no representaban un riesgo a los usuarios bañistas.

Los hidrocarburos aromáticos totales son contaminantes que se encuentran presente en las aguas marinas y costeras del departamento de Cauca, por el uso de combustible y las actividades relacionadas con el tráfico de embarcaciones con motor que son las principales fuentes, aunque para este periodo se encontraron en valores inferiores a la referencia para aguas y sedimentos no contaminados, es de gran importancia continuar con el monitoreo de este contaminante de uso muy común en la zona costera del departamento.

A partir de los datos derivados del análisis de plaguicidas se pudo identificar la degradación natural de estos compuestos en las estaciones monitoreadas, lo cual indica una reducción importante en su uso. En términos generales, no se encontraron valores que superaran los valores de referencia PEL propuestos por la EPA y la CCME, para aguas y sedimentos.

El análisis de metales pesados indica que las aguas marinas del departamento no contienen niveles que representen riesgo de contaminación para la biota acuática debido a que están muy por debajo de valores de referencia establecidas en guías internacionales. En cuanto a los metales medidos en sedimentos de las bocanas del río Timbiquí y río Saija, el Níquel fue el único metal que registró niveles por encima del valor de referencia recomendado por la NOAA para efectos adversos probables sobre la biota, condición que se había observado en el monitoreo de 2014, y que requiere un estudio puntual con monitoreo más frecuente y medición de la fracción biodisponible para conocer el riesgo potencial.

# Nariño



Frente a ríos Chagüí y Mejicano. Foto: Ostin Garcés

## **EQUIPO TÉCNICO CORPONARIÑO**

*Marcela Caviedes C. – Profesional Universitario  
Darío López G. – Profesional Universitario*





## 8.4 NARIÑO

El Departamento de Nariño está situado al suroccidente del país, en la llanura del Pacífico, entre los 00° 20' y 02° 41' de latitud norte y a 76° 52' y 79° 10' de longitud oeste. En la llanura Pacífica no se presenta una tendencia definida en las precipitaciones y más bien tiende a mostrar escasa diferencia entre las cantidades aportadas por cada mes en particular con valores 3.000 – 4.000 mm/año ([IDEAM, 2005](#)); sin embargo en términos generales, puede decirse que entre junio y julio la llanura costera se somete a una época de transición de húmeda a seca, en la que las lluvias disminuyen paulatinamente con rangos que oscilan entre los 150 a 200 mm/mes; y la época seca se ubica entre agosto y noviembre, con promedios entre los 50 a 100 mm/mes ([Tejada et al., 2003](#)).

La zona costera del departamento se caracteriza por una exuberante vegetación; se subdividen en el andén aluvial o zona de manglar y la llanura del bosque húmedo, que se extiende hasta las estribaciones de la cordillera occidental. Sin embargo, la región viene siendo afectada por la irracional deforestación causada por los colonos, principalmente en las áreas aledañas a los ríos Mataje, Mira, Patía, Sanquianga, Satinga y Tapaje ([Gobernación de Nariño, 2012](#)).

En este Departamento la REDCAM cuenta con 22 estaciones de muestreo distribuidas en tres zonas: la Zona Norte que se extiende desde la frontera con el departamento del Cauca (bahía de Guapi) hasta la punta Cascajal; una Zona central que comprende la Ensenada de Túmaco; y la Zona Sur que se extiende desde el río Mataje en el límite con el Ecuador hasta la Ensenada de Túmaco (Figura 8.64).

En la Zona Norte se localiza el Parque Nacional Natural Sanquianga, donde se encuentra el 53 % de los manglares del departamento de Nariño, que representa el 20 % del Pacífico colombiano ([PNNC, 2012](#)). Las principales cuencas hidrográficas son las de los ríos Patía y Sanquianga que cubren una extensión cercana a los 24.000 Km<sup>2</sup>, en esta zona se sitúan los municipios costeros de Francisco Pizarro (Salahonda), Mosquera, Olaya Herrera, La Tola, El charco e Iscuandé, con poblaciones estimadas al año 2015 entre 12.584 y 36.856 habitantes ([DANE, 2015](#)), con bajas coberturas de saneamiento básico y una producción de residuos sólidos entre 2,65 y 4,73 t/día, que son dispuestos en botaderos a cielo abierto y directamente a los cuerpos de agua naturales ([Superservicios, 2014a](#)).

La Zona de la ensenada de Túmaco está conformada por dos cuencas, la Suroriental, formada por los ríos Rosario, Mejicano, Caunapí, Gualajo e Imbilpí, y la Oriental, conformada por los ríos Changüí, Tablones, Colorado y Curay. De estos ríos, el principal es el Rosario con 530,8 Km<sup>2</sup>. En esta zona se ubica el mayor número de habitantes y de actividades económicas, en el municipio de Túmaco con aproximadamente 199.659 habitantes ([DANE, 2015](#)), que desarrollan de actividades como la agricultura (palma), la ganadería, la minería, la pesca, el comercio, el turismo y portuarias. La Zona Sur pertenece al área del municipio de Túmaco, en ella las principales cuencas hidrográficas corresponden a los ríos Mataje y Mira, ambas transnacionales; la hoya hidrográfica del Mira correspondiente a Colombia cubre una extensión de 4.800 km<sup>2</sup>, y las actividades económicas que se desarrollan en estas cuencas están asociadas básicamente al cultivo de palma africana ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#)).

El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos por INVEMAR y CORPONARIÑO entre los días 10 y 12 de noviembre del 2014 (época de alta precipitación) y del 21 al 23 de septiembre del 2015 (época de baja precipitación), en consecuencia los gráficos y el análisis de la información se muestran como la época lluviosa 2014 y época

seca 2015 respectivamente, para ser coherentes con el análisis nacional de todos los departamentos.

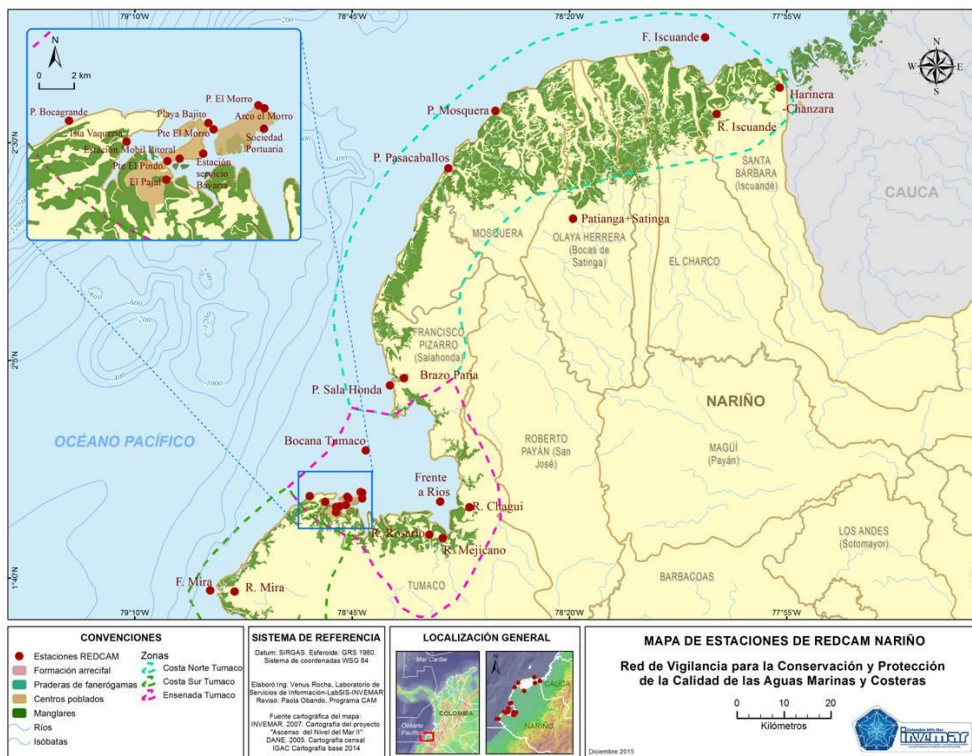


Figura 8.64. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Nariño.

## 8.4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.4.1.1 CALIDAD DE AGUAS

#### Variables fisicoquímicas

##### *In situ y Sólidos Suspendedos totales*

Las aguas marino costeras del departamento de Nariño se comportan como sistemas estuarinos, por el gran número de ríos caudalosos que desembocan en la costa Pacífica nariñense, la hidrodinámica de las mareas y las altas precipitaciones, condiciones que afectan los valores de salinidad de las aguas, las cuales presentan un valor promedio de  $22,9 \pm 8,8$ , con valores en su mayoría más bajos en la época lluviosa (Figura 8.65). Los ríos presentaron salinidades entre 0 y 23,4 al estar fuertemente influenciados por las mareas, cuyo rango de variación en la costa Pacífica colombiana es de aproximadamente 3,7 m (Garay et al., 2006). La temperatura del agua osciló entre 24,1 y 31,3 °C en época lluviosa 2014 y entre 27,1 y 30,8 °C en época seca 2015, con un promedio general de  $28,6 \pm 1,4$ °C, coincidiendo con los promedios de la NOAA para la cuenca del Pacífico Colombiano, que presentan sus mínimos de temperatura entre 26 y 27,5 °C en los meses septiembre a noviembre (CCCP, 2001).

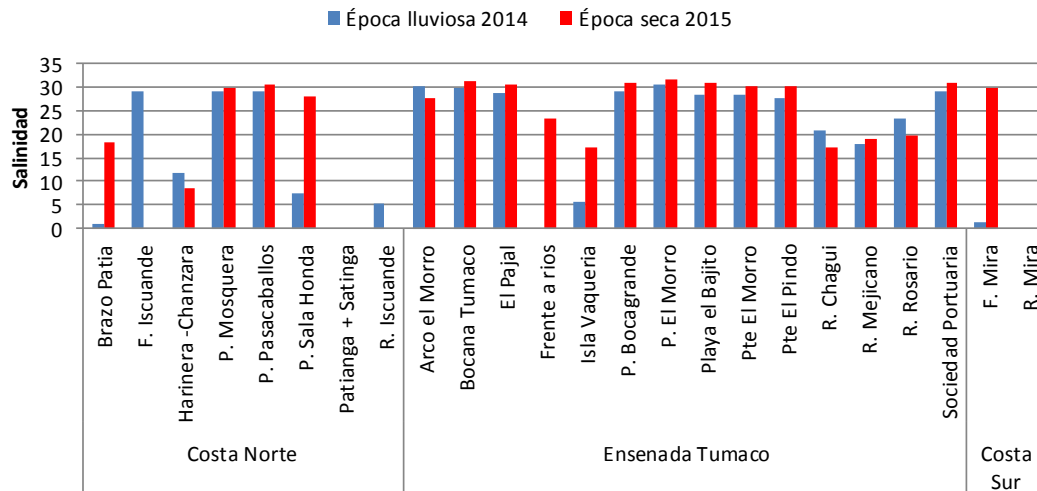


Figura 8.65. Valores de salinidad medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

El oxígeno disuelto (OD) osciló entre 3,11 y 7,27 mg de O<sub>2</sub>/L (Figura 8.66), encontrándose en la mayoría de las estaciones valores por encima del límite permisible para preservación de flora y fauna (>4,0 mg de O<sub>2</sub>/L; [Minsalud, 1984](#)), a excepción de las estaciones Brazo Patía Salahonda (3,96 mg de O<sub>2</sub>/L), estero El Pajal (3,19 mg de O<sub>2</sub>/L), puente El Pindo (3,97 mg de O<sub>2</sub>/L) y río Mejicano (3,11 mg de O<sub>2</sub>/L) en la época lluviosa 2014 y en las estaciones Harinera – Chanzará (3,45 mg de O<sub>2</sub>/L) y Arco el Morro (3,44 mg de O<sub>2</sub>/L) en época seca 2015, condiciones que se han venido presentando en los registros históricos ([Vivas-Aguas et al., 2015a](#)), posiblemente por un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno generada por las vertimientos de aguas residuales y sedimentos ricos en materia orgánica ([Cantera, 1991](#)).

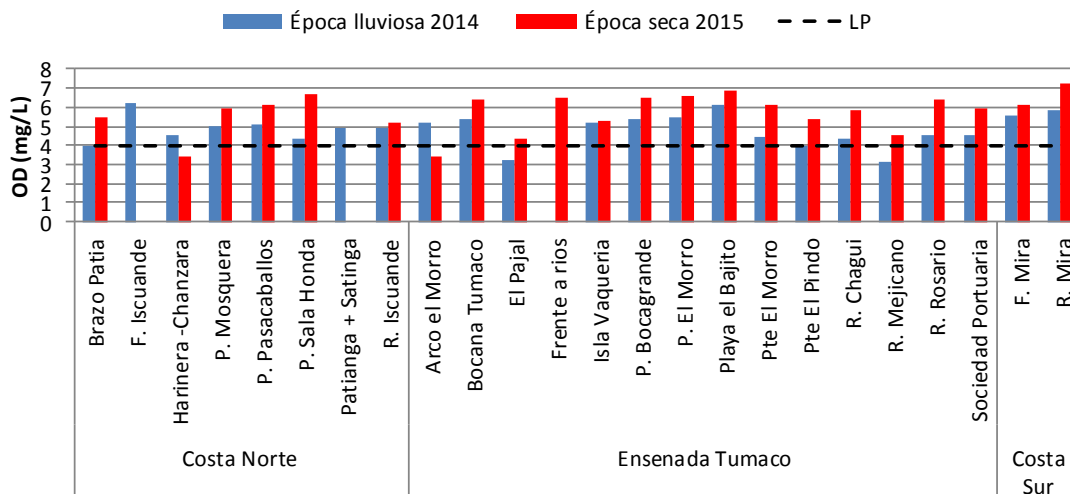
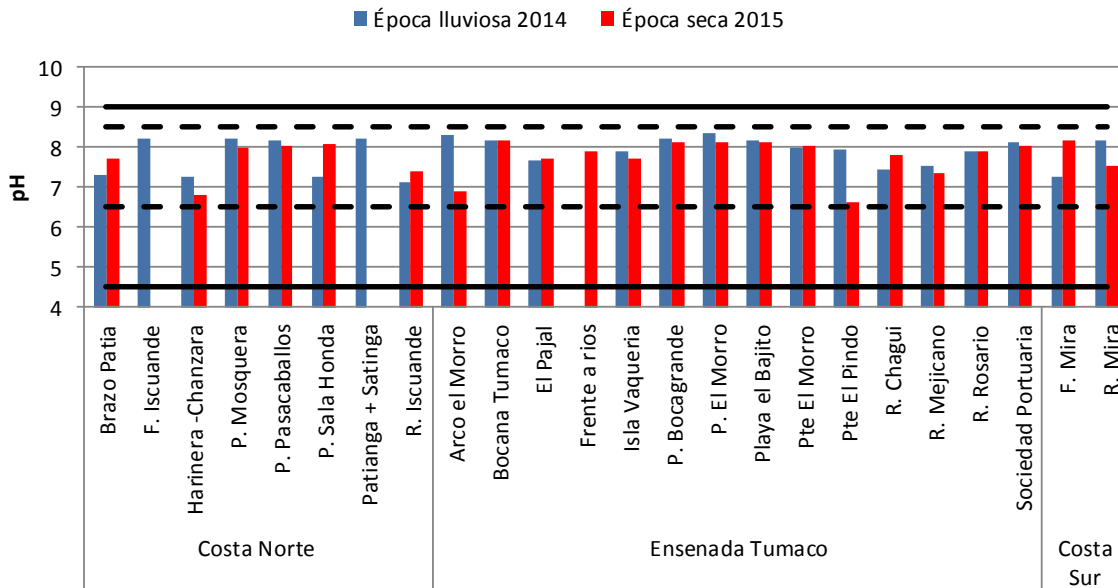


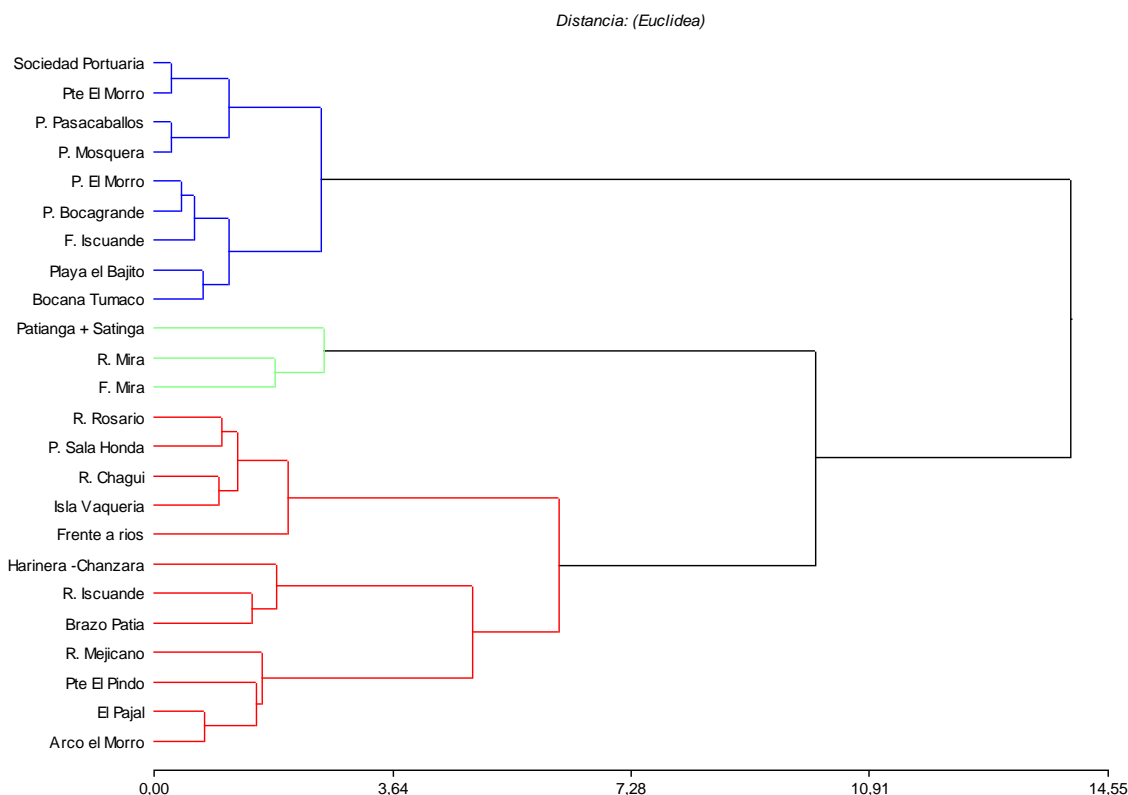
Figura 8.66. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medido en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada indica el límite permisible de OD para la preservación de flora y fauna acuática ([MinSalud, 1984](#)).

El pH en las estaciones de los ríos osciló entre 7,11 y 8,21, y las demás estaciones estuarinas entre 6,62 y 8,35 (Figura 8.67), sin presentar diferencias significativas entre las épocas climáticas, encontrándose estos registros dentro de los rangos permisibles según la legislación colombiana ([Minsalud, 1984](#)) para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce (4,5 – 9,0), marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; Figura 8.67).



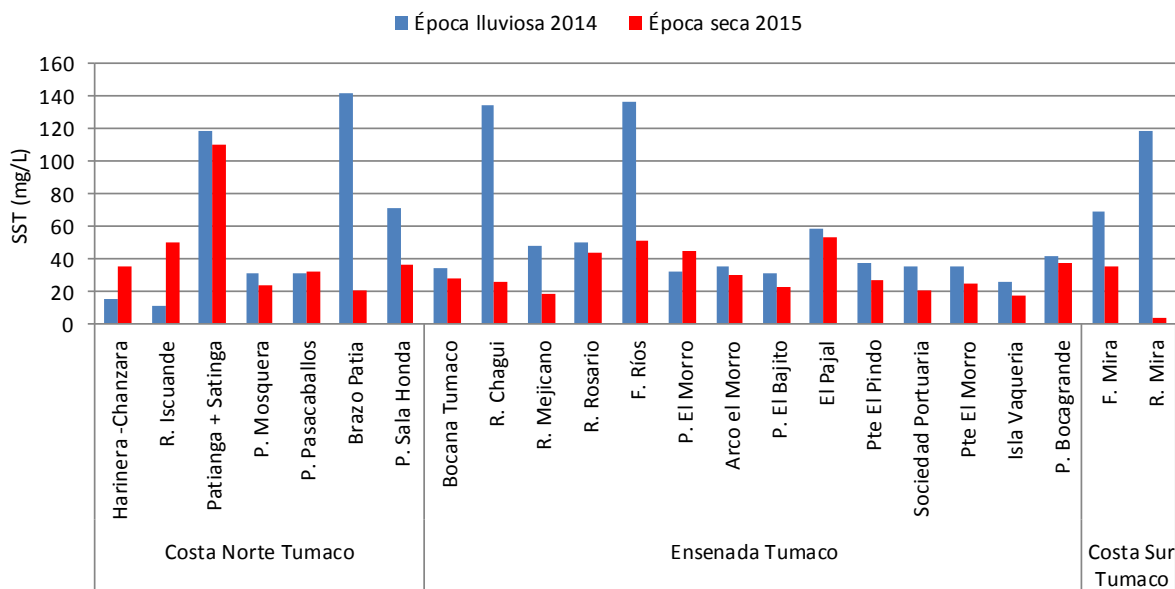
**Figura 8.67. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas negras continuas señalan el rango permisible en aguas dulces y las líneas punteadas el rango permisible en aguas marinas y estuarinas para la preservación flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)).**

Con el propósito de conocer la similitud de las estaciones de acuerdo con los resultados de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y pH descritos anteriormente, se realizó un análisis estadístico de conglomerado, siendo la salinidad la variable determinante de la agrupación, encontrando que las estaciones de los ríos Mejicano, Mira, Salahonda brazo Patía y Patianga + Satinga por sus características dulceacuícolas formaron un primer grupo, seguido de las estaciones estuarinas y un tercer grupo por tener mayor influencia marino costera en el área de estudio (Figura 8.68).



**Figura 8.68. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento de Nariño en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. Las líneas de color azul muestran las estaciones del primer grupo de tipo fluvial, y las de color verde las estuarinas y rojo señalan las estaciones con características marinas-costeras.**

Los sólidos suspendidos totales (SST) se encontraron en un rango entre 3,8 y 141,5 mg/L (Figura 8.69), el análisis estadístico evidenció diferencias entre las épocas climáticas ( $p > 0,05$ ), registrando los valores más altos en la época de lluvias 2014 ( $63,3 \pm 40,5$  mg/L), en los ríos Brazo Patía Salahonda (141,5 mg/L), Chagüi (134,5 mg/L) y Patianga+Satinga (110,0 mg/L) y en la estación frente a Ríos (136,0 mg/L), confirmando que los mayores aportes de sólidos son realizados por ríos, debido al arrastre de material en suspensión producto de actividades humanas como dragados en las inmediaciones de los ríos (Martínez et al., 2001), como también a la acción de las mareas donde están involucrados procesos de dilución y transporte de sustancias, y resuspensión de partículas (Garay et al., 2006).



**Figura 8.69. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

### Nutrientes Inorgánicos Disueltos

En cuanto a los nutrientes inorgánicos disueltos, se realizó el análisis de nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ), Nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), Amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) y ortofosfatos ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), el análisis estadístico mostró que no existen diferencias significativas entre las épocas climáticas al presentar estos iones un  $p > 0,05$ . Los nitritos oscilaron entre el límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,7) y 44,5  $\mu\text{g de NO}_2^-/\text{L}$  (Figura 8.70), encontrándose los valores más altos durante la época lluviosa de 2015, principalmente en los ríos Mejicano (44,5  $\mu\text{g de NO}_2^-/\text{L}$ ), y estero Chanzará (40,9  $\mu\text{g de NO}_2^-/\text{L}$ ) y en la época seca en los ríos Mejicano (36,5  $\mu\text{g de NO}_2^-/\text{L}$ ) y Chagüi (27,7  $\mu\text{g de NO}_2^-/\text{L}$ ), Frente a Ríos (24,3  $\mu\text{g de NO}_2^-/\text{L}$ ) y el estero Chanzará (29,5  $\mu\text{g de NO}_2^-/\text{L}$ ), atribuidos principalmente a la descomposición del detritus de los manglares y de las actividades agrícolas y vertimiento de aguas residuales de las poblaciones ribereñas.

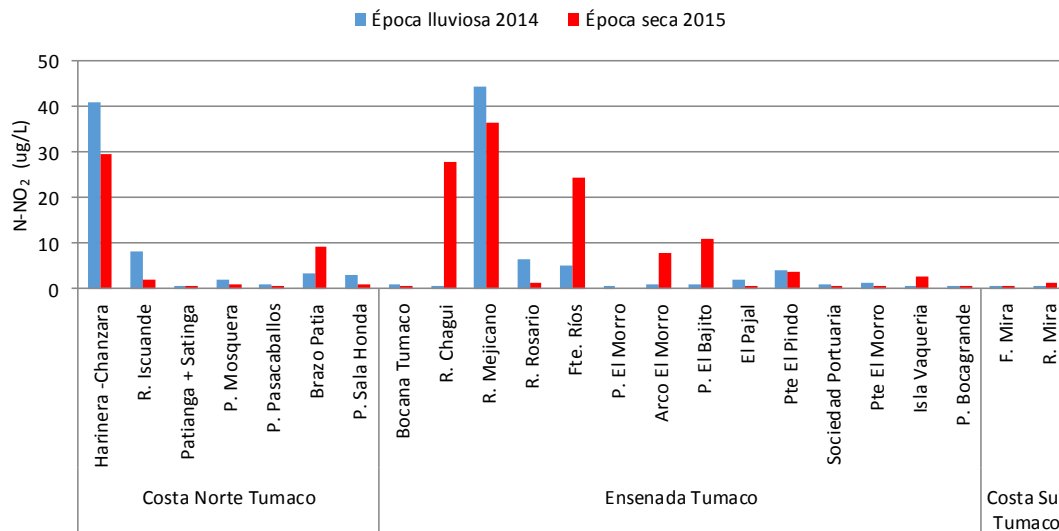


Figura 8.70 Concentraciones de Nitritos (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Los nitratos fluctuaron entre el límite de detección de la técnica utilizada en el LABCAM (2,1) y 90,3 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (Figura 8.71), encontrándose los valores más altos en la época de lluvias 2014 en los ríos Patía Salahonda (90,3 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), Patianga+Satinga (68,9 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), Mira (68,1 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), Mejicano (60,5 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L) y Chagüí (60,0 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L) y en la época seca de 2015 en el río Patianga+Satiga (58,8 µg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L; Figura 8.71), como consecuencia de actividades antropogénicas (urbanas y agrícolas) que se han incrementado durante los últimos años afectando los procesos biogeoquímicos naturales (Aydin-Onen *et al.*, 2012).

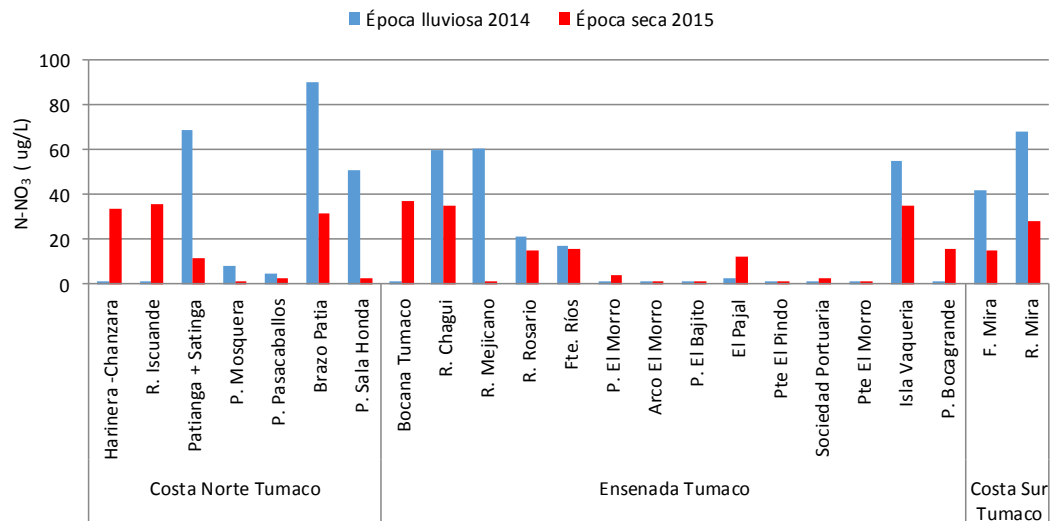
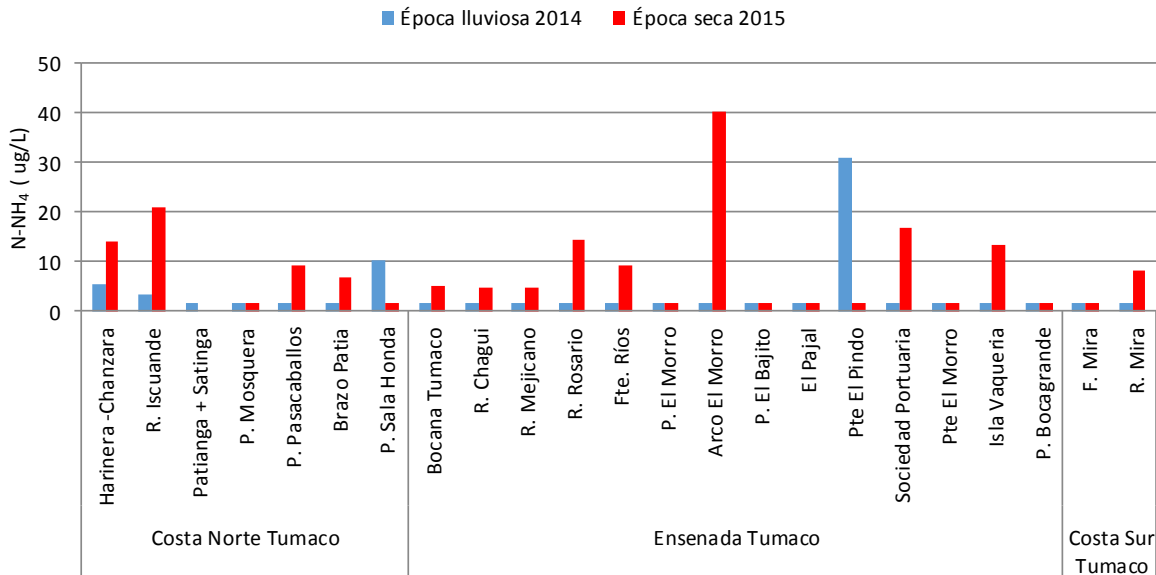


Figura 8.71. Concentraciones de Nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

Las concentraciones de amonio variaron entre el límite de detección de la técnica analítica (3,1) y 40,2  $\mu\text{g}$  de  $\text{NH}_4^+$ /L (Figura 8.72), presentándose los valores más altos en la época seca 2015 en el río Iscuandé (21,0  $\mu\text{g}$  de  $\text{NH}_4^+$ /L) y el Arco el Morro (40,2  $\mu\text{g}$  de  $\text{NH}_4^+$ /L) y en la época de lluvias 2014 en el Puente El Pindo (31,1  $\mu\text{g}$  de  $\text{NH}_4^+$ /L), debido a los procesos de arrastre de nutrientes de los suelos y a la descarga de aguas residuales de las poblaciones de la zona costera.



**Figura 8.72 Concentraciones de amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, para los muestreos realizados en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.**

Las concentraciones de ortofosfatos oscilaron entre el límite de detección del método analítico (2,4) y 20,7  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}$ /L (Figura 8.73), presentándose los valores más altos en la época lluviosa 2014 en los ríos Iscuandé (21,6  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}$ /L) y Brazo Patía Salahonda (14,1  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}$ /L) y el puente El Pindo (17,2  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}$ /L), y en la época seca en el Arco el Morro (20,7  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}$ /L), Bocana ensenada de Túmaco (18,7  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}$ /L) y el río Chagüi (14,2  $\mu\text{g}$  de  $\text{PO}_4^{3-}$ /L; Figura 8.73), valores que se relacionan con los aportes de aguas residuales domésticas que contienen detergentes, aguas de escorrentías agrícolas y descomposición de la materia orgánica (Torres *et al.*, 2001).



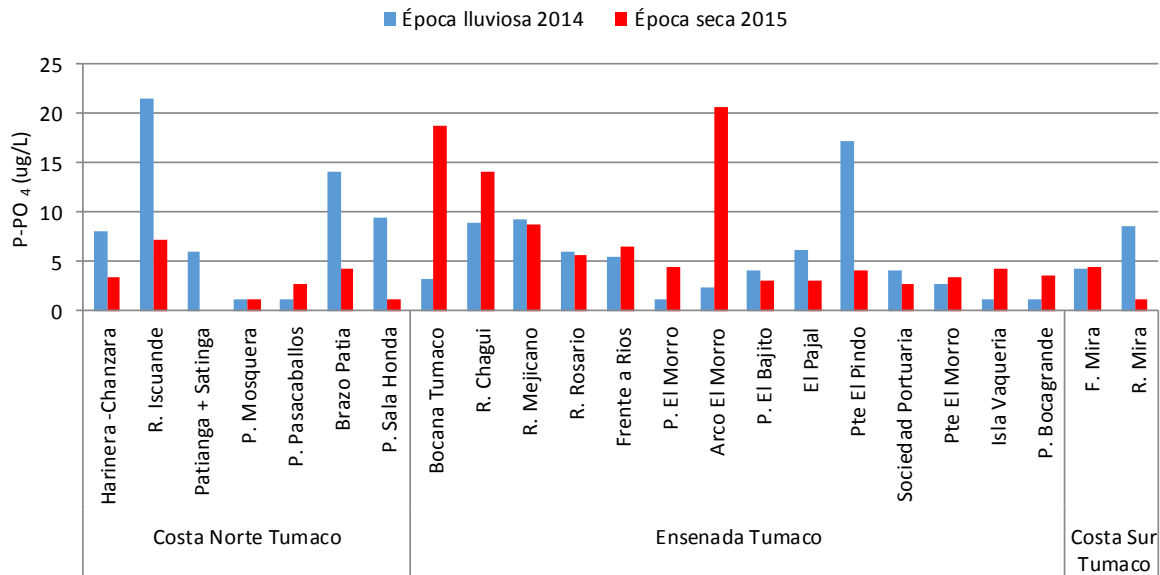


Figura 8.73 Concentraciones de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub>) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

### Contaminación Microbiológica

La calidad microbiológica de las aguas marinas y fluviales del departamento de Nariño se evaluó mediante la determinación de los coliformes totales (CTT) y los coliformes termotolerantes (CTE) con la medición de *Escherichia coli*. A nivel general, las concentraciones de CTT oscilaron entre 754 y 98.150 NMP de CTT/100 mL en la época lluviosa 2014, y entre 1.610 y 198.630 NMP de CTT/100 mL en la época seca 2015, en donde se evidencia una mayor concentración durante la época seca 2015, aun así no se presentaron diferencias significativas entre ambas temporadas climáticas ( $p=0,7257$ ).

Para los ríos y estuarios, se encontró que la gran mayoría superó los límites para el uso recreativo del recurso hídrico por contacto primario (1.000 NMP de CTT/100 mL) y secundario (5.000 NMP de CTE/100 mL) durante la época lluviosa 2014, así mismo solo el río Mira y Brazo Patía (Sala Honda) sobrepasaron el límite permisible durante ambas épocas (Figura 8.74; [MinSalud, 1984](#)). Las altas concentraciones obtenidas en estas estaciones, se atribuye a los aportes de aguas servidas de la población aledaña que vierten directamente sobre el río, además que las condiciones intrínsecas de estos ríos, permiten el desarrollo y proliferación de estos microorganismos ([Chigbu et al., 2004](#)).

En las estaciones de playas, se encontró que la mayoría presentaron altas concentraciones durante la época seca 2015, principalmente las playas turísticas donde se desarrollan actividades recreativas por contacto primario (natación), como Bocagrande, El Bajito, El Morro y Arco El Morro, sobrepasando el límite permisible de 200 NMP de CTE/100 mL (Figura 8.75; [MinSalud, 1984](#)). En cuanto a la playa Salahonda, se obtuvo la mayor concentración durante la época lluviosa 2014, evidenciándose la influencia del Brazo Patía, ya que no solo recibe los residuales domésticos de la población de Salahonda-Francisco Pizarro, sino que disminuye la salinidad a niveles que permiten que se desarrollen estos microorganismos ([Soares et al., 2010](#)). Las altas concentraciones durante la época de bajas

precipitaciones se pueden atribuir al aumento en la temperatura superficial y la disminución del pH, los cuales propician condiciones que permitan la supervivencia de *E. coli* en el cuerpo de agua (Chigbu *et al.*, 2004).

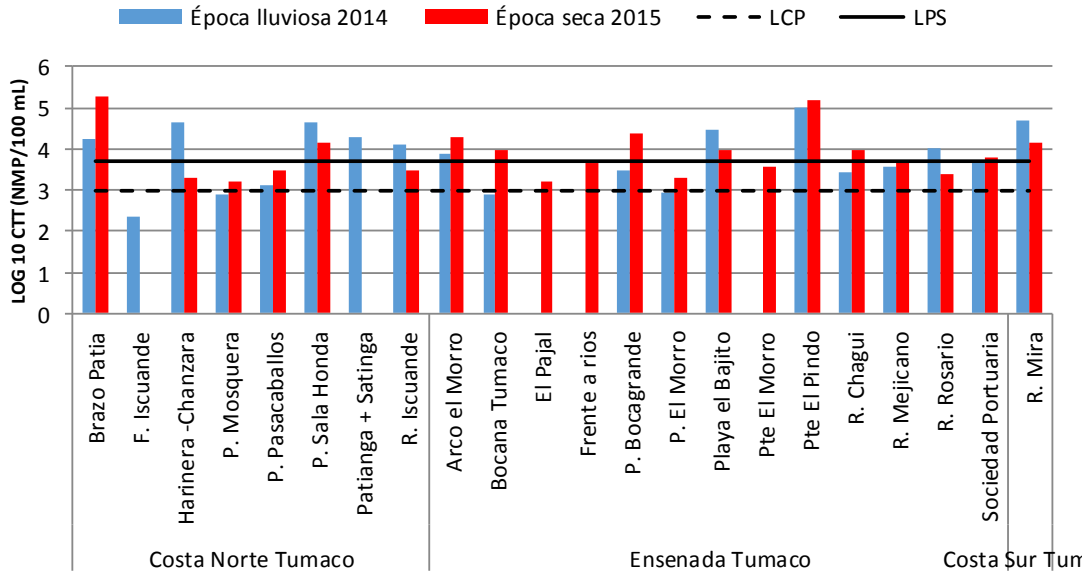


Figura 8.74 Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea negra punteada indica el límite permisible para el uso recreativo por contacto primario (LPS): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea continua es el límite permisible para el contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7; [MinSalud, 1984](#)).

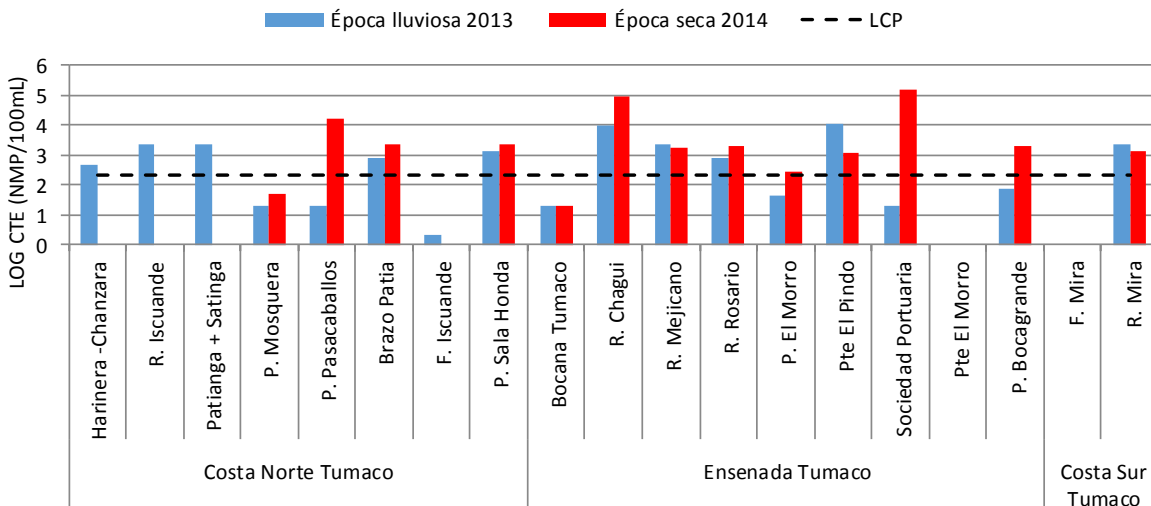


Figura 8.75 Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE: *Escherichia coli*), medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. El límite permisible de contacto primario (LCP) corresponde a 200 NMP/100mL (Log= 2,3), según [MinSalud \(1984\)](#).

### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Las concentraciones de HAT oscilaron entre menor al límite de detección del método utilizado en el LABCAM (0,07) y 4,42 µg/L (Figura 8.76), presentándose las mayores concentraciones en la época lluviosa 2014, en comparación con la época seca 2015. Estos resultados se asocian con derrames de hidrocarburos y extracciones ilegales de petróleo ([Elpais, 11 de noviembre 2014](#)), además con las actividades de tráfico de embarcaciones con motor, cargue de combustible y operaciones portuarias. Hay que resaltar que en todas las estaciones hay presencia de HAT, indicando que este contaminante es común en las aguas marinas y costeras del departamento, no obstante estos valores no superan la referencia de 10 µg/L para aguas no contaminadas ([UNESCO, 1984](#)), a pesar de los derrames de hidrocarburos que han ocurrido en los últimos años.

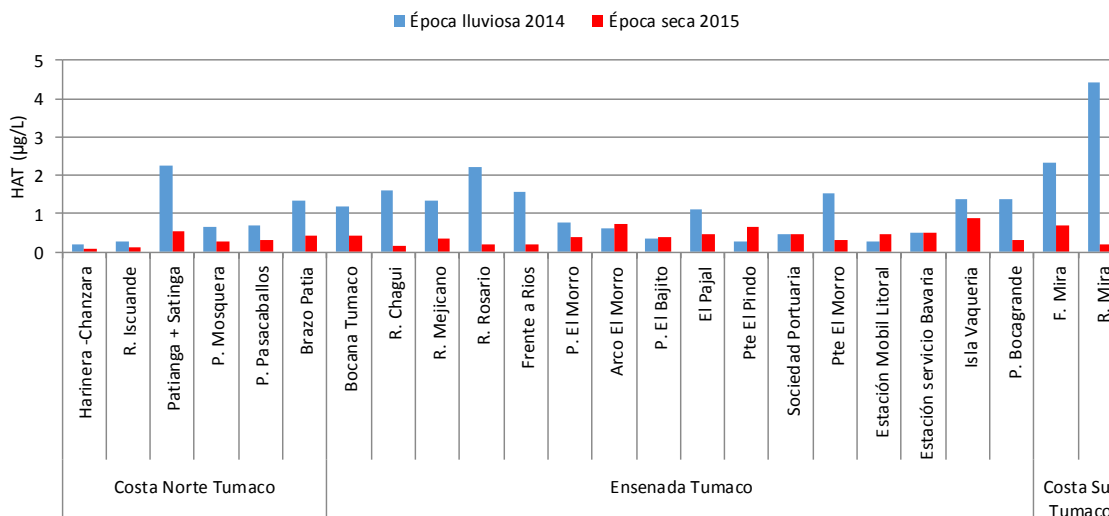


Figura 8.76. Concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015.

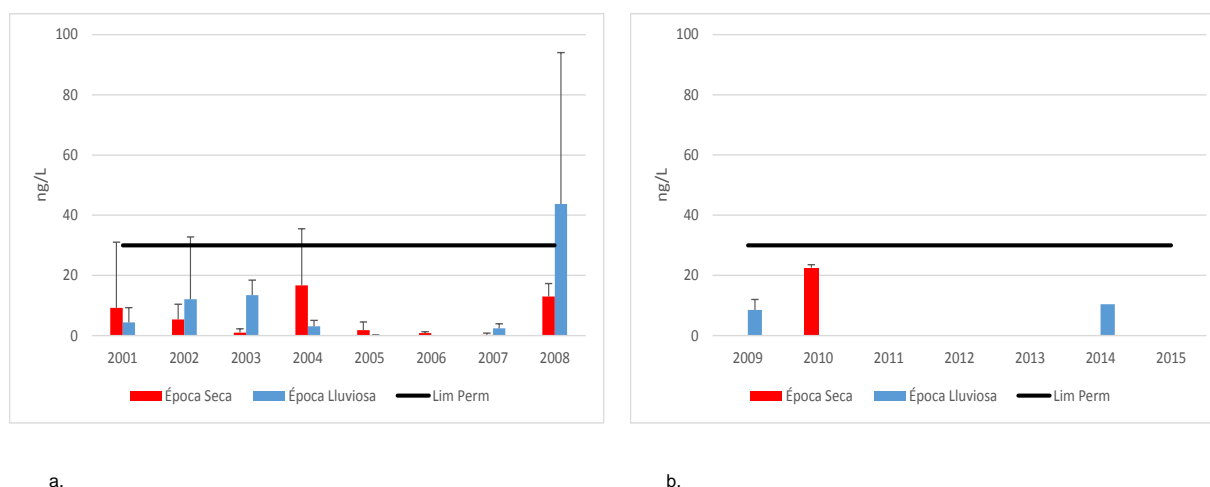
### Plaguicidas

La presencia de residuos de plaguicidas en las aguas costeras de Nariño está asociada principalmente a las escorrentías de los ríos que atraviesan zonas agrícolas dedicadas al cultivo de palma africana y cacao, y por poblaciones con deficiencias en el sistema de saneamiento básico, especialmente los ríos Patía, Mira y los que desembocan en la ensenada de Túmaco. Las campañas contra el mosquito transmisor de la malaria, la fumigación de cultivos ilícitos y actividades para el tratamiento de la madera se constituyen en otras fuentes importantes de plaguicidas al medio marino de la zona ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)).

En el monitoreo de la REDCAM, los registros históricos de las concentraciones de plaguicidas organoclorados han mostrado variaciones relacionadas no solo con los cambios ambientales, sino que también se actualizaron el método, equipos y el límite de detección de la técnica (0,03 ng/L del 2001 al 2008, y 6,0 ng/L desde el 2009 al 2015), que permitió determinar nuevos analitos a partir del 2010. Para el período de estudio solo se evidencio la presencia de Dieldrin, un isómero del DDT, en el Puente El Pindo con una concentración de

10,4 ng/L, valor que no supera el límite de referencia de 30 ng/L para aguas no contaminadas (Figura 8.77 b; [EPA, 2009](#)).

Durante los primeros cuatro años del monitoreo de la REDCAM (2001-2004), se registraron concentraciones de compuestos organoclorados (POC) que en algunos casos, como en el 2001 en las estaciones río Tapaje (75,2 ng/L), Boca Tapaje (66,9 ng/L), frente río Tapaje (48,6 ng/L) y Boca Iscuandé (70,9 ng/L), en 2002 en la estación Salahonda brazo Patía (70,3 ng/L) y en 2004 la Bocana de Tumaco (78,7 ng/L) y en el 2008 se registró la concentración más alta del departamento (124,9 ng/L en el Puente el Morro), superaron la referencia de 30,0 ng/L ([EPA, 2009](#); Figura 8.77 a).



**Figura 8.77 Concentración de plaguicidas en aguas superficiales costeras del departamento de Nariño; a) valores registrados antes de la implementación de nuevos equipos y técnicas analíticas (2001-2008); b) valores registrados después de la implementación de nuevas técnicas analíticas (2009-2014). La línea discontinua de 30 ng/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según EPA (2009).**

En el periodo 2009 – 2015, a pesar de que aumentaron los analistas detectados por el método y equipo utilizado, sólo se registró presencia de POC en los años 2009 en época de lluvias, 2010 en época seca y 2014 en época de lluvias, observándose que de manera general las concentraciones de POC estuvieron por debajo del límite de detección del método analítico.

En el 2009 se inició el monitoreo de un nuevo grupo de moléculas que conforman plaguicidas que se usan actualmente. Nueve moléculas entre las cuales están: Diuron, Diazinón, Clorotalonil, Metil Paratión, Bromacil, Clorpirifós, Fenamifos, Cis y Trans-permetrina; en los tres años que se llevan monitoreando estas nuevas moléculas sólo se detectó en el 2010 Metil Paratión en el río Mejicano (17,4 ng/L), Bocana Ensenada de Tumaco (17,5 ng/L) y Frente a Ríos (19,1 ng/L) debido a la influencia de los ríos Rosario, Chagüi y Tablones que desembocan en la Ensenada. Los niveles para estas nuevas moléculas se encuentran por debajo del valor de referencia para producir toxicidad en el plancton (Tabla 8.10).

Tabla 8.10 Concentraciones de plaguicidas organofosforados encontradas en aguas superficiales de Nariño desde 2010-2015.

Época	Estación	Metil Paratión (ng/L)
Lluviosa 2010	Río Mejicano	17,4
	Boca ensenada de Tumaco	17,6
	Frente a ríos	19,1
<i>Efectos tóxicos en el plancton</i>	<i>Walsh y Alexander (1980)</i>	5,3x10 <sup>6</sup>

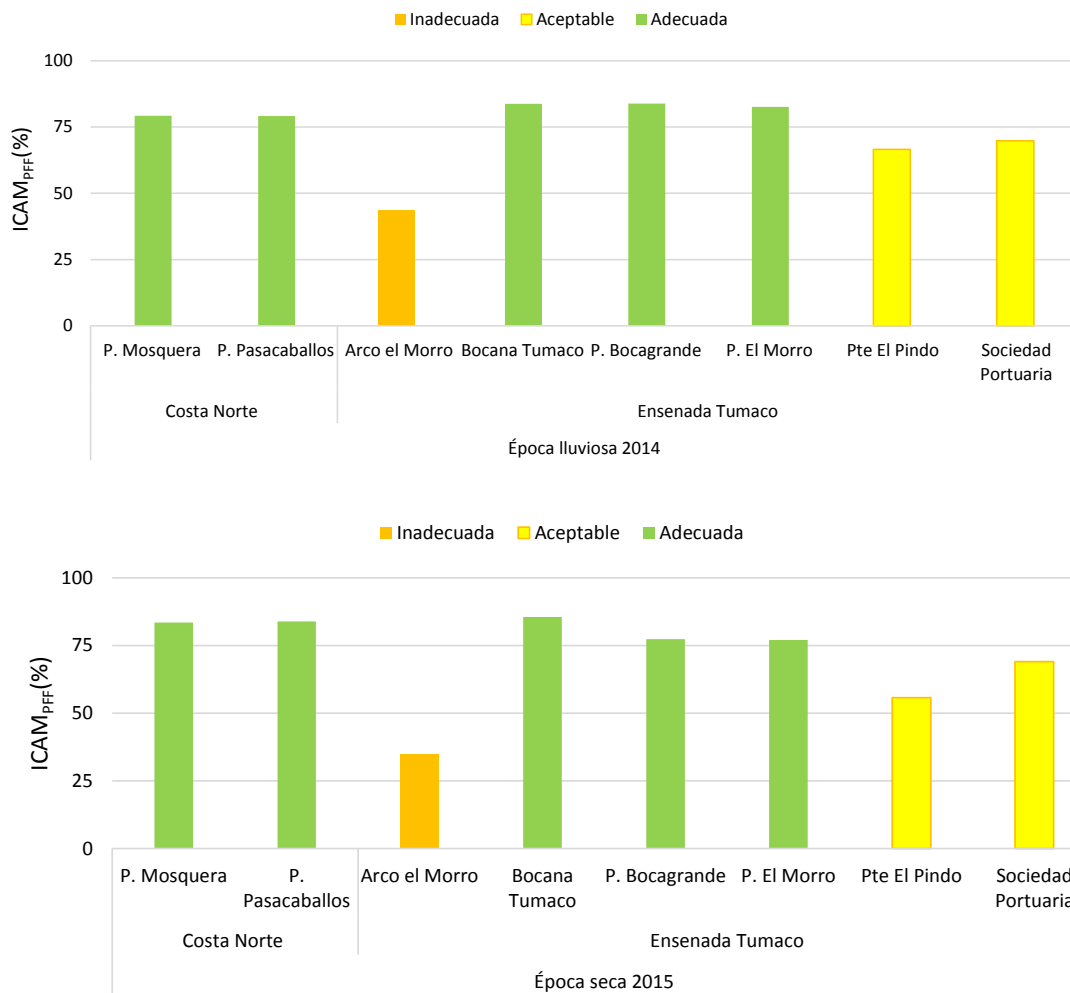
### Metales Pesados

La concentración de los metales Pb, Cd, Cr y Ni en aguas superficiales del departamento de Nariño estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica (3,1 µg de Pb/L, 0,4 µg de Cd/L, 0,9 µg de Cr/L y 1,0 µg de Ni/L, respectivamente). Los niveles de Cu, presentaron en la mayoría de las estaciones una concentración inferior al límite de detección (0,9 µg de Cu/L), sólo en la época de lluvias 2014 presentaron niveles detectables las estaciones Brazo Patía Salahonda (2,3 µg de Cu/L), frente al río Mira (1,7 µg de Cu/L) y playa Salahonda (1,6 µg de Cu/L), los cuales no superaron el valor de referencia para efectos agudos en aguas marinas de la NOAA (4,8 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

Los niveles de Zn, presentaron en la mayoría de las estaciones una concentración inferior al límite de detección (6,9 µg de Zn/L), sólo en la época de lluvias 2014 presentaron niveles detectables los ríos Brazo Patía Salahonda (15,8 µg de Zn/L) y Patianga+Satinga (22,0 µg de Zn/L) y frente al río Mira (1,7 µg de Zn/L), y en la época seca 2015 el río Chagüi (12,6 µg de Zn/L). Las concentraciones de Fe, registraron los valores promedios más altos en la época de lluvias (73,8 ± 88,2 µg de Fe/L), presentando las concentraciones más elevadas en los ríos Brazo Patía Salahonda (333,2 µg de Fe/L) y Mira (143,3 µg de Fe/L) y en la playa Salahonda (166,7 µg de Fe/L), situación relacionada con el aumento del caudal de éstos tributarios que favorecen la mineralización de este metal. Ninguna de las estaciones marinas o estuarinas presentaron niveles de riesgos para efectos agudos sobre la biota referenciado por la guía internacional de la NOAA (300,0 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

### Índice de calidad de las aguas

La calidad del agua evaluada con el ICAM<sub>PFF</sub> arrojó una condición *Adecuada* en la mayoría de estaciones, excepto en Arco el Morro, Puente el Pindo y Sociedad Portuaria, estando entre calidad *Aceptable* e *Inadecuada* durante las dos épocas climáticas (Figura 8.78). En época lluviosa 2014 y seca 2015, Arco el Morro presentó una *Inadecuada* calidad para la preservación de flora y fauna; debido a las altas concentraciones de coliformes termotolerantes (238 NMP/100mL) en época lluviosa 2014, y en época seca 2015 a la demanda bioquímica de oxígeno (3,87 mg/L) y a bajos niveles de OD (3,44 mg/L), encontrándose por debajo del valor mínimo de referencia de 4 mg/L. Lo cual se atribuye a las descargas que realiza el estero Los Tulicios y a la influencia del sector turístico de la Isla El Morro.



**Figura 8.78. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM<sub>PFF</sub>), en la época altas precipitaciones 2014 y bajas precipitaciones 2015 departamento de Nariño**

#### 8.4.1.2 CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS

##### Materia orgánica

En la estación frente a ríos se registraron concentraciones de materia orgánica de 119,4 mg/g en la época lluviosa 2014 y de 17,8 mg/g en la época seca 2015. Estos resultados se asocian a las altas precipitaciones que arrastran materia orgánica de los bosques de manglar que se desarrollan en las desembocaduras de los ríos Rosario, Mejicano y Chagüí, los cuales aportan detritus. Mucha de esta materia orgánica contenida en el sedimento puede ser resuspendida y arrastrada hacia otras áreas de la ensenada de Tumaco, pudiendo ser la causa de la variación estacional de esta variable.

### Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)

Debido a que en Colombia no existen límites permisibles de hidrocarburos en sedimentos, o referencias de concentraciones que puedan causar efectos tóxicos en los ecosistemas marinos; se tomó como referencia el valor determinado por la [NOAA](#) de 3,9 µg/g para sedimentos no contaminados. En la estación frente a ríos la concentración de HAT registrada en la época lluviosa 2014 (58,0 µg/g de HAT/L) sobrepasó el valor de referencia de la NOAA, indicando que hubo un riesgo alto de afectación de la biota acuática de este cuerpo de agua y de la ensenada de Tumaco. Este resultado se asocia a derrames de hidrocarburos ocurridos en el año 2014 en este río ([El Tiempo, 26 de abril de 2014](#)), y por la extracción ilegal de petróleo ([Elpais, 11 de noviembre 2014](#)). En la época seca 2015 se registró una concentración de 0,33 µg/g de HAT/L, menor al valor de referencia y al determinado en la época lluviosa 2014, condición que está asociada a la hidrodinámica por el arrastre de los sedimentos.

### Plaguicidas

En la estación frente a ríos los plaguicidas organofosforados (Diazinon, Clorotalonil, Methyl Parathion, Bromacil, Clorpirifos, Fenaminphos y Cis-permetrina) y organoclorados (Aldrín, pp-DDT, a-HCH, Heptacloro, g-Clordano, Endosulfan I, Endrín Aldehído, Endrín Cetona y Metoxicloro) analizados se encontraron por debajo los límites de detección del método utilizado en el LABCAM en las dos épocas climáticas (lluviosa 2014 y seca 2015), indicando que no existe riesgo para la biota acuática debido a que estos valores estuvieron por debajo de la referencia PEL sugeridos por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente ([CCME, 1999](#)).

### Metales Pesados

Los resultados de los metales pesados (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni y Fe) medidos en el sedimento de la estación frente a ríos, se presentan en la Tabla 8.11. Las concentraciones determinadas de estos metales no superaron el valor de referencia PEL de la NOAA ([Buchman, 2008](#)), por lo que no evidencia riesgo para la biota acuática. Las fuentes de estos metales pueden ser naturales por los procesos erosivos y meteorización de la roca madre, o de la inadecuada disposición de residuos municipales.

**Tabla 8.11. Concentraciones de metales pesados medidas en sedimentos superficiales de la estación frente a ríos, departamento de Nariño, en las épocas lluviosa 2014 y época seca 2015. Los valores de referencia PEL fueron tomados de la tabla Squirts de la NOAA ([Buchman, 2008](#)).**

Estación	Lluvia 2014							Seca 2015						
	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)
Frente a ríos	9,1	<0,5	53,1	26,1	61,7	19,1	42,5	<4,0	<0,5	32,2	13,0	60,8	13,5	46,5
Valor de referencia PEL	112	4,2	160	108	271	42,8	-	112	4,2	160	108	271	42,8	-

#### **8.4.2 CONCLUSIONES**

Los ríos Mira, Patía, Iscuandé, Mexicano y Chagüi son las principales fuentes de nutrientes inorgánicos y sólidos suspendidos a la zona costera, por el vertimiento de aguas servidas sin ningún tipo de tratamiento y arrastre de fertilizantes químicos en las zonas agrícolas.

La calidad microbiológica de las estaciones de los ríos y estuarios, aumenta con las precipitaciones, incrementando los aportes de aguas servidas en estos, aunque se reconoce que son valores que se encuentran dentro de los rangos históricos de la REDCAM. Por otro lado las estaciones ubicadas en las playas de uso turístico de Bocagrande, El Morro y El Bajito, presentaron valores por encima de los límites permisibles para contacto primario, durante la época seca de 2015.

La presencia de plaguicidas organoclorados muestra una reducción desde el año 2010 y solo se evidenció nuevamente su presencia en la época de lluvias de 2014 en el Puente El Pindo. En cuanto a los plaguicidas de uso actual tampoco representan riesgos para los organismos y los ecosistemas, ya que se registran por debajo de los valores de riesgo para aguas contaminadas.

En el análisis de metales pesados (Pb, Cd, Cr, Ni y Zn) en aguas superficiales del departamento de Nariño, evidencian que las concentraciones encontradas están muy por debajo de los valores referenciados en guías internacionales como de riesgo por lo cual se considera que no representan riesgo para el ambiente. No obstante, durante el monitoreo se ha evidenciado que las mayores concentraciones de estos elementos han sido registradas en las épocas de altas precipitaciones.



## **9. BIBLIOGRAFÍA**

- Acosta, V., C. Lodeiros, W. Senior y G. Martínez. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencias*, 27 (12): 686-690.
- Aguilera, M. 2006. *El Canal del Dique y su dirección: Una economía basada en la riqueza hídrica*. Banco de la República. Bogotá. 87 p.
- Alcaldía de Buenaventura. 2014. Información General de Buenaventura, Nuestro Distrito/Información General de Buenaventura, <http://www.buenaventura.gov.co>. 29/12/2014.
- Andrade, C. A. 2000. Circulation and variability of the Colombian basin in the Caribbean Sea, tesis presentada para optar al título de Doctor en Filosofía de la Universidad de Gales. Menai Bridge, Gales. 223 p.
- ANI - Agencia Nacional de Infraestructura. 2015. Ministerio de Transporte. Concepto de Actividad Portuaria. Consultado: <http://www.ani.gov.co/glosario/actividad-portuaria>. 11/02/2016.
- ANH – Agencia Nacional de Hidrocarburos y PNUD – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2014. Diagnóstico socioeconómico de La Guajira. 102 p.
- APHA – American Public Health Association, AWWA – American Water Works Association y WEF – Water Environment Federation. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. United States of America. 1325 p.
- Ashbolt NJ, Grabow WOK y Snozzi M, 2001: Indicators of microbial water quality. En: Fewtrell L, Bartram J, (eds.) *Water quality: Guidelines, standards and health – Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. Serie de monografías de la OMS sobre el agua (Water Series). Londres (Reino Unido), IWA Publishing. 289–315.
- ASIS - Secretaria Departamental de Salud de Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 2013. Análisis de situación de salud del departamento archipiélago de San Andrés, providencia y santa catalina. San Andrés Islas. 145 p.
- ASOCARS - Asociación de Corporaciones Autónomas y de Desarrollo Sostenible, y UNIMAG - Universidad del Magdalena. 2011. Convenio de asociación 01 DE 2011 ajuste del plan de ordenación y manejo del complejo de humedales de la vertiente occidental del río magdalena en el departamento del atlántico y determinación de la ronda hídrica de los humedales de Sabanagrande, Santo Tomas y Palmar de Várela. 106 p.
- ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1997. Endrina. División de Toxicología ToxFAQs™. 3 p.
- Aydin-Onen S., F. Kocak, F. Kucuksezgin. 2011. Evaluation of spatial and temporal variations of inorganic nutrient species in the eastern Aegean Sea waters. *Mar Pollut Bull*, 64 (12): 2849-2856. Doi:10.1016/j.marpolbul.2012.08.032
- Báez, D.P., J.C. Márquez y M. López-Victoria. 2002. Una salacuna para los peces arrecifales del archipiélago de San Bernardo, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 31(1): 243-246. ISSN 0122-9761.

- Báez-Polo, A. (ed) 2013. Manual de métodos de ecosistemas marinos y costeros con miras a establecer impactos ambientales. Convenio para fortalecimiento de los métodos de investigación marina para actividades costa afuera por parte del sector de hidrocarburos. Invemar-ANH. Santa Marta. 2012 p.
- Bax, N., A. Williamson, M. Aguero, E. González y W. Geeves. 2003. Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. *Marine Policy*, 27(4): 313-323.
- Beltrán, J. E. y Rangel-Ch J. O. 2012. Dynamic modeling of total suspended solids in the wetland Jaboque, Bogotá (Colombia). *Colombia Forestal*, 15(2): 191-205.
- Benítez-Nelson, C. 2000. El fósforo en las capas del océano. *Revista Ciencia al día*, 3(1): <http://www.ciencia.cl/CienciaAIDia/volumen3/numero1/articulos/articulo5.html>. 16/05/2016. ISSN 0717-3849
- Bernal, F.G., J. Montoya, L.J. Garizábal y M. Toro. 2005. La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del Golfo de Urabá, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 8(1):123-135.
- Blanco-Libreros, J.F., A. Taborda-Marín, V. Amortegui-Torres, A. Arroyave-Rincón, A. Sandoval, E. Estrada, J. Leal-Flórez, J.G. Vásquez y A. Vivas. 2013. Deforestación y sedimentación en los manglares del golfo de Urabá: Síntesis de los impactos sobre la fauna macrobentónicos e íctica en el delta del río Turbo. *Gestión y Ambiente*, 16 (2): 19-36.
- Bordalo, A. 2003. Microbiological water quality in urban coastal beaches: The influence of water dynamics and optimization of the sampling strategy. *Water Research*, (37): 3233-3241.
- Botett, J. y D. Lowy. 2009. Diagnóstico ambiental de los recursos agua y suelo en los sistemas agrícolas de San Andrés isla, como miras a la aplicación de conceptos agroecológicos. Universidad Nacional, San Andrés. 22 p.
- Boyes, S., y M. Elliott. 2006. Organic matter and nutrient inputs to the Humber Estuary, England. *Marine Pollution Bulletin*, 53: 136–143.
- Boyd, C.E. y C.S. Tucker. 1992. Water quality and pond soil analyses for aquaculture. Alabama aquacultural experiment station. Auburn University. USA.
- Buchman, M.F. 2008. Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration. 34 p.
- Caicedo, E. 2007. El Fenómeno de El niño y su posible impacto en Colombia. Reportes del emisor. Departamento de comunicación institucional del Banco de la República. Bogotá, 4 p.
- CAN – Comunidad Andina. 2001. Segundo Taller "Conservación de Ecosistemas Transfronterizos y Especies Amenazadas". Lima. Perú. [http://www.comunidadandina.org/desarrollo/t2\\_d2a2.htm](http://www.comunidadandina.org/desarrollo/t2_d2a2.htm). 01/10/2015.
- Cantera, I.R. 1991. Etude structurale des mangroves et des peuplements littoraux des deux baies du pacifique colombien (Málaga et Buenaventura). Rapport avec les conditions du milieu at les perturbations anthropiques. These d'Etat Sciences, Université d'Aix-Marseille II. Marseille France. 429 p.

- Cañón, M.L., G. Tous, K. López, R. López y F. Orozco. 2007. Variación espaciotemporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH*, (25): 120-134.
- Cárdenas, G. y I. Sánchez. 2013. Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para la preservar el ambiente y la salud pública. *Rev. Univ. Salud*, 15 (1): 72-88.
- CARSUCRE- Corporación Autónoma Regional del Sucre. 2012. Información suministrada por la corporación.
- Carricart-Ganivet J.P. y M. Merino. 2001. Growth responses of the reef-building coral *Montastraea annularis* along a gradient of continental influence in the southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 68(1):133-146.
- CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. 4 p.
- CCCP – Centro Control Contaminación del Pacífico. 2002. Compilación oceanográfica de la cuenca Pacífica colombiana. DIMAR. 107 p.
- CCCP – Centro Control Contaminación del Pacífico. 2001. Caracterización y Evaluación del Litoral Pacífico – Fase VIII. Informe técnico. CCCP. San Andrés de Tumaco. Colombia.
- CEPIS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 1981. Parámetros y Características de las aguas residuales. Curso regional sobre lagunas para estabilización de aguas residuales. Proyecto de Desarrollo Tecnológico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado- DTIAPA. Lima. 31 p.
- CGR – Contraloría General de la República. 2010. Arias, J., Gómez, R. y Obregón, I. Desarrollo de las concesiones portuarias en Colombia- Sociedades portuarias regionales. Desarrollo de las concesiones portuarias en Colombia Contraloría Delegada. Sector de infraestructura física y telecomunicaciones, comercio exterior y desarrollo regional. Bogotá. 83 p.
- Chamizo, A. y A. Garritz. 1995. La litosfera: metales y metalurgia. En: *Química Terrestre*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. ISBN 968-16-3439-X. disponible en: [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec\\_9.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec_9.htm). 20/05/2016.
- Chigbu, P., S. Gordon y T. Strange. 2004. Influence of inter-annual variations in climatic factors on fecal coliform levels in Mississippi Sound. *Water Research*, 38 (20): 4341-4352.
- Cifuentes, J. 2002. Memoria cultural del pacífico. Unidad de Artes Gráficas, Facultad de Humanidades, Universidad del Valle. Santiago de Cali. 278 p.
- Co-L1125 – Programa de apoyo al Desarrollo Sostenible del Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 2013. Proyecto de Fortalecimiento Fiscal y del gasto en inversión pública Barranquilla y San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Componente agua potable y saneamiento. Anexo técnico. Colombia. <http://www.iadb.org/Document.cfm?id=38185760>. 26/05/2015
- CONAMA – Consejo Nacional de Medio 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.

- CONAMA – Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2000. Guía para el control y la prevención de la contaminación industrial. Actividad Portuaria. Santiago de Chile. 64 p.
- Consejo Municipal de Los Córdoba. 2008. Plan de Desarrollo Municipal, 2008-2012. Acuerdo No. 010 de 2008. “¡Por mí pueblo! Los córdobas en buenas manos”. Córdoba, Los córdobas, Colombia: Concejo Municipal de Los córdobas, Departamento de Córdoba. 207 p.
- Consejo Municipal de Puerto Escondido. 2008. Plan de Desarrollo Municipal “Progreso con Justicia Social”. 2008 – 2012. Córdoba, Puerto Escondido, Colombia: Concejo municipal de Puerto Escondido, Departamento de Córdoba. 143 p.
- Consejo Municipal de Canalete. 2012. Plan de Desarrollo Municipal, 2012-2015 “Por la Senda de la Prosperidad”. Córdoba, Canalete, Colombia: Concejo Municipal de Canalete, Departamento de Córdoba. 272 p.
- Consejo Municipal de San Antero. 2012. Plan de Desarrollo Municipal “Haciendo de San Antero el Mejor Lugar de Colombia” 2012-2015. Córdoba, San Antero, Colombia: Concejo Municipal de San Antero, Departamento de Córdoba. 211 p.
- CORALINA – Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 2015. Información suministrada por la corporación.
- CORMAGDALENA- Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena. 2007. Formulación del Plan de Manejo de la Cuenca del Río Magdalena – Cauca, Segunda Fase. Barrancabermeja. 297 p.
- CORPAMAG – Corporación Autónoma Regional del Magdalena. 2012. Información suministrada por la corporación.
- CORPOGUAJIRA – Corporación Autónoma Regional de La Guajira. 2012. Información suministrada por la corporación.
- CORPOGUAJIRA – Corporación Autónoma Regional de La Guajira e INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2012. Atlas marino costero de La Guajira. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR No.27. Santa Marta, Colombia. 188 p.
- CORPOGUAJIRA – Corporación Regional Autónoma de La Guajira, UAESPNN – Parques Nacionales. 2011. Diagnostico general Cuenca del Río Ranchería. 606 p.
- CORPOURABÁ – Corporación para el desarrollo sostenible del Urabá. 2012. Información suministrada por la corporación.
- CRA – Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 2007. Documentación del estado de las cuencas hidrográficas en el departamento del Atlántico. Barranquilla. 114 p.
- CRA – Corporación Autónoma Regional del Atlántico y OMAU – Observatorio del Medio Ambiente Urbano. 2006. Agenda social ambiental local. Informe de avance sobre el desarrollo del proyecto diseño y formulación participativa de la agenda socio-ambiental del desarrollo sostenible local en el departamento del Atlántico. 368 p.
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2009. Diagnóstico de áreas forestales en el Pacífico Caucano. <http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/PortafolioProyectos/Sintesis/.pdf>. 1/01/2015.

- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2002. Plan de Gestión Ambiental Regional del Departamento del Cauca. CRC, Popayán. 209 p.
- CRC & Corpocauca (Eds.). 2006. Plan de Desarrollo Forestal del Departamento del Cauca. Convenio 0960-02-12-05.
- CPPS – Comisión Permanente del Pacífico Sur. 1983. Protocolo para la protección del Pacífico Sudeste contra la contaminación proveniente de fuentes terrestres. Secretaría ejecutiva del plan de acción para la protección del medio marino y áreas costeras del pacífico sudeste. Guayaquil, Ecuador. 12 p.
- CVS – Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. 2012. Información suministrada por la corporación.
- CVS – Corporación autónoma regional de los valles del Sinú y san Jorge. 1998. Las fuentes de agua en Córdoba. Memorias Banco de la república. Montería.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2015. Proyecciones nacional y departamentales de población 2005- 2020. Estudios post-censales No. 7, Bogotá. 300 p.
- Davidson, K., R. Gowen, P. Harrinson, L. Fleming, P. Hoagland y G. Moschonas. 2014. Anthropogenic nutrients and harmful algae in coastal waters. *J. Environ. Manag.*, 146: 206-216.
- DIMAR- Dirección General Marítima. 2012. Resolución 477 del 6 de septiembre. Por la cual se adoptan y establecen las medidas y el procedimiento de control para verificar la gestión del Agua de Lastre y sedimentos a bordo de naves y artefactos naves nacionales y extranjeros en aguas jurisdiccionales colombianas. Bogotá. 13 p.
- DNP- Departamento Nacional de Planeación. 2010. Documento regional para promover el desarrollo sostenible del golfo de Morrosquillo, Islas de San Bernardo e Isla Fuerte, 77p.
- Ellison, J.C. 1998. Impacts of Sediment Burial on Mangroves. *Marine Pollution Bulletin*, 37 (8-12): 420-426.
- Ellison, A. y E. Farnsworth. 1996. Anthropogenic disturbance of Caribbean Mangrove Ecosystems: Past impacts, present trends, and future predictions. *Biotropica*, 28 (4a): 549-565.
- El Tiempo, 26 de abril de 2014: Emergencia ambiental en Tumaco por manchas por manchas de crudo, los ríos Mira, Caunapí y Rosario son los afectados por las manchas. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13884759>. Fecha de consulta: 20/05/2016.
- Elpais, 11 de noviembre de 2014: Defensoría denuncia contaminación en Tumaco por extracción ilegal de petróleo. Disponible en: <http://www.elpais.com.co/elpais/judicial/noticias/defensoria-denuncia-contaminacion-tumaco-por-extraccion-ilegal-petroleo>. Fecha de consulta: 20/05/2016.
- EPA – Environmental Protection Agency of US. 2015. National Recommended Water Quality Criteria. U.S. EPA, 401 M. Street, S.W., Washington, USA. 10 p.
- EPA – Environmental Protection Agency of US. 2009. National Recommended Water Quality Criteria- Correction. U.S. EPA, 401 M. Street, S.W., Washington, USA. 26 p.

- Escobar, J. 2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Naciones Unidas. CEPAL - SERIE Recursos naturales e infraestructura N° 50. 68 p.
- Eslava, J. 1994: Climatología del Pacífico colombiano. Academia Colombiana de Ciencias Geofísicas. Colección Eratóstenes, No. 1. Bogotá. 79 p.
- Espinosa, L. y J. Betancourt. 2011. Residuos de plaguicidas en las zonas marino costeras de Colombia. En: AUGURA. Experiencias en BPA y protección del medio Ambiente. AUGURA: GEF-REPCar, Medellín. 40 p.
- Fabricius, K.E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 125–146.
- Feria, J.J., J. L. Marrugo, y H. González. 2010. Heavy metals in Sinú river, department of Córdoba, Colombia, South America. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. (55): 35-44.
- FONADE – Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo. SF. Reseña del departamento del Valle del Cauca. Disponible en: [https://www.fonade.gov.co/GeoTec/inventario1/zonas/Valle\\_del\\_Cauca.php](https://www.fonade.gov.co/GeoTec/inventario1/zonas/Valle_del_Cauca.php). 24/05/2016.
- Fontúrbel, F. 2005. Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del lago Titikaka (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4(1,2).
- Fuentes, F. y A. Massol-Deyá. 2002. Manual de laboratorios: ecología de microorganismos, Universidad de Puerto Rico. 265 p.
- Gamarra, J. 2007. La economía del departamento del Cauca: concentración de tierras y pobreza. Banco de la República, Popayán. 64 p.
- Garay-Tinoco, J.A., D.I. Gómez-López y J. R. Ortíz-Galvis (Eds). 2006. Diagnóstico integral del impacto biofísico y socioeconómico relativo a las fuentes de contaminación terrestre en la bahía de Tumaco, Colombia y lineamientos básicos para un Plan de Manejo. Proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA - Programa de Acción Mundial PAM) y Comisión Permanente del Pacífico Sur CPPS. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR- Centro Control Contaminación del Pacífico CCCP- Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO, Santa Marta. 262 p.
- Garay, J.A. y A.M. Vélez. 2004. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar – PNICM. Invemar, Santa Marta. 110 p.
- Garay, J., G. Ramírez; J. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, J. Lesmes, H. Sánchez y A. Franco. 2003. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta. 177 p.
- Garay, J., B. Marín y A.M. Vélez. 2001. Contaminación Marino Costera en Colombia. 101-127. En: INVEMAR. Informe del Estado de Ambientes Marinos y Costero en Colombia. 2001. (Serie de publicaciones periódicas No. 8). Santa Marta. 178 p.
- Garcés-Ordóñez, O., E. Arteaga, P. Obando, L.J. Vivas-Aguas, L. Espinosa, M. González, C. Giraldo y C. Ricaurte. 2016. Atención a eventuales emergencias ambientales en la zona marino-costera del departamento del Magdalena. Convenio CORPAMAG-

- INVEMAR No. 14 de 2014, código: PRY-CAM-011-14. Informe técnico final. Santa Marta. 79 p.
- Garcés-Ordóñez, O., L.J. Vivas-Aguas, M. Martínez, P. Obando, C. García, M. Ríos, N. Barreto, L. Arias y O. Vélez. 2015. Componente 3: Análisis y evaluación de la Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM). Convenio 275 MADS – INVEMAR. Santa Marta. 156 p.
- García, J.M. y J. Palacio. 2008. Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo en las bahías Turbo y El Uno, Golfo de Urabá (Caribe colombiano). *Revista Gestión y Ambiente*, 3(11): 55-64.
- García-Valencia C. (Ed.) 2007. Atlas del Golfo de Urabá: Una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de investigaciones marinas y costeras – INVEMAR y Gobernación de Antioquia. Serie de publicaciones especiales. No. 12, Santa Marta. 180 p.
- García, J. 2002. Estado actual de la contaminación por metales pesados y pesticidas organoclorados en el parque natural de Monfragüe. Universidad de Extremadura, Cáceres, España. 334 p.
- Gavio, B., S. Palmer-Cantillo y J.E. Mancera. 2010. Historical analysis (2000-2005) of the coastal water quality in San Andrés Island, SeaFlower Biosphere Reserve, Caribbean Colombia. *Mar. Poll. Bull.*, 60 (7): 1018-1030.
- Giraldo, A., E. Rodríguez y F. Zapata. 2008. Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia, *Latin american journal of aquatic research*, 36(1): 121-128.
- Glynn, R W., H. von Prahl., F. Guhl. 1982. Coral reefs of Gorgona Island, with special reference to corallivores and their influence on community structure and reef development. *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín*, 12: 185-214.
- Gobernación de Córdoba. Documento en línea: <http://www.cordoba.gov.co/cordoba/geografia.html>. 19/12/2015.
- Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 2014. Documento en línea: [http://www.sanandres.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=116&Itemid=138](http://www.sanandres.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=116&Itemid=138). 12/12/2014.
- Gobernación de Sucre. 2011. Nuestro Departamento - Información general - Geografía de Identificación del Departamento: <http://www.sucre.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=mlxx-1-&m=f>. 01/10/2013.
- Gobernación de Nariño. 2012. Historia del Departamento de Nariño. Documento en línea: [http://www.narino.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=739&Itemid=116](http://www.narino.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=739&Itemid=116). 23/01/2015.
- Gochfeld, D. J., C. Schroder y R. W. Thacker. 2007. Sponge community structure and disease prevalence on coral reefs in Bocas del Toro, Panama. *Porifera Research: Biodiversity, Innovation and Sustainability*, 335-343 p.
- Gómez-Cubillos, M.C., L. Licero, L. Perdomo, A. Rodríguez, D. Romero, D. Ballesteros, D. Gómez, A. Melo, L. Chasqui, M. Ocampo, D. Alonso, J. García, C. Peña, M. Bastidas y C. Ricaurte. 2015. Portafolio “Áreas de arrecifes de coral, pastos marinos, playas de arena y manglares con potencial de restauración en Colombia. Serie de publicaciones Generales del Inveimar No. 79, Santa Marta. 69 p.

- Gómez-López, D., C. Díaz, E. Galeano, L. Muñoz, R. Navas, S. Millán, J. Bolaños y C. García. 2014. Informe técnico Final Proyecto de Actualización cartográfica del atlas de pastos marinos de Colombia: Sectores Guajira, Punta San Bernardo y Chocó: Extensión y estado actual. PRY- BEM-005-13 (convenio interadministrativo 2131068) FONADE -INVEMAR. Circulación restringida. Santa Marta. 136 p.
- Gómez, A., A.F. Osorio, F.M. Toro, J.D. Osorio, y O.A. Álvarez. 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 No. 27, ISSN 0120-0542, 90-111.
- González Perafán, L., C. Espitia, P.J. Munar, A. De la Hoz Ruiz y L. F. Sánchez. 2013. Impacto de la minería en Colombia, Estudios de caso: Quibdó Istmina, Timbiquí, López de Micay, Guapi, El Charco y Santa Bárbara. Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz – INDEPAZ, Bogotá. 141 p.
- Gracia, A., Medellín-Mora, J., Gil-Agudelo, D.L. y V. Puentes (eds.). 2011. Guía de las especies introducidas marinas y costeras de Colombia. INVEMAR, Serie de Publicaciones Especiales No. 23. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia. 136 p.
- Guíñez, M; Valdés, J; Siffedine, A. 2010. Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica sedimentaria, asociada a la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. Lat. Am. J. Aquat. Res., 38(2): 242-253.
- Guzmán, J.F. 2006. Pesca Artesanal y Condiciones Ambientales. Carrera Ecología. Estudio de Caso: bahía de Cartagena. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Bogotá. 54 p.
- Herrera, J; Rodríguez, J; Coto, J; Salgado, V y Borbón, H. 2013. Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro *Tecnología en Marcha*, 26 (1): 27-36.
- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2016. El niño continúa en su fase de mayor intensidad. En prensa: [http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/el-nino-continua-en-su-fase-de-mayor-intensidad?](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/el-nino-continua-en-su-fase-de-mayor-intensidad?) Fecha de consulta: 25/02/2016.
- IDEAM – Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales. 2014. Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Bogotá, 134 p.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2012. Información hidrológica en 26 estaciones ubicadas en los litorales Pacífico y Caribe colombiano. Series históricas a escala mensual. Formato digital. Bogotá: IDEAM, Colombia.
- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2007. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Bogotá. 81 p.
- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2005. Atlas Climatológico de Colombia: Part 2, Distribución espacio-temporal de las variables del clima. IDEAM, Bogotá. 74 p.



- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2008. Atlas básico de Colombia. 7 ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Imprenta Nacional, Bogotá. 704 p.
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1996. Diccionario Geográfico de Colombia, 3ª ed. (revisada y aumentada). 1: 288- 294.
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi), 1990. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. IGAC. Bogotá. 499 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2015a. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Base de datos de la Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. <http://www.invemar.org.co/siam/redcam>. 15/12/2015.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2015b. Concepto técnico sobre vertimiento de aguas residuales al río Manzanares y la bahía de Santa Marta. Santa Marta. 14 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2015c. Concepto técnico sobre derrame de petróleo en el municipio de San Andrés de Tumaco (Nariño), en junio de 2015. Santa Marta. 20 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” y MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2011. Desarrollo de Fundamentos para el Fortalecimiento de los Parámetros y los Límites Permisibles de los Vertimientos Puntuales a las Aguas Marinas en Colombia. Informe Final. Santa Marta. 189 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”. 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 2008. INVEMAR. Santa Marta. 296 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”. 2006. 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 2006. INVEMAR. Santa Marta. 344 p.
- INVEMAR. 2002a. Formulación del plan de manejo integrado de la unidad ambiental costera estuarina del río Sinú y golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano. Fase I, Caracterización y diagnóstico. INVEMAR, CVS, CARSUCRE, Ministerio del Medio Ambiente – Programa Ambiental – Crédito BID 774 OC/CO. Informe técnico, 38 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”. 2002b. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombianos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. Informe técnico 2002. Santa Marta. 256 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”. 2001. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombianos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. Informe técnico 2001. Santa Marta. 99 p.

- INVEMAR, Gobernación de Antioquia, CORPOURABÁ, CODECHOCO 2007. Formulación de los lineamientos y estrategias de manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera del Darién. Anexo 1-componente biofísico. 55 p.
- Javelaud, O. 1987. La Sedimentation du Plateau Continental de la Colombia Caraibe au Tours du Quaternaire Terminal. Tesis de doctorado. Institut de Géologie, L'Universite de Bordeaux I. Bordeaux, Francia. 382 p.
- Krauss K.W., C.E. Lovelock, K.L. McKee, L. Lopez-Hoffman, S.M.L. Ewe y W.P. Sousa. 2008. Environmental Drivers in Mangrove Establishment and Early Development: A Review. *Aquatic Botany* 89, 105-127.
- Lapointe, B., P. Barile, y W. Matzie. 2004. Anthropogenic nutrient enrichment of seagrass and coral reef communities in the Lower Florida Keys: discrimination of local versus regional nitrogen sources. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 308 (1): 23-58.
- Lapointe, B.E. 1997. Nutrient Thresholds for Bottom-Up Control of Macroalgal Blooms on Coral Reefs in Jamaica and Southeast Florida. *Limnology and Oceanography*, Vol. 42, No. 5, Part 2: The Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms. 1119-1131.
- Lester, J. y J. Birkett. 1999. Microbiology and chemistry for environmental scientists and engineers. 2<sup>nd</sup> edition. E&FN Spon.
- Machado, A. 1993. La agricultura del litoral Pacífico. En: Leyva, P. (ed.). Colombia Pacífico, Tomo II, Fondo para la Protección del Medio Ambiente José Celestino Mutis, Bogotá. Recuperado de: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/geografia/cpacifi2/55.htm>.
- MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Resolución 631 de 2015 por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Bogotá. 62 p.
- MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos / Vélez Otálvaro, María Victoria, Otálvaro Hoyos, Doris Liliana, Navarro Cuervo, Luz Francy, Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014. 88 p.
- MADR – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2006. Plan Frutícola Nacional: Desarrollo de la Fruticultura en el Magdalena. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Santa Marta. 62 p.
- Malikov, I. y G. Camacho. 1998. Método de aproximación para determinar cambios entreanuales aplicado a parámetros de temperatura y salinidad del Pacífico Colombiano. *Boletín Científico del CCCP*. 7: 30-41.
- Manahan, S. 2007. Introducción a la química ambiental (primera Edición). Reverté Ediciones S. A., España. 150-152.
- Marcó, L., R. Azario, C. Metzler y M. García. 2004. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales. *Revista Higiene y Sanidad Ambiental*. España. Vol. 4. 72-82 p.
- Marín, B., J. Garay, G. Ramirez, J. Betancourt, W. Troncoso, M. Gómez, J. Sánchez, B. Cadavid, J. Parra, J. Acosta, J. Restrepo y J. Vivas-Aguas. 2005. 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. MAVDT, INVEMAR, CAR costeras, IIAP/EPA Cartagena. Informe técnico 2005. Santa Marta, 304 p.
- Marín, B., J. Garay, L. Vivas-Aguas, J. Acosta, J. Betancourt, G. Ramirez, B. Cadavid, M. Gómez y W. Troncoso. 2004a. 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. MAVDT, INVEMAR, CAR costeras, IIAP/EPA Cartagena. Informe técnico 2004. Santa Marta. 298 p.
- Marín, B., J. Garay, L. Vivas-Aguas, A. Vélez, J. Betancourt, G. Ramirez, B. Cadavid, M. Gómez y W. Troncoso. 2004b. 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. MAVDT, INVEMAR, CAR costeras, IIAP/EPA Cartagena. Informe técnico 2003. Santa Marta, 263 p.
- Martínez, J. 1992. Geomorfología de la costa Pacífico colombiano y aspectos relativos a su estabilidad. ORTOM – CONCYTEC, Lima. 193-196.
- Martínez, G., J. Alvarado y W. Senior. 2001. Estudio físico-químico de las aguas superficiales de la cuenca baja y pluma del río Manzanares, Venezuela. *Interciencia*, vol. 26, (8). 342-351.
- MAVDT – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Política Nacional para la Gestión del Recurso Hídrico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá. 124 p.
- MAVDT – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2007. Plan Estratégico Nacional de Investigación Ambiental, PENIA: - Institutos de investigación adscritos al MAVDT, Bogotá. 79 p.
- MAVDT- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2003. Terminales Portuarios Guía Ambiental. Dirección de desarrollo sectorial sostenible. ISBN: 958973-93-3-4. Bogotá. 441 p.
- MAVDT- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2002. Guía Ambiental de Terminales Portuarios. Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible. ISBN: 958973-93-3-4. Bogotá. 441 p.
- Mejía, L.S., O.D. Solano y A. Rodríguez-Ramírez. 1994. Ocho nuevos registros para la fauna íctica de las islas del Rosario (Mar Caribe colombiano). *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*, 23: 189-192.
- MinCIT – Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. 2011. Documento de política de playas turísticas: lineamientos sectoriales. Bogotá, Colombia. 29 p.
- Mindesarrollo - Ministerio de Desarrollo económico. 2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS-2000. Sección II, Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá. 144 p.
- Minsalud – Ministerio de Salud. 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III – Libro I – del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos, Bogotá. 61 p.
- MinMinas – Ministerio de Minas y Energía. 2012. Censo minero departamental 2010-2011. Ministerio de Minas y Energía, Bogotá. 40 p.

- MMA – Ministerio del Medio Ambiente. 2000. Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia. Dirección General de Ecosistemas, MMA, Bogotá. 91 p.
- MinTransporte - Ministerio de Transporte. 2008. Actualización de los estudios de Ordenamiento Físico, Portuario y Ambiental de los Litorales Colombianos.
- MinVivienda - Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2015. Informe prestación de servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en Providencia y Santa Catalina. Bogotá. 16 p.
- Moalla, S.M., Awadallah, R.M., Rashed, M.N. (1998). Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser, *Hidrobiologia* 364, pp. 31-40.
- Molina, M., E. García, E. Espigares, M. Espigares, M. Fernández y E. Moreno. 2014. Valoración del riesgo de contaminación de aguas recreativas: vigilancia sanitaria de las playas de España. *Hig. Sanid. Ambient.*, 14 (2): 1191-1195.
- Murgel, S. 1984. *Limnología Sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales.* Universidad de Sao Paulo y Organización de los Estados Americanos. Washington D.C. 120 p.
- MVCT – Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2010. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico [recurso electrónico]: TÍTULO B. Sistemas de acueducto. – 2 ed. / Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico (Ed.); Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA. -- Bogotá, D.C.: Colombia. 480 p.
- Mvungi, E. F., Lyimo, T. J., Björk, M. 2012. When *Zostera marina* is intermixed with *Ulva*, its photosynthesis is reduced by increased pH and lower light, but not by changes in light quality. *Aquatic Botany*. 102: 44–49.
- Narváez, S. M. Gómez., M. Salcedo. 2010. Influencia de las lluvias en la calidad microbiológica de las aguas recreativas de la bahía Gaira y Santa Marta - Santa Marta-Invermar. ISBN: 978-958-8448-30-5.
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. 1990. A special 20th anniversary report, coastal environmental quality in the United States, chemical contamination in sediments and tissues. Washington. 6 p.
- Odum y Warrett. 2006. *Fundamentos de Ecología.* Quinta edición. Thomson Editores S.A. México. 614 p.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2003. *Directrices para ambientes de aguas recreativas seguras. Costa y aguas frescas.* Vol. 1. Ginebra. 219 p.
- ONU – Organización de Naciones Unidas. 1983. *Convenio para la protección y el desarrollo del medio marino en la región del gran Caribe.* Cartagena de Indias. 18 p.
- Perez, G.J. 2007. *Historia, geografía y puerto como determinantes de la situación social de Buenaventura.* Documento de trabajo sobre económica regional, Banco de La República, No. 91. Cartagena de Indias. 37 p. ISSN 1692-3715
- PGN. 2008. *Amenazas de desastres. Construcciones palafíticas sobre bienes de uso público.* Procuraduría delegada para asuntos civiles. Instituto de estudios del

- ministerio público- División de Investigaciones sociopolíticas y asuntos socioeconómicos, Bogotá. 328 p.
- Pinilla, G., A. Gutierrez y G. Ulloa. 2007. Estudio de la reducción de caudales en el Canal del Dique: efectos ecológicos de la derivación de las aguas y sedimentos hacia la bahía de Barbacoas. Convenio interadministrativo No. 1033 de 2007 entre Laboratorio de Ensayos Hidráulicos (LEH) y CORMAGDALENA. Cartagena, 42 p.
- Plan de desarrollo departamental 2012-2015 San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 2012. Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. San Andrés Isla, Colombia 269 p.
- PNNC- Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2012. Datos Generales del Parque Nacional Natural Sanquianga. Documento en línea: <http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/php/decide.php?patron=01.012402>. 15/12/2014.
- PNUD- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2012. Plan Departamental de Gestión del Riesgo Sucre - Variables Climatológicas, Bogotá. 87 p. disponible en: <http://www.sigpad.gov.co/sigpad/pnud/Descarga.aspx?id=80>. 01/10/2014.
- PNUMA – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2008. Guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales (agua, suelos/sedimentos y biota). Manual del Programa de Monitoreo Costero del Proyecto GEF-REPCar. PNUMA, Programa Ambiental de Caribe. Kingston, Jamaica. 121p.
- PNUMA – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2001. Plan de acción para la protección del medio ambiente marino y áreas costeras del Pacífico Sudeste. Secretaria Ejecutiva del plan de acción del Pacífico Sudeste. Guayaquil, Ecuador. 6 p.
- Portafolio. 2015. Los puertos más importantes de Colombia. <http://www.portafolio.co/especiales/principales-puertos-colombia-2015>. 13/08/2015.
- Posada, B.O y Henao, W. 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR, Serie de publicaciones especiales No. 13, Santa Marta. 200 p.
- Poveda, G. 2004. La Hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 28(107): 201-222.
- PROACTIVA AGUAS DEL ARCHIPIÉLAGO SA ESP. 2008. Plan de saneamiento y manejo de vertimientos para la Isla de San Andrés. San Andrés, 87 p.
- Quintero, L., E. Agudelo, Y. Quintana, S. Cardona y A. Osorio. 2010. Determinación de indicadores para la calidad del agua, Sedimentos y Suelos, marinos y costeros en puertos Colombianos. Revista Gestión y Ambiente, volumen 13: 51-64.
- Raaymakers, S. 2002. The ballast water problem: global ecological, economic and human health impacts. Seminario Conjunto sobre tecnologías y gestión de los tanques de agua de lastre RECSO/IMO. <http://www.imo.org> 10/2007.
- Restrepo, J. 2006. Aporte de los caudales de los ríos Baudó, San Juan, Patía y Mira a la cuenca Pacífica Colombiana. Boletín Científico CCCP, (13): 17-32.

- Ribón, M. y D. Rodríguez. 2002. Río Manzanares, recuperación fluvial e integral y propuesta de manejo en su zona baja y urbana. Estudio geológico. Universidad del Magdalena, Tesis de grado, Programa de Ingeniería Civil. Santa Marta, 62 p.
- Ríos-Mármol, M., T. Córdoba, L.J. Vivas-Aguas, y J. Sánchez. 2015. Propuesta de objetivos de Calidad del agua de la bahía de Buenaventura y las playas de Juanchaco, Ladrilleros y La Bocana. Proyecto: determinación de objetivos de calidad por usos del recurso hídrico en la bahía de Buenaventura – sector Cascajal, a través de la modelación de coliformes y DBO para definir diferentes escenarios de calidad del agua. Convenio CVC – INVEMAR No. 061 (PRY-CAM-010-14). Informe técnico final, Invemar, Santa Marta. 73 p.
- Roldán, G. y J. Ramírez. 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical. 2da Edición. Universidad de Antioquia, Medellín. 442 p. ISBN: 978-958-714-144-3.
- Rudas, G. y J. E. Espitia. 2013. Participación del Estado y la sociedad en la renta minera. Contraloría General de la República.
- Rueda, G., G. Cotes., E. Carbonó., M. Cantillo., D. Serna., C. Tamaris., B. Cuadrado., F. Guerrero., B. Zúñiga., J. Deluque. 2005. Lineamientos de un programa de aseguramiento de la oferta hídrica del río Gaira a partir de la evaluación de la integralidad biológica de la cuenca, Serranía San Lorenzo, Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia. Bogotá, Colombia, Convenio DADMA-UNIMAG. Informe final. 105 p.
- Rugeles, A. 1995. Reflexiones sobre los efectos de la actividad turística de Cartagena. En Planificación para el desarrollo sostenible de zonas costeras e insulares del Caribe, Memorias (seminario internacional). Proyecto multinacional del medio ambiente y de los recursos naturales, Organización de los Estados Americanos (OEA), Pontificia Universidad Javeriana, Institutos de Estudios Ambientales para el Desarrollo (Ideade), Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Estudios Ambientales (IDEA). Editado por Institutos de Estudios Ambientales para el Desarrollo (Ideade), Bogotá. 199 p.
- Sánchez, R., M. Castro-Gonzalez y S. Zea. 2011. Efecto del enriquecimiento por nitrógeno y fósforo en los cambios netos de nutrientes y producción fitoplanctónica en la desembocadura del río Sevilla, Ciénaga Grande de Santa Marta. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 35 (134): 35-43.
- Sar, E. A., M. E. Ferrario y B. Reguera. 2002. Floraciones algales nocivas en el cono sur americano. Instituto Español de Oceanografía, Madrid. 311 p.
- Silva, S. y Correa, F. 2009. Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. Revista Semestre Económico-Universidad de Medellín, volumen 12, No. 23, p 13-34.
- Snedaker, S.C. y J.G. Snedaker. 1984. The mangrove ecosystem: research methods. UNESCO, Inglaterra, 251 p.
- Soares de Lima, T.C. y K. Gorlach-Lira. 2010. The abundance of some pathogenic bacteria in mangrove habitats of Paraibo do Norte estuary and crabmeat contamination of mangrove crab *Ucides cordatus*. Brazilian archives of biology and technology, 53 (1): 227-234.
- SSPD-Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios delegada para acueducto, alcantarillado y aseo. 2009. Diagnóstico del Indicador de Calidad del Aguas

- suministrada por las empresas prestadoras del servicio. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios-SSPD. Bogotá. 153 p.
- Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Board of Canada. Segunda Edición. Ottawa. 328 p.
- SUI– Sistema Único de Información. 2012. Reporte por Servicios. Reporte de Alcantarillado. Consulta de Información de Alcantarillado. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Disponible en: [http://reportes.sui.gov.co/reportes/SUI\\_ReporteAlcantarillado.htm](http://reportes.sui.gov.co/reportes/SUI_ReporteAlcantarillado.htm). 28/12/2015.
- Superservicios – Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2014a. Disposición Final de Residuos Sólidos. Informe Nacional. Bogotá. 66 p.
- Superservicios – Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2014b. Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Bogotá. 101 p.
- Supertransporte - Superintendencia de Puertos y Transporte. 2010. Proyecto La logística Portuaria. Superintendencia Delegada de Puertos. Bogotá, 79 p.
- Tejada, C., L. Otero, L. Castro, F. Afanador, A. Morales, J. Solano y A.L. Fonseca. 2003. Aportes al Entendimiento de la Bahía de Tumaco. Entorno Oceanográfico, Costero y de Riesgos. Ed. DIMAR, San Andrés de Tumaco. 168 p.
- Téllez-Rodero, N. 2011. Contaminación ocasionada por las aguas de lastre en el Mediterráneo Occidental. Trabajo final de carrera-Diplomatura Navegación Marítima. España. 150 p.
- Torres, R., F. Gutierrez y F. Contreras. 2001. Degradación microbiana del detritus en ecosistemas estuarinos-lagunares. Revista Contactos, 39: 43-54.
- Touchette, B.W. y J.M. Burkholder. 2000. Review of nitrogen and phosphorus metabolism in seagrasses. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 250: 133-167.
- Troncoso, W., L. Vivas-Aguas, J. Sánchez, S. Narváez, L. Echeverry y J. Parra. 2009. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina del Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. Informe técnico 2009. Invemar, Santa Marta. 185 p.
- Tuchkovenko, Y., y S. Rondón. 2002. Estudio del Comportamiento de la Contaminación Bacteriana en la Bahía de Cartagena. Boletín Científico CIOH No. 20. Cartagena de Indias. 56-67.
- 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.
- UNEP – Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, IAEA – Organismo Internacional de la Energía Atómica y IOC – Comisión Oceanográfica Intergubernamental. 1992. Métodos y Materiales de referencia: un programa de apoyo integral para las evaluaciones regionales y globales de la contaminación marina. 75 p.
- UN – Naciones Unidas y OMT – Organización Mundial del Turismo. 2010. Recomendaciones internacionales para estadísticas de turismo 2008. Departamento de Asunto Económicos y Sociales. Serie M No. 83/Rev. 1. Madrid/Nueva York.

- UNEP-RCU/CEP. 2010. Actualización del informe técnico del PAC No. 33 fuentes y actividades terrestres en la región del Gran Caribe. Cargas contaminantes domésticas e industriales y el aporte de las cuencas hidrográficas tributarias. Informe técnico del programa ambiental del Caribe. UNEP-PAC-CIMAB. 84 p.
- UPRA - Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. 2014. Unidad de planificación de tierras rurales, adecuación de tierras y usos agropecuarios en procedimientos de gestión de la información, específicamente en el diagnóstico, revisión y recopilación de información cartográfica secundaria sobre usos agropecuarios y sistemas productivos en zona costera del Caribe y Pacífico colombiano. 2014, Multiescalar (Nivel intermedio y detallado).
- Vada K. y Eric D. Stein Natural Catchments as Sources of Background Levels of Storm-Water Metals, Nutrients, and Solids. 2008. Journal of Environmental Engineering, Vol. 134, No. 12. 961- 973 p.
- Vargas, G. 2004. Geología de la Isla San Andrés, Colombia. Geología colombiana, 29: 71-81.
- Villa, V. y G. Franco. 2013. Diagnóstico minero y económico del departamento de Antioquia. Boletín de Ciencias de la Tierra, 33: 125-134.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra, J. Sánchez, M. Martínez, Y. Nieto, Y. Moreno, I. Cuadrado, P. Obando, O. Garcés, D. Sánchez, M. Villarraga y O. Sierra. 2015a. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones del Invermar No. 4 (2015). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe Técnico 2014, INVEMAR, Santa Marta. 320 p.
- Vivas-Aguas, L.J., M. Ríos, D. Sánchez, P. Obando, O. Sierra, L. Espinosa, M. Bastidas, M. Murcia, C. Peña, C. Giraldo, S. Herrera, C. Ricaurte y C. Ayala. 2015b. Informe diagnóstico de la situación ambiental marina de la bahía de Buenaventura – Isla Cascajal y las playas de Juanchaco, Ladrillero y La Bocana. Proyecto Determinación de Objetivos de Calidad por usos del recurso en la bahía de Buenaventura – Sector Cascajal, a través de la modelación de coliformes y DBO para definir diferentes escenarios de calidad de aguas. Convenio CVC-INVEMAR 061 de 2014. Santa Marta. 116 p.
- Vivas-Aguas, L.J., J. Sánchez., B. Cadavid., J. Betancourt, M. Quintero., Y. Moreno., C. Santana., I. Cuadrado., K. Ibarra., M. Ríos., P. Obando y D. Sánchez. 2014a. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones del Invermar No. 4. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe Técnico 2013, INVEMAR, Santa Marta. 314 p.
- Vivas-Aguas, L.J., M. Vargas, K. Guillen, M. Villarraga y J. Sánchez. 2014b. Vulnerabilidad de la población costera frente a la contaminación orgánica y microbiológica en la bahía de Buenaventura. Serie de Publicaciones Generales del Invermar No. 76, Santa Marta. 24 p.
- Vivas-Aguas, L.J., L. Espinosa, y L. Parra. 2013. Identificación de fuentes terrestres de contaminación y cálculo de las cargas de contaminantes en el área de influencia de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost., 42 (1): 7-30.



- Vivas-Aguas L. J, Garay-Tinoco J. A, Espinosa L.F, Elneser-Abdulazis P, Bent O., Guerrero T., Osorio L, Pomare A, Taylor J. 2012. Calidad ambiental en las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. pp (62-85) en CORALINA-INVEMAR, 2012. Gómez-López, D. I., C. Segura-Quintero, P. C. Sierra-Correa y J. Garay-Tinoco (Eds). Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” -INVEMAR- y Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina -CORALINA-. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 28. Santa Marta, Colombia 180 p.
- Vivas-Aguas, J.L., M. Tomic, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, M. Carvajalino y L. Espinosa. 2012b. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina del Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia y conservación para la protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe técnico 2011. Invemar, Santa Marta, 229 p.
- Vivas-Aguas, J.L., L. Espinosa, J. Sánchez, B. Cadavid, P. Bautista, M. Quintero, J. Betancourt, J. Parra, L. Parra, I. Cuadrado y K. Ibarra. 2012c. 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 2012. Invemar, Santa Marta. 310 p.
- Vivas-Aguas, L., M. Tomic., J. Sánchez., S. Narváez., B. Cadavid., P. Bautista., J. Betancourt., J. Parra., L. Echeverri y L. Espinosa. 2010. 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 2010. INVEMAR. Santa Marta. 208 p.
- Walsh, G. E., y S. V. Alexander. 1980. A marine algal bioassay method: Results with pesticides and industrial wastes. *Water, Air, Soil Pollut.* 13: 45-55.
- Xu, R. y J. P. Obrad. 2004. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in oil-contaminated beach sediments treated with nutrient amendments. *J. Environ. Qual.* 33: 861-867.
- Yáñez-Arancibia, A., R. Twilley y A.L. Lara Domínguez. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. México. *Revista Madera y Bosques*, vol. 4 (2): 3-19.
- Zapata, F. A., B. Vargas-Ángel., J. Garzón-Ferreira. 2001. Salud y conservación de las comunidades coralinas, p. 41-50. En: L.M. Barrios & M. López-Victoria (eds.). *Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única*. INVEMAR, Ser. Pub. Esp. 7, Santa Marta, 160 p.