

Serie de publicaciones periódicas

Número 4

Marzo, 2015



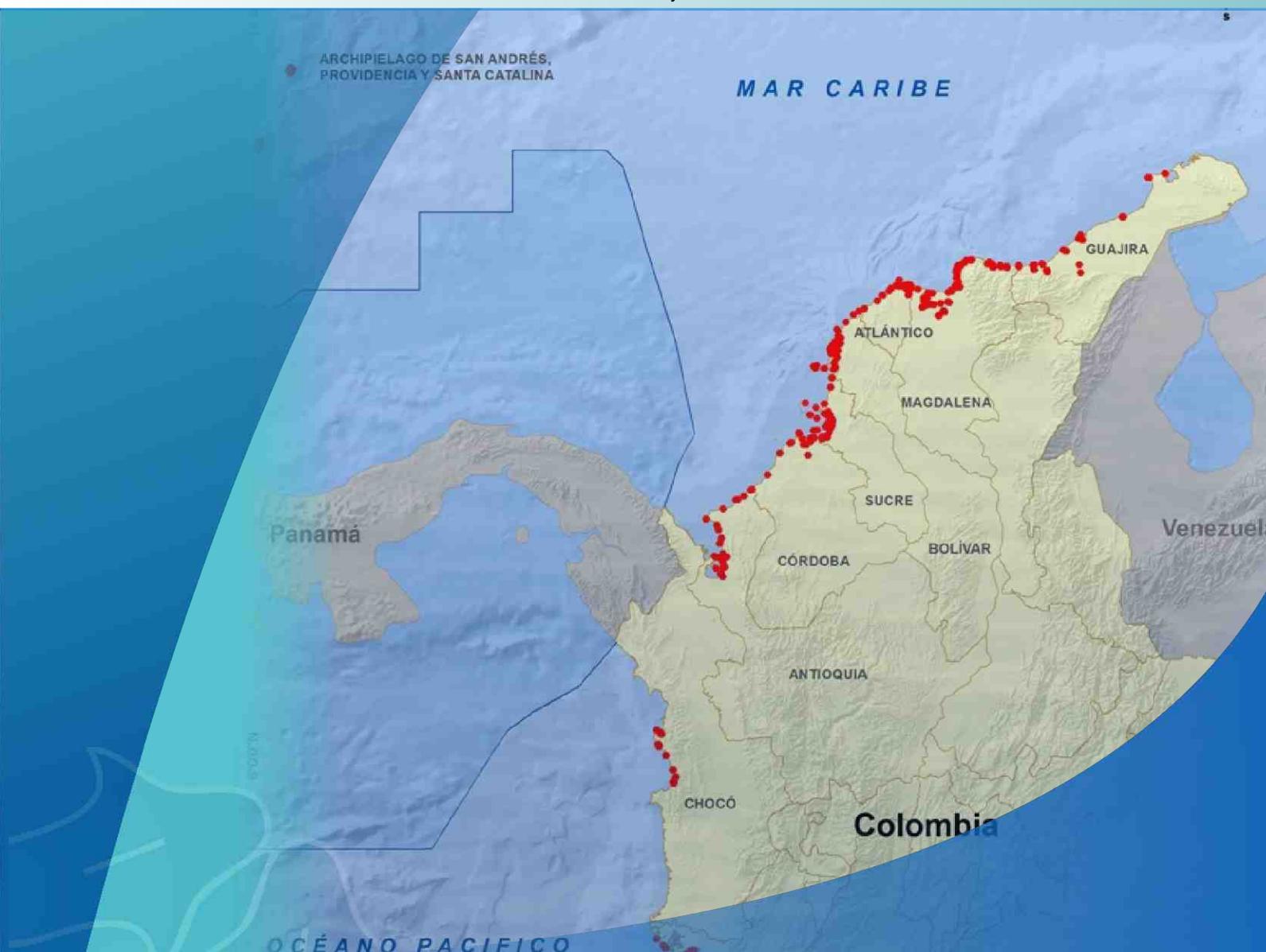
invemar

Santa Marta - Colombia

ISSN: 2389-8615

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 DEL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANOS



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

Informe Técnico
2014

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



Informe Técnico

REDCAM

2014

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

INFORME TÉCNICO 2014

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, 2015



Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico Colombianos

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

DIRECTIVOS INVEMAR

FRANCISCO ARMANDO ARIAS ISAZA
Director General

JESÚS ANTONIO GARAY TINOCO
Subdirector Coordinación Científica

SANDRA RINCÓN CABAL
Subdirectora Administrativa

PAULA CRISTINA SIERRA CORREA
Coordinadora 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)

EQUIPO TÉCNICO INVEMAR

LIZBETH JANET VIVAS-AGUAS
Jefe Línea Evaluación y Seguimiento de la Calidad Ambiental Marina - Responsable de la REDCAM

KAREN PATRICIA IBARRA GUTIÉRREZ
Jefe Laboratorio Calidad Ambiental Marina

LUISA F. ESPINOSA y JESÚS A. GARAY TINOCO
Asesores

INVESTIGADORES
MAX MARTÍNEZ CAMPO - Microbiología

YOSELIN NIETO, JOSÉ SÁNCHEZ, OSTIN GARCÉS, DIANA SÁNCHEZ Y OMAR SIERRA - Físicoquímicos

YADI LILIAM MORENO - Hidrocarburos y Plaguicidas

IVÁN CUADRADO - Metales pesados

PAOLA SOFIA OBANDO, OSTIN GARCÉS, MARCELA VILLARRAGA y DIANA SÁNCHEZ - Fuentes de contaminación

PAOLA SOFIA OBANDO Y LIZBETH JANET VIVAS-AGUAS
Indicador de Calidad de Aguas Marinas - ICAM y Base de datos

LEONARDO ARIAS, DANIEL GONZÁLEZ, VENUS ROCHA y ALBERTO GUTIÉRREZ
Laboratorio de Servicios de Sistemas de Información-LABSIS

APOYO LABORATORIO
HALBIN SERRANO, ENNEL NAVARRO, YULLY RUÍZ, JOSIMAR BARRANCO, ALEX CONTRERAS, JOHAN MUÑOZ y GUSTAVO LARA - Laboratorio de Calidad Ambiental Marina-LABCAM

INFORME TÉCNICO 2014

COMPILACIÓN Y EDICIÓN GENERAL

Lizbeth Janet Vivas Aguas
Ostin Garcés Ordóñez

NODOS, ENTIDADES PARTICIPANTES Y COLABORADORES

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Elizabeth Taylor y Evelyn Paola Moreno

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 e Ismael Acosta Morales

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO - CRA

Efrain Leal

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE - CARDIQUE

Mady García e Ildefonso Castro

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SUCRE - CARSUCRE

Tulio Rafael Ruíz 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, 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

Vanessa Chavarro, Luisa Sierra y Sergio Tafur



Cítese como:

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. 2015. 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 (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.

ISSN Versión impresa: 2357-6332

ISSN Versión digital: 2389-8615



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1 GENERALIDADES.....	13
1.1 ÁREA DE ESTUDIO	13
1.2 METODOLOGÍA	15
1.3 SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN: BASE DE DATOS Y CARTOGRAFÍA	19
1.4 ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN REALIZADAS EN EL 2014.....	22
1.5 FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES DE LAS CAR COSTERAS EN EL MONITOREO DE LA REDCAM	26
2 DIAGNÓSTICO NACIONAL	29
2.1 INVENTARIO NACIONAL DE FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN AL MAR	29
2.2 ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS	37
2.3 CALIDAD DEL AGUA EN ÁREAS PRIORIZADAS DE MANGLAR	43
3 DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA CARIBE.....	53
3.1 CALIDAD DE AGUAS EN LA ZONA COSTERA DEL CARIBE	53
3.2 CASO ESTUDIO: FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA COSTERA DEL ATLÁNTICO	59
4 DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA COSTA CARIBE	75
4.1 SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA	79
4.2 LA GUAJIRA.....	91
4.3 MAGDALENA.....	111
4.4 ATLÁNTICO	131
4.5 BOLÍVAR	153
4.6 SUCRE.....	167
4.7 CÓRDOBA	187
4.8 ANTIOQUIA	205
5 DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA DEL PACÍFICO	219
5.1 CALIDAD DE AGUAS EN LA ZONA COSTERA DEL PACÍFICO.....	219
6 DIAGNÓSTICO CALIDAD DE AGUAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA COSTA PACÍFICA	225
6.1 CHOCÓ	229
6.2 VALLE DEL CAUCA.....	249
6.3 CAUCA.....	259
6.4 NARIÑO	285
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	303



INTRODUCCIÓN

El Programa de Monitoreo de la Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM, por medio de los resultados obtenidos en los 14 años de operación sirvió para convertirse en la estrategia nacional para *Evaluar los efectos de actividades humanas sobre los ecosistemas marinos y costeros, con miras a disponer en forma permanente de un diagnóstico actualizado de las condiciones ambientales*". Desde entonces, la REDCAM hace parte del soporte del Sistema Nacional Ambiental – SINA y en particular de las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) costeras, contribuyendo con datos para el Sistema de Información Ambiental Marino – SIAM y busca en un futuro estar articulado al Sistema de Información del Recurso Hídrico – SIRH. Asimismo, ha aportado información para atender las metas de país que se canalizan en las políticas, planes y programas nacionales, entre los que se destacan 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 y la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico –PNGIRH, entre otros. Adicionalmente, ha servido de soporte técnico para atender compromisos internacionales de carácter ambiental como la Cumbre de la Tierra 1992 y su Agenda 21, la Convención de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes – COP, el Plan de acción del Pacífico Sudeste y su Protocolo para la Protección contra la contaminación marina proveniente de fuentes terrestres, el Convenio de Cartagena, el Convenio MARPOL 72/78, entre otros instrumentos, que establecen las medidas y estrategias necesarias para intensificar los esfuerzos regionales y nacionales orientados a la protección del medio marino y costero.

La REDCAM como una estrategia interinstitucional del SINA en la que participan las 12 CAR costeras y el INVEMAR como nodos del sistema, financia el monitoreo con recursos propios de los nodos y provenientes del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS; además en algunas actividades cuenta con la participación de Departamentos Administrativos del Medio Ambiente costeros, Centros de Investigación de la Armada Nacional y Universidades como la de La Guajira.

El presente informe diagnóstico 2014, contiene la evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos del período lluvioso de 2013 y seco de 2014, contrastado con el análisis histórico de los cambios observados en las diferentes estaciones y departamentos costeros. En el diagnóstico se describe de forma espacial y temporal el comportamiento de las variables fisicoquímicas y microbiológicas, y de los contaminantes (hidrocarburos del petróleo, plaguicidas y metales pesados) en un contexto nacional, regional y departamental destacando zonas de importancia ambiental. Además, se muestran los resultados de contaminantes en sedimentos como complemento al monitoreo.

El informe también incluye la actualización del inventario nacional de Fuentes Terrestres de Contaminación Marina – FTCM con los aportes en términos de carga contaminante de la población costera y de las cuencas bajas de ríos que drenan al mar Caribe y al océano Pacífico; el caso estudio sobre las FTCM en la zona costera del departamento del Atlántico; el análisis nacional del Índice de Calidad de 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. Al igual que los resultados las actividades de capacitación, fortalecimiento, articulación interinstitucional, y actualización del sistema de información.

Generalidades



Toma de muestra en campo Arco el Morro, Nariño



Análisis de muestras en laboratorio de Calidad Ambiental Marina – LABCAM-INVEMAR

1 GENERALIDADES

Durante el 2014 se realizaron satisfactoriamente las actividades del Programa Nacional REDCAM como el monitoreo, capacitación, fortalecimiento, asesoría y actualización del sistema de información de manera conjunta con CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO y la participación del MADS; con el propósito contribuir con información básica que aporte al conocimiento sobre la calidad ambiental marina colombiana, así como mantener una red de vigilancia que comprenda la franja marino-costera, de manera que posibilite el manejo integrado y aprovechamiento sostenible de sus aguas y recursos naturales asociados.

1.1 ÁREA DE ESTUDIO

El monitoreo de calidad de aguas marino-costeras de Colombia en la época lluviosa de 2013 y la seca de 2014 incluye los resultados de 301 estaciones ubicadas en sitios estratégicos que tienen importancia ecológica, turística y/o social o que presentan tensores 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 1.1 Estaciones REDCAM 2014. Arriba) Izquierda: río Manzanares, departamento del Magdalena; derecha: Bocana río Iscuandé, límite entre Cauca y Nariño. Abajo) Izquierda: Salida al mar del Arroyo León - Atlántico; derecha: playa Blanca. Fotografías: Programa CAM.

En el Caribe se ubicaron 210 estaciones a lo largo del litoral de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina; y en el litoral Pacífico 91 estaciones en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño, incluidas las islas de Gorgona y Gorgonilla (Figura 1.1.1). 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, con el propósito de vigilar la calidad de las aguas marino-costeras para su conservación y protección de las fuentes terrestres de contaminación. También se tomaron 10 muestras de sedimentos en estaciones de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño para medir contaminantes y complementar el diagnóstico.

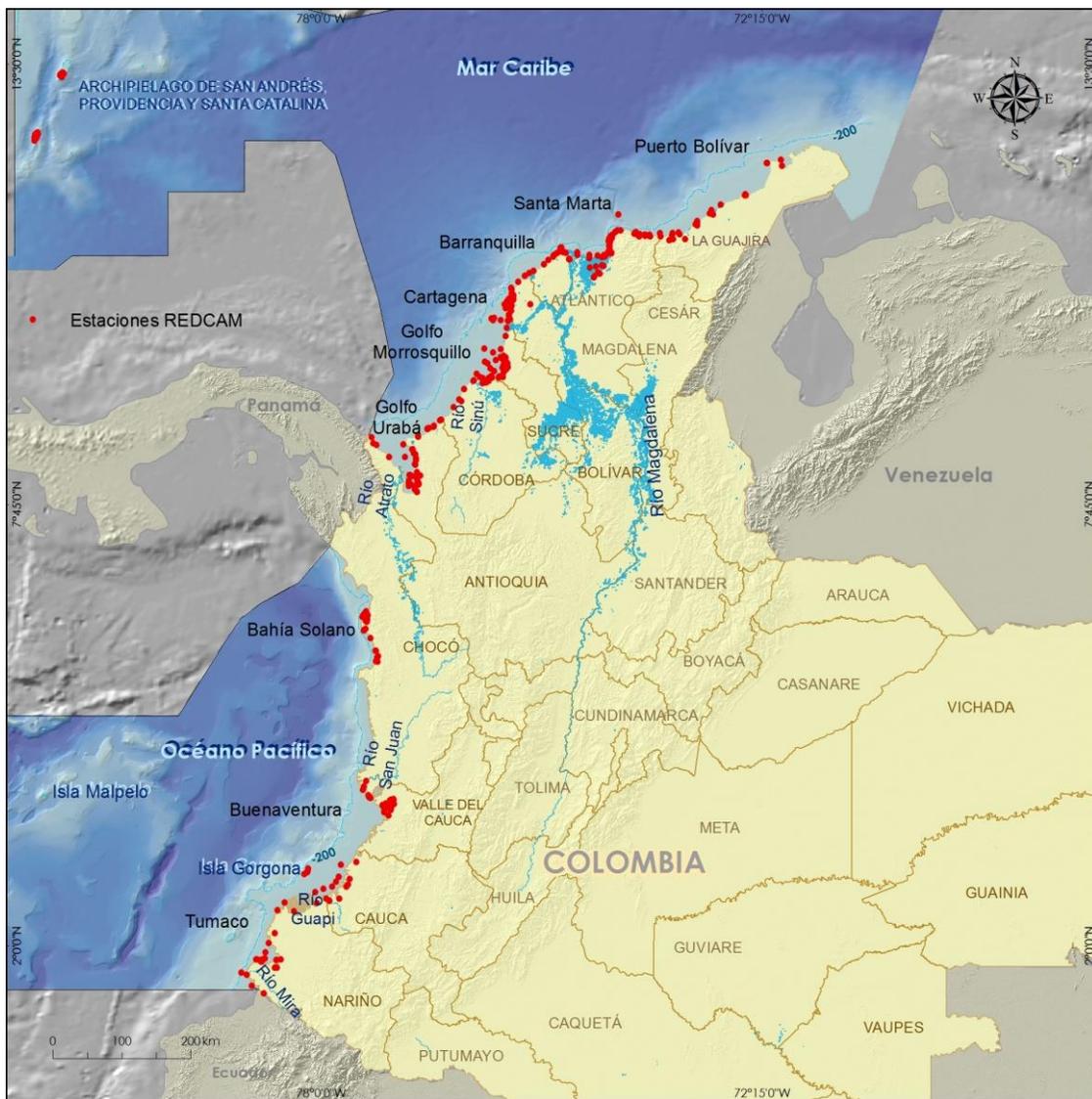


Figura 1.1.1. Ubicaciones de las estaciones de muestreo de la REDCAM en las zonas costeras del Caribe y Pacífico Colombianos.

1.2 METODOLOGÍA

1.2.1 FASE DE CAMPO Y LABORATORIO

Los muestreos de la época lluviosa 2013 se realizaron entre julio y noviembre y los de la época seca de 2014 entre febrero y junio, cabe destacar que en el Archipiélago de San Andrés y Providencia el primer muestreo se ejecutó entre julio y agosto de 2014, 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 se realizaron por el personal de INVEMAR con el apoyo de funcionarios de la corporación de cada Departamento. Los muestreos en los departamentos de San Andrés, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca los realizaron 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 datos de campo *in situ* usando equipos portátiles previamente calibrados y se recolectaron muestras de agua para analizar en el laboratorio los fisicoquímicos, microbiológicos, hidrocarburos, plaguicidas organoclorados y fosforados y metales pesados. Adicionalmente, se tomaron muestras de sedimentos en algunas estaciones para medir materia orgánica, plaguicidas y metales pesados.

En el Laboratorio de Calidad Ambiental Marina- LABCAM de INVEMAR se analizaron las muestras colectadas de aguas y sedimentos de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño, así como los hidrocarburos y metales pesados de Antioquia, siguiendo las metodologías del “Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos” (Garay *et al.*, 2003), el Standar Methods (APHA *et al.*, 2012), los manuales de la UNESCO (1984), las guías para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos del PNUMA (2008), y del manual de Strickland y Parsons (1972). Por otra parte, el personal de CORPOGUAJIRA se encargó de tomar los datos *in situ* y realizar los ensayos microbiológicos; de igual forma CORALINA, CARDIQUE, CORPOURABÁ y CVC realizaron los análisis de todas las muestras colectadas, teniendo en cuenta los procedimientos internos de sus laboratorios, de acuerdo a los estándares que en su mayoría coinciden con las referencias ya citadas.

Tabla 1.2.1. Listado de variables básicas, métodos (Laboratorio INVEMAR) y unidades de medida del monitoreo REDCAM.

Nombre Variable	Método	Unidad de medida	Valores de Referencia
SUSTRATO AGUA			
Fisicoquímicos			
Salinidad	Electrométrico		
Conductividad	Electrométrico	mS/cm	
pH	Potenciométrico	Unidad	6,5-8,5- marinas y estuarinas ;5-9- ríos (MinSalud, 1984)
Oxígeno disuelto	Electrométrico	mg/L	4 mg/ L (MinSalud, 1984).
Temperatura	Electrométrico	°C	< 30 °C preservación de Corales (Vega- Segueda <i>et al.</i> , 2011) y pastos marinos (Borde <i>et al.</i> , 2004).
Sólidos Suspendidos Totales	Gravimétrico	mg/L	Preservación de corales 50 µg/L (Fabricius, 2005).
Nitrito	Colorimétrico-sulfanilamida	µg/L	Para conservación de arrecifes coralinos: 14 µg/L (Lapointe, 1997).
Amonio	Colorimétrico-Azul de indofenol	µg/L	14 µg/L (Lapointe, 1997).
Ortofosfatos	Colorimétrico-Ácido ascórbico.	µg/L	Conservación de corales: 62 µg/L (Fabricius, 2005).
Nitrato	Colorimétrico-sulfanilamida y reducción con Cadmio	µg/L	Conservación de corales: 14- 280 µg/L (Fabricius, 2005).

Nombre Variable	Método	Unidad de medida	Valores de Referencia
DBO ₅	Incubación directa a 20 °C por 5 días	mg/L	
Microbiológicos			
Coliformes totales	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL	<1.000 Contacto Primario; <5.000 Contacto Secundario (MinSalud, 1984).
Coliformes termotolerantes	Fermentación en tubos múltiples	NMP/100 mL	<200 Contacto Primario (MinSalud, 1984).
Enterococos fecales	Filtración por membrana	UFC/ 100 mL	<40 – 500 aguas costeras de uso recreativo (OMS, 2003).
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Aromáticos Totales	Extracción con diclorometano y determinación fluorométrica.	µg/L	10 µg/L (UNESCO, 1984).
Plaguicidas			
Plaguicidas organoclorados (OC)	Extracción con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/L	30 ng/ L (EPA, 2009).
Plaguicidas organofosforados (OP, uso actual)	Extracción con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM	ng/L	Referencia para cada molécula, según Buchman (2008) .
Metales Traza			
Plomo, Cadmio, Cromo, Cobre, Zinc, Níquel, Hierro	Extracción APDC-MIBK-HNO ₃ 1N / Absorción atómica de llama	µg/L	Pb= 210 µg/L-(Buchman, 2008) Cd= 40µg/L –(Buchman, 2008) Cr= 50 µg/L – (CONAMA, 2005) Cu= 4,8 µg/L-(Buchman, 2008) Zn= 90 µg/L-(Buchman, 2008) Ni= 74 µg/L-(Buchman, 2008) Fe= 300 µg/L-(Buchman, 2008)
SUSTRATO SEDIMENTO			
Fisicoquímicas			
Materia Orgánica	Walkley y Black	µg/g	
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Aromáticos Totales	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona y cuantificación fluorométrica	µg/g	3,9 µg/g (NOOA, 1990).
Plaguicidas			
Plaguicidas organoclorados (OC)	Extracción soxhlet con diclorometano:acetona fraccionamiento en columna de florisil	µg/g	DDT's= 10 µg/g (Buchman, 2008).
Plaguicidas organofosforados (OP)	Extracción Soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de florisil	µg/g	Referencia para cada molécula, según Buchman, 2008
Metales Traza			
Plomo, Cadmio, Cromo, Cobre, Zinc, Níquel, Hierro	EPA 3052/ Absorción atómica	µg/g	Pb= 112 µg/g, Cd= 4,2 µg/g , Cr= 160 µg/g , Cu= 108 µg/g Zn= 271 µg/g, Ni= 42,8 µg/g (Buchman, 2008)

1.2.1.1 NUTRIENTES

Los nutrientes inorgánicos disueltos de nitrógeno, Amonio (NH₄⁺), Nitrito (NO₂⁻) y Nitrato (NO₃⁻), y de Fósforo (PO₄³⁻) se midieron por métodos colorimétricos. Las concentraciones de éstos compuestos se expresan con respecto a la masa del elemento (N o P) en lugar del ión completo. Estos nutrientes son variables importantes de calidad de aguas, ya que si bien son fundamentales para los procesos biológicos, dependiendo de sus formas químicas pueden tener impactos directos o indirectos de significancia sobre la penetración de la luz, el crecimiento del fitoplancton, concentración de oxígeno y tasas de sedimentación, que afectarían la calidad del agua.

1.2.1.2 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.

La determinación de CTT y CTE se realizó con el método de recuento indirecto por tubos múltiples de fermentación, expresado en Numero Más Probable (NMP) sobre 100 mililitros de agua, utilizando medios selectivos, e incubándolos bajo temperaturas de 35 °C para CTT y de 44,5 °C para CTE durante un periodo de 24 a 48 horas, siguiendo las recomendaciones del Standar Methods (APHA et al., 2012). Los resultados se analizaron con los criterios de calidad permisibles para aguas por contacto primario de uso recreativo (p.e. natación y buceo) y para contacto secundario (p.e. deportes náuticos y pesca) según el Decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984). Este decreto establece para contacto primario un máximo de 1.000 NMP/100 mL de CTT y de 200 NMP/100 mL de CTE; y para contacto secundario un máximo de 5.000 NMP/100 mL de CTT.

En el análisis de los EFE se emplearon los valores guías de la Organización Mundial de la salud 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 1.2.2; 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 1.2.2. 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

1.2.1.3 RESIDUOS DE PLAGUICIDAS

Para determinar los plaguicidas Organoclorados: Hexaclorociclohexano total, Aldrín, Heptacloro, Organoclorados totales, Sumatoria 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). Las muestras de agua se extrajeron con diclorometano, una vez ajustado el pH y adicionado los estándares de recuperación. Los extractos orgánicos se concentraron en rotavapor a ≈10 mL y se purificaron en una columna de sílica-gel/alúmina utilizando 250 mL de diclorometano: hexano.

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, para lo cual en cada lote de análisis se incluyeron muestras de referencia preparadas con estándares certificados de Accustandar®, blancos de reactivos, testigos de campo y una serie de muestras fortificadas con cantidades conocidas de los analitos. Los resultados se contrastaron con los valores de referencia propuestos por la NOAA ([Buchman, 2008](#)), con relación al nivel de exposición capaz de producir un efecto agudo en el ambiente. En el caso de no existir dicho valor se recurrió a comparar con los valores referenciados para efectos crónicos reportados por [Buchman \(2008\)](#), o resultados de estudios de toxicidad.

1.2.1.4 HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO

Para la determinación de hidrocarburos las muestras de agua fueron tratadas siguiendo el manual de técnicas analíticas del INVEMAR ([Garay et al., 2003](#)) y los manuales de la UNESCO ([UNESCO, 1984](#)). El procedimiento se basó en dos extracciones sucesivas (líquido – líquido) con n-hexano y una separación posterior de la fase orgánica. El extracto obtenido se limpió con sílice gel para eliminar interferencias y grasas. Los hidrocarburos aromáticos totales (HAT) se midieron por fluorimetría en un Espectrofluorómetro Shimadzu RF-5301 PC. Los resultados se cuantificaron con base a una curva de calibración externa generada a partir de soluciones estándar de criseno (Accustandar®). Las lecturas se realizaron con longitudes de onda de excitación de 310 nm y de emisión de 360 nm. Como control de calidad, por cada lote de análisis se incluyeron muestras de referencia de criseno preparadas con estándares certificados (Accustandar®), blancos de reactivos, testigos de campo y muestras fortificadas con Criseno. 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.

1.2.1.5 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](#)). Cada muestra de agua se trató con APDC (Amonio pirrolidinditio carbamato) y MIBK (Metilisobutil cetona) para la extracción selectiva de los metales, seguido de la re-extracción en fase acida con HNO₃ 2N. El extracto acuoso resultante, se transfirió a un balón volumétrico de 25 mL, aforando con solución de HNO₃ 2N. La cuantificación de agua se realizó mediante la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica con llama en un equipo marca Shimadzu, AA 6300. Para estos ensayos los controles de calidad consistieron en el análisis por lote de curvas de calibración diarias preparadas con soluciones estándar Merck® o Accustandar® de cada metal, análisis de blancos de reactivos, testigos de campo y muestras fortificadas con el metal de interés. Los resultados se analizaron con los valores de referencia de la NOAA ([Buchman, 2008](#)) y [CONAMA \(2005\)](#) que proponen una concentración mínima de cada metal capaz de producir un efecto adverso agudo o crónico en el ambiente.

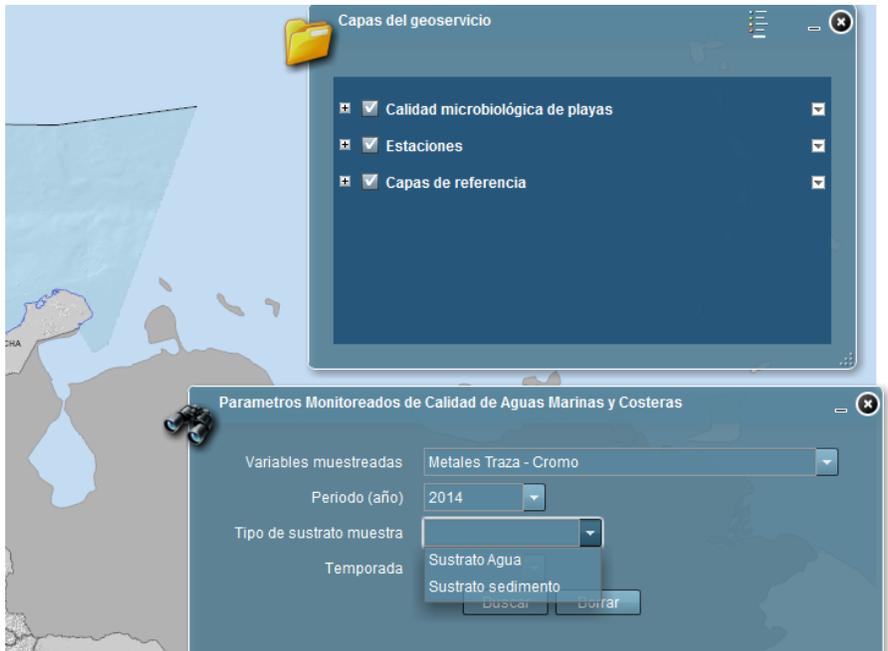
1.3 SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN: BASE DE DATOS Y CARTOGRAFÍA

El Programa Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia de la REDCAM y su sistema de información además de los 14 años que lleva de operación, sigue siendo modelo de iniciativas de cooperación para proyectos nacionales e internacionales, que redunden en la gestión del ambiente costero. Durante el 2014 para actualizar y mantener integrado el sistema de información en un gran repositorio de datos central que sirva de herramienta al SINA, se estandarizaron e ingresaron los datos que generaron todas las entidades nodo de la REDCAM, que fueron obtenidos en los muestreos de las épocas lluviosa 2013, seca 2014 y parte de la lluviosa 2014, en los 12 departamentos costeros, los cuales se pueden consultar desde la página principal de Invemar a través de <http://www.invemar.org.co/> y <http://siam.invemar.org.co/siam/index.jsp> (Figura 1.3.1).



Figura 1.3.1. Página de acceso a los servicios del portal del SIAM de Colombia, donde se incluye la REDCAM.

Como parte del mantenimiento y mejora continua del sistema, se incluyó en los módulos de *variables muestreadas*, *estadísticas* y *consulta de datos* y *Cartografía dinámica en línea* la opción del “*tipo de sustrato muestra*” para tener la oportunidad de escoger los datos que el usuario desee consultar en la matriz agua o sedimento, si está disponible en la estación consultada (Figura 1.3.2).



a.



b.

Figura 1.3.2. Inclusión del sustrato sedimento en las opciones de consulta del sistema de información de la REDCAM.

Los usuarios de la REDCAM pueden consultar de manera fácil los datos actualizados en el sistema para acceder a la información de estaciones de muestreo, listado de variables, módulo de estadísticas, el índice de calidad de aguas y cartografía dinámica en línea e ingresar datos (Figura 1.3.3).



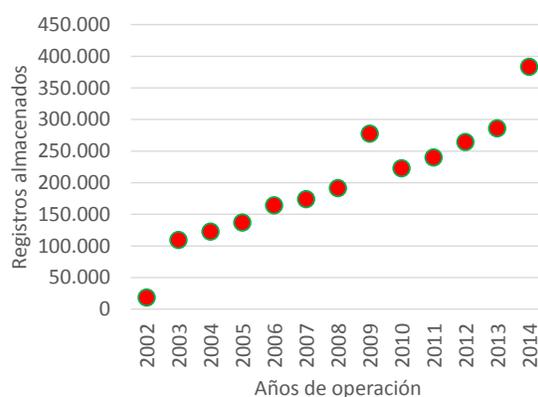
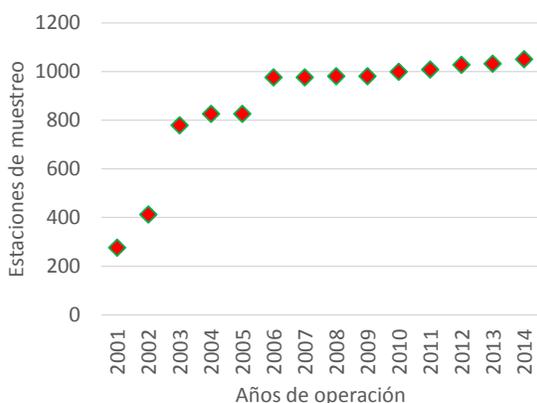
Figura 1.3.3. Ventana de acceso a los diferentes servicios del Sistema de Información de la REDCAM.

En el 2014 la base de datos se incrementó en 19 nuevas estaciones en el sistema, para un total de 1.051 (Figura 1.3.4a) y se sumó al listado de variables el cianuro. Comparado con el año 2013, se incrementaron los registros en un 25 %, para un total de 383.279 (Figura 1.3.4b) datos medidos en 17.145 muestras analizadas (Tabla 1.3.1), en los 12 departamentos costeros durante los años 1993 y 2014, alimentada con datos históricos de otros proyectos y del monitoreo de la REDCAM.

Tabla 1.3.1. Crecimiento del Sistema de información de la REDCAM a diciembre de 2014.

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

Año de operación	Estaciones	Muestras analizadas	Registros almacenados	VARIABLES
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



a. b.
Figura 1.3.4. Crecimiento de la base de datos en los 14 años de operación de la REDCAM.

1.4 ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN REALIZADAS EN EL 2014

1.4.1 FORMACIÓN DE AUDITORES INTERNOS EN LA NORMA ISO 170525:2005

Annualmente, bajo la coordinación del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” – INVEMAR, se realiza un curso de capacitación dirigido a los técnicos y profesionales de las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) costeras y de las demás entidades vinculadas de forma directa o indirecta al Programa Nacional de Monitoreo de la Red de Vigilancia de la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia - REDCAM. Estos cursos que hacen parte de las estrategias que la REDCAM viene desarrollando para apoyar el fortalecimiento de las capacidades técnicas de los laboratorios de las CAR costeras.

En el 2014 se realizó el segunda versión del curso-taller sobre “Capacitación para formar auditores internos en la Norma ISO 17025:2005”, el cual fue dictado por el Docente Schneider Jesús Castillo Meléndez entre el 25 y 27 de junio en las instalaciones de la sede del INVEMAR en Santa Marta (Figura 1.4.1). El objetivo del curso fue proporcionar información y capacitar a los asistentes como auditores internos de la Norma ISO 17025:2005. Se contó con la participación de 28 asistentes en representación de CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CRC, CVC, CORPONARIÑO, los centros de investigación de la Armada CIOH y CCCP, la Universidad de La Guajira – UNIGUAJIRA y los investigadores y técnicos del INVEMAR (Figura 1.4.2).



Figura 1.4.1. Desarrollo del Curso-taller REDCAM 2014 en Formación de Auditores Internos en la Norma ISO/ IEC 17025:2005. A. Visita al LABCAM del INVEMAR, B y C desarrollo de talleres prácticos de aplicación de la Norma.



Figura 1.4.2. Asistentes al curso-taller REDCAM 2014.

Durante el desarrollo del curso las temáticas se enfocaron en los requisitos de gestión, requisitos técnicos, conceptos y principios de auditoría, técnicas de preparación e indagación, técnicas para reportes de auditoría, ejercicios y actividades prácticas y finalmente la evaluación de conocimientos.

El primer día del curso, se explicó el contenido de la norma, los requisitos de gestión y técnicos, las características en los laboratorios que están acreditados, la trazabilidad y la diferencia entre certificación y acreditación como laboratorio y como técnica analítica. Se interpretaron cada uno de los requisitos dando espacio a los participantes de preguntar y compartir experiencias. El docente explicó los beneficios de la acreditación en los laboratorios de ensayos y profundizó en los trabajos o productos no conformes y las no conformidades, acciones correctivas y preventivas. En el segundo día, continuó la interpretación, instalaciones y condiciones ambientales. Después se presentaron los conceptos y clases de auditorías, enfoques y etapas, así como la gestión del riesgo en las auditorías y para finalizar se abordaron las competencias de los auditores incluyendo la calificación, el conocimiento, las preguntas típicas.

Finalmente, el cierre del curso abordó las etapas de una auditoría práctica (planeación, implementación, monitoreo, revisión y mejora) y la ejecución de la auditoría la cual consta de cuatro partes: reunión de apertura, examen del sistema, revisión de hallazgos y reunión de cierre. Posteriormente se iniciaron ejercicios de grupo abordando los cuatro requisitos de auditoría y por último se realizó la evaluación de conocimientos.

1.4.2 ENTRENAMIENTO EN TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA Y SEDIMENTOS MARINOS EN CORPONARIÑO

Los días 13 y 14 de noviembre de 2014 en las instalaciones del Centro Ambiental Costa Pacífica de la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO) en Túmaco, se llevó a cabo el curso “Muestreo, Recolección y Preservación de muestras de agua y sedimentos”, que contó con la participación de 16 funcionarios de la entidad (Figura 1.4.3). La capacitación se desarrolló con el propósito de continuar con el fortalecimiento de las capacidades del personal técnico, que está relacionado con el monitoreo de aguas de la corporación y fue impartido por el instructor José Gregorio Sánchez Diazgranados, Coordinador Científico de la sede Pacífico del INVEMAR.



Figura 1.4.3. Profesionales y técnicos de CORPONARIÑO que asistieron al curso en la sede Túmaco – Nariño.

Se realizaron dos fases, una teórica donde se desarrollaron aspectos básicos del monitoreo de aguas y sedimentos y la sesión práctica que se realizó en campo (Figura 1.4.4), mostrándole a los asistentes como se toman las muestras desde la lancha o en tierra, dependiendo del objetivo del muestreo.



Figura 1.4.4. Actividades prácticas del curso sobre toma y preservación de muestras de agua y sedimentos marinos en CORPONARIÑO, sede Túmaco.

1.4.3 ENTRENAMIENTO EN VALIDACIÓN DE LA TÉCNICA PARA DETERMINAR NUTRIENTES EN AGUAS EN CORPOGUAJIRA

En el marco del convenio específico CORPOGUAJIRA – INVEMAR cuyo objetivo es Aunar esfuerzos, recursos técnicos y económicos para realizar el monitoreo de la Red de Vigilancia de la Calidad Ambiental y Marina – REDCAM en el departamento de la Guajira. Un investigador del LABCAM realizó una capacitación *in situ* en el Laboratorio Ambiental de CORPOGUAJIRA en dos jornadas; (i) marzo 26 y 28; (ii) abril 23 al 25. Durante esta capacitación se estableció un plan de validación de Nitratos y Nitritos, lectura de muestras y análisis estadístico para determinar los criterios del ensayo.



Figura 1.4.5. Entrenamiento en validación de la técnica para determinar nutrientes (Nitratos y Nitritos) en aguas en CORPOGUAJIRA. Preparación de curvas de calibración y montaje de columnas de reducción de Cadmio.

1.5 FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES DE LAS CAR COSTERAS EN EL MONITOREO DE LA REDCAM

Para fortalecer la capacidad técnica de las CAR costeras en el monitoreo de la calidad de las aguas marinas y costeras, y para que a futuro puedan asumir de manera autónoma e independiente la REDCAM, se elaboró el diagnóstico de capacidades en el marco del convenio No. 57 de 2013 y las propuestas técnico-económicas en el convenio No. 190 de 2014 suscrito entre el MADS y el INVEMAR, donde se evidenciaron las fortalezas y necesidades actuales de los laboratorios ambientales de las CAR costeras en la aplicación de protocolos y monitoreo de calidad de agua marina, manejo de información y aspectos financieros. Si bien las CAR costeras han llevado con éxito la implementación y validación de las técnicas en sus laboratorios, así como la acreditación bajo la Norma ISO/IEC 17025:2005 con el IDEAM, (excepto CARSUCRE que está en proceso), necesitan incluir dentro de sus ensayos el conjunto de variables establecidas en el monitoreo de la REDCAM y validarlas en la matriz marina. Por ello, es necesario que el montaje y validación de las técnicas analíticas se realice directamente en cada laboratorio, para dejar la capacidad instalada, acorde con las condiciones de equipos, materiales y personal disponible.

Con el diagnóstico se elaboraron las propuestas donde se describieron acciones en conjunto entre las CAR costeras y el INVEMAR, con el apoyo del MADS-DAMCRA con proyecciones en el corto, mediano y largo plazo, donde se identificaron estrategias a cada una de las 12 CAR costeras, para fortalecer los laboratorios, en términos de infraestructura, equipos, personal, implementación de ensayos, acreditación bajo la norma ISO/ IEC 17025:2005, capacitaciones y fuentes de financiación, encaminados a mejorar sus capacidades para asumir el monitoreo de la REDCAM. El análisis general mostró que el 83 % de los laboratorios de las Corporaciones (10 CAR) requieren de nuevos espacios o realizar adecuaciones a su infraestructura actual para implementar los ensayos de hidrocarburos, plaguicidas, metales pesados y microbiológicos en aguas marinas (Figura 1.5.1), incluidos CORPAMAG y CRA que no tienen laboratorio actualmente, pero están proyectando su construcción e iniciar con el área de fisicoquímicos. Los laboratorios de CVC y CRC cuentan con las áreas necesarias para todos los ensayos.

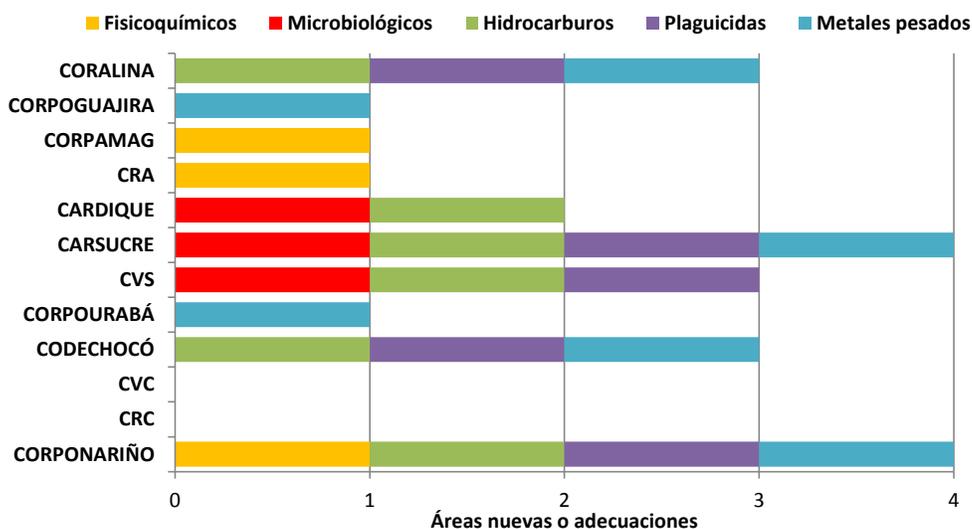


Figura 1.5.1. Requerimientos en infraestructura de las CAR costeras en función de los nuevos parámetros identificados.

La mayoría de las CAR manifestó necesitar sondas de campo, equipos básicos para ensayos fisicoquímicos y equipos de mayor complejidad analítica para medir microbiológicos, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados. El análisis también evidenció que el tema de personal es un aspecto crítico en todas las Corporaciones, porque necesitan vincular profesionales y técnicos capacitados para realizar las actividades actuales del laboratorio, así como para aumentar su capacidad e implementar nuevos ensayos (Figura 1.5.2).

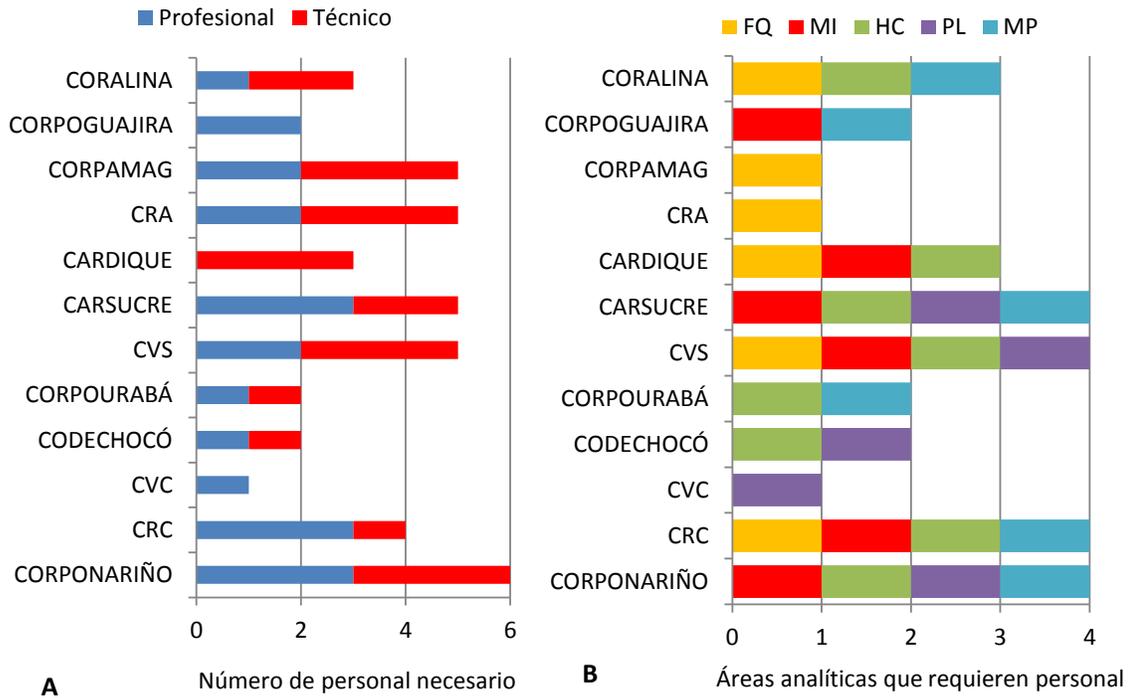


Figura 1.5.2. A) Necesidades de personal para fortalecer las áreas de los laboratorios y B) Áreas que necesitan personal capacitado en las diferentes técnicas analíticas, en las CAR costeras. FQ: fisicoquímicos, MI: microbiológico; HC: hidrocarburos, PL: plaguicidas, MP: metales pesados.

CORPONARIÑO manifestó necesitar mayor número de personal tanto profesionales como técnicos (tres profesionales y tres técnicos), seguido de CVS (dos profesionales y tres técnicos) y CARSUCRE (tres profesionales y dos técnicos). De igual forma, para iniciar la implementación de los laboratorios de CORPAMAG y CRA se requiere como mínimo de dos profesionales y tres técnicos. Los perfiles de personal nuevo requerido deben estar orientados a formación en Química, Ingeniería Química, Microbiología y carreras afines.

El diagnóstico nacional incluyó la estimación de la inversión total requerida para el fortalecimiento de la REDCAM en las 12 CAR costeras y una estrategia financiera general para la gestión de recursos donde se identificó que actualmente los laboratorios cuentan con ocho fuentes de financiación, pero que los recursos son limitados para asumir este reto; por lo tanto se propusieron otras fuentes de ingreso a las que podrían acceder para garantizar la implementación de las acciones propuestas y que el fortalecimiento sea sostenible en el tiempo.

2 DIAGNÓSTICO NACIONAL

2.1 INVENTARIO NACIONAL DE FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN AL MAR

El deterioro de la calidad del agua marina en Colombia se relaciona con el aumento de la población, debido a que las sustancias contaminantes son generadas por las diferentes actividades socioeconómicas que se desarrollan en los municipios costeros del país, y su grado de impacto sobre la salud de los ecosistemas marinos y costeros, dependen en gran medida del control de los vertimientos y el manejo adecuado de otros residuos ([Garay et al., 2001](#)).

En la zona costera se han identificado importantes fuentes terrestres de contaminación que llegan al mar, como las aguas residuales y residuos sólidos urbanos, los vertimientos industriales, las actividades agropecuarias, las actividades portuarias, el transporte, carga y descarga de carbón, las actividades turísticas, la minería que se realiza en la cuenca alta y genera impactos en el litoral, los aportes por escorrentías agrícolas y urbanas, entre otras (Tabla 2.1.1; Figura 2.1.1), actividades que en menor o mayor medida generan o transportan sustancias como grasas y aceites, nutrientes, hidrocarburos, agroquímicos, detergentes o microorganismos que deterioran la calidad del agua y restringen sus múltiples usos ([Escobar, 2002](#); [Garay y Vélez 2004](#)).

En el caso de los residuos domésticos (sólidos y líquidos), su impacto en la salud de los ecosistemas depende en gran medida del manejo de estos residuos en las ciudades costeras de Colombia ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)); teniendo en consideración que en varios municipios costeros aún no cuentan con una completa cobertura de saneamiento básico o es deficiente, ni tienen sistemas adecuados de tratamiento de aguas residuales; por lo cual utilizan alternativas de disposición como el vertimiento directo sobre cuerpos de agua o canales de desagüe construidos sin mayor especificaciones técnicas, afectando la calidad del recurso hídrico ([SSPD, 2009](#); [DIRPEN, 2011](#); [Vivas-Aguas et al., 2014](#)). En cuanto a los residuos sólidos algunos municipios disponen en rellenos sanitarios, en basureros a cielo abierto u otro tipo inadecuado de forma de disposición final como enterramiento y quema.

Las actividades agropecuarias son fuentes de sustancias contaminantes debido a que utilizan plaguicidas, pesticidas, y fertilizantes en los cultivos de banano, arroz, pastos, palma de aceite, entre otros ([Bonilla et al., 2000](#); [Garay et al., 2001](#)), que por escorrentías son arrastrados hacia los cuerpos de aguas provocando procesos de eutrofización y proliferaciones algales ([Mazzeo et al., 2002](#)). Los ríos, no son una fuente propiamente dicha, pero son una vía importante de transporte de los contaminantes que generan las actividades humanas en el continente y que por manejos inadecuados o por procesos de escurrimiento, llegan a las zonas costeras ([Escobar, 2002](#)). Otra actividad que ha cobrado gran importancia en los últimos años es la explotación, cargue y transporte marítimo de carbón, el cual ha generado diversas preguntas de investigación sobre su impacto, especialmente, en el corredor Ciénaga - Santa Marta donde confluyen varios puertos o terminales de carbón. Adicionalmente, ésta actividad extractiva está alternada con actividades tan incompatibles como el turismo y el propio urbanismo, debido a que se desarrollan muy cerca de la población.

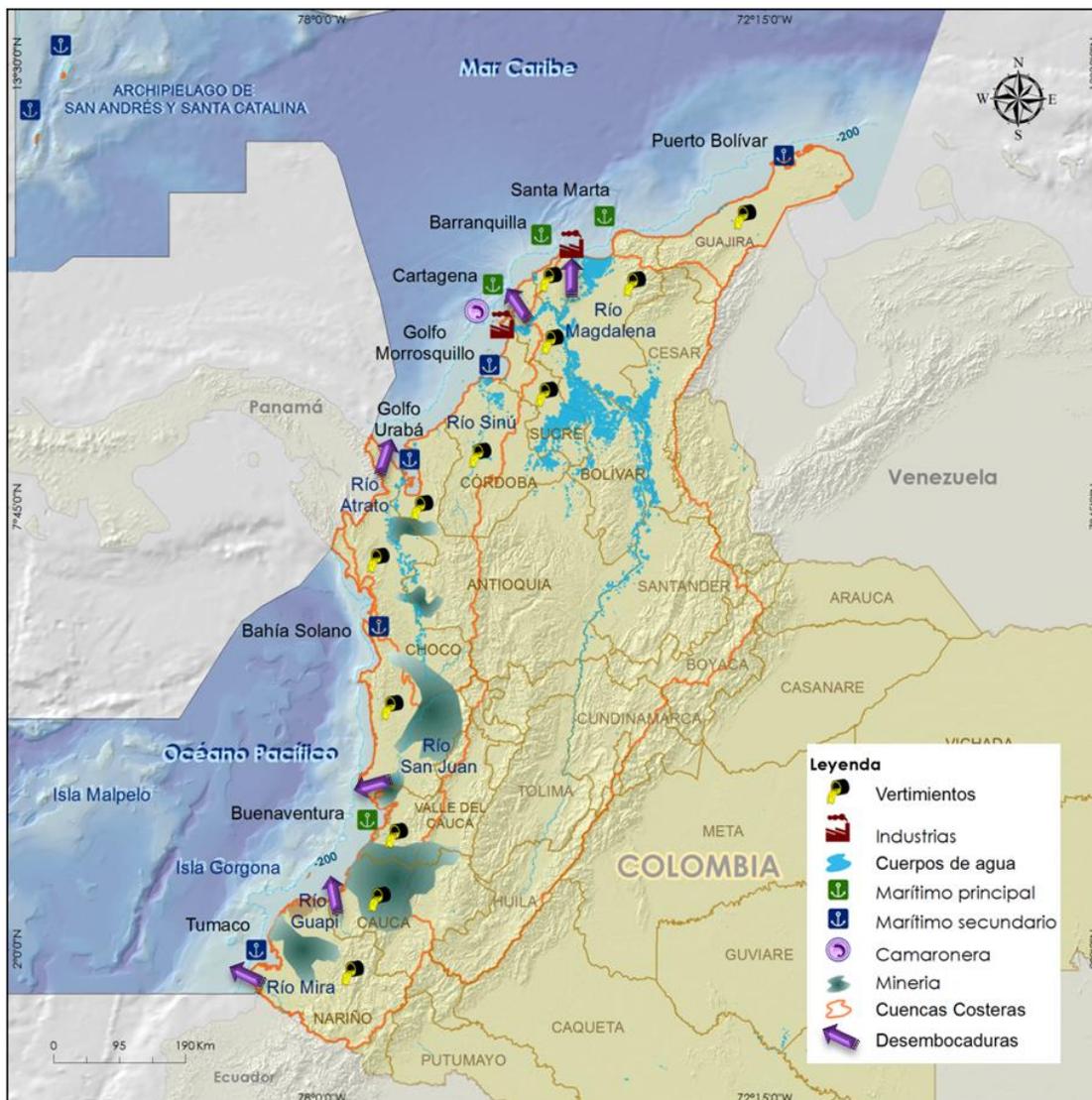


Figura 2.1.1. Ubicación de las principales fuentes terrestres de contaminación que llegan a las aguas marino-costeras de Colombia.

Tabla 2.1.1. Actividades humanas, usos de la zona costera, fuentes terrestres de contaminación y contaminantes que afectan la calidad del agua en Colombia. Fuentes de información: CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CIOH, CARDIQUE, CARSUCE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCO, CORPOURABÁ, CVC, CRC, CORPONARIÑO e INVEMAR.

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
San Andrés, Providencia y Santa Catalina	Dos asentamientos humanos costeros (San Andrés y Providencia). Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, relleno sanitario y botadero a cielo abierto, pozos sépticos, explotación de acuíferos, actividad hotelera y turística intensiva, residuos sólidos, escorrentía superficial, planta eléctrica, transporte y tráfico marítimo, puertos y muelles, manejo de hidrocarburos, actividad pecuaria de pequeña escala, estaciones de servicio, mantenimiento de automotores,. Emisario submarino en San Andrés, pequeños arroyos en las microcuencas de McBean, Baley y Fresh water, los cuales aumentan sus caudales durante la temporada de lluvias.	Materia orgánica, nutrientes, aceites lubricantes, detergentes, microorganismos, residuos sólidos y aguas residuales domésticas.

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
La Guajira	Cuatro asentamientos humanos costeros (Riohacha, Dibulla, Manaure y Uribia). Residuos sólidos, aguas residuales domesticas (ARD), minería intensiva explotación y transporte de carbón, puerto carbonero (Puerto Bolívar), agricultura, termoeléctrica, transporte marítimo, estaciones de servicio, matadero de vacunos, alcantarillado de Riohacha, ríos Ranchería, Jerez, Cañas, Palomino, botaderos satélite a cielo abierto.	Materia orgánica, residuos sólidos, agroquímicos, nutrientes microorganismos, residuos de carbón, aguas de sentinas, aceites y grasas, aguas térmicas hidrocarburos.
Magdalena	Cuatro asentamientos humanos costeros (Santa Marta, Ciénaga, Sitio Nuevo, Pueblo Viejo). 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, emisario submarino, relleno sanitario, ríos Manzanares, Gaira, Córdoba, Toribio, Buritaca, Don Diego, Guachaca, Piedras y Mendihuaca, además del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta.	Materia orgánica, residuos sólidos, aguas residuales municipales, residuos de carbón, hidrocarburos, aceites lubricantes, microorganismos, sólidos en suspensión y disueltos, y agroquímicos.
Atlántico	Cinco asentamientos humanos costeros (Barranquilla, Puerto Colombia, Juan de Acosta, Soledad, Tubará). Plantas de tratamiento de ARD, puerto fluvial y marítimo, alcantarillado, rellenos sanitarios, zona industrial vía 40 (metalúrgicas, químicas, farmacéuticos, cementeras, curtiembres, agroquímicos, procesadoras de alimentos y bebidas, textiles, etc.), zona franca. El río Magdalena, las ciénagas de Mallorquín, Balboa y del Totumo son los principales cuerpos de agua de la zona costera del departamento.	Materia orgánica, aguas residuales domésticas, residuos sólidos, nutrientes, desechos industriales, residuos de carbón, hidrocarburos, microorganismos, aceites lubricantes, sólidos en suspensión y disueltos agroquímicos.
Bolívar	Dos asentamientos humanos costeros (Cartagena y Santa Catalina). Plantas de tratamiento de ARD, emisarios de emergencia, relleno sanitario, sector industrial de Mamonal y zona comercial de El Bosque, actividad marítima y portuaria, refinería, manejo de hidrocarburos. Aportes de Canal del Dique.	Residuos sólidos, aguas residuales municipales, materia orgánica, arrastre de sedimentos, hidrocarburos, residuos oleosos, aceites y grasas, metales pesados, microorganismos, desechos industriales.
Sucre	Tres asentamientos humanos costeros (Tolú, Coveñas y San Onofre). Tres rellenos sanitarios con licencia ambiental (en Sincelejo, Corozal y Toluviejo) y un relleno manual en Sincé, minería (Piedra Caliza en Toluviejo y Palmito), actividad agropecuaria (arroz; pastos, coco, ganadería), maderera, fuentes municipales (aguas residuales domésticas, residuos sólidos), industria pesquera, camarónicas, zocriaderos, actividad portuaria, terminal marítimo de Ecopetrol, muelle de Tolcemento, zona de cargue de cemento y klinker, manejo y transporte de hidrocarburos, mataderos, estaciones de servicio. Aportes por corrientes naturales (Arroyos Pechelin, Villeros, Ciénaga la Caimanera, Caño Guainí, Zaragocilla, Guacamaya, Alegría.	Materia orgánica, sólidos en suspensión, agroquímicos, heces, residuos sólidos, aguas residuales, microorganismos, aguas de sentina, hidrocarburos, aceites y residuos oleosos, residuos de carbón, Klinker y yeso, metales pesados.
Córdoba	Seis asentamientos humanos costeros (Canaletes, San Antero, San Bernardo del Viento, Moñitos, Puerto Escondido, Los Córdoba). Pozos sépticos, basurero a cielo abierto, agricultura (arroz) y ganadería intensiva, distrito de riego de Moncarí y Montería, turismo, residuos sólidos, aguas residuales domésticas. Aportes por los ríos Sinú, Canaletes y Los Córdoba.	Materia orgánica, agroquímicos, heces, residuos sólidos, aguas residuales, microorganismos, sedimentos, nutrientes.
Antioquia	Cuatro asentamientos humanos costeros (Arboletes, San Juan de Urabá, Turbo y Necoclí). Lagunas de oxidación, aguas residuales domésticas, actividad portuaria en Turbo, cultivo de banano, minería de oro. Aportes por corrientes naturales (Río Atrato, Caimán, Turbo y León).	Materia orgánica, nutrientes, agroquímicos, plaguicidas, sólidos suspendidos, microorganismos, hidrocarburos, mercurio, sedimentos, residuos líquidos y sólidos.

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
Chocó	Nueve asentamientos humanos costeros (Acandí, Ungía, Triganá y Capurganá en el Caribe; Juradó, Bahía Solano, Nuquí, Bajo Baudó, San Juan en el Pacífico). Minería de oro, turismo, transporte de pequeñas embarcaciones, actividad portuaria de menor escala, turismo, industria maderera, estaciones de servicio, comercio de combustible. Aportes de los ríos San Juan, Valle, Nuquí, Jella y la quebrada Chocolatal.	Microorganismos, materia orgánica, nutrientes, agroquímicos, hidrocarburos, aguas residuales domésticas, residuos sólidos, plaguicidas, aceites usados, alquitranes para la inmunización de la madera, mercurio.
Valle del Cauca	Un asentamiento humano costero (Buenaventura). Botadero a cielo abierto, actividad marítima y portuaria intensiva, muelle petrolero, manejo y transporte de hidrocarburos y derivados del petróleo, industria maderera, pesquera, lixiviados, alcantarillado, vertimiento directo de ARD, turismo en La Bocana, Juanchaco y Ladrilleros. Pequeños cultivos de pancoger, chontaduro y coco (Dagua). Aportes de los ríos San Juan, Naya, Anchicayá, Potedó, Raposo y Dagua.	Microorganismos, materia orgánica, residuos sólidos, nutrientes, aguas residuales domésticas, desechos del procesamiento de productos pesqueros, plaguicidas, hidrocarburos, metales pesados, residuos oleosos, aguas de sentinas y <i>slops</i> .
Cauca	Tres asentamientos costeros (López de Micay, Timbiquí y Guapi). Fuentes municipales, sistema de saneamiento básico precario, minería de oro, agricultura, aserríos, cocoteras, trapiches artesanales, industria maderera, almacenamiento y expendio de combustible. Aportes de los ríos Timbiquí, Bubuey, Micay, Saija, Guajui y Guapi.	Microorganismos, materia orgánica, residuos sólidos, lixiviados, sólidos suspendidos, metales, nutrientes, agroquímicos, pesticidas, aceites y grasas, residuos de madera, aserrín, bagazo de caña, sedimentos.
Nariño	Siete asentamientos costeros (El Charco, La Tola, Mosquera, Olaya Herrera, Santa Bárbara, Francisco Pizarro, San Andrés de Túmaco). Fuentes municipales, alcantarillado, sistema de saneamiento básico precario, minería, agricultura (palma aceitera, coco), ganadería, transformación madera, industria pesquera, mataderos, camarónicas, extracción de material de arrastre de ríos, actividad marítima y portuaria, transporte de petróleo. Aportes de los ríos Mira, Mejicano, Chagüí, Rosario, Iscuandé, Patía, Tapaje, Mataje y La Tola).	Residuos líquidos y sólidos, materia orgánica, aguas residuales (palma, camarones, productos pesqueros), estopa de coco, heces, sólidos en suspensión, microorganismos, nutrientes, hidrocarburos, derivados de petróleo, aguas de sentinas, agroquímicos, plaguicidas, aceites y grasas, residuos de madera.

2.1.1 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

En Colombia, la descarga directa de aguas residuales domésticas (ARD) en las zonas marino costeras representa una fuente importante de contaminación, debido a que contienen sólidos fijos, disueltos y en suspensión, materia orgánica, detergentes y microorganismos de origen fecal que aumentan la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y disminuyen la disponibilidad de oxígeno deteriorando la calidad del recurso hídrico para los ecosistemas y recursos naturales asociados, así como para otros diferentes usos ([IDEAM, 2010](#); [INVEMAR y MADS, 2011](#)).

Según la proyección para el 2014 del Departamento Administrativo Nacional de Estadística ([DANE, 2014](#)) en los municipios de las zonas costeras colombianas albergaron alrededor de 5,5 millones de habitantes distribuidos en 47 municipios, que están representados en 85 % en el Caribe y 15 % del Pacífico colombianos. La producción ARD de esta población costera tributaria fue en total de 828.121 m³/día, de acuerdo a la metodología [UNEP-RCU/CEP \(2010\)](#), siendo la costa Caribe la de mayor producción (705.819 m³/día de ARD), coherente con la cantidad población. De este volumen de ARD, se estima que el 36 % es vertido de forma directa y sin ningún tipo de tratamiento a los cuerpos de aguas superficiales, porque en muchos municipios se carece de sistemas de tratamiento de agua residual (STAR) y la cobertura de alcantarillado es baja (Figura 2.1.2; Tabla 2.1.2), lo cual genera, un factor de riesgo alto para los recursos marino-costeros del país.

La carga proveniente de los municipios costeros estimada para el 2014 fue de 36.987 t/año de materia orgánica representada en DBO₅ y 73.973 t/año de DQO; 8.877 t/año de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID); 592 t/año de Fósforo Inorgánico Disuelto (PO₄); 36.987 t/año de sólidos suspendidos totales (SST); y 1,5E+20 NMP/año de coliformes totales (CTT); de la cual la costa Caribe aportó el 72 % y el Pacífico el 28 %. Entre las ciudades del Caribe se destacó Cartagena por aportar la mayor carga con 4.210 t/año de DBO₅; 8.421 t/año de DQO; 1.101 t/año de NID; 67 t/año de PO₄; 4.210 t/año de SST y 1,7E+19 NMP/año de CTT; en orden descendente Uribia, Santa Marta, Riohacha y Turbo fueron las de mayor carga doméstica; no obstante, Barranquilla (98 %), Soledad (84,5 %), Cartagena (76,7 %), Santiago de Tolú (75 %) y Santa Marta (74 %) tienen la mayor cobertura de saneamiento (Tabla 2.1.2). En el Pacífico sobresalieron los municipios de Túmaco y Buenaventura con aportes respectivos de 3.363 y 2.869 t/año de DBO₅; 6.726 y 5.738 t/año de DQO; 807 y 688 t/año de NID; 54 y 46 t/año de PO₄; 3.363 y 2.869 t/año de SST y de 1,3E+19 y 1,1E+19 NMP/año de CTT; región donde es más baja la cobertura de saneamiento.

En Colombia, las lagunas de oxidación y estabilización son el tipo de STAR más empleado (Tabla 2.1.2); sin embargo, generan altos costos de inversión, operación y mantenimiento, lo cual representa un serio obstáculo para su implementación en muchos municipios costeros del país. La extensión de la cobertura de saneamiento en los sistemas de alcantarillado comprende la ampliación de infraestructura, redes e instalaciones de tratamiento, porque debido al progresivo aumento poblacional muchas ciudades poseen redes de alcantarillados obsoletas e incapaces de enfrentar el volumen creciente de aguas residuales domésticas; con trabajos de ampliación y rehabilitación de los sistemas de alcantarillado, que están condicionados a la disponibilidad de recursos financieros y de una capacidad operativa para su planificación y ejecución (SSPD, 2009; UNEP-RCU/CEP, 2010).

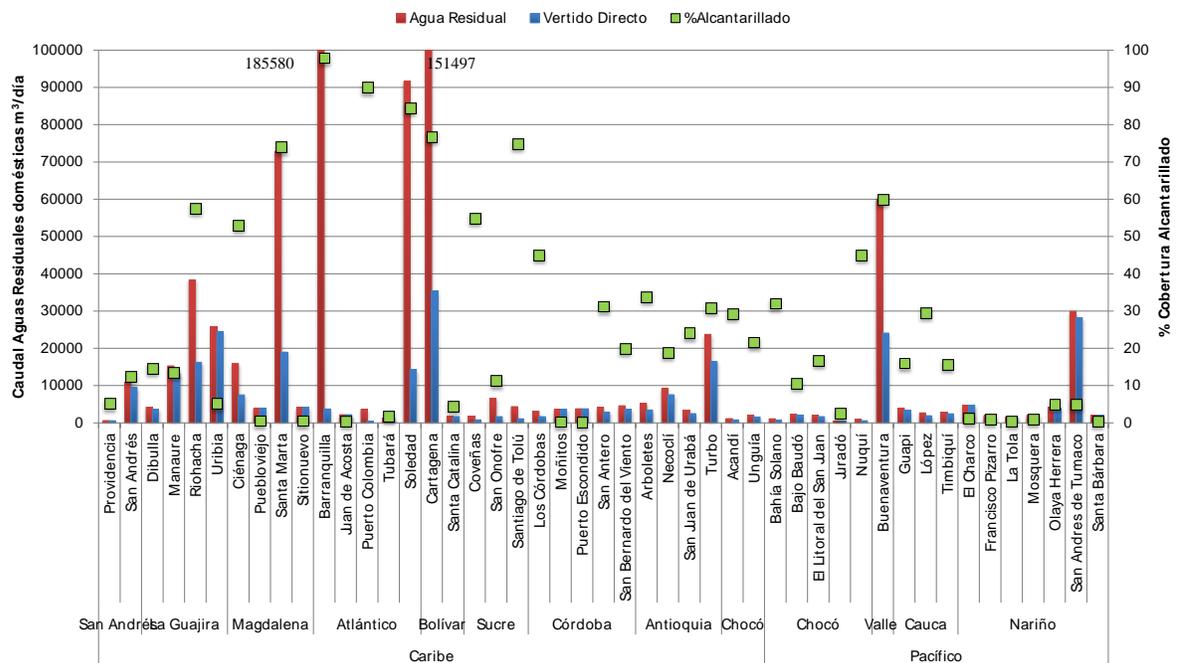


Figura 2.1.2. Caudal estimado de vertido de aguas residuales domésticas – ARD y cobertura de alcantarillado en los municipios costeros del Caribe y Pacífico colombiano. Fuente caudal: cálculo INVEMAR, metodología UNEP-RCU/CEP, 2010. Población y cobertura alcantarillado: DANE 2014, proyección censo 2005; CORPOGUAJIRA, 2012; CORPOURABÁ, 2012; CORPAMAG, 2012.

Tabla 2.1.2. Saneamiento básico, producción, disposición 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](#).

Municipio	Producción residuos sólidos (t/mes)	Cobertura de Aseo %	Cobertura de Acueducto %	Cobertura de Alcantarillado %	Sistema de tratamiento de Aguas Residuales
Providencia	-	-	45,6	5,2	Emisario Submarino
San Andrés	-	-	73,1	12,5	PTAR
Dibulla	-	-	54,6	14,6	Laguna de Retención
Manaure	-	-	10,6	13,5	Laguna de Oxidación
Riohacha	176	60,4	72,1	57,6	PTAR
Uribia	-	-	3,5	5,2	Laguna de Oxidación
Ciénaga	1800	93	77,2	53	Laguna de Oxidación
Pueblo Viejo	159	40	52,1	0,6	poza séptica
Santa Marta	11.482	99	77,7	74	Emisario Submarino
Sitio Nuevo	91	0	50,8	0,6	poza séptica
Barranquilla	1184	100	96,5	98	Laguna de Oxidación
Juan de Acosta	4,7	95	75,4	0,4	No tiene
Puerto Colombia	16,23	99	85,3,	90	Laguna de Estabilización
Tubará	4,39	95	65,9	1,8	No tiene
Soledad	5910	100	82,2	84,5	No tiene
Cartagena	*21900	100	89,4	76,7	Emisario Submarino
Santa Catalina	*60	0	56,2	4,5	No tiene
Coveñas	186,6	90	43,6	55	Laguna de Estabilización
San Onofre	480	89	56,8	11,3	Laguna de Estabilización
Santiago de Tolú	750	89	76,2	75	Laguna de Estabilización
Los Córdoba	9,3	-	21,8	45	Laguna de Oxidación
Moñitos	6,3	-	32,6	0,3	No tiene
Puerto Escondido	5,1	-	24,2	0,2	No tiene
San Antero	32,4	-	61,8	31,3	Laguna de Oxidación
San Bernardo del Viento	16,2	-	31,1	20	Laguna de Oxidación
Arboletes	243	45	52,4	33,8	Laguna de Oxidación
Necoclí	348	80	38,4	18,9	Laguna de Oxidación
San Juan de Urabá	-	95	39	24,1	Reactor UASB
Turbo	1646	50	44,3	30,9	Laguna de Oxidación
Acandí	-	-	69,0	29,3	-
Unguía	-	-	48,5	21,7	-
Bahía Solano	-	-	83,4	32,1	-
Bajo Baudó	-	-	28,6	10,6	-
El Litoral del San Juan	-	-	27,3	16,7	-
Juradó	-	-	20,6	2,5	-
Nuquí	-	-	74,1	45	-
Buenaventura	-	-	76,1	59,9	-
Guapi	-	-	17,2	16,1	-
López	-	-	30,4	29,5	-
Timbiquí	-	-	25,4	15,7	-
El Charco	-	-	5,1	1,2	No tiene
Francisco Pizarro	-	-	41	1	No tiene
La Tola	-	-	3,3	0,4	No tiene

Municipio	Producción residuos sólidos (t/mes)	Cobertura de Aseo %	Cobertura de Acueducto %	Cobertura de Alcantarillado %	Sistema de tratamiento de Aguas Residuales
Mosquera	-	-	4,7	1,1	No tiene
Olaya Herrera	-	-	23,8	5,1	No tiene
San Andrés de Túmaco	-	-	29,2	5,1	No tiene
Santa Bárbara	-	-	1,2	0,4	No tiene

2.1.2 DESCARGAS DE RÍOS

Los ríos son considerados como la principal interfase entre la tierra y el océano, conectando cerca del 87 % de la superficie de la tierra con la zona costera (Ludwig y Probst, 1998), además tienen la particularidad de arrastrar contaminantes que captan en las cuencas y transportarlos hacia las zonas costeras donde convergen ecosistemas altamente sensibles como estuarios, humedales, manglares, arrecifes coralinos y lagunas costeras, entre otros (Kraemer et al., 2001). La modificación de los cauces de los ríos, la alteración del flujo de agua por la reducción y/o incremento de nutrientes, sedimentos y contaminantes, y el aumento poblacional en las costas o cerca de ellas, influyen sobre las características físicas, químicas y biológicas del paisaje marino-costero, afectando funciones ecológicas, biodiversidad, hábitats acuáticos, y contaminando los cauces bajos. En Colombia, los contaminantes tienen acceso directo a las zonas costeras debido a que las ciudades más pobladas se encuentran próximas a la ribera de los principales ríos donde vierten sus desechos directa o indirectamente (Garay y Vélez, 2004).

El flujo de carga para el año 2013 que aportaron 40 de los principales ríos que drenan a la zona costera fue de 360.784 t/año de NID, 22.170 t/año de PO₄, 837.697 t/año de DBO₅, 57.791.174 t/año de SST, 309,1 t/año de hidrocarburos del petróleo (HAT) y 1,74 x 10²² t/año de CTE (Tabla 2.1.3). De estas corrientes, el río Magdalena es considerado uno de los mayores aportantes de contaminación al mar Caribe (Restrepo et al., 2005); sólo ésta corriente vertió al mar 139.873 t/año de NID, 14.272 t/año de PO₄, 636.974 t/año DBO₅, 30.202.354 t/año de SST, 158 t/año de HAT y 1,37 x 10²² t/año de CTE. Con respecto a los nutrientes, los ríos Atrato y San Juan aportaron las mayores cargas de 170.580 t/año y 28.317 t/año, respectivamente, asociadas al vertimiento de aguas residuales y al uso de fertilizantes en los cultivos de sus cuencas, los cuales se convierten en la fuente principal de nitrógeno (Restrepo, 2006). La mayor carga de fosfatos se presentó en el río Atrato (4.390 t/año) similar al año 2012.

Las mayores cargas de SST fueron aportadas por los ríos San Juan (9.570.000 t/año), Sinú (3.831.813 t/año), Magdalena a la altura del Canal del Dique (3.296.431 t/año) y Atrato (3.086.404 t/año), los cuales recogen múltiples tributarios en el área de drenaje de sus cuenca promoviendo la acumulación de sedimentos al llegar a la zona costera (Restrepo, 2006; CORMAGDALENA, 2007). La descarga de sedimentos directamente a la zona costera, puede causar efectos negativos en formaciones coralinas y pastos marinos, pues disminuyen la actividad fotosintética y las tasas de crecimiento y conducen a condiciones de hipoxia (Ellison, 1998; Touchette y Burkholder, 2000; Carricart-Ganivet y Merino, 2001).

En relación a los hidrocarburos, los mayores aportes se presentaron en los ríos Mira (67,4 t/año) en el departamento de Nariño, Sinú (23,2 t/año) en Córdoba y Timbiquí (22,4 t/año) en el Cauca; residuos que provienen probablemente del transporte de embarcaciones con motores, expendios de combustible y lavaderos cerca a estos ríos. De igual manera pueden estar relacionadas con escorrentías y vertimientos de aguas residuales domésticas ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)). Por lo tanto, es necesario hacer seguimiento porque la presencia de estas sustancias en el medio puede generar mutaciones y mortandad de organismos ([Ellison y Farnsworth, 1996](#)).

La carga microbiana representada en coliformes fue mayor en los ríos Guadualito ($2,21 \times 10^{21}$ t/año), San Juan ($3,52 \times 10^{20}$ t/año), León ($2,60 \times 10^{20}$ t/año), Sinú ($2,25 \times 10^{20}$ t/año) y en el Canal del Dique ($2,01 \times 10^{20}$ t/año). Esta contaminación está relacionada con vertimientos de aguas residuales domésticas, que pueden producir enfermedades gastrointestinales como el cólera y hepatitis por contacto directo o ingestión de alimentos contaminados. En los ecosistemas, las coliformes pueden afectar comunidades de esponjas y corales produciendo enfermedades que necrosan sus tejidos ([Gochfeld et al., 2007](#)).

Tabla 2.1.3. Caudal promedio histórico y carga anual estimada de contaminantes aportados por los principales tributarios que desembocan en el litoral Caribe y Pacífico colombiano. NID (Nitrógeno Inorgánico Disuelto), PO₄ (Fósforo inorgánico disuelto), DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), SST (Sólidos Suspendidos Totales), HAT (Hidrocarburos del petróleo), CTE (Microorganismos de contaminación fecal), NMP (Número más Probable). Fuente Caudal: serie de tiempo 1959- 2010 ([IDEAM, 2012](#)); [Restrepo \(2006\)](#); [Garay et al., 2006](#); Fuente concentraciones: Base de datos REDCAM ([INVEMAR, 2014b](#)).

Departamento	Corriente	Caudal	NID	PO ₄	DBO ₅	SST	HAT	CTE
		m ³ /seg	t/año	t/año	t/año	t/año	t/año	NMP/año
LA GUAJIRA	Cañas	12	44,5	9,47		2,27E+04	0,27	1,14E+19
	Jerez	15	113,43	11,84			0,27	1,91E+18
	Palomino	25,37	63,17	20,02		1,63E+04	0,37	3,20E+18
	Ranchería	8,22	12,39	6,49		7,55E+04	6,52	2,06E+18
MAGDALENA	Buritaca	89,84	276,52	70,9		3,57E+04	0,52	1,83E+17
	Córdoba	10	26,35	7,89		2,34E+04	0,16	8,04E+17
	Don Diego	38,62	71,98	30,48		1,39E+04	0,6	3,96E+16
	Gaira	2,74	13,31	2,16		1,05E+03	0,08	1,04E+18
	Guachaca	15,85	39,19	12,51		4,47E+04	0,12	3,90E+16
	Manzanares	1,89	40,28	1,49	134,11	6,94E+02	0,1	7,16E+18
	Piedras	4,56	8,22	3,6		4,53E+02	0,07	1,26E+17
	Toribio	10	28,32	7,89		3,86E+04	0,12	5,83E+17
ATLÁNTICO	Clarín	23	217,05	27,67	1.356,36	2,03E+05	0,3	1,92E+17
	Magdalena	7.200,83	139.873,24	14.272,32	636.974,48	3,02E+07	158,96	1,37E+22
BOLÍVAR	Caño Correa	128,34	38,85	0,16	4.472,30	3,52E+05		8,09E+15
	Canal del Dique	427,26	5.956,21	337,19	32.000,92	3,30E+06		2,01E+20
SUCRE	Pechelín	0,93	1,52	0,73		6,41E+02	0,01	
CÓRDOBA	Sinú	394,5	1.964,43	311,33		3,83E+06	23,2	2,25E+20
ANTIOQUIA	Atrato	1.874,89	170.580,04	4.390,14	53.213,88	3,09E+06	5,91	5,91E+19
	Guadualito	2	0	3,7	88,3	2,72E+04		2,21E+21
	Mulatos	4,69	36,24	17,33	325,39	1,94E+04	0,03	7,40E+17
	Necoclí	3	2,84	9,56	175,02	6,56E+03		8,18E+16
	Currulao	6,74	8,4	72,27	510,13	2,07E+04		7,33E+17
	León	75,05	449,69	371,7	1.656,74	9,92E+05		2,60E+20
	Turbo	3,57	21,05	21,09	427,82	2,06E+04	0,02	2,36E+18
TOTAL CARIBE		10.378,9	319.887,2	20.019,9	731.335,4	4,23E+07	197,6	1,67E+22

Departamento	Corriente	Caudal	NID	PO ₄	DBO ₅	SST	HAT	CTE
		m ³ /seg	t/año	t/año	t/año	t/año	t/año	NMP/año
CHOCÓ	San Juan	2.593,70	28.317,40		94.064,16	9,57E+06		3,52E+20
VALLE DEL CAUCA	Anchicayá	74	3.718,23		5.040,71	2,09E+05		2,72E+19
	Dagua	125,89	1.426,05		5.081,69	1,75E+05		2,30E+19
	Potodo	60	672,72		2.175,98	3,03E+04		6,24E+17
	Raposo	70	917,47			1,03E+05		7,28E+18
CAUCA	Guapi	357,05	318,94	281,78		5,70E+05	3,66	3,21E+19
	Micay	274,41	293,28	216,56		6,99E+05	4,28	2,46E+19
	Saija	165,84	159,02	130,88		1,54E+05	1,18	2,69E+19
	Timbiquí	147,13	182	116,11		4,37E+05	22,43	1,38E+20
NARIÑO	Brazo Patía	374,83	225,83	295,81		1,11E+06	3,25	1,54E+18
	Chagüí	133,5	823,42	105,36		4,74E+05	1,24	2,06E+18
	Iscuandé	212,77	292,15	167,92		1,63E+05	2,28	2,42E+19
	Mejicano	45	177,28	35,51		8,48E+04	0,38	1,32E+17
	Mira	868,08	2.759,61	685,08		1,07E+06	67,48	3,01E+19
	Rosario	146	613,77	115,22		6,09E+05	5,27	2,26E+18
TOTAL PACÍFICO		5.648,20	40.897,16	2.150,23	106.362,55	1,55E+07	111,46	6,92E+20
TOTAL NACIONAL		16.027,1	360.784,4	22.170,2	837.698,0	5,78E+07	309,1	1,74E+22

2.2 ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

Los indicadores de calidad del agua se vienen utilizando como una herramienta práctica para facilitar la interpretación de las condiciones ambientales, a través de información física, química y biológica (Samboni *et al.*, 2007). 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_{PFF}), 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 2.2.1), facilitando su interpretación.

El ICAM_{PFF} resume la información de ocho variables integradas (oxígeno disuelto, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, hidrocarburos aromáticos totales y coliformes termotolerantes) que 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.*, 2014), 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)

Donde:

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

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

X_i = subíndice de calidad de la variable i

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

Tabla 2.2.1. 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

De las estaciones evaluadas con el ICAM en las épocas seca (164 estaciones) y lluviosa de 2013 (159 estaciones) el 26 % se calculó con datos de las ocho variables, el 41 % con siete variables asumiendo el 88 % de confianza y el 33 % con seis variables asumiendo el 75 % de confianza, lo cual no afecta la integración del ICAM_{PF}, pero si varía la calificación de las condiciones del agua marina.

El análisis nacional de los ICAM mostró condiciones adecuadas del agua en un mayor número de estaciones durante la época seca en comparación con la época lluviosa, donde además aumentaron las estaciones con calidad inadecuada y disminuyeron las de estado pésimo (Figura 2.2.1).

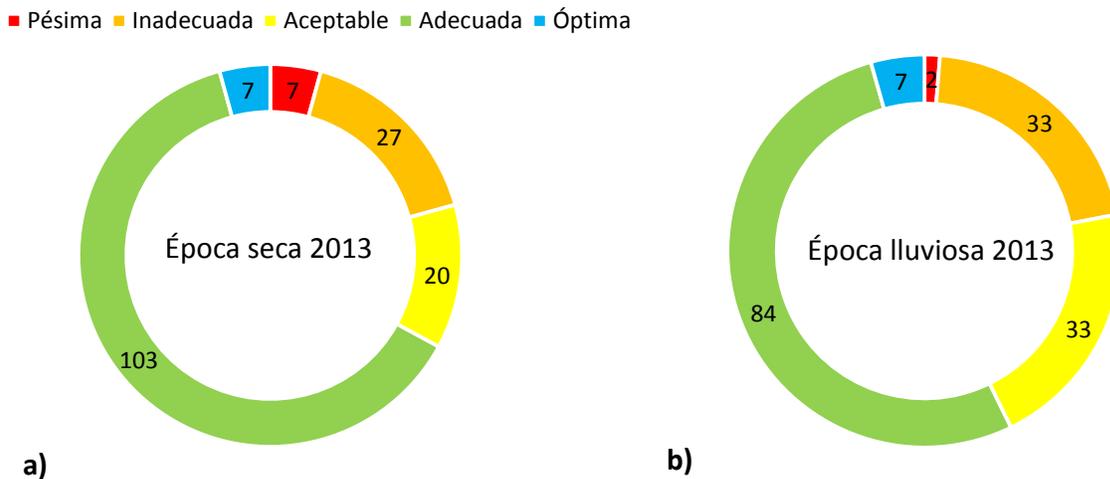


Figura 2.2.1. Análisis nacional de los resultados del ICAM para la época seca y de lluvias de 2013. Los colores de las barras representan la calidad de acuerdo con la escala indicativa y el número representan las estaciones en cada categoría.

A escala regional, de las 164 estaciones ICAM de la época seca de 2013, 127 se ubicaron en el Caribe y 37 en el Pacífico. En la costa Caribe, los ICAM_{PF} fluctuaron entre 15,2 y 92,2 representando las cinco categorías de calidad, además se encontró el mayor número de estaciones con condiciones óptimas y adecuadas en el departamento del Magdalena, principalmente en las zonas del Parque Tayrona y Santa Marta, seguido por el departamento de Sucre donde la mayoría se encontraron adecuadas (Figura 2.2.2a; Figura 2.2.4a), mientras que los departamentos con mayor número de estaciones en estados inadecuados y pésimos fueron Bolívar y Antioquia, puntualmente en la bahía de Cartagena y el golfo de Urabá.

En el litoral Pacífico los 37 ICAM_{PF} mostraron que la calidad del agua osciló entre 33,65 y 83,29, equivalente a tres categorías de calidad (adecuada, aceptable e inadecuada), encontrándose condiciones adecuadas del recurso hídrico en los departamentos del Cauca y Nariño (Figura 2.2.2b; Figura 2.2.4b), mientras que el Chocó fue el único departamento donde se encontraron condiciones inadecuadas en el golfo de Tribugá, especialmente en las estaciones frente al río Nuquí y el estero Jurubidá. Comparando estos resultados con los de la costa Caribe, se evidenció que las mejores condiciones del recurso hídrico marino durante la época seca 2013 se encontraron en el Pacífico, seguramente por la hidrodinámica y las fluctuaciones de las mareas.

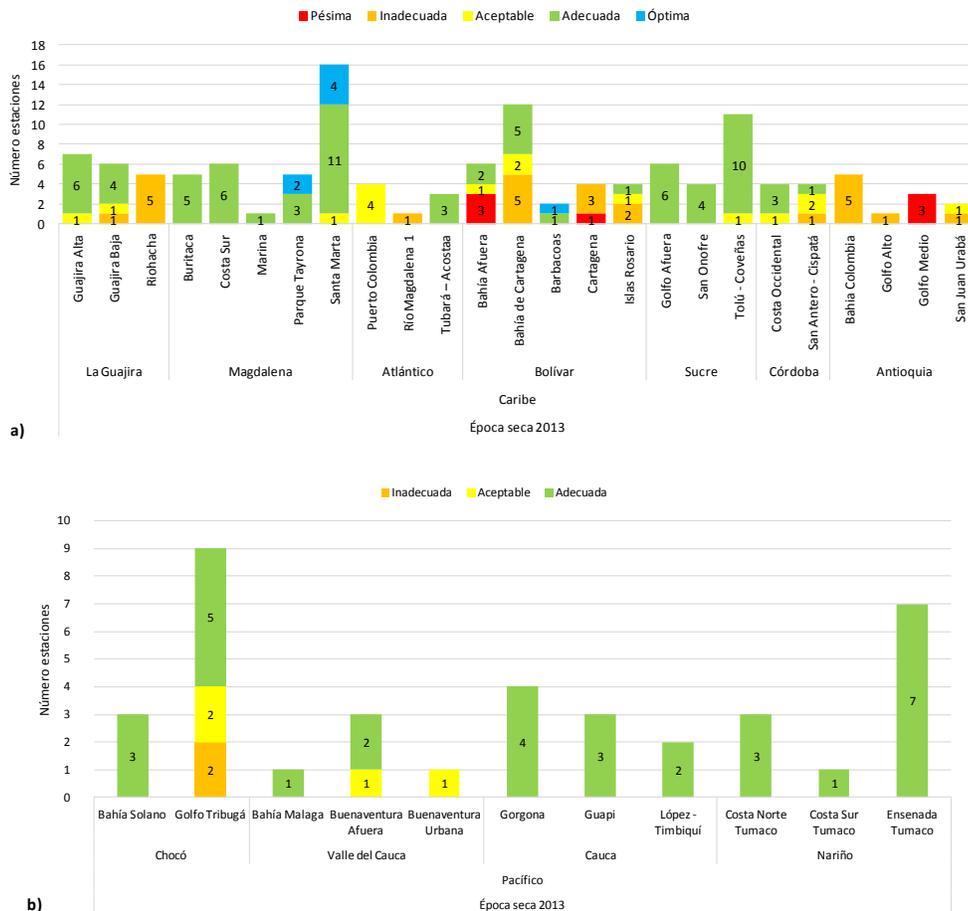


Figura 2.2.2. Índices de calidad del agua marino-costera para preservación de flora y fauna (ICAM_{PF}) en los departamentos costeros del Caribe (a) y Pacífico (b) colombianos, durante la época seca de 2013. Los colores de las barras representan la escala de calificación del agua y los valores representan el número de estaciones calificadas en esa categoría.

Durante la época lluviosa de 2013 de los 159 ICAM_{PFF}, 123 se ubicaron en el Caribe y 36 en el Pacífico. En el Caribe los ICAM_{PFF} fluctuaron entre 23,95 y 92,62, evidenciando un aumento en el número de estaciones con condiciones inadecuadas, principalmente en los departamentos de La Guajira, Sucre y Córdoba (Figura 2.2.3a; Figura 2.2.5a), mientras que los departamentos de Bolívar y Antioquia se notó una mejoría en la calidad de las aguas con respecto a la época seca. Por otra parte, los siete (7) sitios con calidad óptima se presentaron en las zonas del Parque Tayrona y Santa Marta en el Magdalena, golfo afuera y Tolú-Coveñas en Sucre, así como las dos (2) estaciones que registraron estado de calidad pésima estuvieron en Santa Marta (Magdalena) y bahía Colombia (Antioquia).

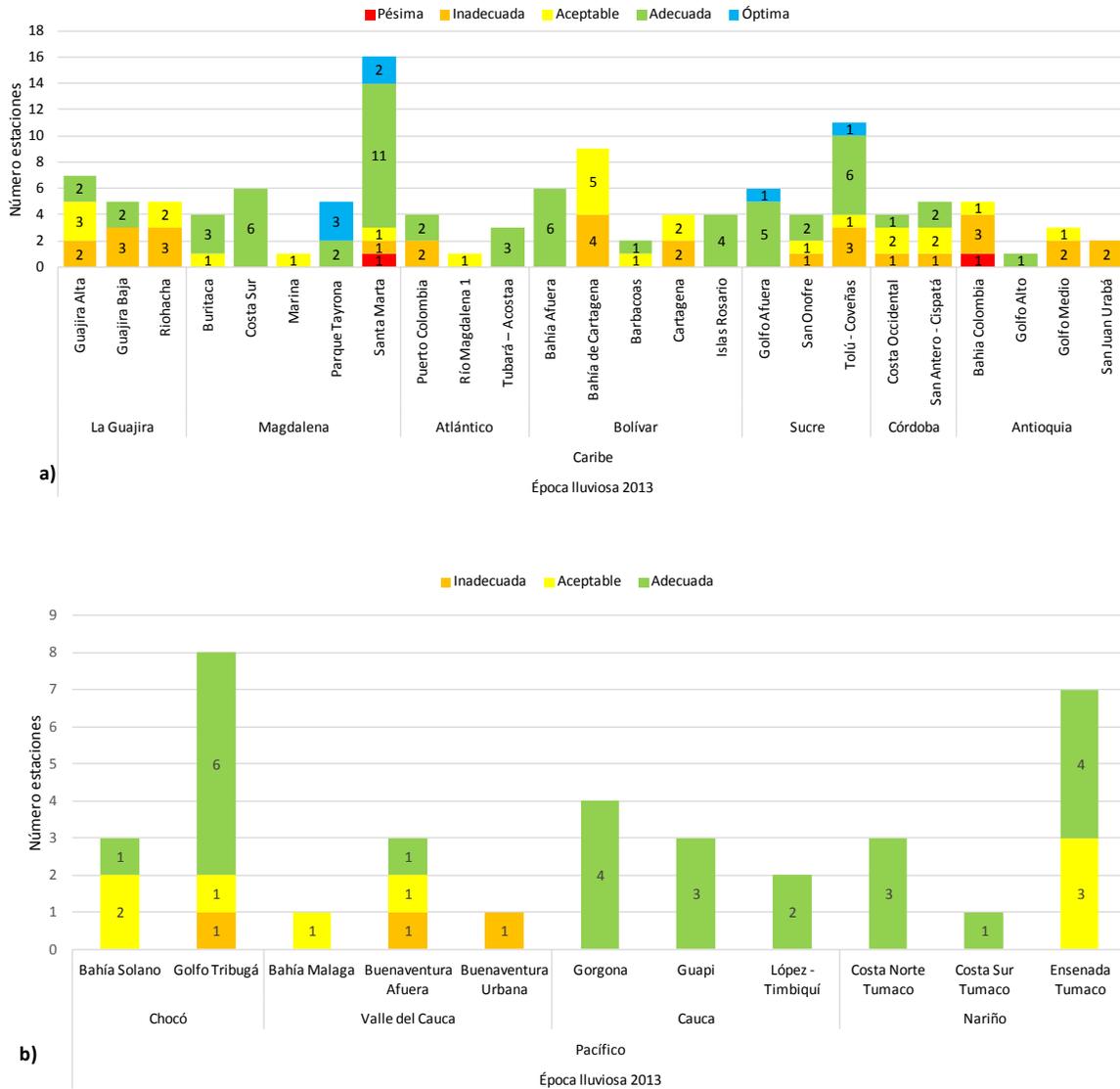


Figura 2.2.3. Índices de calidad del agua marino-costera para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}) en los departamentos costeros del Caribe (a) y Pacífico (b) colombianos, durante la época lluviosa de 2013. Los colores de las barras representan la escala de calificación del agua y los valores representan el número de estaciones calificadas en esa categoría.

En el Pacífico, los 36 ICAM_{PFF} mostraron variaciones entre aguas con calidad adecuada e inadecuada (41,12 a 84,79), conservando calidad adecuada en el departamento del Cauca, y en Nariño en las zonas costa Norte Túmaco y costa Sur Túmaco con respecto a la época seca (Figura 2.2.3b; Figura 2.2.5b), mientras que en el Chocó y Valle del Cauca aumentaron las estaciones con estados aceptables e inadecuadas.

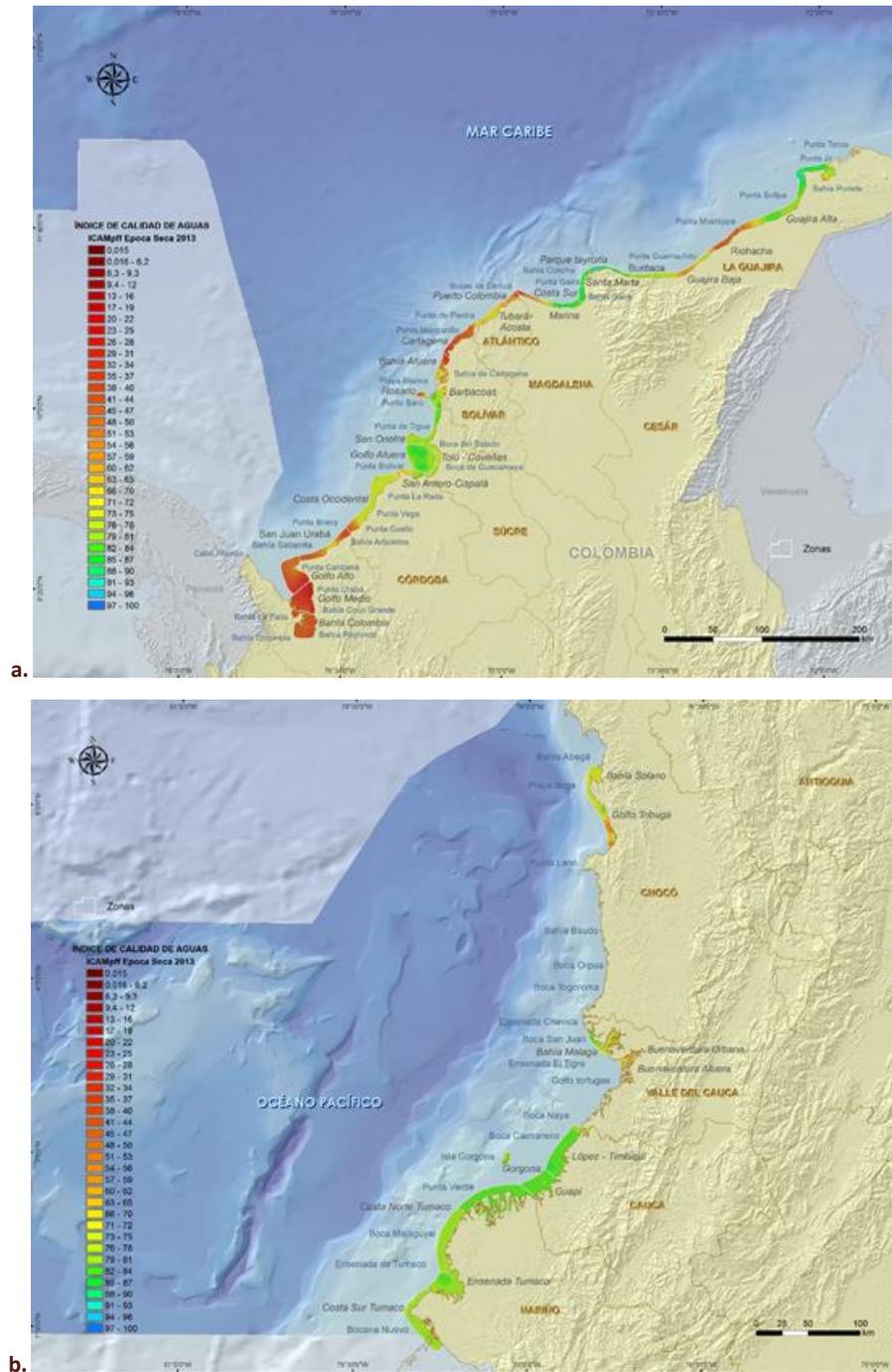


Figura 2.2.4. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para la preservación de fauna y flora (ICAM_{PFF}) en la época seca 2013 en las zonas costeras del Caribe (a) y Pacífico (b) colombianas

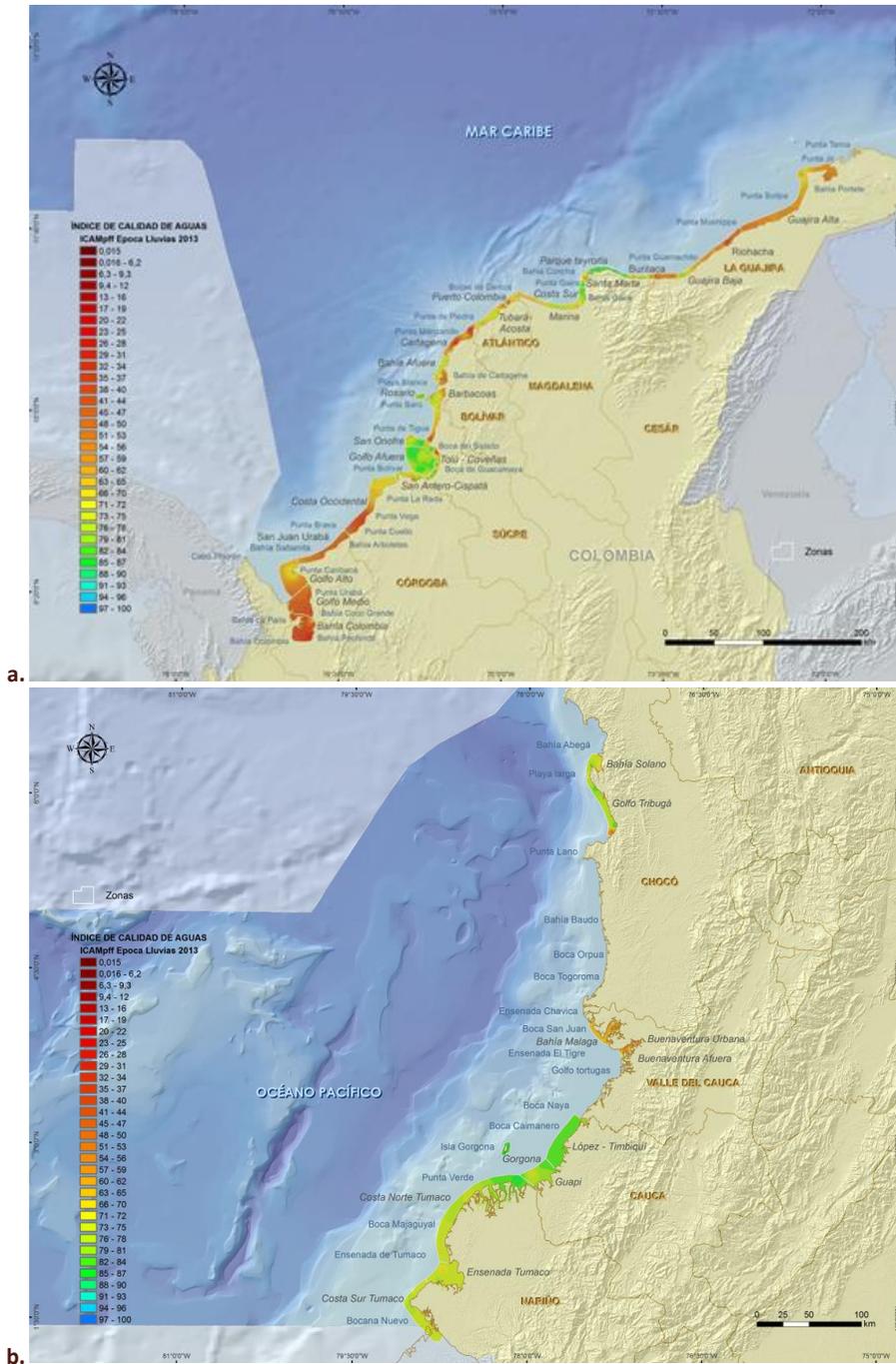


Figura 2.2.5. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para la preservación de fauna y flora (ICAMPFF) en la época lluviosa 2013 en las zonas costeras del Caribe (a) and Pacífico (b) colombianas.

2.3 CALIDAD DEL AGUA EN ÁREAS PRIORIZADAS DE MANGLAR

En el marco del convenio interadministrativo No. 190 de 2013 suscrito entre el MADS y el INVEMAR se establecieron 60 estaciones (Figura 2.3.1) para evaluar la calidad de las aguas superficiales e intersticiales en las áreas priorizadas de manglar de los departamentos costeros del Caribe y Pacífico colombianos, incluyendo la Isla de San Andrés, con el propósito de impulsar el uso e implementación del Sistema de Información para la Gestión de los Manglares en Colombia (SIGMA), mediante el desarrollo del módulo de estado “físicoquímicos”.



Figura 2.3.1. Estaciones de monitoreo de calidad de aguas en áreas priorizadas de manglar en el Caribe y Pacífico de Colombia.

El plan de muestreo consistió en establecer parcelas de monitoreo permanente en áreas de manglar escogidas de acuerdo a las zonificaciones dada en los planes de ordenamiento ambiental (Preservación, Recuperación y Usos Sostenibles), en el caso de los departamentos de Magdalena, Bolívar y Valle del Cauca cuyas zonificaciones están en proceso, se tuvo en cuenta la influencia antrópica y el interés de las CAR por investigar áreas de manglar con importancia científica y económica.

Las salidas de campo se realizaron con el acompañamiento de funcionarios de las CAR costeras, la fundación MarViva y del Establecimiento Público Ambiental de Cartagena - EPA Cartagena, con quienes se seleccionaron nuevas estaciones para priorizar o se retomaron estaciones preexistentes. En campo se establecieron parcelas de 10 x 10 m, en las cuales se marcaron tres puntos al azar con pintura fosforescente y en donde se midieron *in situ* salinidad, conductividad eléctrica, pH y temperatura, en el agua superficial e intersticial a dos profundidades (50 y 100 cm) empleando una sonda multiparamétrica; también se midió el nivel freático o de inundación con una regla graduada en centímetros. Para medir en el agua intersticial se usaron dos tubos de PVC acoplados a manera de jeringa; el tubo externo tiene en su extremo inferior una banda con orificios que permitía el ingreso del agua intersticial al tubo, introducidos en el suelo a 50 y 100 cm de profundidad.

Para el análisis de la información se tuvo en cuenta la influencia directa o indirecta de los parámetros *in situ* sobre las condiciones óptimas para el desarrollo de los mangles ya que influyen en los procesos de absorción de agua y nutrientes por las plantas, relacionándose también con el desarrollo estructural del bosque y las capacidades de tolerancia de cada especie ([Awad, 1966](#); [Acevedo, 1979](#); [Cintrón-Morello y Schaeffer-Novelli, 1983](#); [Piaggese, 2004](#)).

2.3.1 DIAGNÓSTICO NACIONAL Y REGIONAL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN LOS MANGLARES DE COLOMBIA

Las dos zonas costeras de Colombia presentan condiciones ambientales diferentes debido a la influencia de factores climáticos, oceanográficos y sociales ([IDEAM, 2005](#)). La zona Caribe la conforman los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia y la zona insular del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina; mientras que en la zona del Pacífico se sitúan los departamentos del Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño.

A escala nacional, las variables *in situ* se encontraron en rangos que variaron de acuerdo con las condiciones ambientales propias de cada región; en el caso de la salinidad, los valores mostraron una variación entre 0,4 y 89,0 con promedio de $20,3 \pm 16,8$, siendo las aguas intersticiales más saladas (salinidad máxima: 89,0) en comparación con las superficiales donde el valor máximo fue de 58,0, esto debido a la disminución de los volúmenes de aguas que aumentan las sales disueltas que bajan al intersticio, acumulándose en el suelo del manglar, dependiendo de factores como la infiltración, el drenaje y el lixiviado ([Villafañe et al., 2004](#); Figura 2.3.2a).

El pH osciló de 5,1 a 8,4 con promedio de $6,9 \pm 0,5$; estos valores dependieron de factores como la inundación, la hojarasca y la composición granulométrica dominante en el suelo (arenas, arcillas, limos) y los procesos redox; teniendo en cuenta lo anterior, las aguas superficiales e intersticiales a 50 cm tuvieron mayor relación en los rangos de pH (5,1-8,4) puesto que en estas se mezclan en mayor proporción con la hojarasca en descomposición, los exudados de las raíces y la producción de ácido sulfúrico por hidrólisis ácida al estar en contacto con el oxígeno de la atmosfera ([Zapata-Hernández, 2004](#)), mientras que en aguas intersticiales a 100 cm se registró una variación menor (5,9 – 8,3; Figura 2.3.2b).

Por último la temperatura se registró entre 24,7 y 33,2 °C con promedio de $28,4 \pm 1,4$ °C siendo las aguas superficiales las más expuestas a la incidencia de la radiación solar, aunque del mismo modo en que pueden calentarse por la carencia de dosel de los árboles, también puede bajar al ser reemplazada por el flujo hídrico en el manglar (Figura 2.3.2c).

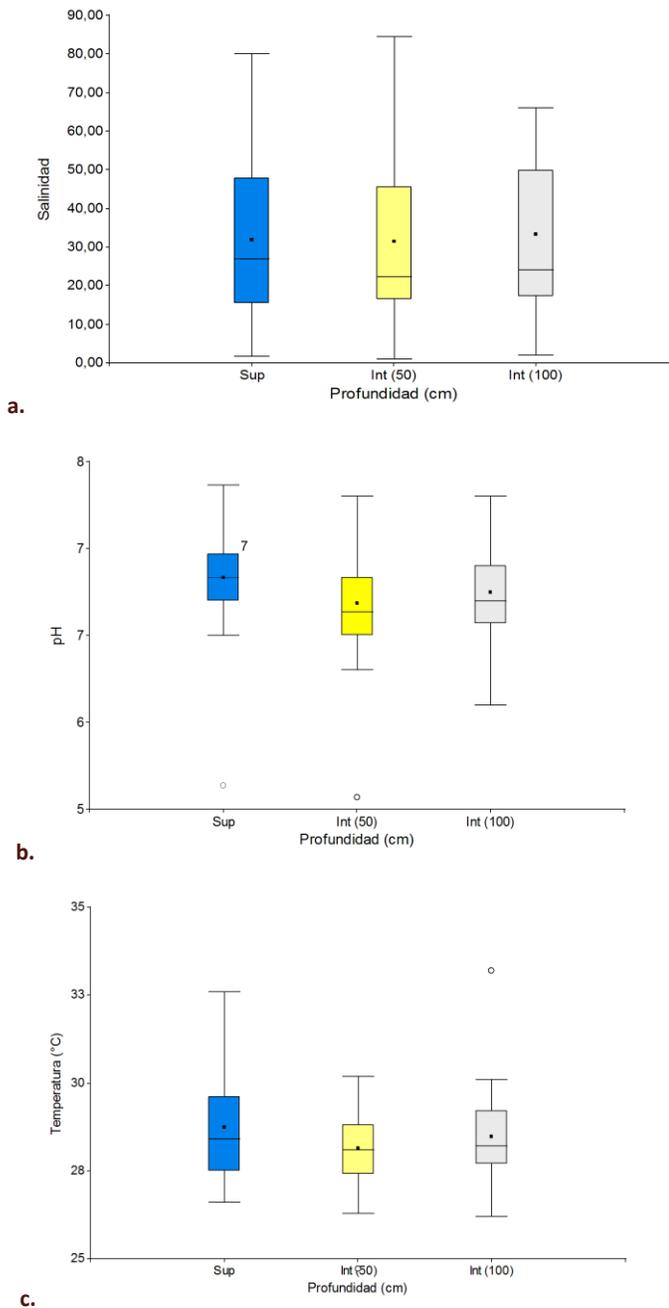


Figura 2.3.2. Rango de variación nacional de las variables in situ: (Salinidad (a), pH (c) y Temperatura (d)) medidas en aguas superficiales (Sup) e intersticiales con profundidades de 50 cm (Int 50) y 100 cm (Int 100) en áreas priorizadas de manglares en Colombia.

A escala regional, los niveles freáticos y de inundación medidos en el Caribe y Pacífico fueron muy importantes para evaluar su relación con el contenido de sales disueltas, ya que influye en la disponibilidad del recurso hídrico para el bosque. En el caso particular de la costa Caribe, los suelos de los manglares que se encontraron anegados en su mayoría estuvieron en las estaciones de los

departamentos del Atlántico, Bolívar y Antioquia con promedios de $0,1 \pm 3,3$, $3,3 \pm 1,5$ y $8,2 \pm 2,9$ cm respectivamente, mientras que en los demás departamentos los suelos estuvieron secos con niveles freáticos de hasta 100 cm, siendo San Andrés y La Guajira los más altos (Figura 2.3.3a). En el Pacífico por el contrario el nivel freático y de inundación fueron bajos, porque las mediciones se realizaron en marea baja, a excepción del Chocó en donde una estación se midió en marea media-alta y por lo tanto el nivel de inundación fue alto (110 cm; Figura 2.3.3b).

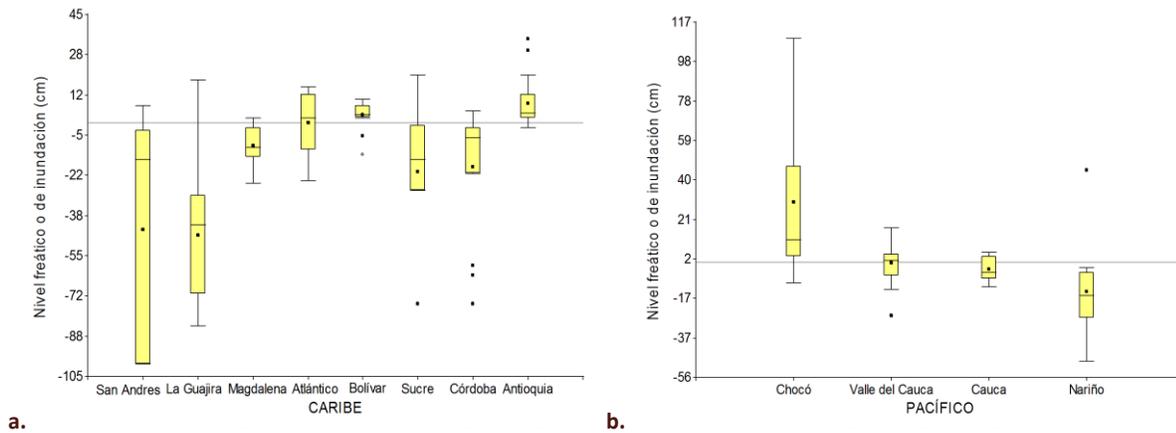
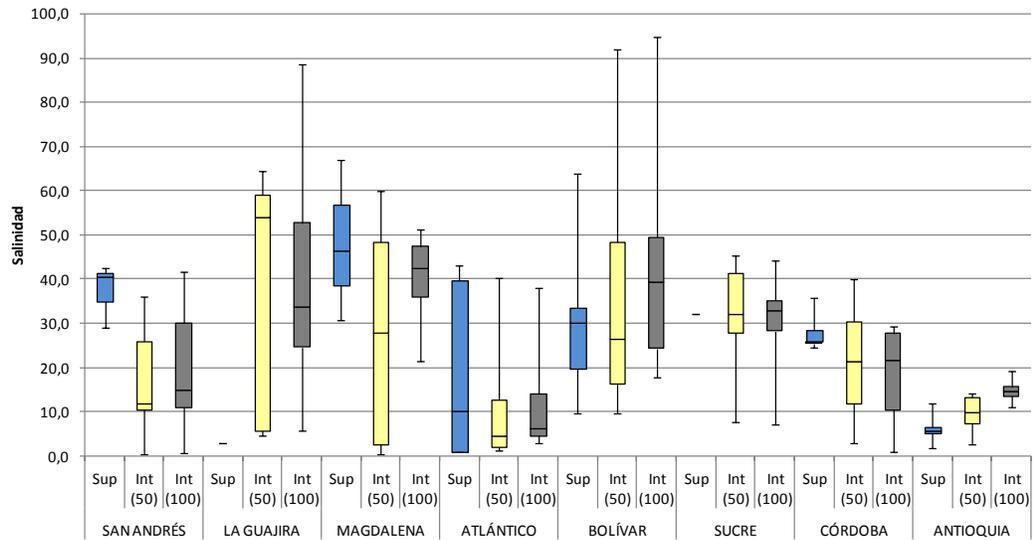


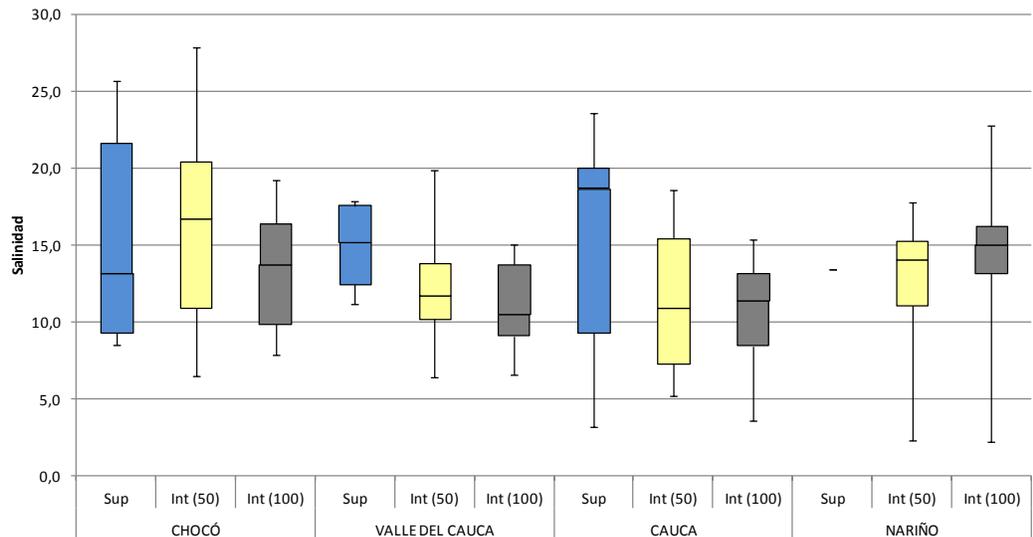
Figura 2.3.3. Nivel freático o de inundación de las áreas priorizadas de manglar en los departamentos del Caribe (a) y Pacífico (b) colombianos

Con respecto a la salinidad, en el Caribe los departamentos con mayores valores registrados fueron Bolívar (93,4), La Guajira (88,6) y Magdalena (59,8; Figura 2.3.4b), donde los manglares están expuestos a condiciones ambientales estresantes y han sufrido diferentes problemáticas, como la interrupción de flujos hídricos en el caso del Magdalena, la deforestación del manglar en Bolívar y las condiciones climáticas semiáridas en La Guajira ([Sánchez-Páez et al., 2000](#)). Por otra parte, cabe destacar la situación de estos bosques en el Atlántico, que a pesar de que se encuentran muy intervenidos y han sufrido problemas de deforestación, interrupción de flujos hídricos, expansión urbana, entre otros ([INVEMAR, 2005](#); [Fyhr, 2007](#)), mantienen una salinidad baja dada la influencia del río Magdalena; caso similar sucede en Antioquia en donde los manglares se ven favorecidos por los aportes de los ríos Atrato, Turbo y Currulao, que los mantienen con salinidades bajas ($10,1 \pm 0,8$; Figura 2.3.4a).

En el Pacífico las salinidades estuvieron por debajo de 30,0 en los diferentes departamentos, valores favorables para el desarrollo estructural del manglar, gracias a las altas precipitaciones y a la hidrodinámica característica para esta región, como es el caso de las mareas y la creciente de los ríos ([Rodríguez et al., 2009](#)). Los valores de salinidad más altos se registraron por lo general en las aguas superficiales, que corresponde al agua marina que ingresa por efecto de mareas e inundan los suelos de los manglares. Las lluvias y los aportes de los ríos ayudan a diluir las sales, evitando la acumulación en el intersticio, además la pendiente que tienen los suelos (1 m de altura aproximadamente) facilitan el lavado y el recambio del agua intersticial ([Villafañe et al., 2004](#); Figura 2.3.4b).



a.



b.

Figura 2.3.4. Rango de variación de Salinidad en aguas superficiales (Sup) e intersticiales en profundidades de 50 y 100 cm (Int (50) e Int (100)) en áreas prioritizadas de manglar del Caribe (a) y Pacífico (b) colombianos.

Por otro lado el pH estuvo alrededor de la neutralidad (6,6 - 7,9) en la mayoría de los departamentos del Caribe, a excepción de La Guajira donde el pH fue básico (8,2; Figura 2.3.5a), debido a que los suelos de los manglares se encontraron secos al momento del muestreo, con hojarasca desecada y escasa, además de las características propias de estos suelos, como el alto contenido de bicarbonatos documentados en otros estudios (Castellanos, 2009). Estos valores contrastan con los pH medidos en el departamento del Magdalena (5,8) y en San Andrés (4,9), donde los suelos de algunas estaciones tenían niveles freáticos bajos y con abundante hojarasca en descomposición, los cuales contribuyen a la acidez de sus aguas (Zapata-Hernández, 2004).

En el Pacífico los valores de pH estuvieron en su mayoría cercano a la neutralidad, con variaciones entre ácido en Cauca y básico en el Chocó, condición que se le puede atribuir al constante anegamiento por las mareas que arrastran consigo la hojarasca y los hidrogeniones producto de la descomposición de la materia orgánica dentro del manglar ([Zapata-Hernández, 2004](#); Figura 2.3.5b).

En cuanto a la temperatura, el promedio en todos los departamentos del Caribe y Pacífico estuvo alrededor de los 30 °C (Figura 2.3.6a y Figura 2.3.6b); este parámetro variaba de la hora del día en la cual se realizaron las mediciones y las coberturas vegetales, estas últimas relacionadas con la cantidad de luz solar que ingresaba al interior del bosque y calentaba el suelo o las aguas superficiales, de modo que estos valores son óptimos para el desarrollo del manglar ([Kogo y Tsuruda, 1997](#)).

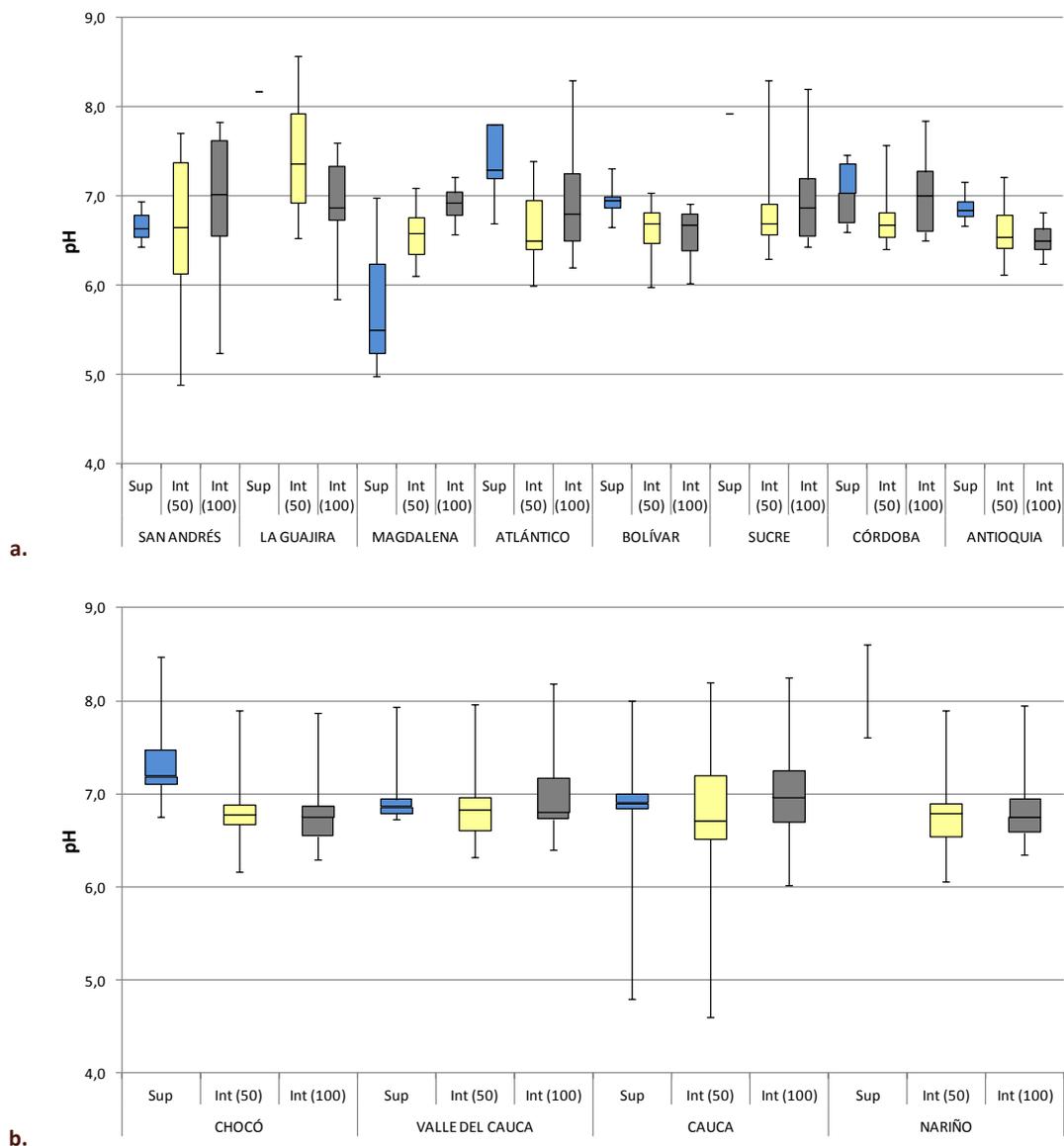


Figura 2.3.5. Rango de variación del pH en aguas superficiales (Sup) e intersticiales en profundidades de 50 y 100 cm (Int (50) e Int (100)) en áreas priorizadas de manglar del Caribe (a) y Pacífico (b) colombianos.

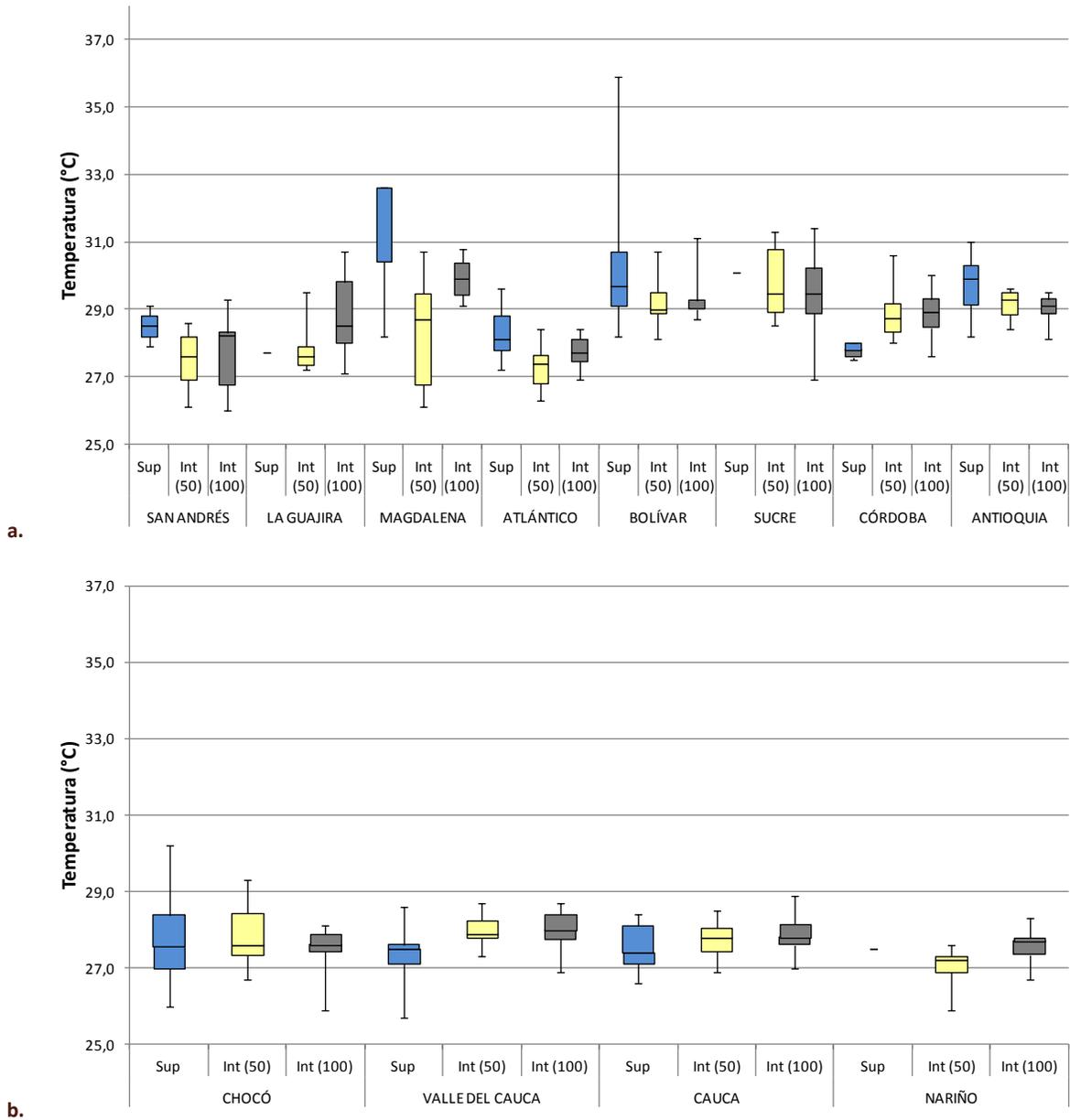


Figura 2.3.6. Rango de variación de la temperatura en aguas superficiales (Sup) e intersticiales en profundidades de 50 y 100 cm (Int (50) e Int (100)) en áreas prioritizadas de manglar en el Caribe (a) y Pacífico (b) colombianos.

Diagnóstico Regional Caribe



Terrón de Azúcar, La Guajira. Foto: Ostin Garcés

3 DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA CARIBE

3.1 CALIDAD DE AGUAS EN LA ZONA COSTERA DEL CARIBE

La zona costera del Caribe colombiano comprende un área continental que incluye los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia; y una zona costera insular representada por el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Esta región se caracteriza por condiciones ambientales específicas que la hacen actualmente centro de las principales industrias y puertos, lo cual la convierte en un área importante desde el punto de vista económico y ambiental con características únicas para las comunidades que allí se desarrollan ([Tous et al., 2007](#)). Posee todos los ambientes y ecosistemas marinos de la región del Atlántico occidental tropical como arrecifes coralinos, pastos marinos, manglares, estuarios, lagunas costeras, fondos sedimentarios, playas, costas rocosas y arenosas que constituyen sus principales fuentes de vida y productividad. No obstante, estos ecosistemas se han visto alterados por las actividades humanas, las cuales se realizan sin aplicar las medidas de manejo ambiental que garanticen la conservación y protección de estos ecosistemas, en consecuencia la poca planificación y ejecución de acciones se ve reflejada en diferentes impactos negativos como la pérdida de biodiversidad, entre otros ([Posada et al., 2012](#)).

Los resultados de calidad de aguas en las estaciones marino-costeras del Caribe mostraron que la salinidad durante la época lluviosa 2013 y seca 2014 fluctuó entre 0 y 64,5, presentándose las salinidades más bajas en el departamento de Antioquia ($7,9 \pm 8,2$), principalmente en el golfo de Urabá, donde desembocan importantes ríos que aportan agua dulce al sistema, creando condiciones estuarinas, mientras que las salinidades más altas se presentaron en San Andrés ($35,4 \pm 0,3$) donde las estaciones están influenciadas por aguas marinas. En aguas fluviales la salinidad osciló entre 0,0 y 34,3, valores que incluye las aguas estuarinas de las bocas de los ríos donde hay influencia por aguas salinas.

Las aguas marino-costeras del Caribe, presentaron temperatura superficial similar entre aguas marinas y fluviales para las dos épocas climáticas (Figura 3.1.1a y Figura 3.1.1b), con valores mínimos de $24,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y máximos de $36,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y promedios entre $29,5 \pm 2,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, La Guajira y Magdalena mostraron las temperaturas promedio menores ($27,6 \pm 2,8 \text{ }^{\circ}\text{C} - 29,4 \pm 2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$). En estos departamentos es donde se presentan los dos eventos de surgencia más importantes del Caribe colombiano. Sucre, Córdoba y Bolívar mostraron temperaturas marino-costeras promedio levemente mayores de $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual influye en el fenómeno de blanqueamiento coralino ([Vega-Sequeda et al., 2011](#); [Hoegh-Guldberg, 1999](#)), y que es de atención dadas la importantes formaciones coralinas del archipiélago de San Bernardo en Sucre.

El pH en aguas marino-costeras osciló entre 7,05 y 8,9 rango considerado normal para este tipo de aguas (7,5 - 8,3; [Hernández-Ayón et al., 2003](#); Figura 3.1.2a), aunque se presentó un valor de 5,91 en una estación en la Ciénaga de la Virgen, son pH frecuentes en este sitio. En las aguas fluviales el pH osciló entre 6,7 y 8,71 (Figura 3.1.2b) entre aguas ligeramente ácidas a básicas, condiciones normales para este tipo de aguas (5-9- agua dulce cálida; [MinSalud, 1984](#)).

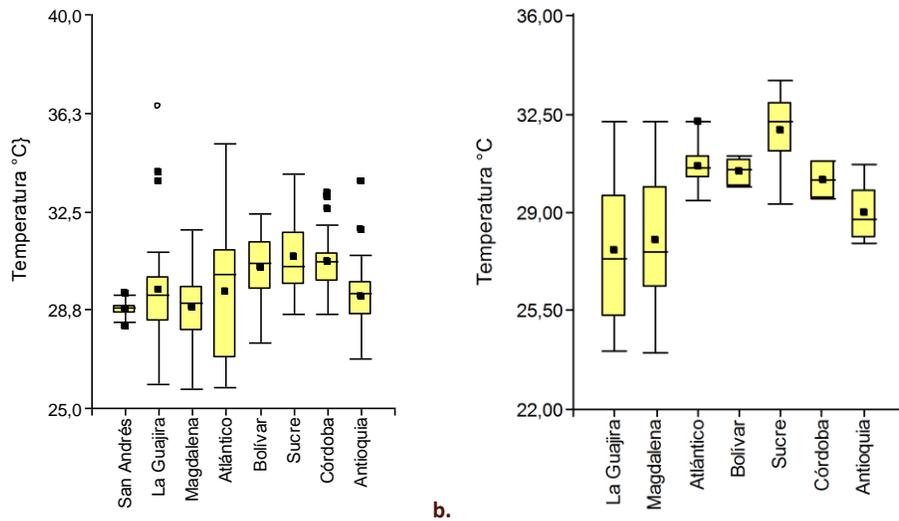


Figura 3.1.1. Temperatura superficial de las aguas marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Caribe colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

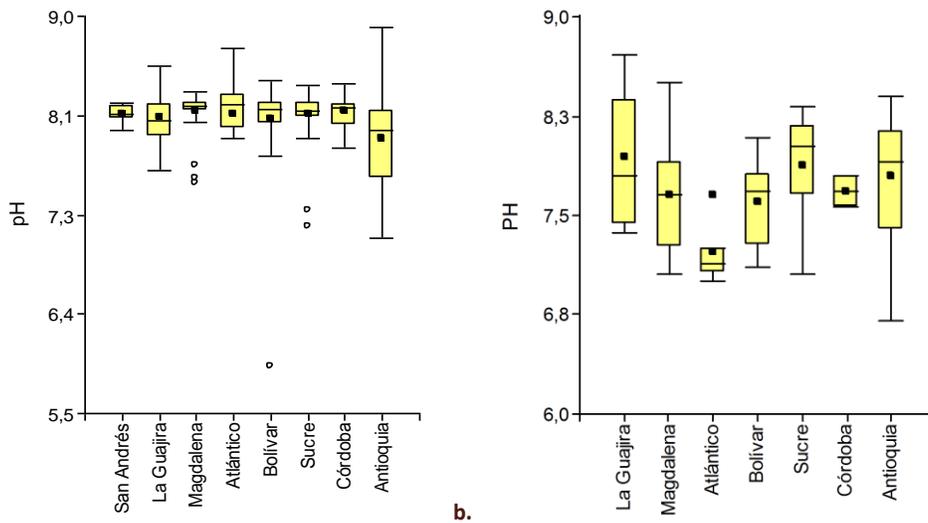


Figura 3.1.2. Valores de pH de las aguas superficiales marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Caribe colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

La concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua está regulada por el intercambio con la atmósfera, la producción y consumo en los procesos biológicos de la fotosíntesis y degradación de la materia orgánica ([Emerson y Hedges, 2008](#)), además la legislación colombiana estipula como criterio de calidad para la preservación de fauna y flora acuática valores superiores a 4 mg/L ([MinSalud, 1984](#)).

El rango de variación del OD en aguas marino-costeras fue de 0,32 a 11,1 mg/L (Figura 3.1.3a) y presentó aguas con buenas condiciones de oxigenación, aunque en el 7 % de las mediciones estuvieron por debajo del criterio de calidad para preservación de la flora y la fauna, con varios sitios en condiciones anóxicas como caño Alegría (0,32 mg/L) en Sucre y la desembocadura del río Volcán (0,42 mg/L) en Antioquia. Las aguas fluviales oscilaron entre 0,38 y 9,82 mg/L mostrando mayor variación en comparación con las aguas marino-costeras (Figura 3.1.3b) y también estaciones con aguas anóxicas en caño Guacamayo (0,38 mg/L) en Sucre y frente a Base Naval (0,45 mg/L) en Bolívar. En términos generales las aguas de la región mostraron concentraciones adecuada de oxigenación, pero algunas estaciones en los departamentos de Sucre, Atlántico, Córdoba, La Guajira, Bolívar, Antioquia y San Andrés registraron OD muy bajos incluso en ambas épocas climáticas.

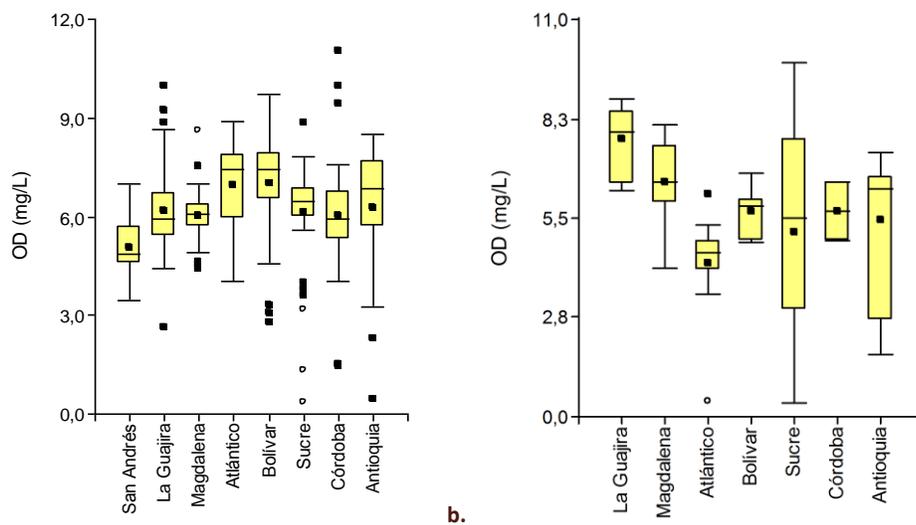


Figura 3.1.3. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) de las aguas superficiales marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Caribe colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Los sólidos suspendidos totales (SST) en aguas marino-costeras presentaron menor variación (1,0-818,0 mg/L; Figura 3.1.4a) comparado con las aguas fluviales (2,3 - 794,5 mg/L; Figura 3.1.4b) a pesar que en las aguas marino-costeras se observaron más valores atípicos. Antioquia y Bolívar presentaron los SST más altos tanto en aguas marino-costeras (818 y 759 mg/L, respectivamente) como en aguas fluviales (794,5 y 751 mg/L, respectivamente). Los altos valores de SST encontrado en estas zonas costeras se deben a la resuspensión de sedimentos por oleaje y a la influencia de las áreas de drenaje de los ríos que allí desembocan como los ríos León y Guadualito en Antioquia y el caño Lequerica en Bolívar.

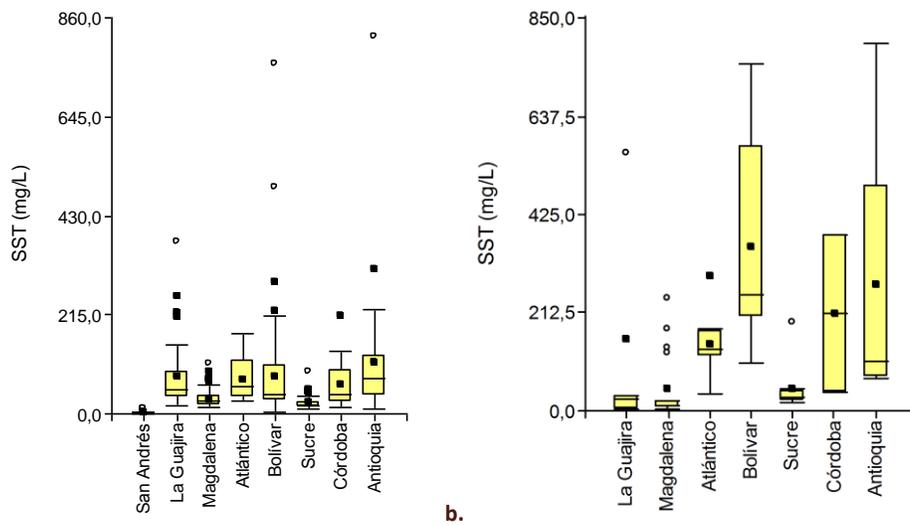


Figura 3.1.4. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) de las aguas superficiales marino-costeras (a) y fluviales (b) en las estaciones de los departamentos costeros del Caribe colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Las concentraciones de Nitratos (NO_3^-) en aguas marino-costeras fluctuaron entre 0,4 y 5.270 $\mu\text{g/L}$, pero en la mayoría de las estaciones no superaron los 150 $\mu\text{g/L}$ (Figura 3.1.5a) a excepción de algunas estaciones con valores altos en La Guajira, Atlántico, Bolívar y Antioquia, donde se presentaron concentraciones atípicas de este nutriente, como en la desembocadura del río Atrato -Matuntugo (5.270 $\mu\text{g/L}$ en época de lluvias) y en la desembocadura del río Volcán (3.750 $\mu\text{g/L}$ en época de lluvias). Por lo general, estos ríos se caracterizan por registrar recurrentemente nutrientes altos, debido a las escorrentías agrícolas y vertimientos de aguas servidas de las poblaciones ribereñas. En aguas fluviales, se presentó mayor variación de Nitratos (2,7 – 551,9 $\mu\text{g/L}$). Antioquia, Atlántico y Bolívar presentaron promedios mayores a 250 $\mu\text{g/L}$ y los demás departamentos menores a 100 $\mu\text{g/L}$ (Figura 3.1.5b).

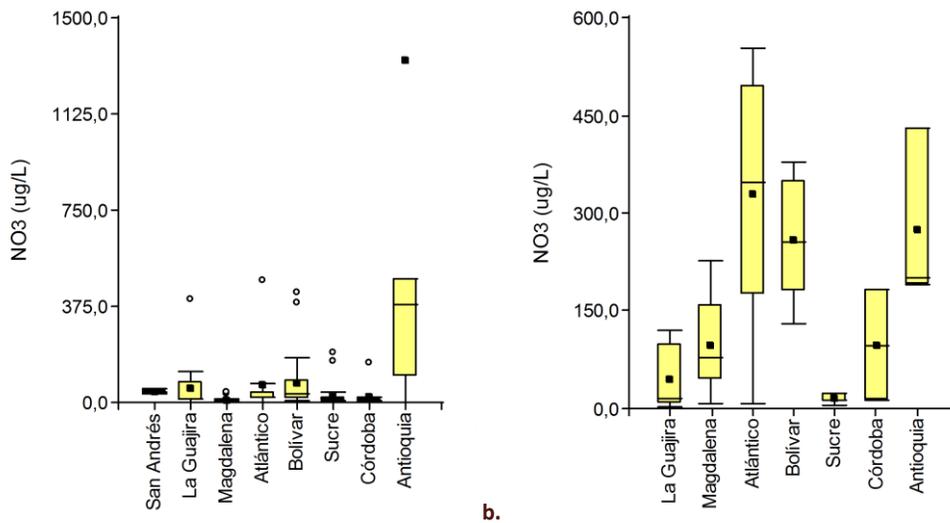


Figura 3.1.5. Concentraciones de Nitrato (NO_3^-) de las aguas superficiales marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Caribe colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Las concentraciones de Fosfatos (PO_4^{3-}) en aguas marino- costeras y fluviales en la gran mayoría de las estaciones estuvieron por debajo de 200 $\mu\text{g/L}$ (Figura 3.1.6), aunque los mayores promedios se presentaron en aguas fluviales ($172,3 \pm 460,3 \mu\text{g/L}$) comparadas con las marino-costeras ($50,1 \pm 139,5 \mu\text{g/L}$). En ambos tipos de agua, Antioquia obtuvo las concentraciones promedio más elevadas, seguidas de Bolívar y Sucre que mostraron mayor variabilidad de fosfatos en especial en aguas fluviales.

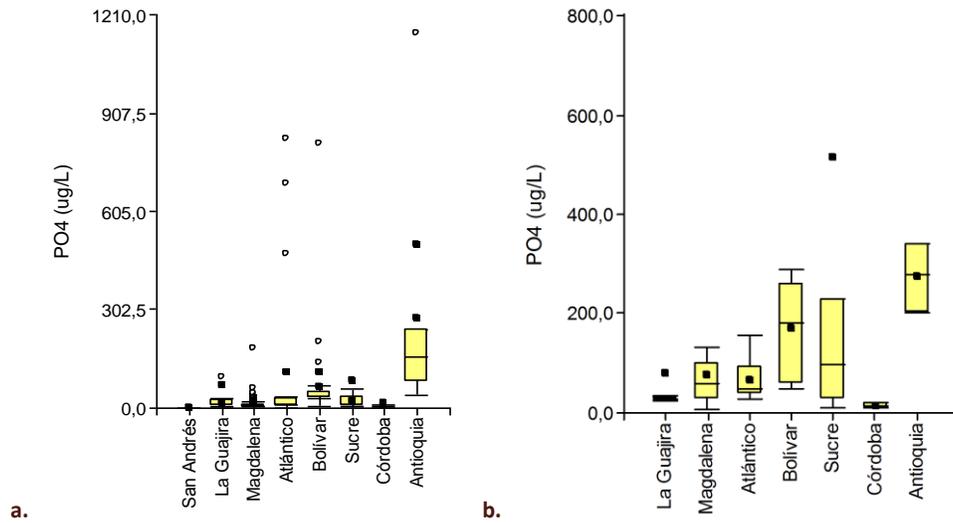


Figura 3.1.6. Concentraciones de Fosfatos (PO_4^{3-}) medidas en las aguas marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Caribe colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

En general el Amonio (NH_4^+) presentó mayor concentración y variabilidad en aguas fluviales comparado con aguas marino-costeras, con valores inferiores a los 700 $\mu\text{g/L}$, a excepción de algunos sitios (Figura 3.1.7). Valores extremos de amonio se presentaron la boca del caño Guainí en el departamento de Sucre (5.532,8 $\mu\text{g/L}$ en época lluviosa 2013 y de 5.670,1 $\mu\text{g/L}$ en época seca 2014).

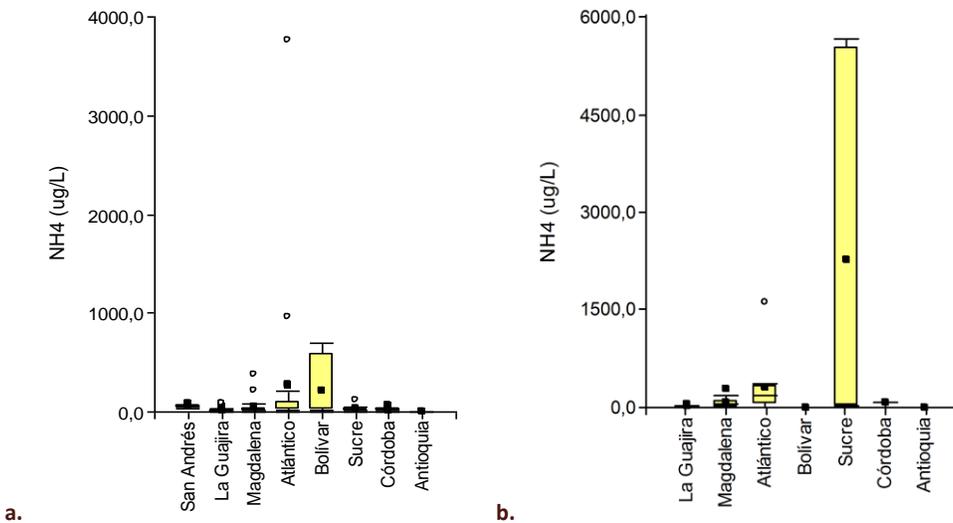


Figura 3.1.7. Concentraciones de Amonio (NH_4^+) medidas en las aguas marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Caribe colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

La presencia de coliformes en las aguas recreativas supone la presencia de patógenos capaces de generar enfermedades que pueden transmitirse durante la natación, el baño y otras actividades de contacto primario o ingestión involuntaria de agua, y causar afecciones como gastroenteritis, patologías respiratorias, dermatológicas e infecciones en oídos, nariz y garganta (Hose *et al.*, 2005). El criterio de calidad de Coliformes Termotolerantes - CTE para actividades de contacto primario como natación y buceo es 200 NMP/100 mL (MinSalud, 1984).

Las concentraciones de CTE en aguas marino- costeras del Caribe se distribuyeron en un rango altamente variable desde el límite de detección de la técnica utilizada hasta 70.000.000 NMP/100 mL, donde el 45 % de las estaciones presentaron condiciones no aptas para actividades de uso recreativo por contacto primario (200 NMP/100 mL; MinSalud, 1984) en el último periodo evaluado. Entre los departamentos, las concentraciones de CTE demostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), siendo Antioquia el departamento que mostró los valores más altos de CTE (Figura 3.1.8a), particularmente en las desembocaduras de los ríos Guadualito (70.000.000 NMP/100 mL) y Currulao (4.900.000 NMP/100 mL); seguido de Bolívar en la desembocadura del canal del Dique, la cual presentó concentraciones que sobrepasaron los valores establecidos en la normativa nacional (330.000 y 490.000 NMP/100 mL en época lluviosa 2013 y época seca 2014, respectivamente). Con respecto a las playas que demostraron ser aptas para su uso por bañista para natación y buceo durante ambas épocas, se encontraron en el Archipiélago de San Andrés y Providencia ($90,1 \pm 208,9$ NMP/100 mL) y el Magdalena ($115,7 \pm 345,7$ NMP/100 mL).

En cuanto a los CTE en aguas fluviales, estos oscilaron desde el límite de detección de la técnica hasta 1.600.000 NMP/100 mL, donde un 24 % de los datos se agruparon por debajo de 200 NMP/100 mL, lo cual refleja el nivel contaminación de origen fecal aportados por parte de los ríos a las costas relacionándose con los casos de incumplimientos presentados en estas estaciones. Los mayores valores se obtuvieron durante la época lluviosa en los departamentos de Atlántico correspondiente a las estaciones del río Magdalena (1.600.000 NMP/100 mL) y Antioquia a los ríos Turbo (130.000 NMP/100 mL) y León (11.000 NMP/100 mL; Figura 3.1.8b).

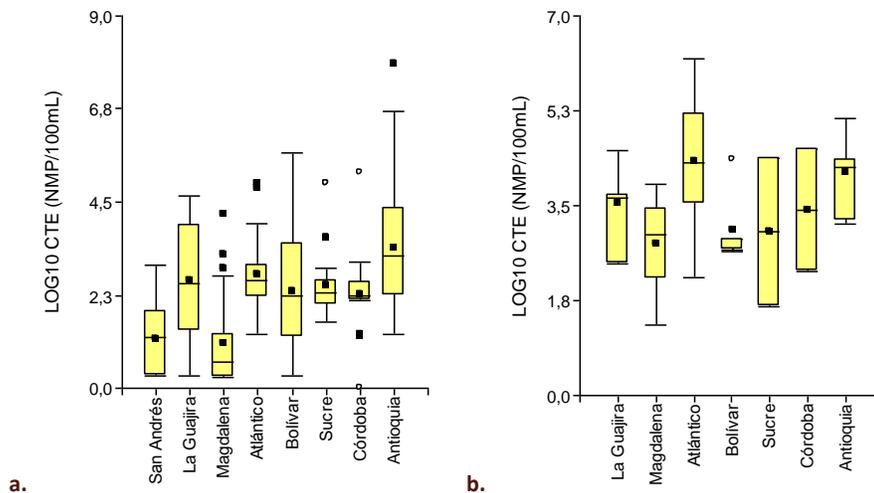


Figura 3.1.8. Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) en aguas superficiales marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Caribe colombiano. Las concentraciones en unidades de Número más Probable (NMP) fueron transformados con el logaritmo en base 10 con fines gráficos para ajustar la variabilidad de los datos sin perder la relación entre estos. El criterio de calidad para contacto primario de 200 NMP/100 mL equivale a 2,3 Log₁₀ CTE.

3.2 CASO ESTUDIO: FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA COSTERA DEL ATLÁNTICO

El inventario de fuentes terrestres de contaminación marina – FTCM se realizó con información primaria y secundaria recopilada con el apoyo de la Corporación Regional del Atlántico – CRA. Como fuente primaria se realizaron dos salidas de campo para caracterizar nueve puntos críticos a lo largo de la franja costera del Atlántico, donde se observó el desarrollo de las actividades socioeconómicas características del departamento como la actividad marítima, industrial, turística, extracción de materiales y construcciones (Figura 3.2.1), así como, la presencia de algunos sitios de vertimiento directo de aguas residuales al mar, inadecuado manejo de basuras y olores nauseabundos. Como parte de la información secundaria recopilada se revisó el Sistema Único de Información –SUI, reportada por las empresas de servicio de aseo, documentación de las Alcaldías de los municipios de Juan de Acosta, Tubará, Puerto Colombia, Barranquilla y Soledad, y se solicitó información a la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo – Triple A S.A E.S.P., entre otras.



Figura 3.2.1. Actividades en la zona costera del departamento del Atlántico. A) Construcción de bodegas industriales cercanas a la Base Naval, B) Casetas para atención a turistas en Salgar, C) Extracción de material cerca al arroyo Juan de Acosta y D) Sociedad portuaria de Barranquilla en el río Magdalena. Fotografías: Diana Sánchez- INVEMAR.

La geografía del departamento del Atlántico y la ubicación estratégica de la ciudad de Barranquilla permitió el establecimiento de puerto marítimo, fluvial y de comunicación favoreciendo el desarrollo de actividades económicas diversificadas como la industria, comercio, servicios, transporte, minería, agro, construcción, entre otros (Figura 3.2.2). Dichas actividades productivas y los asentamientos humanos generan residuos que en cierta medida son las potenciales fuentes terrestres de

contaminación para los recursos (Tabla 3.2.1; Figura 3.2.2); así mismo, se presentan otras problemáticas ambientales relacionadas con la erosión del litoral y la sedimentación, la pérdida de áreas de manglar por la expansión urbana y agropecuaria (Fyhr, 2007), descargas directas de aguas residuales, disposición inadecuada de residuos sólidos y actividades mineras, especialmente extracción de calizas.

Tabla 3.2.1. Principales actividades, fuentes contaminantes y cuerpos de agua afectados en la zona Costera del departamento de Atlántico. Fuente información secundaria: SSPD, 2013; CRA, 2013a; CRA, 2013b; CRA, 2012; SUI, 2014; Triple A S.A E.S.P; Puerto de Barranquilla, 2014; ASOPORTUARIA, 2011; DANE, 2012; INVEMAR et al., 2007.

Actividad / Fuente contaminante	Tipo de contaminación	Tributarios afectados
Eliminación de Residuos Residuos ordinarios (Rellenos sanitarios, botadero a cielo abierto) Residuos Peligrosos provenientes del sector de servicios, comercio e industrias.	Materia orgánica, sedimentos, contaminación microbiológica, sólidos en suspensión, grasas y aceites, agroquímicos, Metales pesados.	Río Magdalena, Ciénaga Mallorquín y Mar Caribe
Vertimientos aguas residuales Domésticas (EDAR)- Barranquilla y Puerto Colombia Industriales (Industrias, explotación de materiales de construcción, mataderos)	Materia orgánica, sedimentos, contaminación microbiológica, sólidos en suspensión, grasas y aceites, Hidrocarburos, agroquímicos, Metales pesados, compuestos sintéticos (detergentes).	Río Magdalena, Ciénaga Mallorquín y Mar Caribe
Descargas	Río Magdalena, Ciénaga Mallorquín, Ciénaga Balboa y los arroyos Grande, Caja, Granada y León (con caudal intermitente), caños La Ahuyama, Los Tramosos y Las Compañías, entre otros.	Mar Caribe
Marítima- Puertos	Transporte marítimo multipropósito de productos metalúrgicos básicos, manufacturados, elaborados de metal, reciclaje, minerales no metálicos, maquinaria, equipos y aparatos electrónicos, productos de plástico y de caucho, instrumentos médicos, ópticos, vehículos automotores, remolques, equipos y aparatos de radio, carbón, entre otros.	Mar Caribe y Río Magdalena
Actividades Económicas	Turismo (hoteles, restaurantes, Actividades recreativas y de líneas de costa) Industria (portuaria, productos lácteos, embutidos, bebidas, jabones, materiales para la construcción, muebles, plásticos, partes metalmecánicas, prendas de vestir, embarcaciones entre otros) Servicios (energía eléctrica, gas natural, acueducto, alcantarillado, aseo, telecomunicaciones, servicios portuarios, servicios comunales, servicios sociales y personales) Comerciales (Turismo, Alimentos y bebidas)	Mar Caribe, Ciénaga Mallorquín, Ciénaga Balboa, Río Magdalena

Actividad / Fuente contaminante		Tipo de contaminación	Tributarios afectados
Minería	Canteras para la extracción de minerales (Piedras calizas, agregados pétreos, arenas finas, cantos rodados, barro caliche, gravillas, cantos rodados-piedra china, arcillas y material de construcción) en los municipios de Barranquilla, Puerto Colombia, Tubará y Juan de Acosta.	Remoción de cobertura vegetal (erosión), Sólidos suspendidos y compuestos tóxicos orgánicos.	Mar Caribe y Ciénaga Mallorquín
Agrícola y pecuaria	Cultivos frutales permanentes de mango y ciruela; y cultivos transitorios de maíz, sorgo, yuca, frijol, guandul y millo; en los departamentos de Soledad, Tubará y Juan de Acosta. Criadero de animales (porcinos, caprinas, equinos, aves y algunos ovinos)	Contaminantes orgánicos, fertilizantes, agroquímicos, desplazamiento de fauna, contaminación microbiológica.	Mar Caribe y Río Magdalena
Municipales Institucionales	Seis mataderos registrados ante la CRA, dedicados al comercio de materias primas agropecuarias y animales vivos; subproductos del consumo y productos cárnicos.	Materia orgánica, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites	Río Magdalena

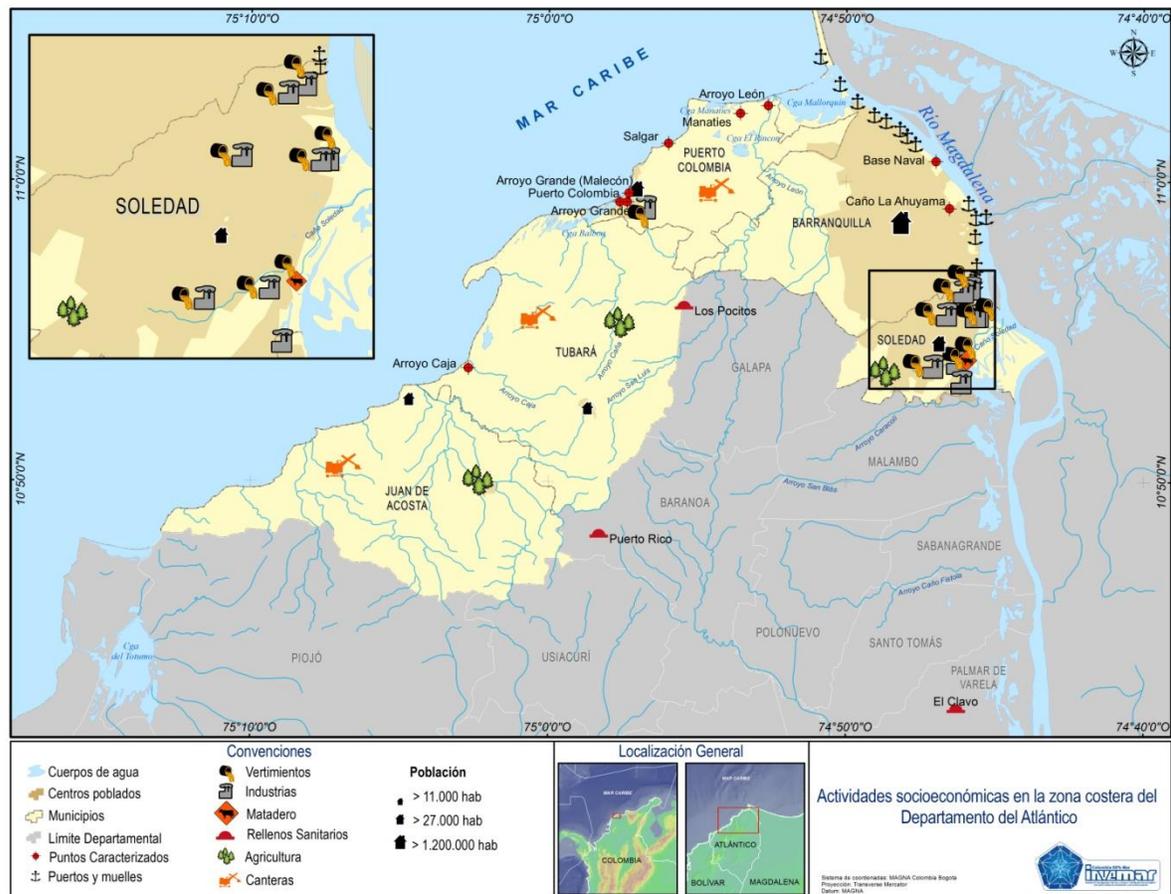


Figura 3.2.2. Fuentes Terrestres de Contaminación en la zona costera del departamento del Atlántico. Fuente: CRA, ASOPORTUARIA, Sistema Único de Información (SUI), Triple A S.A., DANE, 2014; IGAC, 2014; INVEMAR, 2014d.

3.2.1 ASENTAMIENTOS HUMANOS Y RESIDUOS

Los cinco municipios que conforman la zona costera del departamento del Atlántico albergarán cerca de 1'866.770 habitantes proyectados a 2014 (proyecciones censo DANE, 2005), donde la mayor concentración se encontrará en la ciudad de Barranquilla con el 64,98 %, seguido de Soledad con un 32,09 % y un 1,46 % de Puerto Colombia (Figura 3.2.3).

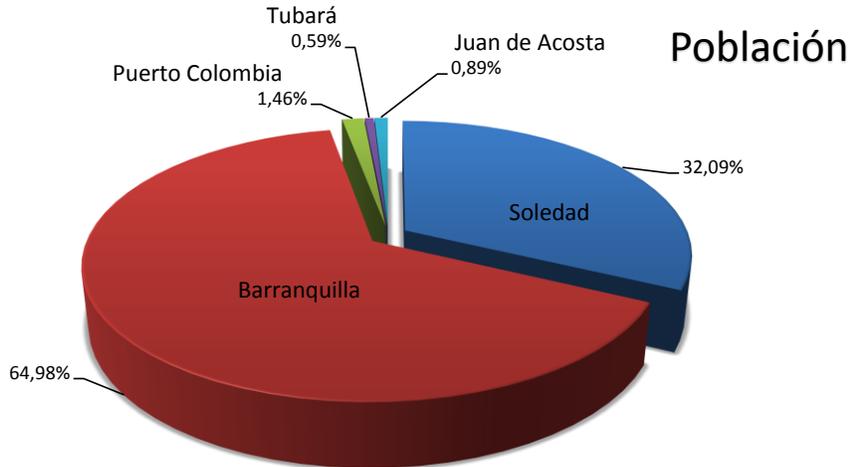


Figura 3.2.3. Población de los cinco municipios costeros del departamento del Atlántico (proyecciones 2014, DANE 2005).

Los sistemas de abastecimiento de acueducto de estos municipios costeros en su mayoría funcionan por bombeo a través de la captación directa del río Magdalena y el acuífero del municipio de Soledad. Barranquilla cuenta con cinco plantas de potabilización, Puerto Colombia con una y Soledad con dos (servicio que presta la empresa Triple A), mientras que Tubará y Juan de Acosta no cuentan con información al respecto. Barranquilla y Soledad cuentan con servicio de alcantarillado; el servicio de aseo es prestado en Barranquilla y Puerto Colombia. Según los análisis de índice de Calidad de Riesgo del Agua (IRCA) realizado por la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, los acueductos de estos cinco municipios costeros no presentan riesgo, debido a que el agua proporcionada es calificada y apta para el consumo humano (SSPD, 2013).

Según la metodología de [UNEP-RCU/CEP \(2010\)](#) se estimó que la población de estos cinco municipios costeros del Atlántico producen cerca de 3'090.300 m³/día de ARD, cargadas con 3.774 t/año de DBO₅, 7.548 t/año de DQO, 960 t/año de NID, 60 t/año de PO₄, 3.774 t/año de SST y 1,51 E+19 NMP/año de CTE, siendo Barranquilla la ciudad con mayor aporte de contaminantes domésticos (Figura 3.2.4 y Figura 3.2.5). Si bien la carga en Barranquilla es alta (en función del número de habitantes) la ciudad cuenta con la Estación Depuradora de Aguas Residuales – EDAR - para el tratamiento de las ARD provenientes del alcantarillado sanitario de 53 barrios del Distrito. La EDAR opera a través del tratamiento biológico con lagunas facultativas de digestión anaeróbica primaria, entregando a los cuerpos receptores un efluente con aguas residuales tratadas con altas remociones de carga orgánica, sólidos suspendidos y organismos patógenos ([Triple A S.A. E.S.P., 2014](#)).

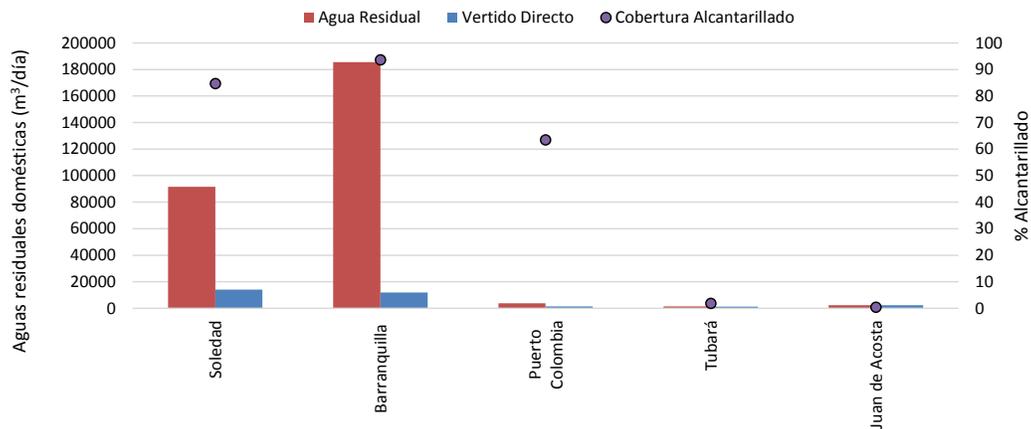


Figura 3.2.4. Caudal estimado de vertido de aguas residuales domésticas y porcentaje de cobertura de alcantarillado en los municipios costeros del departamento de Atlántico. Fuente Caudal: cálculo INVEMAR, metodología [Mindesarrollo, 2000](#). Fuente cobertura de alcantarillado: [SSPD, 2013](#). Fuente población: Censo general 2005, proyecciones [DANE 2014](#).

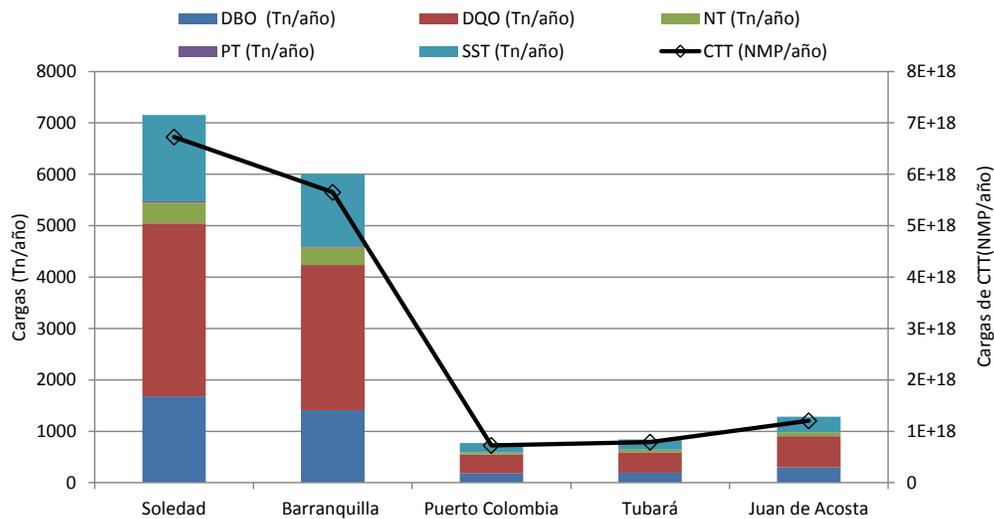


Figura 3.2.5. Carga anual estimada de contaminantes domésticos aportados por la población de los municipios costeros del departamento de Atlántico. Cálculo INVEMAR, metodología [UNEP-RCU/CEP \(2010\)](#).

Los porcentajes de saneamiento básico en la zona costera del Atlántico (Tabla 3.2.2), muestran que la cobertura de servicios es más alta comparados con otros municipios de la costa Caribe. En el caso de alcantarillado: Barranquilla (93,62 %), Soledad (84,62 %) y Puerto Colombia (63,43 %), Tubará (1,81 %) y Juan de Acosta (37 %). Estos dos últimos municipios son los que cuentan con menor población. En cuanto a los residuos sólidos, los municipios costeros cuentan con una cobertura de aseo en más del 95 % de sus asentamientos, con rellenos sanitarios para efectuar la disposición final de residuos sólidos. Los residuos líquidos de Barranquilla y Puerto Colombia se manejan con una Estación Depuradora de Aguas Residuales –EDAR. De acuerdo a la contraloría, en Soledad los arroyos el Salao y el Platanal reciben todas las descartas de residuos sólidos y aguas de origen doméstico e industrial ([Contraloría Municipal de Soledad, 2012](#)).

Tabla 3.2.2. Cobertura de servicios saneamiento básico y producción de residuos sólidos en los cinco municipios costeros de Atlántico. Fuente: [CRA, 2013e](#); [SSPD, 2013](#).

Municipio	¹ Residuos sólidos (t/año)	¹ Cobertura Aseo %	² Cobertura Acueducto %	² Cobertura Alcantarillado %	² Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales	¹ Disposición Final
Soledad	121952,53	100 %	82,22 %	84,62 %		Relleno Sanitario El Calvo
Barranquilla	455294,87	100 %	96,64 %	93,62 %	EDAR El Pueblo	Relleno Sanitario Los Pocitos
Puerto Colombia	13032,00	98 %	85,53 %	63,43 %	EDAR Puerto Colombia	Relleno Sanitario Los Pocitos
Tubará	1920,25	95 %	66,43 %	1,81 %		Relleno Sanitario Puerto Rico
Juan de Acosta	3131,60	95 %	75,56 %	37,0 %		Relleno Sanitario Puerto Rico

3.2.1.1 RESIDUOS SÓLIDOS

En el departamento del Atlántico se producen cerca de 928.212 t/año de residuos sólidos ([CRA, 2012](#)), de los cuales 595.332 t/año corresponden a los cinco municipios costeros de Juan de Acosta, Tubará, Puerto Colombia, Barranquilla y Soledad. Barranquilla representa el 76,5 % de este aporte, seguido de Soledad con el 20,5 %, los demás municipios aportan menos del 10 %, lo cual es directamente proporcional al número de sus habitantes (Figura 3.2.6). La disposición final de los desechos de estos municipios está dirigida a tres rellenos que funcionan actualmente; el relleno sanitario Los Pocitos, localizado a 15 Km de Barranquilla en la vía Barranquilla- Tubará, que recibe los residuos de Barranquilla y Puerto Colombia (Figura 3.2.7); el relleno El Clavo localizado en la finca El Clavo a 5 Km del casco urbano del municipio de Palmar de Varela, que recibe los residuos de Soledad; y el relleno Puerto Rico ubicado a 6 Km del casco urbano del municipio de Baranoa, en la vía que conduce al corregimiento de Sibarco, que recibe los residuos de Juan de Acosta y Tubará ([CRA, 2013d](#)).

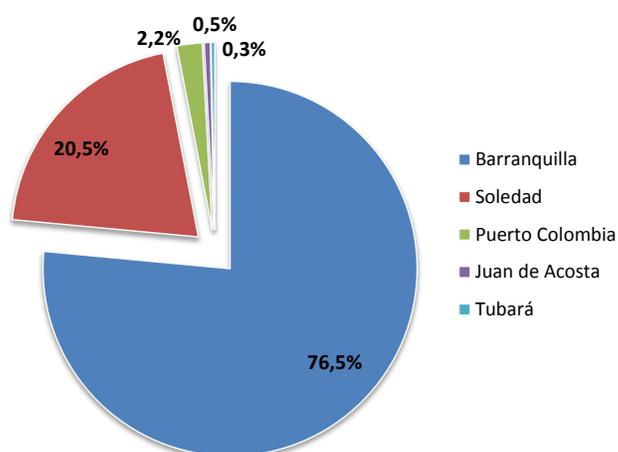


Figura 3.2.6 Distribución de la producción de residuos sólidos anual en los municipios costeros del departamento del Atlántico. Fuente: [CRA \(2013d\)](#) y [SUI \(2014\)](#).



Figura 3.2.7. Relleno Sanitario Los Pocitos localizado a 15 kilómetros de Barranquilla en la vía Barranquilla- Tubará. Fuente: [Triple A S.A E.S.P.](#)

A pesar que existen estos rellenos sanitarios, el servicio de recolección y transporte, barrido de calles, dotación de vehículos y equipos para operar el sistema, aún persiste la recolección y disposición inadecuada con carretas de tracción animal y carretillas, así como algunos botaderos a cielo abierto que se han convertido en uno de los mayores problemas ambientales de los municipios de la franja costera del departamento, pues los residuos son diseminados en áreas urbanas, zonas perimetrales, lotes baldíos, caminos, riberas y cauces de arroyos, y en muchas ocasiones son incinerados ([DAPD, 2000](#); [Alcaldía Municipal de Puerto Colombia, 2004](#); [CRA y OMAU, 2006](#)). Esta situación sumada a la falta de planificación, implementación de medidas de mitigación y manejo ambiental en el departamento, puede causar el deterioro de la calidad de las aguas superficiales por la percolación de lixiviados, generando condiciones de insalubridad, y efectos negativos al ambiente y al bienestar de la población aledaña a estos focos de contaminación (Figura 3.2.8; [INVEMAR, 2007](#)).

Aunque el antiguo botadero del barrio Las Flores en Barranquilla, se encuentra fuera de funcionamiento, continúa la disposición y quema de basuras en esa zona, lo cual es una situación preocupante por la cercanía con la ciénaga de Mallorquín (Figura 3.2.9). En este antiguo botadero persisten residuos sólidos de origen doméstico e industrial, que al solubilizarse pasarán a ser una corriente líquida con alto contenido de ácidos orgánicos y metales pesados como Plomo, Cobre y Zinc. Esta corriente líquida posee un grado de toxicidad moderado-alta, y es de difícil biodegradación, lo que puede ser peligroso para los organismos macrobentónicos de la ciénaga de Mallorquín ([Sierra, 2003](#); [CRA, 2005](#); [Universidad del Norte, 2005](#)).



Figura 3.2.8. Focos de contaminación por residuos sólidos en Puerto Colombia; fotos Efraín Leal – CRA y Diana Sánchez-INVEMAR.



Figura 3.2.9. Antiguo botadero a cielo abierto donde continúan la disposición de residuos sólidos al límite del barrio Las Flores en Barranquilla. Fotografías: Diana Sánchez- INVEMAR.

3.2.1.2 RESIDUOS PELIGROSOS

En el Atlántico se encuentran registradas 189 empresas generadoras de residuos peligrosos (RESPEL). Su distribución es de cinco en Barranquilla, cuatro en Juan de Acosta, 25 en Puerto Colombia, 152 en Soledad y tres en Tubará (CRA, 2013a). En cada uno de ellos se desarrollan actividades en torno a los sectores económicos definidos en la clasificación CIU Rev. 4, de los cuales el sector de servicio es el principal generador de RESPEL, seguido por el comercio y la industria (Figura 3.2.10).

Los RESPEL han sido clasificados como sólidos, líquidos y gaseosos, sin embargo para los cinco municipios solo se tiene el registro de los dos primeros tipos (Figura 3.2.11). Puerto Colombia es el principal generador de residuos sólidos, semisólidos y líquidos (CRA, 2013c).

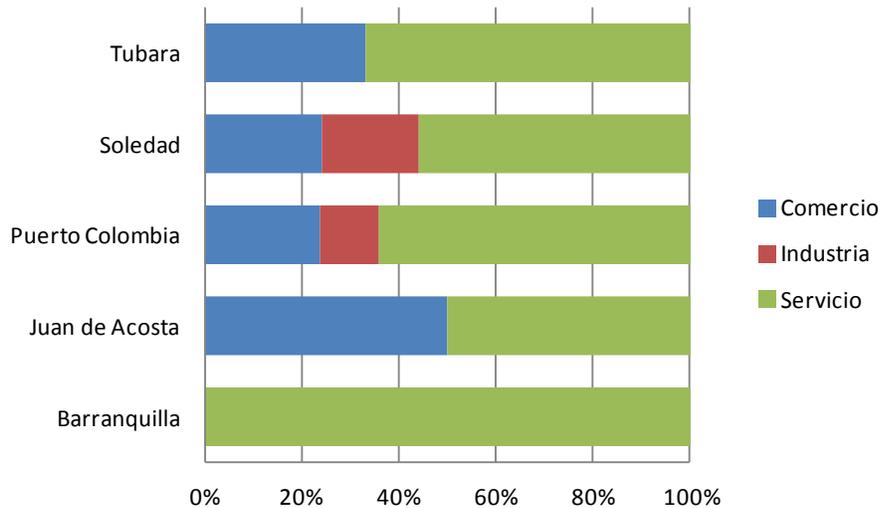


Figura 3.2.10. Porcentaje de residuos peligrosos generados por los sectores económicos.

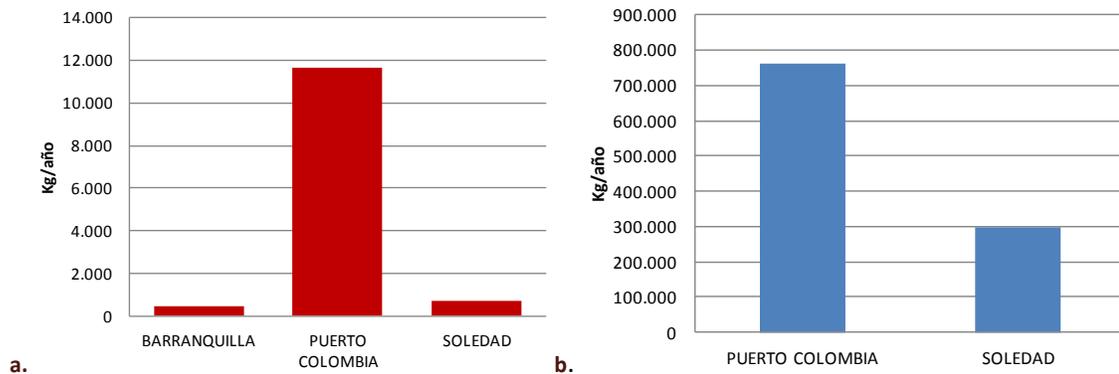


Figura 3.2.11. Cantidad anual de residuos peligrosos generados por municipio, a. residuos sólidos y semisólidos, b. residuos líquidos. CRA, 2013c.

Existen cuatro empresas autorizadas para el manejo de RESPEL, tres de ellas ubicadas en el municipio de Galapa y una en Soledad. ECOSOL S.A.S se encarga de residuos industriales, plástico triturado, lodo de máquina, lodo de curagan, aserrín contaminado, lodo de brea, lodo de pintura, arena contaminada con combustible, hidróxido de cromo, resinas, mangas filtro, carbón activado, aguas de formol; TECNIAMSA S.A maneja residuos hospitalarios, medicamentos vencidos, residuos industriales (solventes, aceites, trapos impregnados de hidrocarburos y plaguicidas); y en TRIPLE A se almacenan de forma temporal residuos de COP's (Contaminantes Orgánicos Persistentes), previo a su exportación a Francia, donde se hace la disposición final. En el municipio de Soledad la empresa TREDI COLOMBIA LTDA está autorizada para disponer residuos industriales (CRA, 2013b).

3.2.2 ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS

Las actividades económicas de los municipios de la zona costera del departamento del Atlántico se desarrollan en los sectores productivos de Servicio (38,9 %), Comercio (42,6 %), Industria (17,3 %) y otros sectores (1,2 %). Los porcentajes de cada sector varían de un municipio a otro, siendo el Comercio el de mayor actividad (Figura 3.2.12).

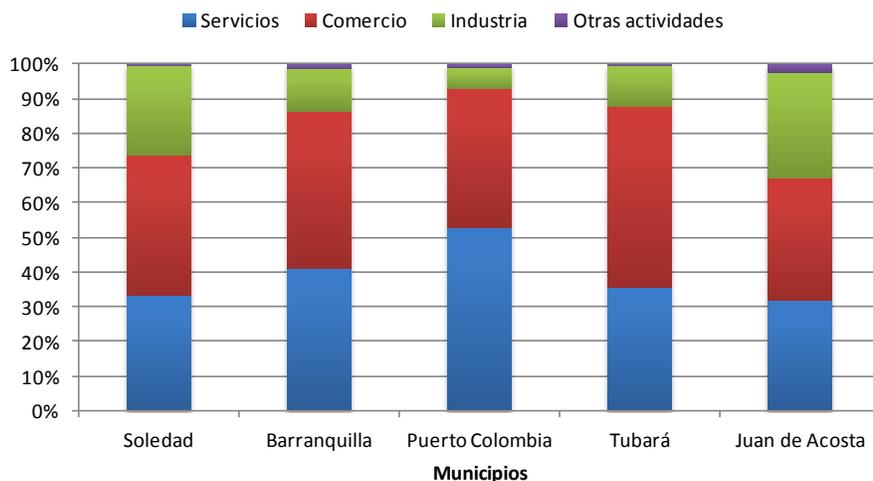


Figura 3.2.12. Actividades económicas de los municipios de la zona costera del Atlántico. Fuente: DANE (2005a, b, c, d).

3.2.2.1 SERVICIOS Y COMERCIO

La actividad económica de prestación de servicios en los municipios costeros está representada por los sectores de transporte, servicios públicos (energía eléctrica, gas natural, acueducto, alcantarillado, aseo), telecomunicaciones, hotelería y restaurante, servicios portuarios, servicios comunales, servicios sociales y personales (administración pública, planes de seguridad social, educación, servicios sociales y de salud, actividades comunitarias y servicios domésticos; [DANE, 2005a](#); [2005b](#); [2005c](#); [2005d](#); [2005e](#); [DANE, 2012](#)). De los cuales el 48,4 % del servicio en las ciudades lo presta el sector de transporte, el 30,2 % el sector hotelero y de restaurantes, el 12,5 % los servicios comunales, sociales y personales, el 4,0 % el sector portuario, el 2,8 % el sector de telecomunicaciones y el 2,0 % restante las empresas de servicios públicos domiciliarios (Figura 3.2.13).

En Barranquilla se encuentra el 96,4 % de las actividades productivas, generando una gran cantidad de residuos provenientes principalmente del sector de transporte (transporte marítimo en los puertos, el transporte de carga y el transporte público) siendo el transporte marítimo del que aporta contaminantes al mar por el uso de combustibles y la emisión de partículas sólidas y líquidas que se esparcen en el ambiente. Ejemplo de lo anterior son las partículas del polvillo del carbón que se dispersan durante el cargue y transporte en el sector de Mallorquín y Bocas de Cenizas, donde se han registrado problemas con este tipo de residuos ([Alcaldía de Barranquilla, 2011](#)).

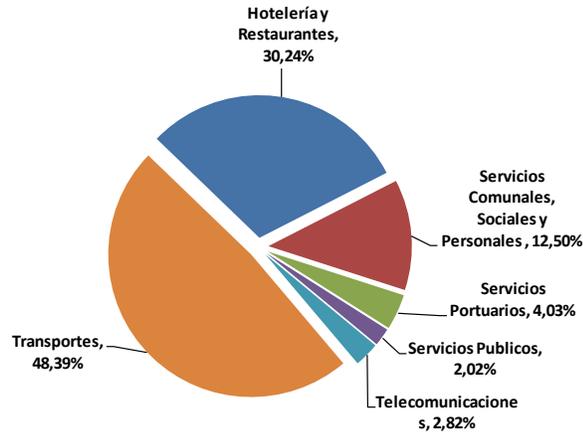


Figura 3.2.13. Servicios prestados por las empresas de la zona costera del Atlántico. Fuente: [MinTransporte \(2001\)](#); [DANE \(2012\)](#); [Sánchez et al. \(2012\)](#); [Superintendencia de Puertos y Transporte](#); [Alcaldía Distrital de Barranquilla \(2014a; b\)](#); [Registraduría Nacional](#).

Con respecto a la actividad comercial, la Cámara de Comercio de Barranquilla reporta en el informe de coyuntura económica un total de 5.342 establecimientos comerciales registrados ([Fundesarrollo, 2014](#)), de los cuales el comercio al por mayor de productos farmacéuticos y de partes, piezas y autopartes tienen la mayor participación (11 %); seguido por el comercio al por mayor no especializado, los expendios a la mesa de comida preparada y el comercio al por mayor de materiales de construcción. Las actividades comerciales de los sectores de venta de combustibles, el mantenimiento y la reparación de vehículos automotores, aunque tengan bajos porcentajes de participación, representan una fuente importante de residuos petrogénicos que pueden contaminar el suelo y las fuentes hídricas (Figura 3.2.14).

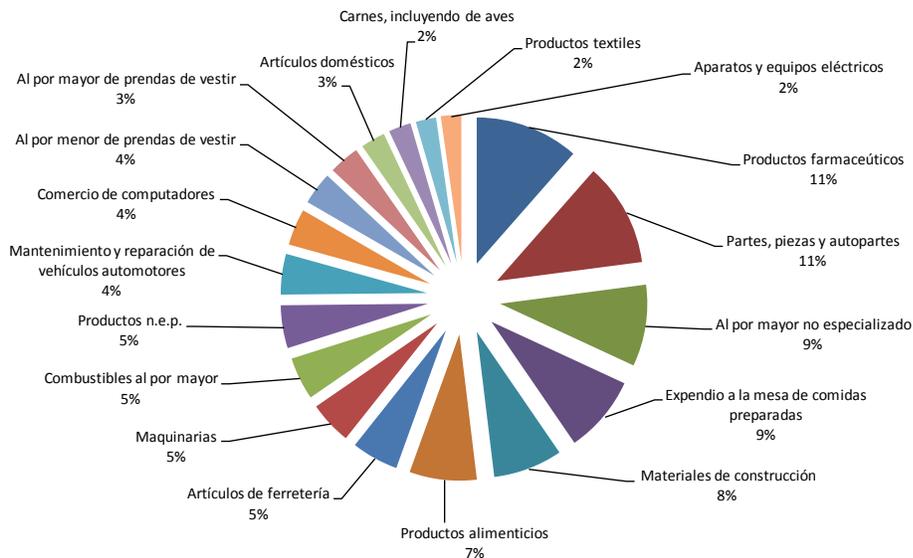


Figura 3.2.14. Principales actividades comerciales de la zona de estudio. Fuente: [Fundesarrollo \(2014\)](#).

3.2.2.2 ACTIVIDAD PORTUARIA

En la zona portuaria de Barranquilla operan 17 puertos en total (Tabla 3.2.3), ubicados entre el puente Laureano Gómez y la desembocadura del río Magdalena, abarcando los puertos del margen occidental del río en el departamento del Atlántico y el puerto de Palermo Sociedad Portuaria S.A. que se sitúa en el margen oriental en zona del departamento del Magdalena ([ASOPORTUARIA, 2011](#)). Estas sociedades portuarias desarrollan diferentes operaciones, manejando productos químicos, petroquímicos, carbón, gránulos sólidos y líquidos, entre otros. Algunos de estos puertos son especializados como en el caso de la Sociedad Portuaria Monómeros Colombo Venezolanos S.A. que maneja insumos químicos, los puertos de Atlantic Coal de Colombia S.A. y de Mallorquín S.A. que exportan fundamentalmente carbón, SIDEPORT S.A. que maneja sólidos y acero, y otros con operaciones multipropósito entre los que se destaca la Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla S.A. (Figura 3.2.15).

Tabla 3.2.3. Puertos ubicados en la zona portuaria de Barranquilla.

Nombre del Puerto	Ubicación	Tipo de Carga
Sociedad Portuaria del Norte S.A.	Atlántico	Multipropósito
Sociedad Portuaria Bocas de Cenizas S.A.	Atlántico	Multipropósito
Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla S.A.	Atlántico	Multipropósito
Sociedad Portuaria Muelles AQUAMAR S.A.	Atlántico	Multipropósito
Sociedad Portuaria MICHELLMAR S.A.	Atlántico	Multipropósito
Sociedad Palermo Sociedad Portuaria S.A.	Magdalena	Multipropósito
Sociedad Portuaria SODINTEC S.A.	Atlántico	General
Puerto PIMSA S.A.	Atlántico	General
Sociedad Portuaria PORTMAGDALENA S.A.	Atlántico	Gránulos líquidos
Vopak S.A.	Atlántico	Gránulos líquidos
Sociedad Portuaria del Caribe S.A.	Atlántico	Carbón, Gránulos sólidos
ARGOS S.A.	Atlántico	Gránulos sólidos
Sociedad Portuaria Loma Pizano S.A.	Atlántico	Trozas de madera
Sociedad Portuaria Monómeros Colombo Venezolanos S.A.	Atlántico	Insumos químicos
Sociedad Portuaria Atlantic Coal de Colombia S.A.	Atlántico	Carbón
Sociedad Portuaria Terminal de Mallorquín S.A.	Atlántico	Carbón
Sociedad Portuaria SIDUPOINT S.A.	Atlántico	Sólido y acero



Figura 3.2.15. Puerto de la Sociedad Portuaria de Barranquilla. Fuente: [Puerto de Barranquilla](#).

La Sociedad Portuaria Regional de Barranquilla es uno de los puertos multipropósito más importante de Colombia. Esta sociedad genera notables movimientos de buques y mercancías que pueden causar daños al medio ambiente, como por ejemplo el transporte de carbón, combustibles fósiles y otras sustancias oleosas que constituyen una fuente importante de contaminación al mar. Las infraestructuras portuarias también producen impactos ambientales y cambios en el paisaje costero ([Garay et al., 2001](#)). Las toneladas de cargas movilizadas mensualmente varían entre 150.000 y 300.000 en gránulos sólidos, contenedores y carga general, y cerca de 90 motonaves y buques arriban a sus aguas ([Puerto de Barranquilla, 2014](#)), lo que demuestra la magnitud e influencia de sus operaciones en el río Magdalena.

Entre los productos de mayor movilización en los puertos del Atlántico, se encuentran las sustancias y productos químicos (34,5 %), productos metalúrgicos básicos (22,8 %), productos manufacturados (6,5 %), productos elaborados de metal (3,5 %), reciclaje (3,0%), productos minerales no metálicos (2,7 %), maquinaria, equipos y aparatos electrónicos (2,7 %), productos de plástico y de caucho (1,3%), instrumentos médicos, ópticos, vehículos automotores, remolques, equipos y aparatos de radio (1,3 %), entre otros productos (Tabla 3.2.4; [DANE, 2012](#)).

Tabla 3.2.4. Tráfico de los principales grupos de productos movilizados en los Puertos Marítimos de Barranquilla.

EXPORTACIÓN	IMPORTACIÓN
Productos alimenticios y bebidas	Productos alimenticios y bebidas
Curtidos y preparados de cuero; calzados, artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y similares; artículos de talabartería y guarnicionería	Curtidos y preparados de cuero; calzados, artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y similares; artículos de talabartería y guarnicionería
Minerales	Productos metalúrgicos básicos
Productos metalúrgicos básicos y elaborados de metal	Maquinaria de oficina, contabilidad e informática
Productos de tabaco y textiles	Productos de tabaco y textiles
Productos de caucho y plástico	Vehículos automotores, remolques y semirremolques
Papel, Cartón y productos derivados	Papel, Cartón y productos derivados
Sustancias y productos Químicos	Sustancias y productos Químicos
Reciclaje	Reciclaje
Maquinaria y aparatos electrónicos	Maquinaria y Equipos
Menaje y otros no relacionados	Artículos manufacturados

Fuente: [DANE, \(2012\)](#).

3.2.2.3 INDUSTRIA

Entre los productos industriales que se producen en la región están los productos lácteos, embutidos, bebidas, jabones, materiales para la construcción, muebles, plásticos, partes metalmecánicas, prendas de vestir, embarcaciones entre otros ([Alcaldía de Barranquilla, 2014](#)). Los municipios donde se concentran la mayor cantidad de establecimientos con actividad industrial son Barranquilla (91,6 %) y Soledad (4,0 %), y se ubican a la orilla del río Magdalena en los barrios Las Flores y la zona Franca-Portuaria ([Bonilla, 2010](#)).

3.2.2.4 MINERÍA

La actividad minera en la zona costera del Atlántico se desarrolla en los municipios de Barranquilla, Puerto Colombia, Tubará y Juan de Acosta, donde hay canteras y se extrae arenas de los arroyos y material de arrastre para construcción (Tabla 3.2.5). También hay minería a gran escala y tecnificada que utiliza maquinaria y equipos de alta eficiencia para obtener agregados de piedra que se utilizan en la construcción de viviendas y obras civiles ([CRA-Herencia Ambiental, 2010](#)). También son obtenidos piedra caliza, arenas finas y cantos rodados ([INVEMAR, 2007](#); [CRA, 2012](#)).

Los municipios que tienen canteras legalmente constituidas son Puerto Colombia con 12 títulos, Tubará con tres y Juan de Acosta con uno, aunque también se han identificado otras cinco canteras ilegales en Juan de Acosta y tres en Tubará ([CRA-Herencia Ambiental, 2010](#)). Aproximadamente el 60 % de las pequeñas y medianas empresas desarrollan estas actividades, sin embargo, carecen de procesos óptimos que garanticen niveles de producción de calidad y cantidad para competir de manera sostenible con las grandes empresas ([CRA-Herencia Ambiental, 2010](#); [ASOCARS-UNIMAG, 2011](#)).

Tabla 3.2.5. Extracción de minerales en los municipios costeros del Atlántico. Fuente: [INVEMAR, 2007](#); [Alcaldía Tubará, 2012](#); [CRA-Herencia Ambiental, 2010](#)).

Municipios	Mineral
Barranquilla	Piedras calizas, agregados pétreos, arenas finas y cantos rodados
Puerto Colombia	Piedra caliza y arena
Tubará	Piedra, arena y barro caliche.
Juan de Acosta	Piedra caliza, arenas, gravillas, cantos rodados-piedra china, arcillas y material de construcción

Se ha establecido que los títulos mineros se concentran en la parte norte del departamento, afectando las cuencas hidrográficas de la ciénaga de Mallorquín y la zona norte de la cuenca del mar Caribe, causando impactos por la remoción de cobertura vegetal la cual se asocia con la erosión del suelo. Además se producen aportes de sedimentos que afectan los arroyos, acequias y canales del sistema de drenaje reduciendo los espejos de agua ([INVEMAR, 2007](#); [CRA, 2012](#)).

3.2.2.5 AGRICULTURA

La agricultura en los municipios costeros de Juan de Acosta, Tubará y Soledad se basa en cultivos frutales permanentes de mango y ciruela principalmente, y cultivos transitorios donde predominan el maíz, sorgo, yuca, frijol, guandul y millo (Tabla 3.2.6; [Alcaldía Juan de Acosta, 2001](#); [PGIR Juan de Acosta, 2005](#); [Alcaldía de Soledad, 2008](#)). Los cultivos se realizan manualmente sin mucha tecnología y poco uso de fertilizantes ([CRA-Herencia Ambiental, 2010](#)). Esta actividad genera desplazamiento de la fauna por destrucción de hábitats por el cambio del uso del suelo ([INVEMAR, 2007](#)).

Tabla 3.2.6. Distribución de los territorios agrícolas en los municipios del departamento del Atlántico. Fuente: [CRA-Herencia Ambiental, 2010](#); [Alcaldía de Soledad, 2008](#).

Municipio	Área (ha)	Transitorios	Área (ha)	Permanentes
		Cultivos		Cultivos
Juan de Acosta	1.744	Maíz tradicional, millo, patilla, yuca y guandul.	19	Mango, ciruela y plátano
Tubará	2.397	Maíz tradicional, millo, frijol, ají, yuca, guandul y ñame.	14	Plátano
Soledad	82	Maíz tradicional, cilantro, cebolla en rama, col, yuca tradicional e industrial.	4	Mango, guayaba, melón

3.2.2.6 PECUARIA, MATADEROS Y PESCA

En el departamento del Atlántico cerca de 8.840 ha del territorio costero tienen uso ganadero y se caracterizan por la cría y levante, producción de leche y carne de cebú criollo y pardo. En esta zona también se desarrolla ganadería multipropósito a gran escala y de especies menores como porcinos, caprinas, equinos, aves y algunos ovinos. También hay zocriaderos rudimentarios ([CRA y OMAU, 2006](#); [INVEMAR, 2007](#)).

Existen 6 mataderos registrados ante la CRA (Tabla 3.2.7), que se dedican al comercio mayorista de materias primas agropecuarias y animales vivos; comercio de subproductos del consumo y productos cárnicos ([CRA, 2013e](#); [Santacruz LTDA, 2014](#)). No obstante, se continúan presentando mataderos

ilegales que no cumplen con las normas sanitarias y ambientales. Algunos de los cuales no cuentan con infraestructura de servicios públicos, manipulan y disponen inadecuadamente los residuos del sacrificio de las reses (Falla, 1992; Falla, 2008). Lo anterior conlleva al deterioro ambiental y de la calidad del producto (INVEMAR, 2007).

Tabla 3.2.7. Mataderos del departamento del Atlántico registrados en la C.R.A. Fuente: CRA, 2013e.

Nombre del matadero	Tipo de actividad	Municipio	Tipo de tratamiento Agua Residual	
			Doméstica	Industrial
Matadero Agropecuario Santa Cruz	Planta de sacrificio de Ganado	Malambo	Ninguno	Biológico, Anaerobio
Matadero Camaguey	Matadero	Galapa	Ninguno	Lagunas de Oxidación
Matadero Sabanagrande	Beneficio de ganado bovino.	Sabanagrande	Ninguno	Ninguno
Matadero Moderno de Soledad	Sacrificio de reses	Soledad	Trampa de grasas	Ninguno
Matadero de Sabanalarga	Sacrificio de ganado	Sabanalarga	Ninguno	Ninguno
Matadero Frigoecol (Coocogan)	Planta de beneficio de ganado	Malambo	Ninguno	Ninguno

Por otra parte, la actividad de pesca en el departamento es de tipo artesanal, de la cual depende una población directa de cerca de 4.000 personas. Está localizada en el barrio Las Flores principalmente, y en otros sectores sobre la línea costera en los caseríos de Caño Dulce, Puerto Caimán, Puerto Velero, Santa Verónica y Bocatocino en los municipios de Puerto Colombia, Tubará y Juan de Acosta (CRA y OMAU, 2006; INCODER, 2005; INVEMAR, 2007). Los artes de pesca más empleados son atarrayas, redes de enmalle, boliches o chinchorros de playa, redes camarónicas y anzuelos (palangres, cordeles o líneas de mano y cometas), que usan en embarcaciones como canoas, lanchas y botes.

En sectores como Soledad, esta actividad está directamente afectada por desagüe de aguas residuales y aguas lluvias que llegan de urbanizaciones del municipio que contaminan los cuerpos de agua como el Caño Viejo (CRA y OMAU, 2006; INVEMAR, 2007).

4 DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DE AGUAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA COSTA CARIBE



Salinas de Manaure, La Guajira. Foto: Silvia Narvéz

San Andrés, Providencia y Santa Catalina



Rocky Cay, San Andrés. Foto: Janet Vivas

EQUIPO TÉCNICO CORALINA

Nacor Bolaños-Cubillos - Coordinador Áreas 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

Franz Davis - Químico Laboratorio

Olga Quemman – Técnico de campo

4.1 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 localiza 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 km², 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).

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 estas islas se ubica la red de 25 estaciones de monitoreo de la REDCAM en el Archipiélago (Figura 4.1.1), donde CORALINA recolectó la información de calidad de aguas en noviembre de 2013 (en adelante, época lluviosa 2013) y entre julio- agosto de 2014 (en adelante, época seca 2014). Entre el 2013 y 2014 los eventos climáticos fueron relevantes para las características de calidad del recurso hídrico de estas islas; en general se presentaron condiciones secas sin descartar ligeras lluvias intermitentes (IDEAM, 2013; IDEAM, 2014).

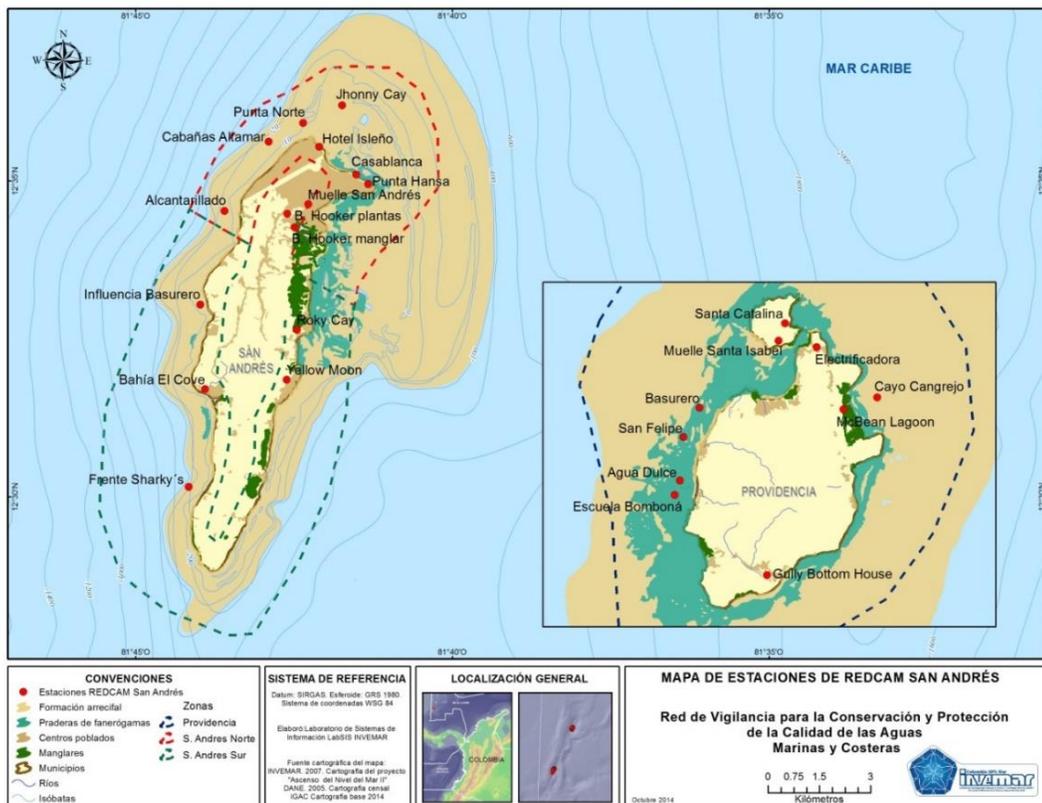


Figura 4.1.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

El Archipiélago tiene una población proyectada a 2015 de 76.442 habitantes ([DANE, 2009](#)) y para el 2014 se presentó una afluencia de 733.926 turistas, siendo la más alta ocupación hotelera en su historia (http://issuu.com/el_isleno/docs/el_isle_o_68). En la isla la principal actividad productiva es el turismo, seguido de actividades económicas asociadas al comercio, la navegación y el buceo y complementadas con agricultura y pesca de subsistencia ([Gobernación del Archipiélago, 2014](#)). Así mismo, la disposición final de residuos sólidos y los vertimientos de aguas servidas son los factores que generan el mayor riesgo de deterioro ambiental de sus ecosistemas ([INVEMAR, 2006](#)), donde se identifican 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 cubre sólo el 30% ([Proactiva Aguas del Archipiélago, 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.

4.1.1 CALIDAD DE AGUAS

El estado de la calidad del agua marina y costera del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina se evaluó a través de las mediciones de las variables fisicoquímicas y microbiológicas con énfasis en la preservación de la fauna y flora acuática de los ecosistemas presentes, así como para el uso de este recurso hídrico con fines recreativos. El resumen estadístico de los muestreos realizados por CORALINA en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 se presentan en la Tabla 4.1.1, y estos resultados, contrastados con los datos históricos del monitoreo del 2001 al 2013 conforman el presente informe.

Tabla 4.1.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	28,80	0,31	29,40	28,10	28,92	1,05	32,00	27,90
SST (mg/L)	2,80	1,44	9,00	1,00	5,04	1,92	9,00	1,60
Salinidad	35,40	0,26	35,90	34,50	36,63	0,40	37,90	36,20
pH	8,10	0,06	8,20	8,00	8,13	0,09	8,27	7,87
OD (mg/L)	5,00	0,83	7,01	3,46	5,30	0,98	7,93	3,18
NO ₃	43,60	5,48	61,00	33,20	23,67	30,87	105,00	1,00
NO ₂ (µg/L)	2,70	0,80	5,00	2,00	27,79	39,37	126,00	2,00
NH ₄ (µg/L)	52,10	7,68	87,10	39,70	77,13	69,62	210,00	10,00
PO ₄ (µg/L)					151,75	145,42	696,00	57,00
CTT (NMP/100 mL)			1,60E+03	2,00E+00			9,20E+02	2,00E+00
CTE (NMP/100 mL)			9,20E+02	2,00E+00			7,00E+01	2,00E+00

4.1.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendedos totales

Los resultados de salinidad, conductividad, temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD) y sólidos suspendidos Totales (SST) medidos en aguas superficiales de las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina entre la época lluviosa 2013 y seca 2014, mostraron características típicas de aguas marinas y costeras con diferencias entre estaciones. El análisis de conglomerado separó las estaciones

en dos grupos (Figura 4.1.2), el primero corresponde a las encerradas en el recuadro verde, lo conforman las estaciones ubicadas en bahía Hooker, influenciadas por el manglar de Old Point, con temperaturas de entre 28,1 y 32,0 °C y salinidades entre 34,5 y 37,9. El segundo grupo las estaciones encerradas en el recuadro azul, las cuales presentaron temperaturas menos cálidas, en un rango entre 27,9 y 30,3 °C y salinidades entre 35,2 y 36,9 °C.

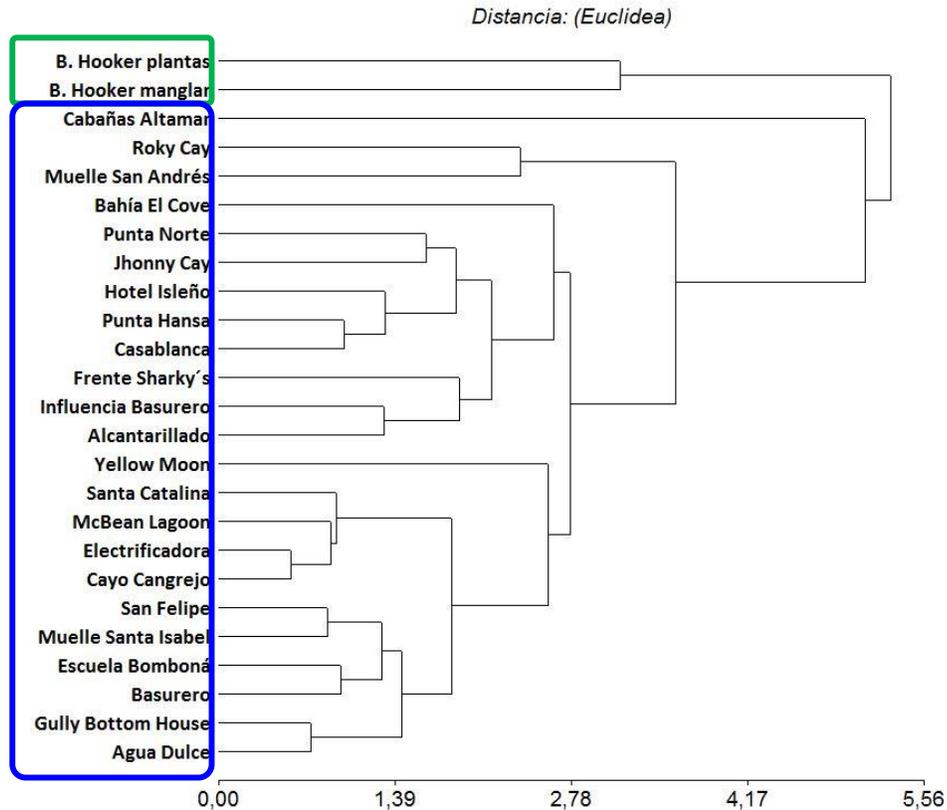


Figura 4.1.2. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014. El recuadro verde indica las estaciones influenciadas por el manglar de bahía Hooker y el azul las estaciones de carácter marino.

Los valores de OD se encontraron entre 3,18 y 7,93 mg/L; puntualmente en la zona de Providencia se presentaron valores menores al criterio de la legislación colombiana para la preservación de flora y fauna (4,0 mg/L, Minsalud, 1984) en las estaciones de Cayo Cangrejo y Santa Catalina para el muestreo de lluviosa 2013 (OD= 3,70 mg/L y 3,74 mg/L respectivamente) y Punta Hansa y Frente a Sharky's para la época seca de 2014 (OD= 3,43 mg/L y 3,18 mg/L respectivamente), situación que no se había presentado anteriormente según los reportes históricos de la REDCAM ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)). Sin embargo, estos datos coincidieron con el inicio de la época de lluvias después de un primer semestre bastante seco y puntualmente el día del muestreo en agosto 2014, se presentó una precipitación de 8 mm, antecedido por días muy secos. Es posible que en este primer día de lluvias se presentara mayor arrastre de sedimentos hacia la laguna costera.

Los valores de pH fluctuaron entre 7,8 y 8,27, los cuales se encuentran dentro del rango permisible según la legislación colombiana para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas

(6,5- 8,5 [Minsalud, 1984](#)). Por otra parte, los valores de SST oscilaron entre 1 y 9 mg/L, mostrando condiciones adecuadas para el desarrollo de corales y fanerógamas marinas ([CORALINA- INVEMAR, 2012](#); [Fabricius, 2005](#)).

Nutrientes

Se determinaron concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos Nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-), Amonio (NH_4^+) y Fosfatos (PO_4^{3-}) que variaron en un rango muy amplio entre estaciones. Con respecto a los Nitritos, los valores más altos se presentaron en Roky Cay (72 $\mu\text{g/L}$), Cabañas Altamar (73 $\mu\text{g/L}$), Influencia Basurero (105 $\mu\text{g/L}$) y bahía Hooker manglar (126 $\mu\text{g/L}$) en época seca 2014 (Figura 4.1.3), condiciones que se relacionan con la cercanía a la población y sus actividades socioeconómicas, que representan fuentes importantes de nutrientes en el área. Estos resultados mostraron valores altos respecto al estudio de [Lapointe \(1997\)](#), que sugiere que para preservación de corales este valor no debería superar 14 $\mu\text{g/L}$.

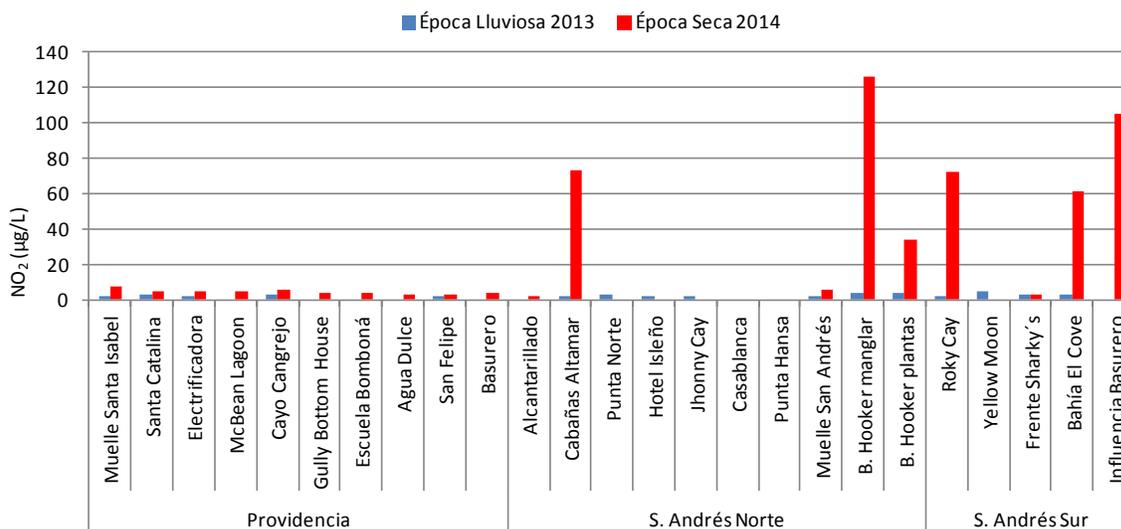


Figura 4.1.3. Concentraciones de Nitrito (NO_2^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los Nitratos inorgánicos disueltos presentaron concentraciones altas en las estaciones bahía Hooker Plantas (105 $\mu\text{g/L}$), Influencia Basurero (92 $\mu\text{g/L}$) y bahía El Cove (85 $\mu\text{g/L}$) durante la época seca 2014 (Figura 4.1.4), valores que provendrían de vertimientos de aguas residuales y aportes naturales del manglar. Los registros mostraron una tendencia de aumento durante la época lluviosa, cuando las escorrentías arrastran residuos orgánicos que llegan hasta el mar, incrementando la disponibilidad de este nutriente ([Peña et al., 2005](#)).

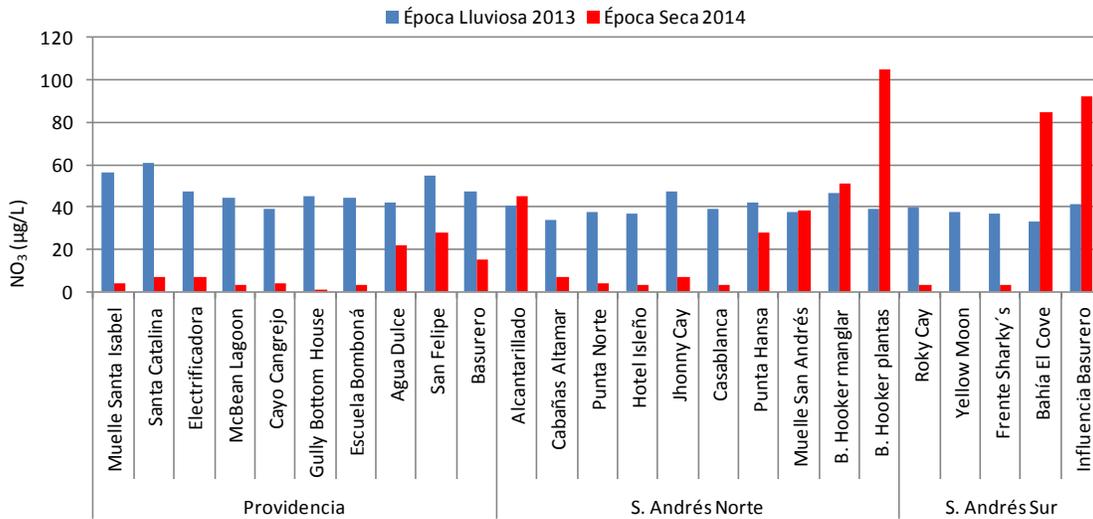


Figura 4.1.4. Concentraciones de Nitrato (NO₃⁻) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los valores de Amonio oscilaron en una rango entre 10 y 210 µg/L, registrándose las concentraciones más altas durante la época lluviosa en las estaciones de la isla de San Andrés, mientras que el sector de Providencia el Amonio mostró mayores concentraciones en la época seca 2014 (Figura 4.1.5). Los valores más altos fueron registrados en las estaciones Cabañas Altamar (210 µg/L), Muelle San Andrés (167 µg/L), Alcantarillado (165 µg/L), bahía Hooker manglar (154 µg/L), bahía Hooker plantas (149 µg/L), Hotel Isleño (139 µg/L), Roky Cay (137 µg/L), Influencia Basurero (136 µg/L), frente Sharky's (135 µg/L) y bahía El Cove (132 µg/L) durante la época seca.

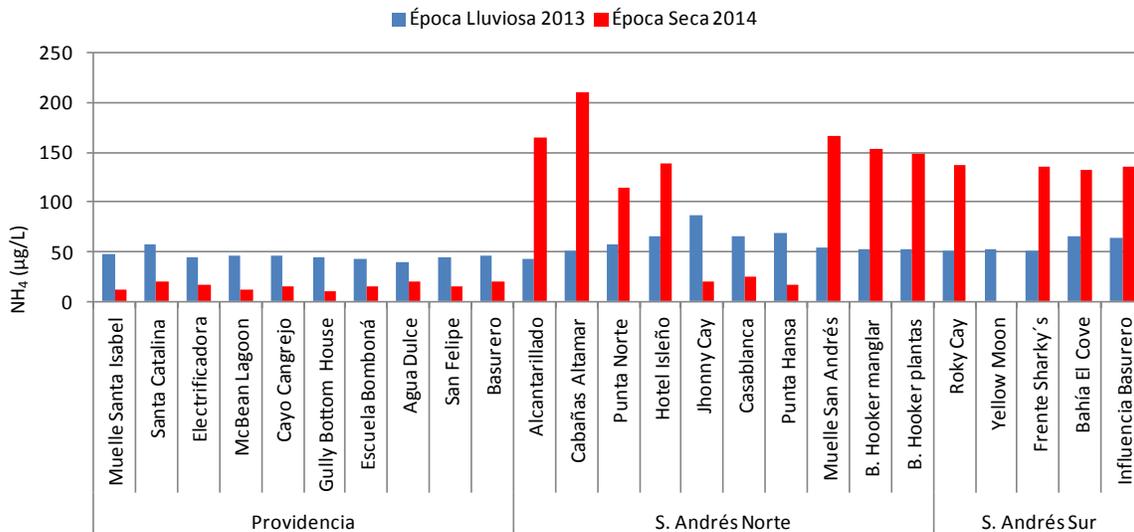


Figura 4.1.5. Concentraciones de Amonio (NH₄⁺) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los Fosfatos fueron reportados solo para la época seca 2014. Este nutriente presentó las mayores concentraciones en las estaciones San Felipe (696 µg/L) y Agua Dulce (508 µg/L; Figura 4.1.6), valores que podrían asociarse con las actividades agropecuarias del sector de San Felipe, además de los aportes por escorrentías o vertimiento directo de aguas residuales en San Felipe y Agua Dulce ([Secretaría de Salud de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, 2013](#)).

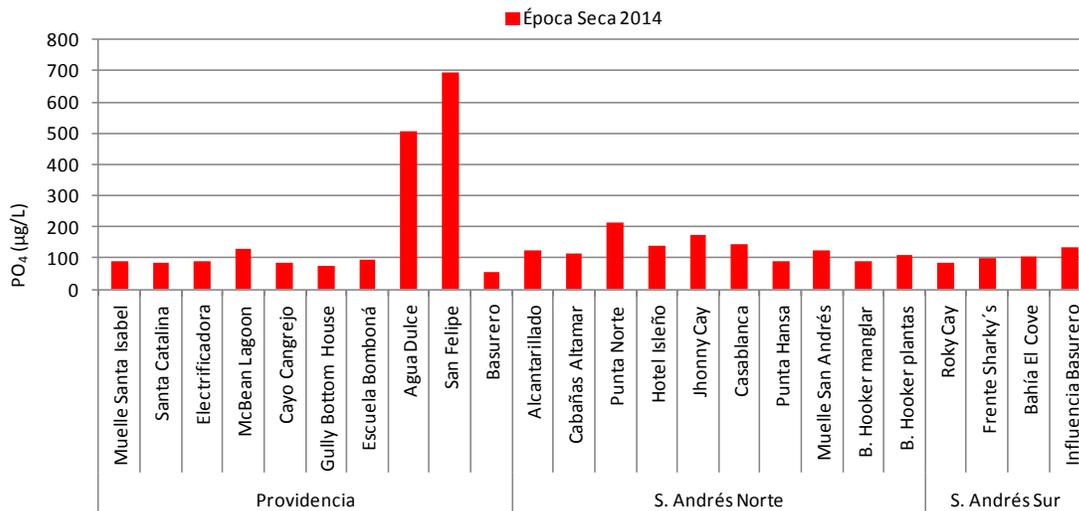


Figura 4.1.6. Concentraciones de Fosfatos (PO₄³⁻) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina para el muestreo realizado en la época seca 2014.

4.1.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

Durante la época lluviosa 2013 y seca 2014, se determinaron las concentraciones más altas de Coliformes Totales (CTT), en las estaciones Muelle de San Andrés y bahía Hooker Planta, con 1.600 NMP/100 mL en época lluviosa, respectivamente (Figura 4.1.7), debido a la influencia de los vertimientos de aguas residuales que se realizan en este sector, y los aportes por escorrentías provenientes del centro poblado, que arrastran residuos sólidos, líquidos y excrementos de animales ([PROACTIVA AGUAS DEL ARCHIPIÉLAGO SA ESP, 2008](#)), afectando la calidad de estas aguas para el contacto primario ([MinSalud, 1984](#)).

Los registros históricos de las concentraciones de CTT desde el 2001 al 2014 en las estaciones del departamento, muestran que la mayoría de las estaciones se encontraron por debajo de los límites permisibles para contacto primario y secundario según la legislación colombiana (Figura 4.1.8; [MinSalud, 1984](#)). Solo en algunos casos se han presentaron condiciones inadecuadas para el contacto primario y secundario, como por ejemplo en las estaciones Alcantarillado, Muelle San Andrés, bahía Hooker Manglar, bahía Hooker Planta, Muelle Santa Isabel y Casablanca en los años 2004, 2006, 2012 principalmente, estaciones que concuerdan con los puntos de vertimiento de aguas residuales domesticas reportadas por la empresa [PROACTIVA AGUAS DEL ARCHIPIÉLAGO SA ESP \(2008\)](#).

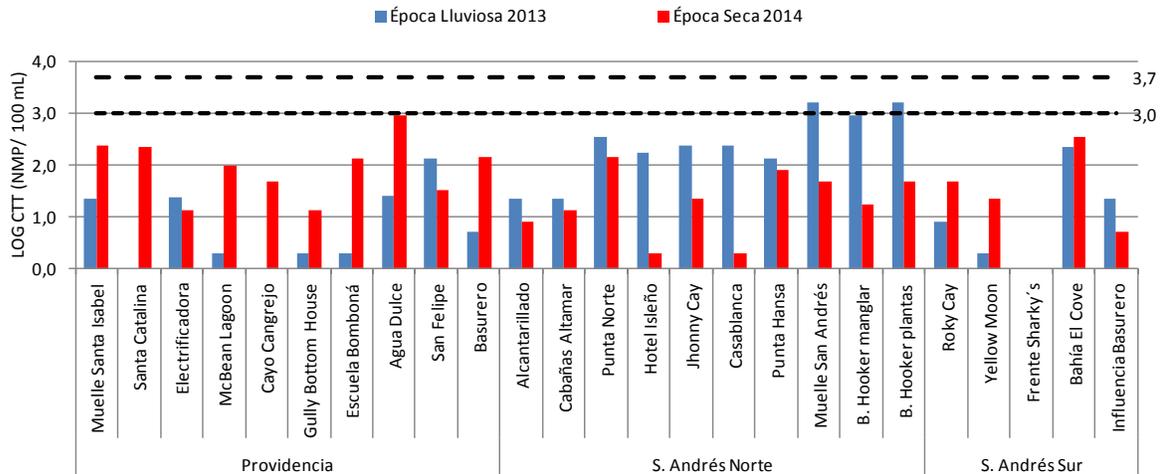


Figura 4.1.7. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina para los muestreos realizados en las época lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

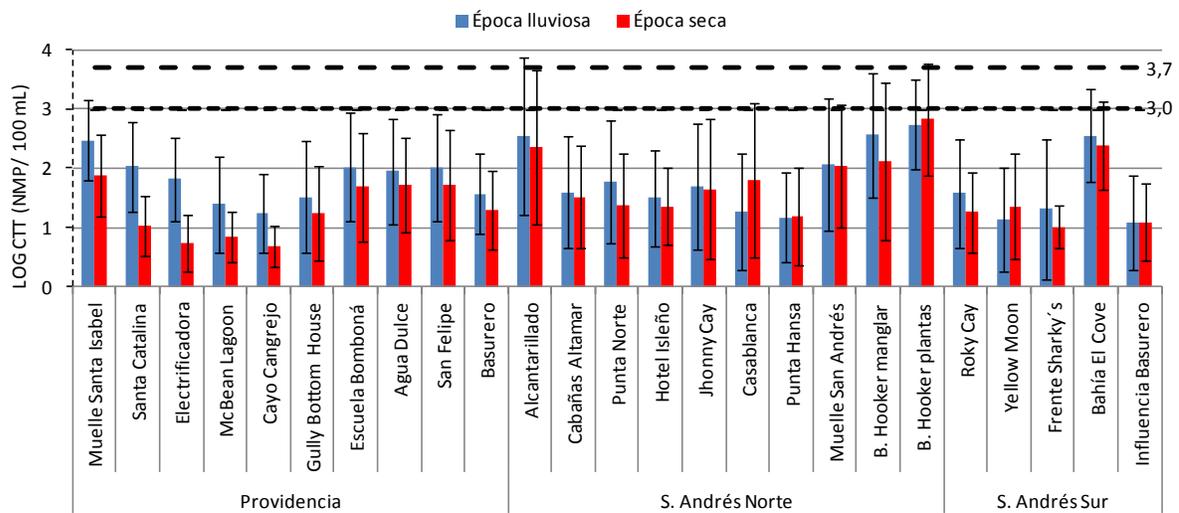


Figura 4.1.8. Promedio histórico (2001 - 2014) de concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente, según [MinSalud \(1984\)](#).

Los Coliformes Termotolerantes (CTE) en la mayoría de las estaciones, presentaron valores por debajo del límite permisible para el contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)), excepto las estaciones Muelle de San Andrés (920 NMP/100 mL) y Bahía Hooker Manglar (540 NMP/100 mL) y Casablanca en época de lluvias (220 NMP/100 mL; Figura 4.1.9), las cuales están influenciadas por aguas residuales ([PROACTIVA AGUAS DEL ARCHIPIÉLAGO SA ESP, 2008](#)). En general, durante este periodo, los CTE mostraron las concentraciones más altas durante la época lluviosa, en comparación con la época seca, condición que se atribuye a la influencia de las escorrentías.

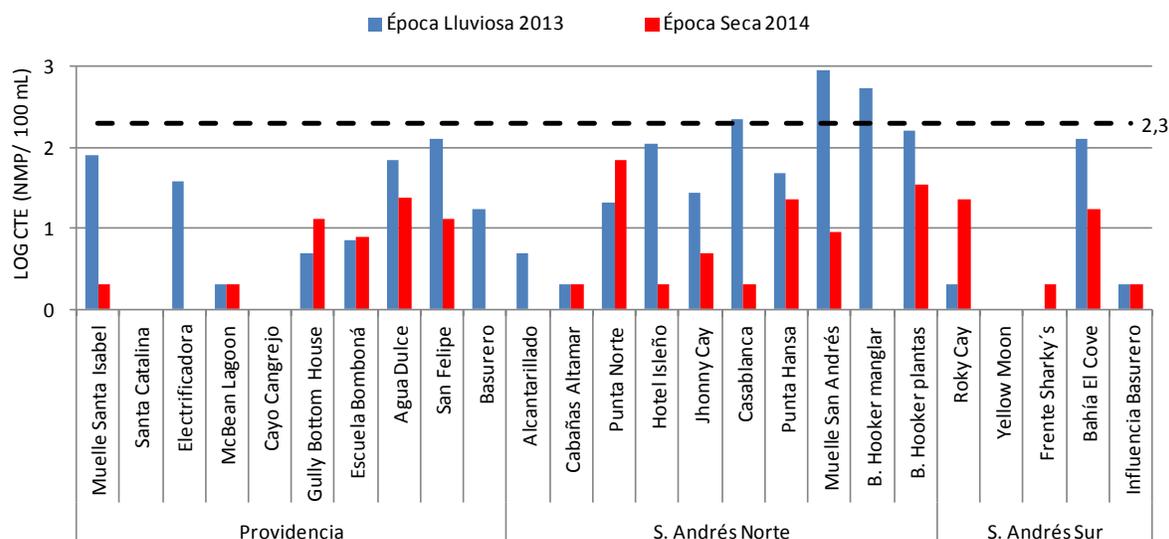


Figura 4.1.9. Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina para los muestreos realizados en las época lluviosa de 2013 y seca 2014. La línea discontinua de 2,3 corresponde al Log 200 NMP/ 100 mL del límite permisible para contacto primario según [MinSalud \(1984\)](#).

Los resultados de CTE durante las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 en las principales playas de interés turístico del departamento, se compararon con los registros históricos desde el 2001 al 2014 (Tabla 4.1.2). A partir de los resultados, se presentaron condiciones óptimas en la mayoría de playas, las cuales no superaron los límites establecidos para contacto primario (natación y buceo; <200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)). Durante la época de lluvias de 2013, se presentaron dos casos de incumplimiento de la norma en las estaciones Casablanca y Muelle San Andrés, las cuales están influenciadas por los vertimientos no puntuales que descargan sobre el costado noroeste de la isla y los aportes de material orgánico y resuspensión de sedimentos de la zona de manglar ([Soares y Gorlach, 2010](#)).

Tabla 4.1.2 Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidas en las playas del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina para los muestreos realizados en las época lluviosa de 2013 y seca 2014. Valores de referencia Coliformes Termotolerantes (<200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1948](#)).

Zona	Estación	Lluviosa 2013	Seca 2014	Época Lluviosa (2001-2014)		Época Seca (2001-2013)	
		CTE (NMP/100 mL)	CTE (NMP/100 mL)	% casos*	n	% casos*	n
Providencia	Muelle Santa Isabel	79	2	23	13	22	9
	Cayo Cangrejo	<LD	<LD	0	13	0	9
	Agua Dulce	70	24	8	13	10	10
	San Felipe	130	13	15	13	0	8
San Andrés Norte	Hotel Isleño	110	2	14	14	8	12
	Jhonny Cay	27	5	14	14	25	12
	Casablanca	220	2	10	10	11	9
	Punta Hansa	49	23	0	14	0	12

Zona	Estación	Lluviosa 2013	Seca 2014	Época Lluviosa (2001-2014)		Época Seca (2001-2013)	
		CTE (NMP/100 mL)	CTE (NMP/100 mL)	% casos*	n	% casos*	n
San Andrés Sur	Muelle San Andrés	920	9	21	14	0	12
	Roky Cay	2	23	7	14	8	12
	Yellow Moon	<LD	ND	9	11	0	7
	Frente Sharky's	<LD	2	9	11	0	11

ND= No hay datos para este sitio durante el último periodo evaluado.

<LD= Valor por debajo del Límite de Detección (<1.8 NMP/100 mL).

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2001-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario, coliformes termotolerantes <200 NMP/100 mL ([MinSalud, 1984](#)).

4.1.2 CONCLUSIONES

La calidad del agua en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina presentó buenas condiciones en función de las variables fisicoquímicas pH, temperatura, salinidad, con valores considerados normales en la literatura y dentro de los criterios de la legislación colombiana. En el caso del oxígeno disuelto algunas estaciones incumplieron la norma para preservación de flora y fauna.

Las concentraciones de fosfato inorgánico disuelto en el Archipiélago superaron los valores de referencia para el desarrollo de ecosistemas coralinos, lo cual indica la presencia de vertimientos recientes de aguas residuales domésticas. Sin embargo, las especies nitrogenadas se encontraron por debajo de los valores de referencia considerados nocivos para ecosistemas marinos

Las condiciones sanitarias de las estaciones en las islas mostraron excelentes condiciones para desarrollar actividades de contacto secundario como la pesca y deportes náuticos. La mayoría de las playas de interés turístico fueron aptas para el uso recreativo mediante contacto primario, a excepción de las estaciones Casablanca y muelle San Andrés que sobrepasaron el criterio de calidad para contacto primario en la época de lluvias 2013, pero cabe resaltar que fue un dato puntual para el momento del muestreo.

La Guajira



Zona costera de Riohacha. Foto: Janet Vivas

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

4.2 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 km², 1.458 km² de área costera y 789 km² de línea de costa desde el río Palomino hasta Punta Castilletes ([Posada y Henao, 2008](#); [Corpoguajira e Invemar, 2012](#)). 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 REDCAM cuenta actualmente con 23 estaciones de muestreo agrupadas en tres zonas: Alta Guajira que presenta lluvias escasas con valores menores de 500 mm/año, donde se encuentran las estaciones Cabo de la Vela, Manaure, Puerto Bolívar y Puerto Nuevo. La 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 hallan los ríos Palomino, Cañas, 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 puntos de muestreo en el vertimiento de aguas residuales, el muelle, la parte baja, frente del río Ranchería, las playas Mayapo y Riohacha (Figura 4.2.1).

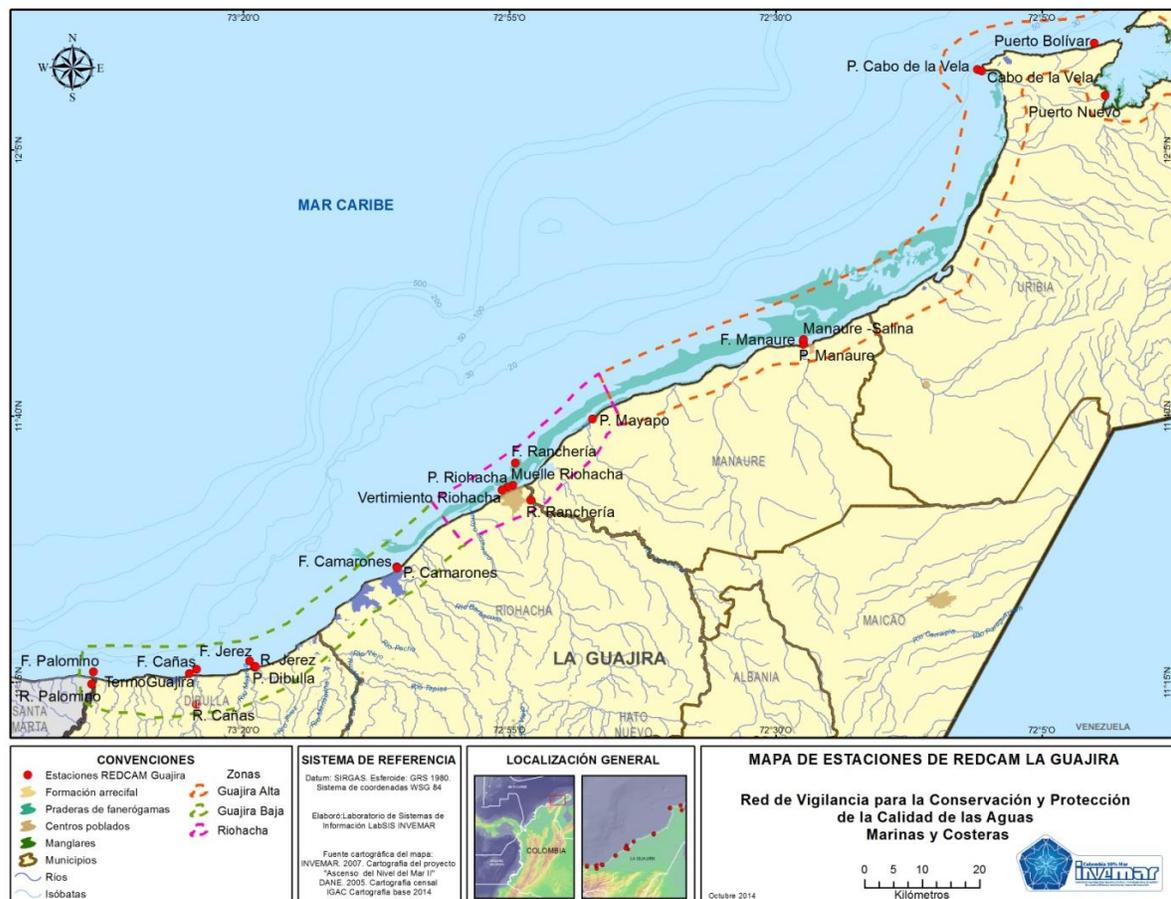


Figura 4.2.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de La Guajira.

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).

El presente informe incluye los resultados de los muestreos realizados del 21 al 23 de octubre del 2013 (en adelante época lluviosa 2014) y los días del 21 al 23 de abril del 2014 (en adelante época seca 2014), en las tres zonas del departamento.

4.2.1 CALIDAD DE AGUAS

Las mediciones de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados muestran el estado de calidad del agua marina y costera del departamento de La Guajira para el uso del recurso con fines recreativos y de preservación de la fauna y flora acuática en los ecosistemas asociados. A continuación se presentan los resultados de los muestreos realizados en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 (Tabla 4.2.1) contrastados con los datos históricos del monitoreo REDCAM del 2001 al 2013.

Tabla 4.2.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento de La Guajira.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	29,68	2,66	37,50	23,60	28,52	1,70	33,60	25,90
SST (mg/L)	100,66	121,08	558,00	20,40	76,70	85,29	374,00	4,60
Salinidad	26,41	13,96	39,00	0,00	29,06	17,27	64,50	0,00
pH			8,86	6,83			8,71	7,77
OD (mg/L)	6,41	1,50	9,94	4,33	6,48	1,48	8,79	2,63
NO ₃ (µg/L)	62,43	53,94	188,70	5,20	41,99	106,34	404,70	2,70
NO ₂ (µg/L)	3,02	2,43	8,40	0,70	1,93	2,02	7,50	0,80
NH ₄ (µg/L)	26,56	28,54	80,30	4,80	14,59	12,19	48,10	3,60
PO ₄ (µg/L)	39,38	83,62	400,90	2,40	17,20	18,82	68,50	3,00
CTT (NMP/100 mL)			3,30E+04	9,30E+00			0,00E+00	0,00E+00
CTE (NMP/100 mL)			3,30E+04	3,30E+01			7,00E+04	4,00E+00
TUR (NTU)	56,09	188,97	895,00	1,36	16,84	19,42	80,10	0,88
DBO (mg/L)	3,73	1,15	4,40	2,40	4,43	0,78	5,60	4,00
Cu (µg/L)	2,90	0,00	2,90	2,90	2,60	0,00	2,60	2,60
Ni (µg/L)	2,50	0,00	2,50	2,50	1,76	0,38	2,20	1,30
Fe (µg/L)	76712,00	0,00	76712,00	76712,00	28,28	28,86	130,70	9,90
HAT (µg/L)	3,47	10,93	49,64	0,13	0,69	0,55	2,20	0,10

4.2.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendidos totales

Las estaciones de monitoreo de calidad de aguas en la zona costera del departamento de La Guajira durante las épocas lluviosa 2013 y seca de 2014 mostraron variaciones con relación a las variables de salinidad, conductividad eléctrica, pH, temperatura, oxígeno disuelto (OD) y sólidos suspendidos totales (SST). Con el análisis de conglomerado se logró separar las estaciones en tres grupos según el tipo de agua, las marinas que abarcan las estaciones encontradas en la Alta Guajira, las cuales tienen poca influencia de aguas dulces; las estuarinas que comprenden las playas y los frentes con influencia de ríos y vertimientos en la Media y Baja Guajira, y por último las dulceacuícolas que incluyen los ríos (Figura 4.2.2).

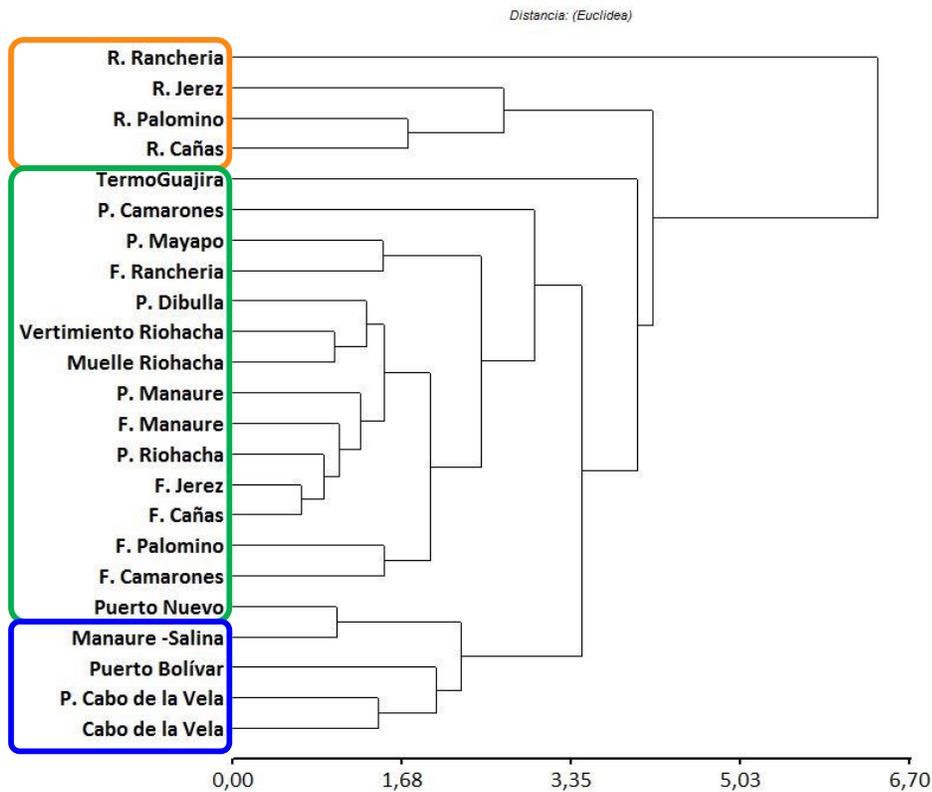


Figura 4.2.2. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento de La Guajira en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014. El recuadro naranja agrupa las estaciones dulceacuícolas, el verde abarca las estaciones estuarinas y el recuadro azul las estaciones marinas.

La salinidad en las estaciones marinas fluctuó entre 36,4 y 38,4 en época lluviosa 2013 y entre 35,7 y 39,0 en época seca 2014, siendo la estación Puerto Nuevo la de mayor salinidad en ambas épocas climáticas; las aguas en estas estaciones fueron ligeramente más saladas en la época seca ($37,6 \pm 0,8$) en comparación con la época de lluvias ($37,2 \pm 1,4$). En las estaciones estuarinas, la salinidad varió entre 12,0 y 35,8 en época lluviosa 2013, y entre 8,0 y 64,5 en época seca de 2014, valores históricamente normales en la mayoría de las estaciones, menos en la estación playa de Camarones, donde se registró un cambio drástico en la salinidad, pasando de 34,8 en época lluviosa a 64,5 en la

época seca, situación que no corresponde al comportamiento normal de esta variable en esta estación, y de continuar así podría generar cambios en las comunidades marinas encontradas en esta zona (Cifuentes *et al.*, 1997; Vivas-Aguas *et al.*, 2014). En los ríos se registraron salinidades de hasta 0,3, por la naturaleza de sus aguas. La conductividad eléctrica tuvo un comportamiento similar a la salinidad debido a que estas variables están directamente relacionadas.

Los valores de pH en las estaciones marinas y estuarinas estuvieron entre 7,6 y 8,7 en época de lluvias de 2013, mientras que en época seca 2014 mostraron oscilaciones entre 7,8 y 8,2; siendo las estaciones frente Manaure, playa del Cabo de la Vela, frente Camarones, playa Camarones y frente Ranchería las de mayores valores de pH en época de lluvias (entre 8,5 y 8,7) estando por encima del límite permisible para la preservación de fauna y flora según la legislación colombiana para este tipo de aguas (6,5 – 8,5; Minsalud, 1984), sin embargo estos valores no sobrepasan los 9,0 de pH. En las estaciones de los ríos el pH se registró entre 7,3 y 7,8 en época lluviosa 2013 y entre 7,8 y 8,7 en época seca 2014, valores que se encuentran dentro de los valores normativos para aguas dulces (4,5 a 9,0; Minsalud, 1984).

La temperatura del agua superficial en las estaciones marinas varió entre 25,9 y 30,3 °C, siendo las aguas marinas ligeramente más cálidas en la época de lluvias (29,8 ± 0,28 °C), en comparación con la época seca (27,3 ± 0,8 °C), lo cual podría atribuirse a la influencia de los vientos Alisios sobre la temperatura de las capas superficie del agua en la época seca (Cifuentes *et al.*, 1997). En las estaciones estuarinas la temperatura osciló entre 27,6 y 36,6 °C, con promedios de 30,8 ± 2,4 °C en época lluviosa 2013, y de 29,5 ± 1,6 °C en época seca 2014, siendo la estación Termoguajira la más cálida por la influencia de la central termoeléctrica de GECELCA S.A. E.S.P.; por último, las aguas en las estaciones de los ríos fluctuó entre 27,3 y 32,2 °C, con promedios de 26,1 ± 2,42 °C en época lluviosa 2013 y de 29,2 ± 2,3 °C en época seca 2014.

El OD en las estaciones marinas varió entre 5,2 y 9,9 mg/L, con promedios de 7,7 ± 1,9 mg/L en época lluviosa 2013, y de 6,4 ± 0,7 mg/L en la época seca 2014; las de mayor concentración fueron estación playa Cabo de la Vela en época de lluvias, y las de menor concentración en la estación Cabo de la Vela en época seca 2014. En las estaciones estuarinas las concentraciones estuvieron entre 2,6 y 6,9 mg/L, con promedios de 5,6 ± 0,4 mg/L en la época lluviosa 2013 y de 5,8 ± 1,4 mg/L en época seca 2014, siendo la estación de la playa de Camarones la de menor concentración (2,6 mg/L en época seca) estando por debajo de valor mínimo de referencia para considerar las aguas aptas para la preservación de la fauna y flora (4,0 mg/L de OD, Minsalud, 1984), situación que podría señalar una entrada de aguas residuales provenientes del municipio de Camarones. En las estaciones dulceacuícolas los valores del OD fluctuaron entre 6,3 y 8,8 mg/L, siendo más altas las concentraciones en época seca (8,6 ± 0,2 mg/L) en comparación con la época lluviosa (6,7 ± 0,5 mg/L), encontrándose por encima de la normatividad colombiana (>4,0 mg/L, Minsalud, 1984).

Los SST registraron valores entre 4,6 y 558,0 mg/L, encontrándose las mayores concentraciones en las estaciones río Ranchería (558,0 mg/L) en época lluviosa de 2013, playa de Camarones (374 mg/L) y playa Cabo de la Vela (207,7 mg/L) en época seca 2014; mientras que las menores concentraciones se registraron en las estaciones río Palomino (4,6 mg/L), playa Riohacha (24,7 mg/L) y Manaure-Salina (16,6 mg/L) en las estaciones marinas en época seca 2014.

Nutrientes

Se evaluaron las concentraciones de Nitritos (NO_2^-), Nitratos (NO_3^-), Amonio (NH_4^+) y Fosfatos (PO_4^{3-}) en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 en las estaciones marino costeras del departamento de La Guajira. Con respecto a los Nitritos, los resultados mostraron concentraciones entre el límite de detección (0,7 $\mu\text{g/L}$) y 8,4 $\mu\text{g/L}$, encontrándose los mayores valores en las estaciones estuarinas, principalmente en las influenciadas por los aportes del río Ranchería, como es el caso de Muelle Riohacha (8,4 $\mu\text{g/L}$), río Ranchería (5,9 $\mu\text{g/L}$) y frente del río Ranchería (5,9 $\mu\text{g/L}$) y en la estación Vertimiento Riohacha (7,2 $\mu\text{g/L}$) en época lluviosa 2013 (Figura 4.2.3), donde se realizan vertimientos de agua residual de manera frecuente con alta carga de materia orgánica de origen fecal. Por su parte, en época seca, las concentraciones más altas se registraron en las estaciones frente del río Jerez (7,5 $\mu\text{g/L}$), playa Cabo de la Vela (5,3 $\mu\text{g/L}$), Manaure-Salina (4,1 $\mu\text{g/L}$) y Termoguajira (3,1 $\mu\text{g/L}$), donde se desarrollan actividades agrícolas, recreativas e industriales que representan las principales fuentes de este nutriente (Quintero *et al.*, 2010).

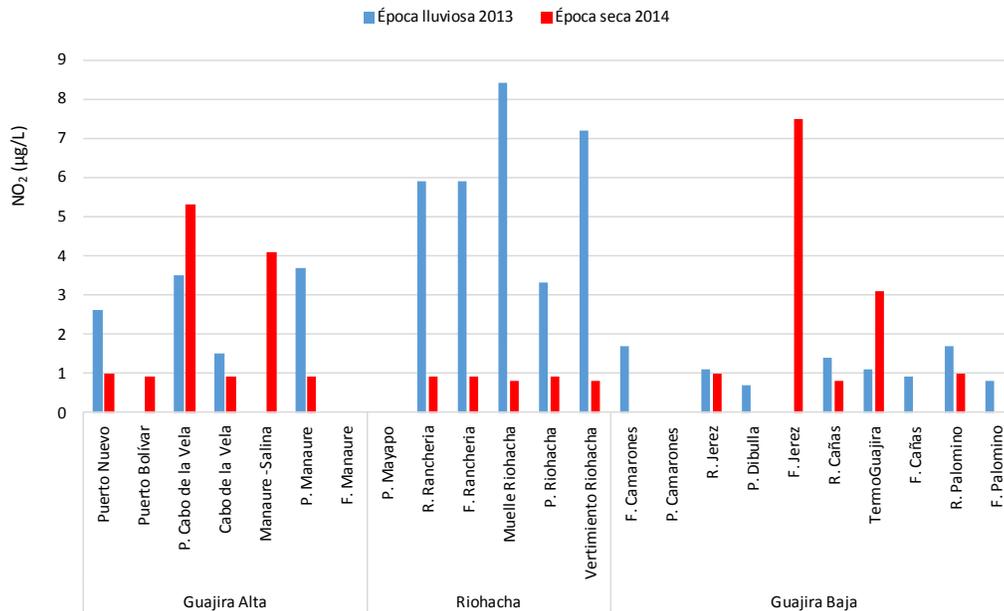


Figura 4.2.3 Concentraciones de Nitritos (NO_2^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Históricamente las concentraciones de Nitritos en las estaciones del departamento de La Guajira, han mostrado una tendencia de aumento en las épocas lluviosas (Figura 4.2.4), debido a que en esta época, las escorrentías de tierras agrícolas y de vertederos de residuos humanos y animales que llegan a los cuerpos de aguas receptores (Cedeño y Vargas, 2011), situación que se observa principalmente en las estaciones ubicadas en las zonas de Guajira Alta y Riohacha, mientras que en la zona de Guajira Baja, las estaciones muestran un comportamiento contrario, presentándose concentraciones más altas en época seca, principalmente en las estaciones de la playa y frente Camarones donde se desarrollan actividades turísticas recreativas.

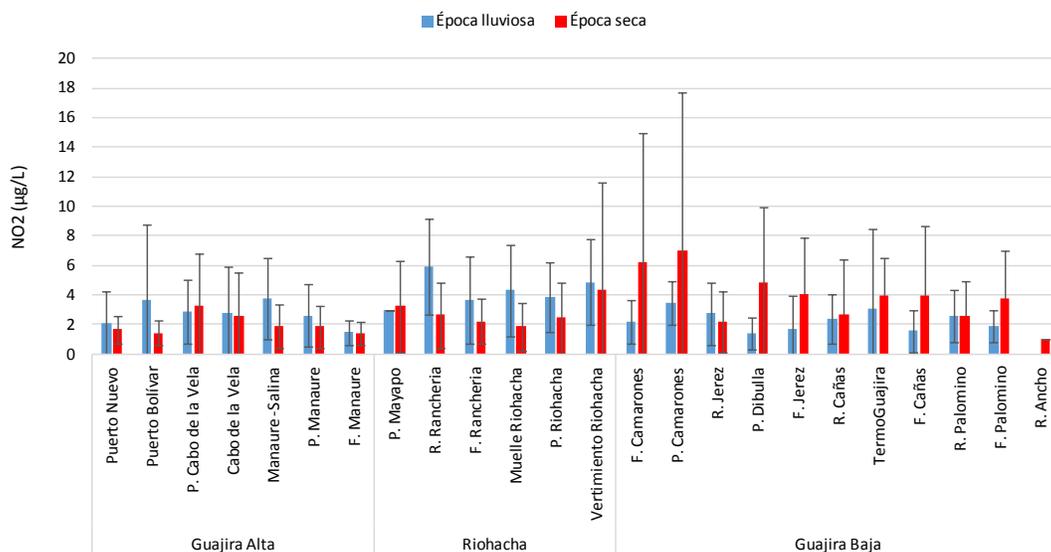


Figura 4.2.4. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Nitritos (NO₂) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira.

Los Nitratos presentaron concentraciones entre el límite de detección de la técnica analítica utilizada (2,1 µg/L) y 404,7 µg/L, encontrándose las mayores concentraciones en la época de lluvias, principalmente en la zona de Guajira Baja y en la zona influenciada por el río Ranchería donde se desarrollan mayores actividades agrícolas (Tamayo, 2012; Figura 4.2.5).

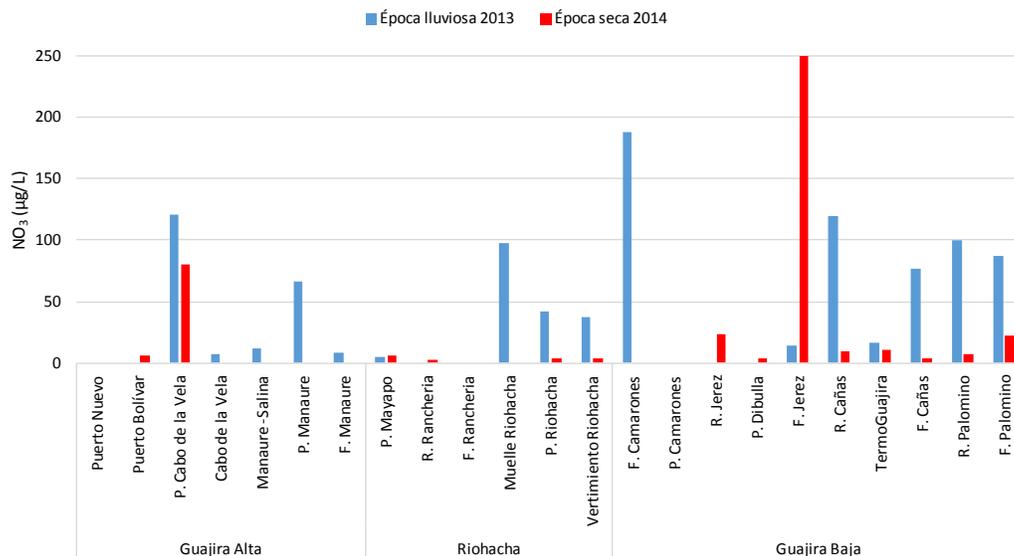


Figura 4.2.5. Concentraciones de Nitratos (NO₃) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El Amonio en época seca 2014 presentó la mayor concentración en la estación playa de Manaure (48,1 $\mu\text{g/L}$), seguido por la estación frente el río Jerez (34,7 $\mu\text{g/L}$), mientras que las menores concentraciones fueron registradas en las estaciones playa de Mayapo (3,6 $\mu\text{g/L}$) y frente del río Cañas (3,9 $\mu\text{g/L}$), siendo los más cercanos al límite de detección de la técnica analítica; por su parte las estaciones que presentaron valores por debajo del límite de detección fueron Puerto Nuevo, Cabo de la Vela, frente del río Ranchería, Muelle de Riohacha y vertimiento Riohacha (Figura 4.2.6). En época de lluvias de 2013 las concentraciones más altas se registraron en las estaciones frente a Camarones (80,3 $\mu\text{g/L}$), playa de Manaure (79,7 $\mu\text{g/L}$) y en el río Ranchería (57,1 $\mu\text{g/L}$), mientras que las concentraciones más bajas estuvieron en las estaciones paya de Riohacha (4,8 $\mu\text{g/L}$) y vertimiento Riohacha (6,0 $\mu\text{g/L}$), siendo las fuentes de este catión las aguas residuales domesticas de los asentamientos humanos de la zona.

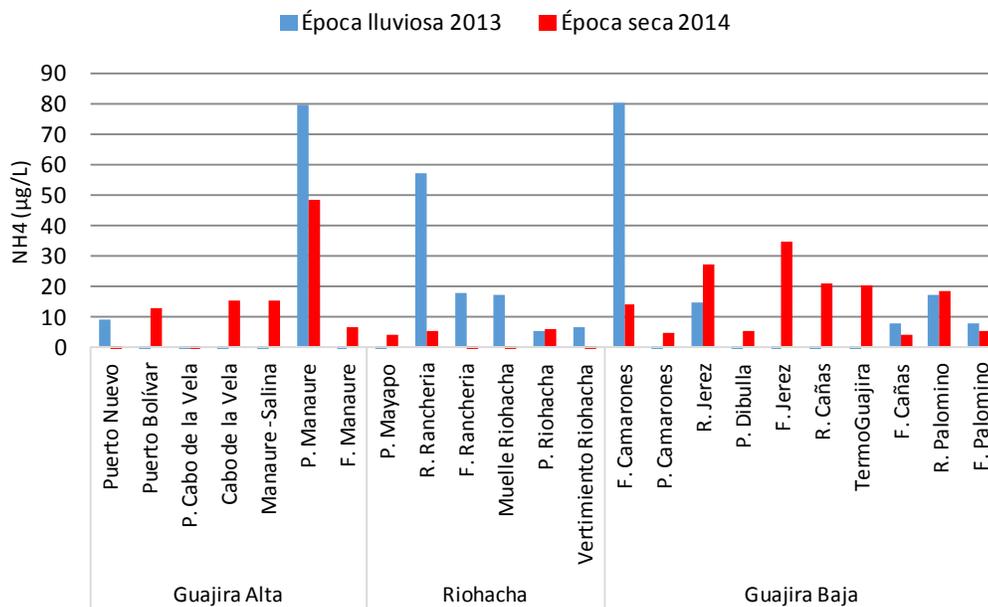


Figura 4.2.6 Concentraciones de Amonio (NH_4^+) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los Fosfatos mostraron mayores concentraciones durante la época de lluvias en comparación con la época seca, encontrándose los valores más altos en la zona influencia por el río Ranchería (Figura 4.2.7). La estación río Ranchería presentó un valor de 400,9 $\mu\text{g/L}$, siendo este tributario donde se vierten aguas residuales domesticas y pluviales de la ciudad de Riohacha, aportando a las altas concentraciones que favorecen el crecimiento excesivo de fitoplancton en el estuario, produciendo variaciones en las concentraciones de oxígeno (INVEMAR, 2014a).

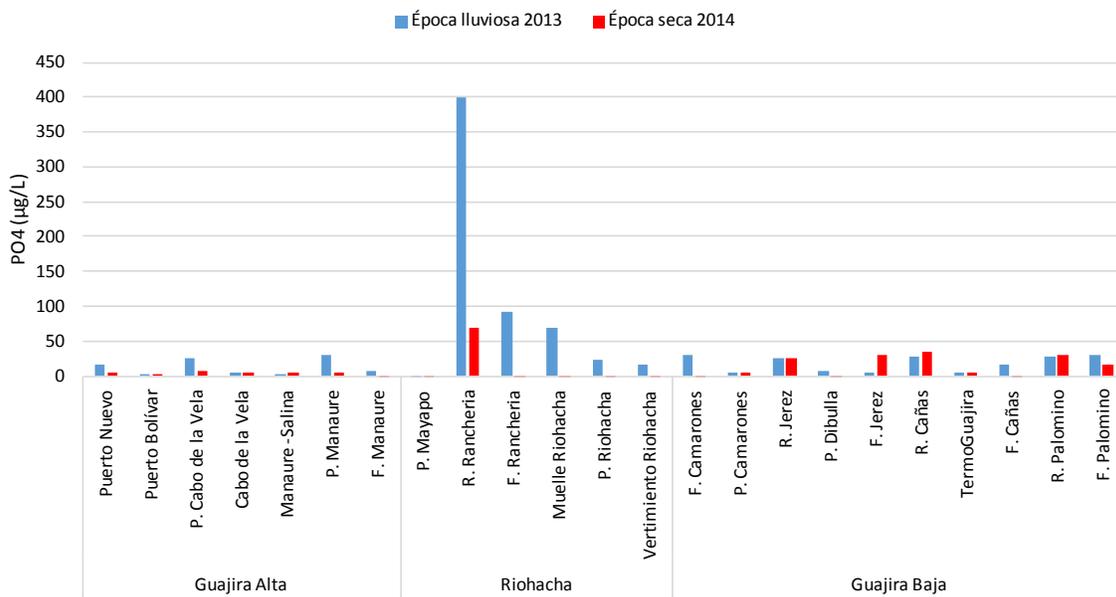


Figura 4.2.7 Concentraciones de Fosfatos (PO_4^{3-}) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los datos históricos desde 2001 hasta 2014 muestran la tendencia de las altas concentraciones en el río Ranchería, influenciado principalmente por los vertimientos de origen antrópico, que son menores en la alta Guajira donde se presentan las menores concentraciones (Figura 4.2.8). Cabe destacar que las estaciones de los ríos han sido de mayores concentraciones de Fosfatos.

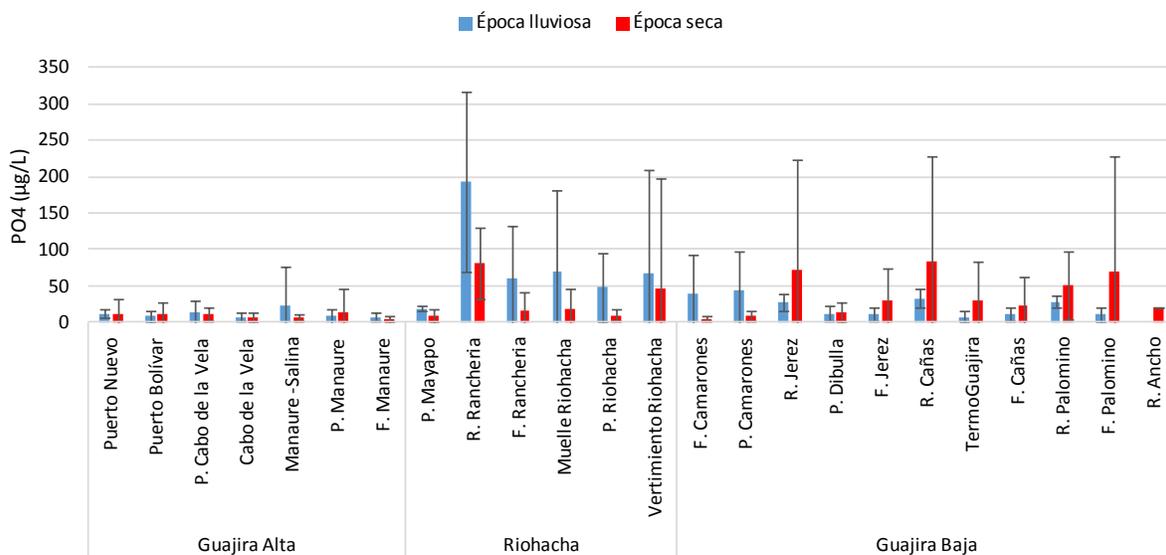


Figura 4.2.8. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Fosfato (PO_4^{3-}) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

4.2.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

En el departamento de La Guajira se han evaluado las condiciones sanitarias de alrededor 16 estaciones, esto a través de la determinación de Coliformes Totales (CTT) y Termotolerantes (CTE) en los cuerpos de aguas marinas y fluviales. Para el periodo lluvioso 2013, se encontraron altas concentraciones de CTT en las estaciones Puerto Nuevo (9.200 NMP/100 mL), río Ranchería (4.900 NMP/100 mL), Muelle Riohacha (3.500 NMP/100 mL), ríos Caña (33.000 NMP/100 mL) y Palomino (4.000 NMP/100 mL), con valores que sobrepasan los límites permisibles para contacto primario según la normatividad colombiana (1.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)), valores que indican vertimientos de aguas residuales. En época seca 2014, las estaciones de los ríos Ranchería (23.000 NMP/100 mL) y Palomino (70.000 NMP/100 mL), continuaron con problemas de contaminación microbiológica, sobrepasando los límites para contacto primario y secundario (Figura 4.2.9).

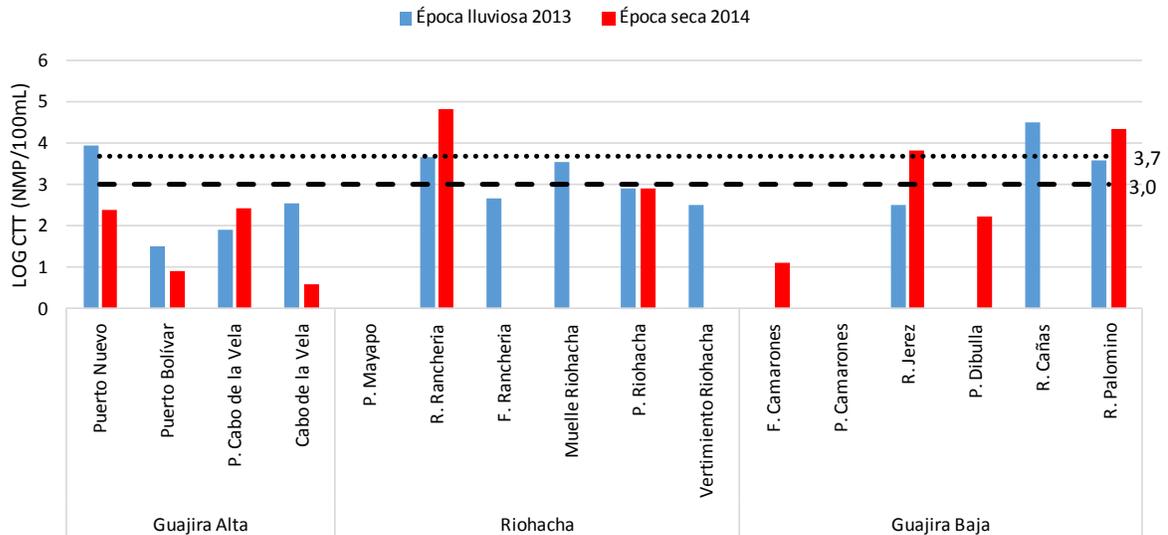


Figura 4.2.9. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Los registros históricos de CTT, evidencia que los ríos Ranchería, Cañas y Palomino, han sido recurrentes en sobrepasar el límite de 5.000 NMP/100 mL establecido para contacto secundario (actividades de pesca y el uso para riego agrícola; Figura 4.2.10; [MinSalud, 1984](#)). Estos ríos además de ser cuerpos receptores de aguas servidas y residuos sólidos de las comunidades aledañas, durante la época de lluvias reciben altas descargas de microorganismos indicadores a través de la escorrentía y la resuspensión de microorganismos depositados en los sedimentos. Por otro lado, la estación vertimiento Riohacha, evidencia que a pesar de que las concentraciones más altas de Coliformes totales se obtuvieron en el 2007 durante las épocas secas (1.600.000 NMP/100 mL) y lluviosas (200.000 NMP/100 mL).

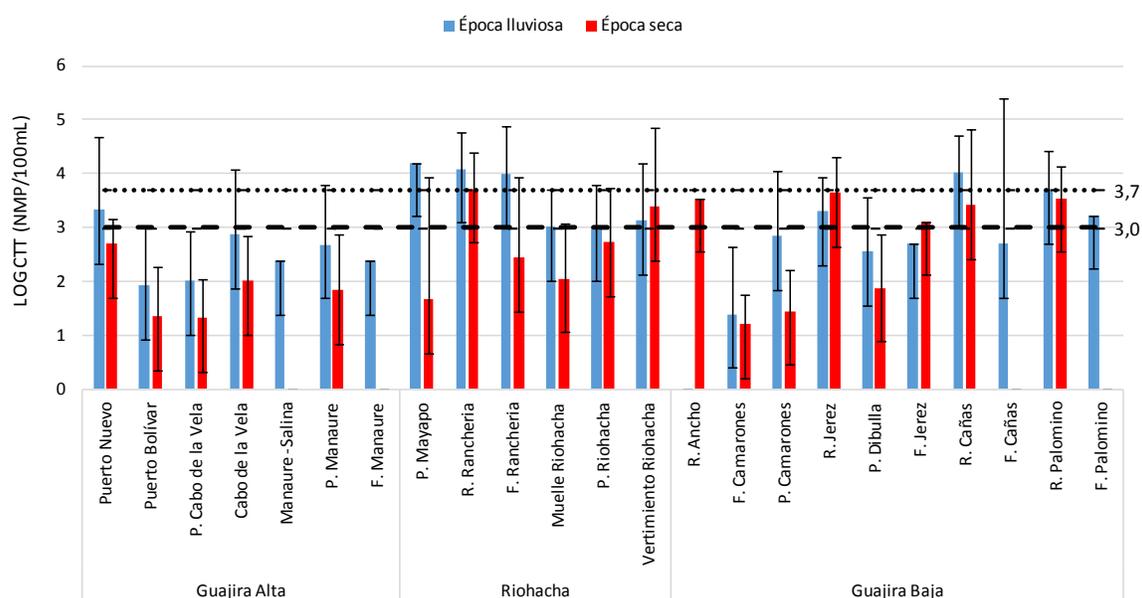


Figura 4.2.10 Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales determinados en las playas del departamento, se compararon con los valores los históricos (Tabla 4.2.2). Con respecto a los CTE, se encontraron valores por debajo del límite de detección (1,8 NMP/100 mL), indicando un estado de calidad óptimo para desarrollar actividades recreativas, a pesar que históricamente, la mayoría de casos de incumplimiento han ocurrido durante las épocas de lluvias (<200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)), al igual que las concentraciones de Enterococos. Esto se ve relacionado con la falta de cobertura del alcantarillado y el aumento de las descargas de los tributarios, lo cual no solo aporta una alta concentración de microorganismos, sino que favorece proliferaciones, por la disminución de la salinidad, pH alrededor de la neutralidad y aumento de nutrientes ([Hughes, 2003](#); [OMS, 2003](#)).

Tabla 4.2.2 Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las playas del departamento de La Guajira, durante la época lluviosa de 2013 y seca de 2014. Para los muestreos realizados en las época lluviosa de 2013 y seca 2014. Valores de referencia Coliformes Termotolerantes (<200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1948](#)).

Zona	Estación	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)						Enterococos (UFC.100/mL)					
		Época lluviosa			Época seca			Época lluviosa			Época seca		
		2013	% casos*	n	2014	% casos*	n	2013	% casos**	n	2014	% casos**	n
Guajira Alta	P. Cabo de la Vela	9,3	13	8	<LD	0	12	190	33	3	24	0	6
	Cabo de la Vela	49	29	7	<LD	8	12	280	67	3	5	0	5
	P. Manauare	ND	78	9	ND	10	10	ND	40	5	ND	60	5
Riohacha	P. Mayapo	<LD	33	3	<LD	25	4	6	0	2	4	33	3
	P. Riohacha	230	64	11	<LD	38	13	52	83	6	ND	29	7

Zona	Estación	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)						Enterococos (UFC.100/mL)					
		Época lluviosa			Época seca			Época lluviosa			Época seca		
		2013	% casos*	n	2014	% casos*	n	2013	% casos**	n	2014	% casos**	n
Guajira Baja	P. Camarones	ND	29	7	ND	0	10	ND	25	4	ND	29	7
	P. Dibulla	ND	38	8	<LD	8	12	ND	75	4	ND	57	7

ND= No hay datos para este sitio durante el último periodo evaluado.

<LD= Valor por debajo del Límite de Detección (<1.8 NMP/100 mL).

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2001-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario <200 NMP/100 mL ([MinSalud, 1984](#))

**Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2006-2014) en donde se presentaron valores por encima de la guía internacional según la Organización Mundial para la Salud para aguas de uso recreativo de contacto primario <40 UFC/100 mL ([OMS, 2003](#)).

4.2.1.3 HIDROCARBUROS

Para el período de lluvia 2013 y seca 2014, las concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) determinadas en agua superficial en la mayoría de estaciones oscilaron entre 0,13 µg/L y 49,6 µg/L, encontrándose en época seca valores por debajo del valor de referencia de 10 µg/L considerado de alto riesgo para la biota acuática ([Unesco, 1984](#)), mientras que en época de lluvias la concentración más alta se registró en la estación del río Ranchería (Figura 4.2.11), lo cual puede afectar a las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estas aguas. La presencia de estos residuos posiblemente se deba a las descargas de aguas servidas, actividades portuarias y transporte de hidrocarburos, residuos de lavaderos de carros de poblaciones cercanas; así como a las actividades de exploración que se realizan en la zona ribereña del río ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)).

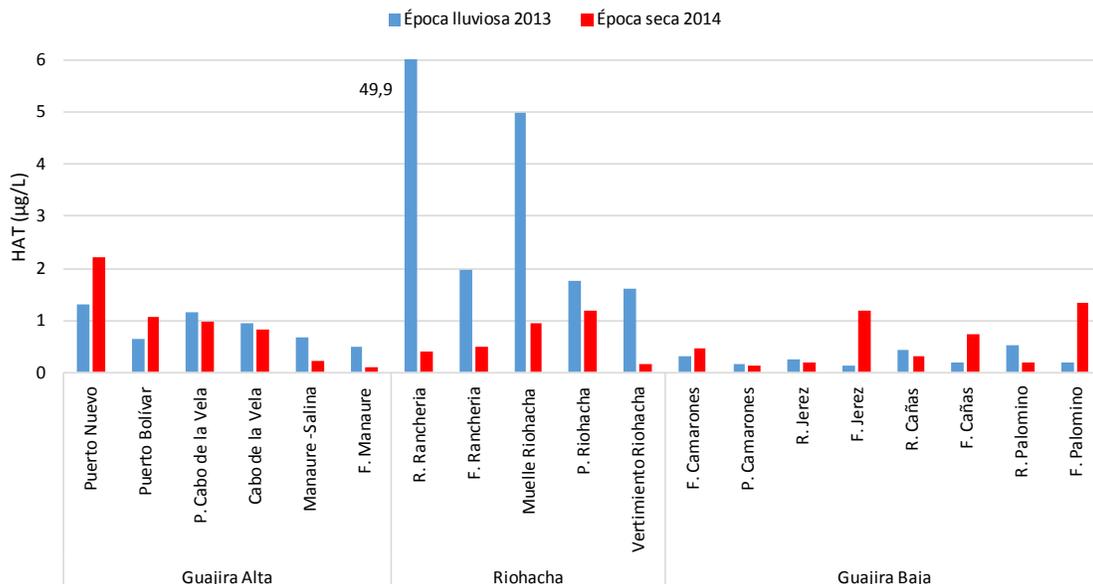


Figura 4.2.11 Concentraciones de Hidrocarburos Aromático Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El análisis histórico entre 2001 y 2014 mostró que para las zonas de la alta Guajira y Riohacha, las concentraciones más altas de HAT se registraron en épocas de lluvias respecto a la seca, sin embargo, para las estaciones de Guajira Baja no se ha observado una tendencia histórica similar (Figura 4.2.12). De la misma manera, se han detectado altas concentraciones en estaciones como frente Palomino (8,80 µg/L en 2001) y en el Cabo de la Vela (8,63 µg/L en 2003 y 5,59 µg/L en 2011), sin embargo, ninguna de estas sobrepasó el valor de referencia para aguas contaminadas, a excepción del río Ranchería en el 2013 (10 µg/L; [Unesco, 1984](#)). Estas concentraciones pueden ser ocasionadas principalmente por los vertimientos de residuos oleosos de la actividad marítima y portuaria, el tráfico de buques y lanchas así como la exploración, explotación y el transporte de petróleo y sus derivados en esta zona ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)).

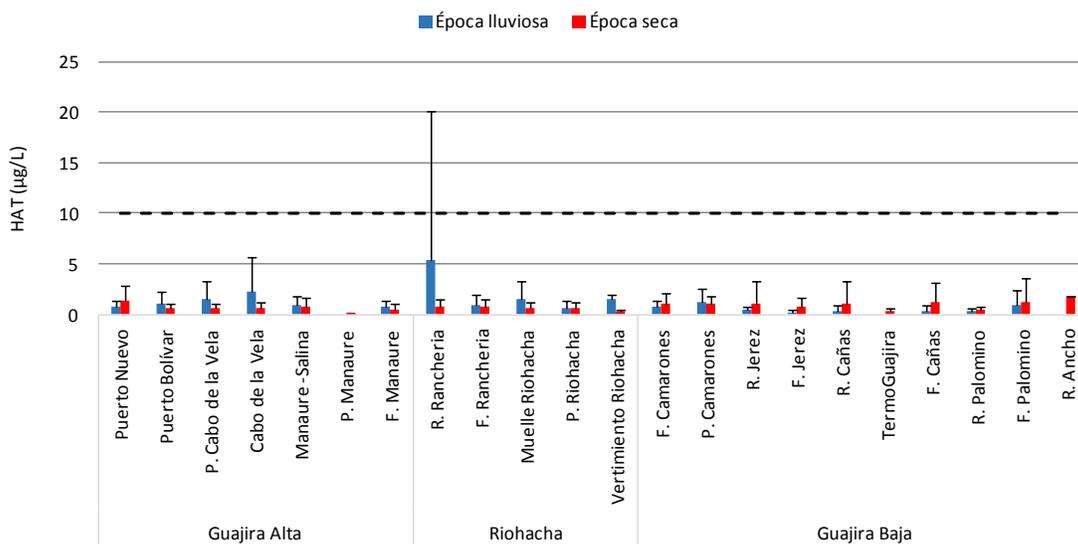


Figura 4.2.12 Promedio histórico (2001 - 2014) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de La Guajira. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea discontinua de 10 µg/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según [Unesco \(1984\)](#).

4.2.1.4 PLAGUICIDAS

Además de la alta actividad minera en La Guajira, el departamento cuenta con territorios agrícolas, principalmente en los municipios de Riohacha, Dibulla, Barrancas y Fonseca, siendo los principales cultivos el de algodón, pastos, tabaco, cereales, frutas, entre otros, en los cuales se han empleado plaguicidas comunes en la agricultura comercial ([CORPOGUAJIRA, 2011](#)).

En el monitoreo de la REDCAM, los registros históricos de las concentraciones de compuestos Organoclorados (OC) 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, que permitió determinar nuevos analitos a partir del 2010. Entre el período 2001 a 2008 el límite de detección para los OC era de 0,03 ng/L y sólo se reportaban cuatro analitos (Heptacloro, Aldrin, hexaclorociclohexano y metabolitos del DDT); para entonces, los valores que se determinaron mostraban presencia puntual en los años 2001, 2004, 2007 y 2008 (Figura 4.2.13a), encontrándose en

este último año, una concentración de 30,1 ng/L en la estación frente al río Palomino, que alcanzó el valor de referencia considerado como riesgo para el ambiente acuático (30 ng/L; [EPA, 2009](#)).

A partir del 2009 aunque cambió el límite de detección a 6,0 ng/L, se registraron altas concentraciones de OC (Figura 4.2.13b), debido al aumento en el número de analitos reportados que pasó de 4 a 11 analitos. Durante la época seca de 2009 en la estación río Ranchería se reportó 32,4 ng/L, que superó la referencia, y en el mismo año en época de lluvias se determinaron valores de OC en las estaciones frente a cañas (12,2 ng/L), muelle Ranchería (16,4 ng/L), río Palomino (15,7 ng/L) y Cabo de la vela (23,6 ng/L), que aunque no superan el valor de referencia (30 ng/L; [EPA, 2009](#)), representarían una alerta para continuar con el monitoreo de dichos residuos en la zona. La presencia de dichos valores podría ser un indicador de la persistencia de estas sustancias en los suelos agrícolas que son arrastrados a las fuentes hídricas. Sin embargo, a partir de 2010 y hasta el 2014, las concentraciones de los OC han estado por debajo del límite de detección del método analítico (6,0 ng/L; Figura 4.2.13b).

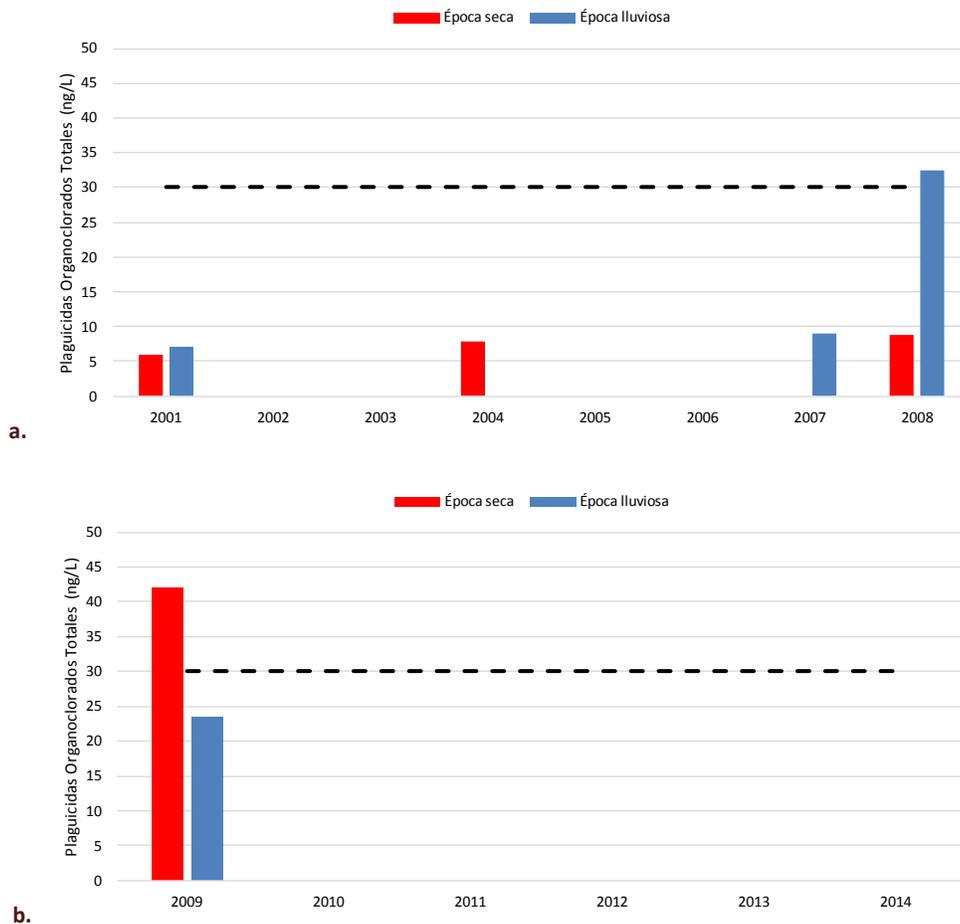


Figura 4.2.13 Concentración de plaguicidas en aguas superficiales del departamento de La Guajira; a) valores registrados antes de la implementación de nuevos equipos y técnicas analíticas (2001-2008); b) valores registrados después de la implementación de nuevas técnicas analíticas (2009-2014). La línea discontinua de 30 ng/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según [EPA \(2009\)](#).

Con respecto al monitoreo de plaguicidas de uso actual iniciado a partir de 2009, se ha detectado la presencia de residuos de clorotalonil, metil paration y clorpirifos en la zona de influencia del río Palomino y en Riohacha (especialmente en la zona influenciada por el río Ranchería), posiblemente generada por las escorrentías de las zonas agrícolas aledañas. No obstante, los niveles medidos para estas moléculas han estado por debajo del valor de referencia según el NOAA (Buchman, 2008; Tabla 4.2.3) y no representan riesgo para los organismos acuáticos. A partir de 2012 y hasta la época seca de 2014 no se han detectado estos compuestos en las estaciones monitoreadas.

Tabla 4.2.3 Concentraciones de plaguicidas encontradas en aguas superficiales de La Guajira entre el 2009 y 2014. Valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).

Época climática	Estación	Clorotalonil (ng/L)	Clorpirifos (ng/L)	Metilparation (ng/L)
Lluvias 2009	Cabo de la vela	20,7	-	-
	Río Ranchería	115,6	-	-
Seca 2010	Río Cañas	-	-	32,3
	Frente a Cañas	-	-	65,9
Lluvias 2010	Río Cañas	-	-	37,1
	Frente a Cañas	-	-	57,5
	Frente a Palomino	-	-	19,7
Seca 2011	Río Cañas	-	27,9	-
	Río Palomino	-	52,2	-
	Río Ranchería	-	22,1	-
	Playa Riohacha	-	16,5	-
2012	-	-	-	-
2013	-	-	-	-
2014	-	-	-	-
Valor de referencia para efectos agudos	Aguas dulces	180	83	CL50 : 1,9 - 8.9 mg/L*
	Aguas marinas	360	11	

* Ecotoxenet, (2012). – No detectado

4.2.1.5 METALES PESADOS

En época lluviosa de 2013 el Plomo (Pb) disuelto solo fue detectable en la estación playa Riohacha (3,1 µg/L) mientras que en época seca de 2014 fue detectado en la estación Termoguajira (3,4 µg/L). En ambos casos se mantuvo por debajo del valor de referencia reportado en la guía internacional de la NOAA (210,0 µg/L; Buchman, 2008).

El nivel de Cadmio (Cd) disuelto en ambas épocas permaneció por debajo del límite de detección de la técnica analítica. Históricamente este metal no ha superado el valor referenciado en guías internacionales, salvo en época seca de 2013 que registró una concentración de 81,3 µg/L en la estación frente al río Ranchería. No obstante, en el posterior monitoreo, los niveles de Cd estuvieron por debajo del valor de referencia, sugiriendo que se trata de un caso puntual sin mayor repercusión en la salud de biota acuática.

El Cromo (Cr) disuelto en ambas épocas estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, de forma que no presenta ningún riesgo para la salud al no superar los valores referenciados en guías internacionales (50,0 µg/L; CONAMA, 2005).

El Zinc (Zn), durante la época lluviosa de 2013 estuvo por debajo del límite de detección, mientras que, para la época seca de 2014, las estaciones Manaure - Salinas (7,5 µg/L), playa Camarones (11,7 µg/L) y río Palomino (13,2 µg/L) fueron las únicas con valores detectables de este metal, no obstante, ninguna superó el valor de riesgo establecido en la guía internacional de la NOAA (90,0 µg/L; [Buchman, 2008](#)). Para el Cobre (Cu) disuelto, durante la época lluviosa de 2013, solo fue detectable en la estación vertimiento Riohacha (1,2 µg/L), mientras que en época seca de 2014 sólo se registró en el río Ranchería (2,6 µg/L). Ninguna estación superó la concentración considerada peligrosa para la biota acuática en la guía internacional de la NOAA (4,8 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

La concentración promedio de Níquel (Ni), en época lluviosa de 2013 fue $1,6 \pm 0,2$ µg/L con una máxima concentración de 1,9 µg/L registrados en el Cabo de la Vela. Para la época seca de 2014 la concentración promedio registrada fue $1,8 \pm 0,4$ µg/L, con una concentración máxima de 1,7 µg/L en el río Jerez. En ambas épocas climáticas, los niveles de níquel estuvieron muy por debajo del valor de referencia reportado en la guía internacional de la NOAA (74,0 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

El Hierro (Fe) fue el metal que registró mayor concentración en las aguas marino-costeras del departamento de La Guajira. En época lluviosa de 2013 presentó una concentración promedio de $74,1 \pm 94,8$ µg/L con valor máximo en la estación río Ranchería (277,6 µg/L), mientras que en época seca de 2014 la concentración promedio fue de $28,3 \pm 28,9$ µg/L con nivel máximo de 130,7 µg/L en el mismo río. En ambas épocas climáticas, el nivel de hierro estuvo por debajo del valor de referencia reportado en la guía internacional de la NOAA (300,0 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

4.2.1.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

El índice de calidad de aguas durante la época lluviosa 2013, mostró que las mejores condiciones (adecuadas y aceptables) del agua marino-costera para la preservación de flora y fauna se presentaron en algunas estaciones de las zonas de La Guajira alta y baja (Figura 4.2.14); mientras que en la zona de Riohacha la calidad del agua fue inadecuada en la mayoría de las estaciones (Figura 4.2.14), debido a la influencia de los residuos de las actividades domésticas y la descarga del río Ranchería que tributa muy cerca de esta zona. En la época seca 2014, la calidad del agua mejoró en la mayoría de las estaciones, a excepción de Punta Cabo de la Vela que obtuvo una pésima calidad debido a las altas concentraciones de SST (207,7 mg/L), Nitratos (80,6 µg/L) y DBO₅ (5,6 mg/L), que afectaron las condiciones para la preservación de la flora y fauna acuática. De igual forma, la playa de Mayapo presentó una calidad inadecuada por las altas concentraciones de SST y en la playa Camarones que además de altos SST, hubo baja disponibilidad del oxígeno disuelto.

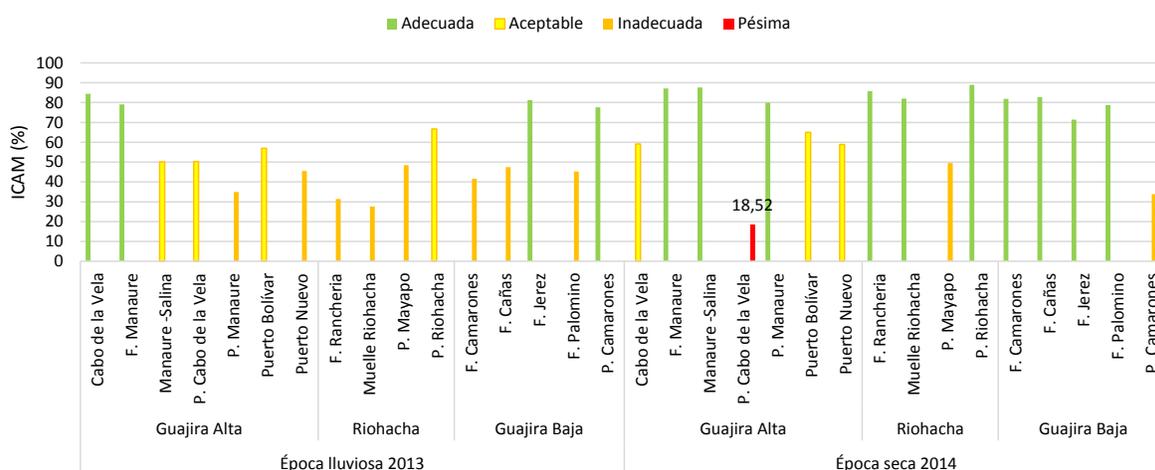


Figura 4.2.14. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), Época lluviosa 2013 y Época seca 2014, en las estaciones en el departamento de La Guajira

4.2.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

4.2.2.1 MATERIA ORGÁNICA

Se evaluó el contenido de materia orgánica en la estación frente al río Ranchería obteniéndose un valor de 8,3 mg/g. El nivel de materia orgánica en la zona es congruente con el contenido de nitratos, los cuales indican presencia de actividad bacteriana; por su parte, los fosfatos que se relacionan con la diagénesis de los suelos, sin embargo se sugiere un mayor número de monitoreo de este tipo para determinar el comportamiento de la materia orgánica y los procesos que pueden influenciarlo (Montalvo, 2006).

4.2.2.2 HIDROCARBUROS Y PLAGUICIDAS

Las concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) determinadas en los sedimentos provenientes de la estación frente al río Ranchería, no superaron el valor de referencia en las dos épocas climáticas evaluadas: lluviosa 2013 (0,93 µg/g) y seca 2014 (0,10 µg/g; Tabla 4.2.4). La variabilidad temporal demostró que no existe una entrada constante de residuos de hidrocarburos al medio, además de que los contaminantes no quedan permanentemente retenidos y pueden ser liberados a la columna de agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de materia orgánica (Said, 2007).

Tabla 4.2.4. Concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales medidos en sedimentos del departamento del Atlántico, durante la época lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Estación	Época Lluviosa 2013	Época seca 2014
	HAT (µg/g)	HAT (µg/g)
Frente a Ranchería	0,93	0,10
Valor de referencia	3,9 *	3,9 *

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

Por otra parte, durante la evaluación de plaguicidas en sedimentos entre 2013 y 2014 no se registró presencia de ninguno de los analitos evaluados, sin embargo, se recomienda mantener la vigilancia de dichos residuos puesto que en varios de los monitoreos realizados por la REDCAM se han evidenciado la presencia de estos compuestos en las aguas de la zona.

4.2.2.3 METALES PESADOS

Se evaluó el contenido de metales pesados en sedimentos de la estación frente al río Ranchería, por considerarse una vía importante de ingreso de estos contaminantes al mar. En la Tabla 4.2.5 se muestran las concentraciones de los metales medidos, en ella se observa que en la época lluviosa de 2013, solo el Fe superó los valores guía, sin embargo este metal no es considerado altamente peligroso para la biota acuática; por otro lado, el Ni mostró el valor más alto en época seca de 2014 (42,8 µg/g), encontrándose en el límite del valor guía reportado, por lo que es recomendable seguir monitoreando el comportamiento de este metal, para determinar su tendencia y posibles fuentes. Los demás metales analizados estuvieron por debajo del valor guía por lo que no se consideran de riesgo para el desarrollo de la vida acuática.

Tabla 4.2.5. Concentraciones de Pb, Cd, Cr, Cu, Zn y Ni (µg/g) y Fe (mg/g) medidas en sedimentos superficiales del departamento de La Guajira en la época lluviosa 2013 y la época seca 2014. Los valores de referencia fueron tomados de la tabla Squirts de la NOAA (Buchman, 2008) y de Feria *et al.* (2010).

	Pb (µg/g)		Cd (µg/g)		Cr (µg/g)		Cu (µg/g)		Zn (µg/g)		Ni (µg/g)		Fe (mg/g)	
	lluvia 2013	seca 2014												
Frente al río Ranchería	5,2	46,6	<0,5	<0,5	20,8	6,4	2,9	5,1	29,3	9,2	2,5	42,8	76,7	6,6
Valor de referencia PEL	112,0		4,21		160,0		108,0		271,0		42,8		-	
Barbate Estuary (Spain)	32,6		1,2		-		35,9		82,0		35,4		27,9	
Guadalquivir Estuary (Spain)	63,4		2,0		-		61,7		122,8		39,8		27,1	
Guadamar river place lower (Spain)	28,0		-		-		10,0		50,0		20,0		30,3	

4.2.3 CONCLUSIONES

La calidad de las aguas del departamento de La Guajira en la época lluviosa 2013 presentó condiciones adecuadas en la mayoría de las estaciones en relación a los valores de pH a excepción de las estaciones frente Manaure, playa del Cabo de la Vela, frente a Camarones, playa Camarones y frente Ranchería en donde esta variable estuvo por encima de los valores normativos para las aguas marinas, no así los valores registrados no son considerados letales para organismos marinos de acuerdo a la literatura científica revisada. La estación playa de Camarones tuvo valores de oxígeno disuelto por debajo del mínimo requerido por la legislación colombiana para la preservación de la fauna y flora, además de altos valores de salinidad y sólidos suspendidos encontrándose por fuera de los rangos históricos de la REDCAM.

Las concentraciones de nutrientes fueron mayores en la época de lluvias, debido al arrastre de éstos hacia los ríos de la zona, provenientes de los cultivos agrícolas que utilizan agroquímicos con estos iones, además de los vertimientos de aguas residuales domesticas de los principales asentamientos costeros del departamento.

La calidad microbiología de las aguas de la zona costera del departamento de La Guajira de algunos ríos no es adecuada para realizar actividades recreativas por contacto primario como natación puesto que no cumplen con el criterio de calidad de la legislación colombiana. En cuanto a las playas de interés turístico, los valores de Coliformes Termotolerantes estuvieron por debajo de los límites permisibles según la legislación colombiana y son aptas para su uso por bañistas, por otro lado, los niveles de Enterococos Fecales demuestran que ha habido una influencia de origen fecal ya sea por los aportes de los tributarios o por las escorrentías de las zonas pobladas durante la época lluviosa.

Las concentraciones de hidrocarburos medidas en las aguas costeras del departamento fueron inferiores al valor de referencia ($<10 \mu\text{g/L}$) para aguas no contaminadas. Sin embargo, el río Ranchería presentó la concentración más alta durante la época de lluvias de 2013, superando la referencia, posiblemente generada por el manejo de crudo y sus derivados, operaciones de transporte y actividades propias de la zona ribereña. Por el contrario, los sedimentos provenientes de la estación frente a dicho río presentaron concentraciones que no superaron el valor de referencia sugerido por la NOAA para sedimentos no contaminados.

Tanto en aguas como en sedimentos, los plaguicidas analizados presentaron concentraciones por debajo del límite de detección de los métodos aplicados, sin embargo, debido a la presencia ocasional que han mostrado estos compuestos en las aguas del departamento, se hace necesario mantener la vigilancia ya que se han registrado compuestos altamente persistentes como los plaguicidas organoclorados lo que puede afectar el medio marino.

Las concentraciones de metales pesados en las aguas del departamento de La Guajira no superaron los niveles reportados en guías internacionales, por lo que se puede considerar de buena calidad. Con respecto a los metales en sedimentos, el Níquel registró una concentración igual al valor guía reportado por la NOAA. Los demás metales estuvieron por debajo de estos valores, considerándose que no hay riesgo por contaminación de metales pesados. Es recomendable continuar con el monitoreo de Níquel para establecer su comportamiento y posibles fuentes de contaminación.

El ICAM calculado, presentó calidad *pésima* en época seca 2014 en Punta Cabo de la Vela, lo cual indicó que las condiciones son poco favorables para la preservación de fauna y flora.

Magdalena



Boya 2 y el Morro en Bahía de Santa Marta. Foto: Karen Ibarra

EQUIPO TÉCNICO CORPAMAG

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

4.3 MAGDALENA

El departamento del Magdalena se sitúa en la costa norte de Colombia, enmarcado 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 temporada de lluvias; la primera entre abril y mayo y la segunda entre septiembre y noviembre, y épocas 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 km²), dominado por una serie de ríos que descienden de la SNSM.

La REDCAM cuenta con 42 estaciones de muestreo distribuidas en cinco zonas: la Zona de Buritaca que abarca ríos de gran importancia como Don Diego, Buritaca, Guachaca y Mendihuaca; la 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 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 esorrentías 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 ([INVERMAR y MADS, 2011](#)); la 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 4.3.1).

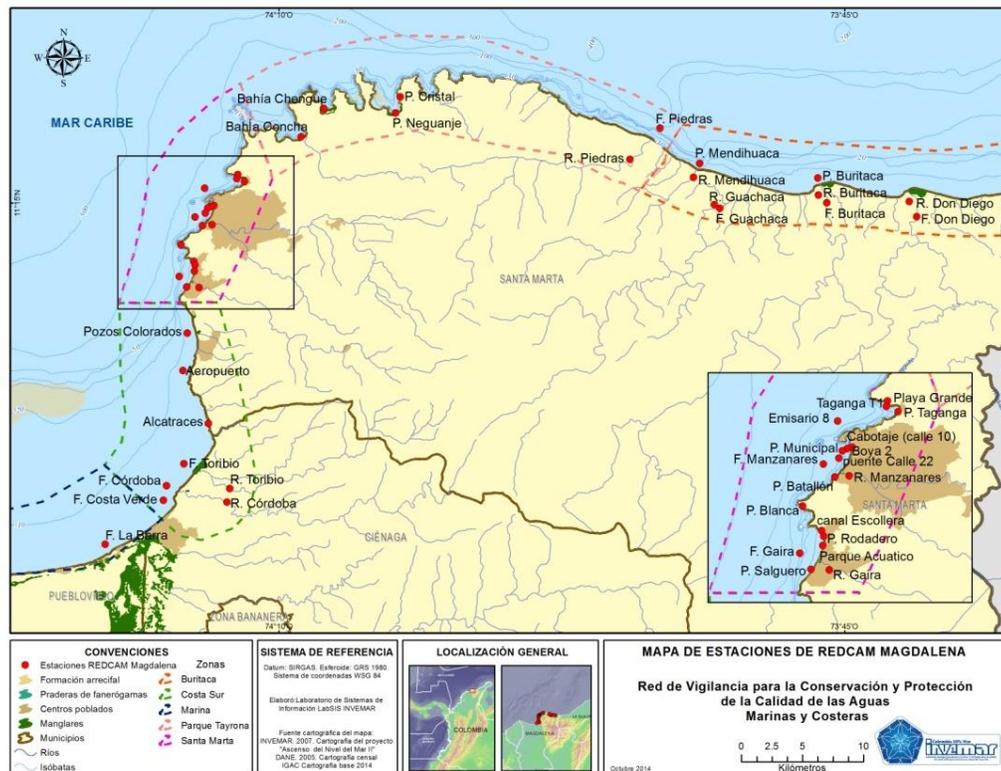


Figura 4.3.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Magdalena.

En el presente informe se muestran los resultados de los muestreos de calidad de aguas realizados entre el 20 y 21 de agosto de 2013 (en adelante, época lluviosa 2013) y en los días 28 y 29 de abril de 2014 (en adelante, época seca 2014) en las cinco zonas de muestreo y los resultados de calidad de sedimentos de la estación frente al río Manzanares.

4.3.1 CALIDAD DE AGUAS

Las mediciones de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados muestran el estado de calidad del agua marina y costera del departamento del Magdalena para el uso del recurso con fines recreativos y de preservación de la fauna y flora acuática en los ecosistemas asociados. A continuación se presentan los resultados de los muestreos realizados en las épocas lluviosa 2013 y época seca 2014 (Tabla 4.3.1), contrastados con los datos históricos del monitoreo REDCAM del 2001 al 2013.

Tabla 4.3.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento del Magdalena.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	26,95	2,06	32,60	23,60	28,31	1,65	32,20	24,50
SST (mg/L)	20,96	15,76	93,40	1,70	37,06	33,61	161,10	2,90
Salinidad	28,72	15,17	37,30	0,00	28,75	14,73	37,00	0,00
pH			8,54	7,28			8,33	7,25
OD (mg/L)	6,81	0,98	10,13	4,51	6,45	0,89	8,60	4,13
NO ₃ (µg/L)	27,07	46,89	231,50	0,90	30,49	61,13	227,50	2,10
NO ₂ (µg/L)	2,26	2,04	8,30	0,60	0,36	1,79	7,20	0,70
NH ₄ (µg/L)	31,93	116,62	766,70	2,30	32,56	55,64	284,10	4,40
PO ₄ (µg/L)	19,21	26,62	112,90	2,00	21,05	43,00	213,10	2,80
CTT (NMP/100 mL)			2,40E+05	1,80E+00			2,40E+04	2,00E+00
CTE (NMP/100 mL)			2,40E+05	1,80E+00			7,90E+03	7,80E+00
TUR (NTU)	2,92	4,06	22,40	0,15	4,70	5,67	24,70	0,23
DBO (mg/L)	1,64	1,14	4,00	0,60	1,55	1,25	4,30	0,00
Fe (µg/L)	62,20	87,80	360,65	1,98	23,46	22,40	102,20	6,00
HAT (µg/L)	0,51	0,42	2,43	0,15	0,21	1,05	3,43	0,07

4.3.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendedos totales

Las estaciones de monitoreo de calidad de aguas en la zona costera del departamento del Magdalena durante la época lluviosa de 2013 y seca 2014 mostraron diferencias entre las variables de salinidad, conductividad eléctrica, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales (SST), turbidez y oxígeno

disuelto (OD). Con el análisis de conglomerado se logró separar las estaciones con mayores afinidades entre sí en dos grupos según el tipo de aguas, siendo las variables de salinidad y los sólidos suspendidos totales determinantes en la agrupación (Figura 4.3.2). El primer grupo se denominó “dulceacuícolas” conformado por los ríos del departamento y el segundo grupo se le nombró “marino-costeras” porque las aguas de las estaciones presentaron características de aguas marinas y estuarinas con salinidades variadas, en este grupo se incluyeron las ubicadas en los frentes de los ríos y las playas.

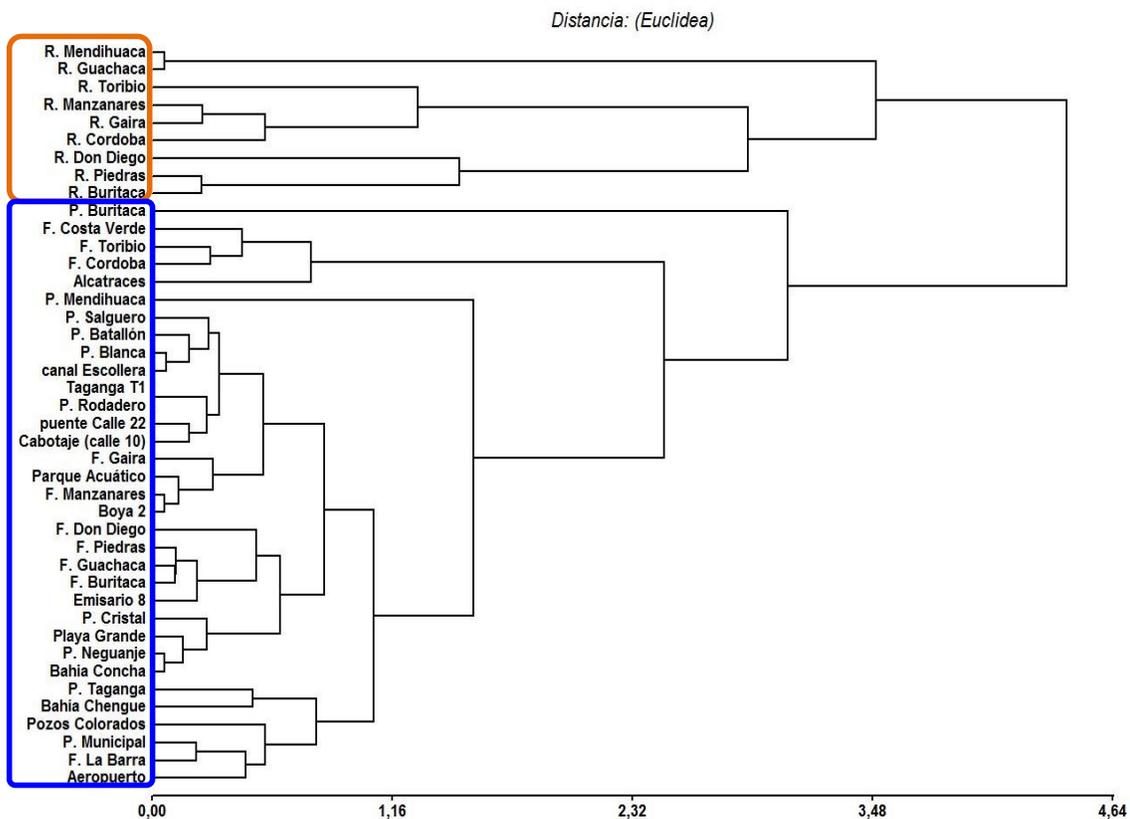


Figura 4.3.2. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento del Magdalena en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014. El recuadro azul indica las estaciones con influencia marino-costera y el naranja las ubicadas en los ríos.

La salinidad en las estaciones marino-costeras fluctuó entre 27,4 y 36,7, donde los valores máximos fueron registrados en las estaciones bahía Chengue (36,7) y bahía Concha (36,3) en época de lluvias y en época seca respectivamente, mientras que los valores mínimos se reportaron en las estaciones frente del río Toribio (35,1) y en playa Salguero (27,4) por estar influenciados por las aguas de los ríos Toribio y Gaira. En las estaciones dulceacuícolas las salinidades máximas fueron de 0,4 en época de lluvias y de 0,5 en época seca.

El pH en las estaciones marino-costeras osciló entre 7,5 y 8,3, siendo valores característicos para las aguas marinas y estuarinas; por su parte, en las estaciones dulceacuícolas los valores fluctuaron entre 7,1 y 8,5; en general el pH de las aguas de la zona costera del departamento se encontraron dentro de los rangos de pH permisibles para la preservación de la fauna y flora según la legislación

colombiana (valores de 6,5 a 8,5 para aguas marinas-estuarinas y de 4,5 a 9,0 para aguas dulces; [Minsalud, 1984](#)).

La temperatura del agua superficial en las estaciones marino-costeras se registró entre 26,8 y 31,8 °C, encontrándose las aguas ligeramente más cálidas en la época de lluvias de 2013 ($29,5 \pm 0,7$ °C), en comparación con la época seca de 2014 ($28,3 \pm 1,3$ °C); situación contraria se presentó en las estaciones dulceacuícolas en donde la temperatura de las aguas fue levemente mayor en época seca de 2014 ($27,7 \pm 2,7$ °C), en comparación con la temperatura de las aguas en época de lluvias de 2013 ($28,4 \pm 2,8$ °C).

Los SST en las estaciones marino-costeras variaron en un rango entre 13,2 y 107,6 mg/L encontrándose las concentraciones más altas en las estaciones Muelle Cabotaje (107,6 mg/L) en época de lluvias de 2013 y frente Costa Verde (61,0 mg/L) en época seca 2014; mientras que en las estaciones dulceacuícolas fueron de 2,3 - 242,2 mg/L, presentándose las mayores concentraciones en las estaciones de los ríos Toribio (242,2 mg/L), Guachaca (177,2 mg/L) y Córdoba (136 mg/L) en época de lluvias de 2013 y en el río Mendihuaca (127 mg/L) en época seca de 2014; valores que evidencian un aumento de las concentraciones de SST en las aguas de estas estaciones puesto que históricamente se han registrado valores menores (Datos REDCAM 2001-2013).

Los valores de OD en las estaciones marino-costeras estuvieron entre 4,4 y 8,6 mg/L con promedios de $5,8 \pm 0,7$ mg/L en época de lluvias de 2013 y de $6,3 \pm 0,6$ mg/L en época seca de 2014; en las estaciones dulceacuícolas las concentraciones de OD estuvieron entre 4,1 y 8,1 mg/L con promedios de $6,0 \pm 0,8$ mg/L en la época lluviosa de 2014 y de $7,0 \pm 1,6$ mg/L en época seca de 2014; en general las aguas de la zona costera del departamento del Magdalena se encuentran en buenas condiciones de calidad en términos de esta variable porque las concentraciones de OD son mayores de 4,0 mg/L, valor mínimo permisible para la preservación de la fauna y flora acuática según la legislación colombiana ([Minsalud, 1984](#)).

Nutrientes

Se determinaron las concentraciones de cuatro nutrientes inorgánicos relevantes para la calidad del agua, que son: Nitritos (NO_2), Nitratos (NO_3), Amonio (NH_4) y Fosfatos (PO_4). Con respecto a los Nitritos, las concentraciones de este nutriente oscilaron entre el límite de detección de la técnica analítica (0,7 µg/L) y 48,4 µg/L, registrándose el mayor valor en la estación río Manzanares durante la época lluviosa 2013. Históricamente esta estación ha sido que mayor presencia de este nutriente, alcanzando un valor de 92,62 µg/L en el año 2002, el más alto en el periodo (2001-2014; Figura 4.3.3), debido a que en este río se realizan vertimiento constante de aguas residuales proveniente de las viviendas que se ubican en su ribera ([Rodríguez, 2012](#)).

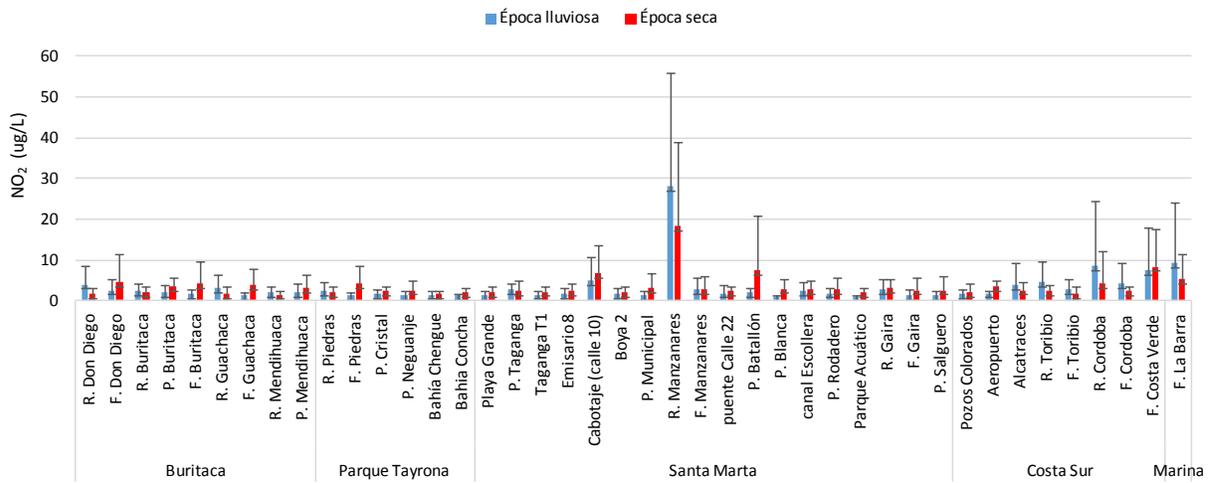


Figura 4.3.3 Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Nitrito (NO₂⁻) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena. Las barras de error representan la desviación estándar.

Los Nitratos presentaron concentraciones entre el límite de la técnica analítica (2,1 µg/L) y 227,5 µg/L, encontrándose las mayores concentraciones en la zona de la Buritaca, principalmente en las estaciones de los ríos Piedra (159,2 µg/L), Guachaca (202,2 µg/L), Buritaca (227,5 µg/L) y Don Diego (132,8 µg/L) en la época seca, valores que se atribuyen a las actividades agrícolas que se desarrollan en este sector (Figura 4.3.4). Del mismo modo, el río Manzanares, presentó valores altos de Nitrito durante las dos épocas (109,9 µg/L en época lluviosa 2013 y 177 µg/L en época seca 2014), valores que se relacionan con las descargas de aguas residuales al río.

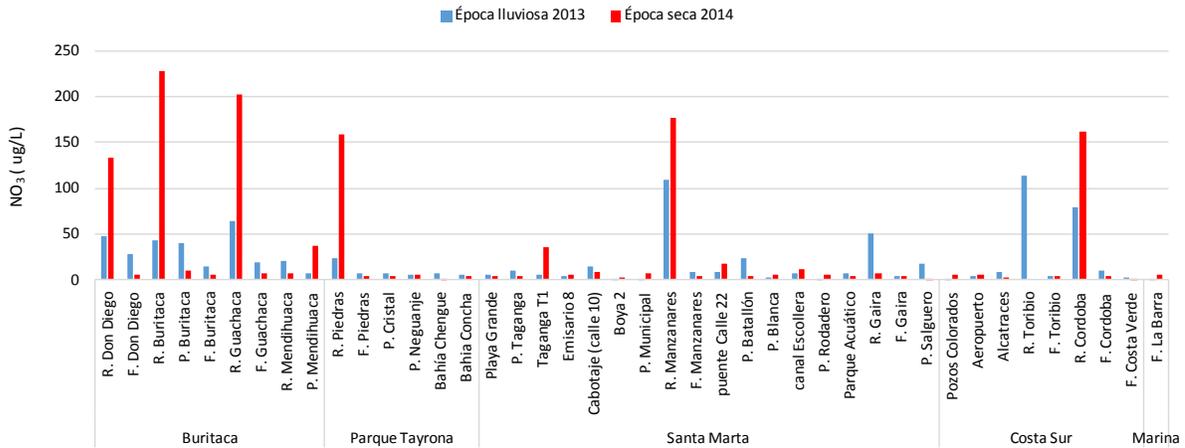


Figura 4.3.4. Concentraciones de Nitrato (NO₃⁻) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El Amonio fluctuó entre el límite de detección de la técnica analítica (3,1 µg/L) y 368,2 µg/L, registrándose en la estación Emisario 8 valores de 368,2 y 204,8 µg/L en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 respectivamente. De igual manera, la estación río Manzanares presentó valores de 187,6 en época lluviosa y de 284,1 µg/L en época seca 2014.

Históricamente las concentraciones más elevadas se han registrado en las estaciones Cabotaje Calle 10, río Manzanares y Emisario 8 (Figura 4.3.5), estaciones que se caracterizan por estar influenciadas por los vertimientos de aguas residuales de la ciudad de Santa Marta, y el comportamiento de este nutriente se relaciona con la época lluvias en el caso de Cabotaje Calle 10, donde las aguas pluviales congestionan el sistema de alcantarillado, rebotándose y llegando por escorrentías al mar, mientras que el río Manzanares alcanza concentraciones altas en época seca cuando se interrumpe la conexión con el mar y se concentran los vertimientos domésticos.

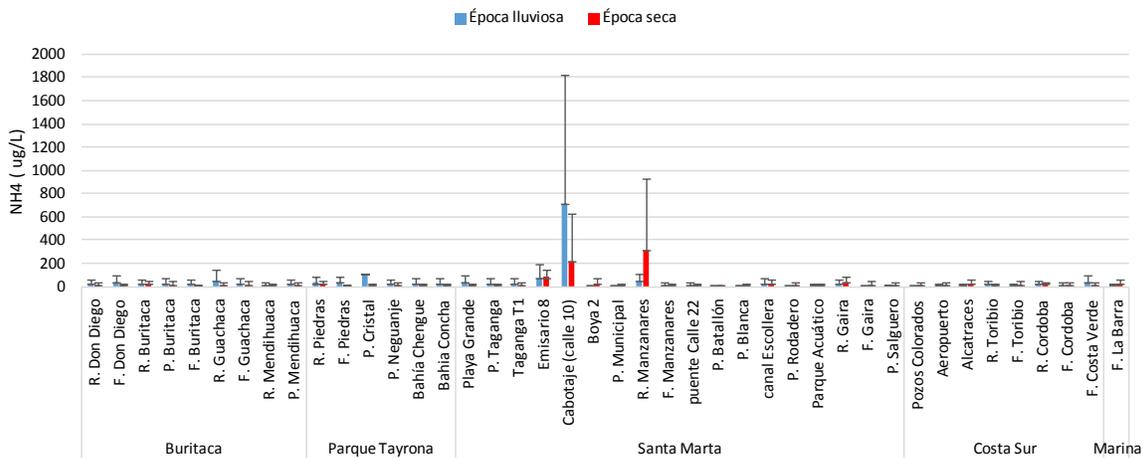


Figura 4.3.5. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Amonio (NH_4^+) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

Las concentraciones más elevadas de fosfatos se registraron en la estación río Manzanares para las dos temporadas con valores de 297,9 $\mu\text{g/L}$ (lluviosa 2013) y 213,1 $\mu\text{g/L}$ (seca 2014), esta concentración se debe a vertimientos de aguas residuales domesticas debido a la presencia de detergentes. El mayor número de iones en la época lluviosa también puede atribuirse al arrastre de aguas de escorrentía que llevan residuos de los suelos (Figura 4.3.6; [Quintero et al., 2011](#)).

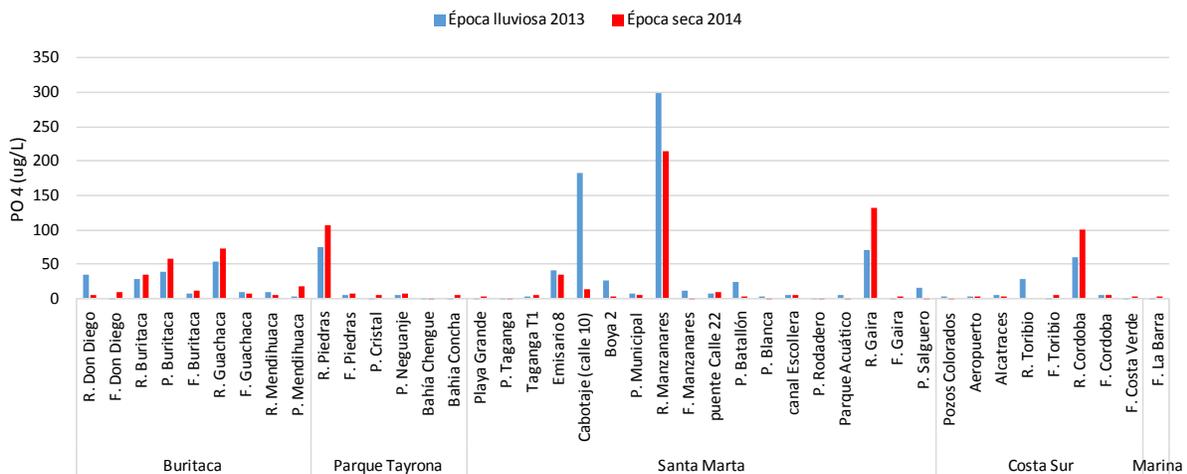


Figura 4.3.6 Concentraciones de Fosfatos (PO_4^{3-}) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

4.3.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

El análisis de la calidad microbiológica del departamento del Magdalena, se sustenta a partir de la evaluación de las 34 estaciones conformadas tanto por aguas marinas como fluviales. Los valores de Coliformes Totales (CTT) mostraron concentraciones altas en los principales ríos del departamento, con concentraciones por encima de los valores del criterio de calidad para el uso del recurso hídrico para el contacto primario y secundario, principalmente en época seca 2014 (Figura 4.3.7). Las playas de interés turístico como las playas Cristal, Grande, Blanca, Rodadero, parque Acuático, y Salguero, mostraron condiciones adecuadas para el contacto primario y secundario ([MinSalud, 1984](#)).

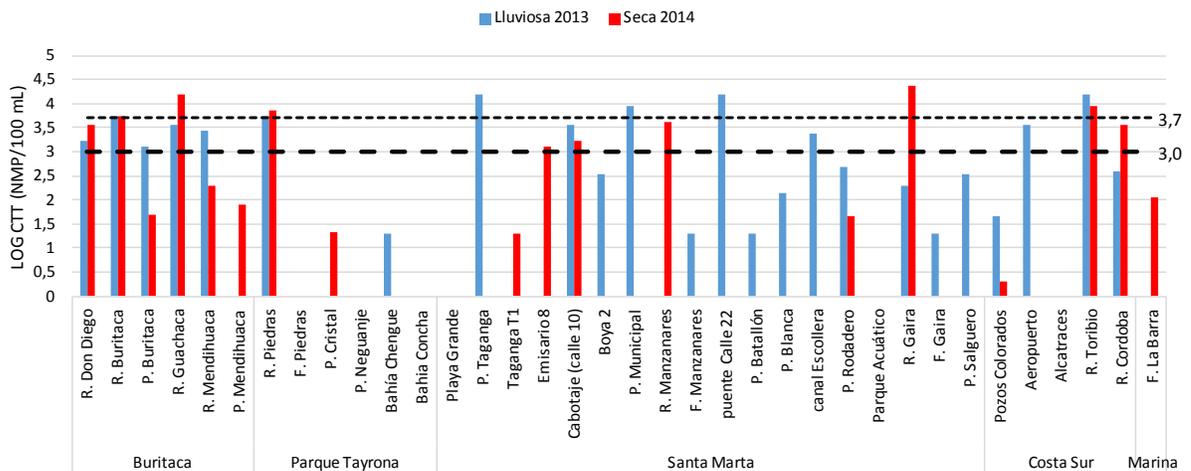


Figura 4.3.7. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Los registros históricos de CTT en los principales tributarios, han presentado el mayor número de casos de incumplimiento para los cuerpos de aguas destinados a uso recreativo de contacto secundario, como la práctica de deportes náuticos y pesca y su uso para el riego agrícola (<5.000 NMP/100 mL; Figura 4.3.8; [MinSalud, 1984](#)). La evaluación demuestra que las concentraciones de los ríos Manzanares, Gaira y Córdoba, han estado por encima de los límites en un 93 %, 100 % y 69 % de los muestreos en ambas épocas climáticas. Por su parte los ríos Buritaca, Toribio y Piedras, incumplieron en un 92 %, 92 % y 75 % de los casos únicamente durante la época lluviosa de 2013. Además de su uso en las actividades rutinarias (lavado, baño, riego y pesca) de la población aledaña, los ríos representan una fuente importante de residuos sólidos y contaminantes microbiológicos al mar, lo cual tiene un impacto negativo no solo en la conservación del ecosistema sino en la salud de los usuarios de las playas donde estos descargan ([Chigbu et al., 2004](#)).

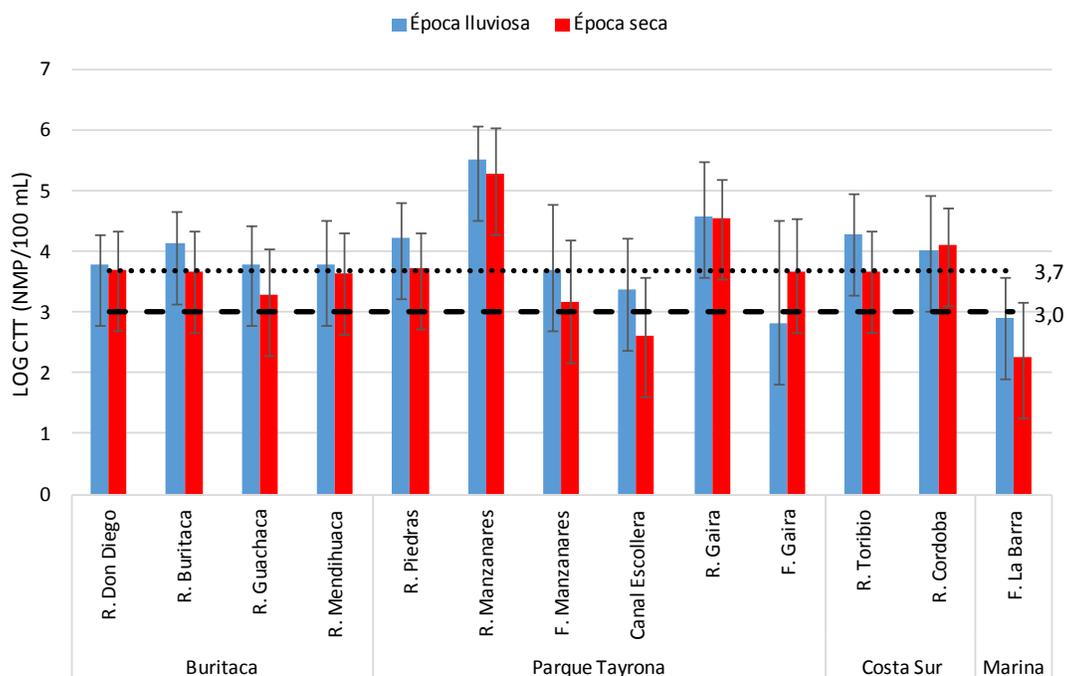


Figura 4.3.8 Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en los principales ríos del departamento del Magdalena. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Con respecto a las playas del departamento, los resultados de CTE demostraron condiciones adecuadas para su uso recreativo con contacto primario (<200 NMP/100 mL) en actividades como natación y buceo durante la época seca de 2014 (Tabla 4.3.2; [MinSalud, 1984](#)). Los Enterococos Fecales (EFE) presentaron valores entre 1 y 48 UFC/100 mL, encontrándose los valores más altos en las estaciones playa Cristal (46 UFC/100 mL) y playa Mendihuaca (48 UFC/100 mL; Tabla 4.3.2), lo cual entra dentro de la categoría B según la guía de Enterococos de Organización Mundial de la Salud (41–200 UFC/100 mL; [OMS, 2003](#)), representando un riesgo entre el 1 y 5 % de contraer enfermedades gastrointestinal y un porcentaje de riesgo entre 0,3 y 1,9 de contraer enfermedades respiratorias febril aguda. Tanto para los CTT como para los EFE, los niveles más elevados se han presentado comúnmente en los periodos de lluvias, esto debido al aporte de los ríos y a la escorrentía urbana, donde se produce una resuspensión de los sedimentos y se aumentan las concentraciones de materia orgánica, promoviendo la supervivencia y el desarrollo de los microorganismos entre estos los patógenos ([Brownell et al., 2007](#)).

Tabla 4.3.2 Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en los sitios de muestreo de las costas del departamento del Magdalena, entre la época lluviosa de 2013 y seca de 2014. Los valores de referencia están establecidos según la norma nacional para coliformes termotolerantes (<200 NMP/100 mL) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para Enterococos (OMS, 2003).

Zona	Estación	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)						Enterococos (UFC/100 mL)					
		Época lluviosa			Época seca			Época lluviosa			Época seca		
		2013	% casos*	n	2014	% casos*	n	2013	% casos**	n	2014	% casos**	n
Buritaca	P. Buritaca	1700	90	10	21	15	13	ND	80	5	ND	14	7
	P. Mendihuaca	ND	44	9	78	25	12	ND	50	6	48	25	8
Parque Tayrona	P. Cristal	18	67	2	7,8	25	4	<LD	0	3	46	25	4
	P. Neguanje	18	9	9	<LD	0	12	4	14	7	<LD	13	8
	Bahía Chengue	18	0	10	<LD	0	10	23	0	6	3	0	7
	Bahía Concha	18	18	10	<LD	15	12	3	0	7	<LD	0	9
	Playa Grande	20	11	8	18	9	10	<LD	29	7	1	0	8
Santa Marta	P. Taganga	18	40	10	18	15	12	15	60	5	2	0	9
	Cabotaje (calle 10)	18	70	7	700	64	12	2000	75	4	28	33	3
	P. Municipal	330	50	10	180	31	11	4	33	6	<LD	11	9
	P. Batallón	790	55	11	<LD	38	12	36	33	6	6	38	8
	P. Blanca	18	22	8	<LD	0	10	24	0	6	<LD	0	8
	P. Rodadero	20	27	10	20	31	13	17	29	7	4	11	9
	Parque Acuático	330	33	8	18	18	10	17	50	6	2	14	7
	P. Salguero	18	27	11	18	23	12	2000	14	7	<LD	22	9
Costa Sur	Pozos Colorados	18	10	9	18	8	12	<LD	0	6	<LD	0	9
	Aeropuerto	18	50	3	18	20	4	4	50	4	2	0	4
	Alcatraces	18	40	9	<LD	15	11	16	0	7	1	0	9

ND= No hay datos para este sitio durante el último periodo evaluado.

<LD= Valor por debajo del Límite de Detección (<1,8 NMP/100 mL CTT).

<LD= Valor por debajo del Límite de Detección (<1,0 UFC/100 mL EFE).

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2001-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario <200 NMP/100 mL (MinSalud, 1984).

**Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2006-2014) en donde se presentaron valores por encima de la guía internacional según la Organización Mundial para la Salud para aguas de uso recreativo de contacto primario <40 UFC/100 mL (OMS, 2003).

4.3.1.3 HIDROCARBUROS

Para el período de lluvia 2013 y seca 2014, las concentraciones de hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) determinadas en agua superficial del departamento oscilaron entre valores por debajo del límite de detección del método (0,07 µg/L) y 5,80 µg/L, sin observarse una tendencia espacial o temporal definida. Para la época lluviosa 2013 la mayor concentración se obtuvo en la estación frente a la Barra (5,80 µg/L), en tanto que para la época seca de 2014 se determinó la concentración más alta en el río Manzanares (4,25 µg/L; Figura 4.3.9). La presencia de estos residuos en el departamento puede deberse a la influencia de los lavaderos de carros ubicados en las cuencas de los ríos y a la descarga de aguas residuales domésticas, así como a las actividades turísticas y portuarias que se desarrollan en el área. Cabe destacar, que en ninguna de las estaciones monitoreadas los HAT no superaron el valor de referencia de 10 µg/L considerado de alto riesgo para la biota acuática (Unesco, 1984).

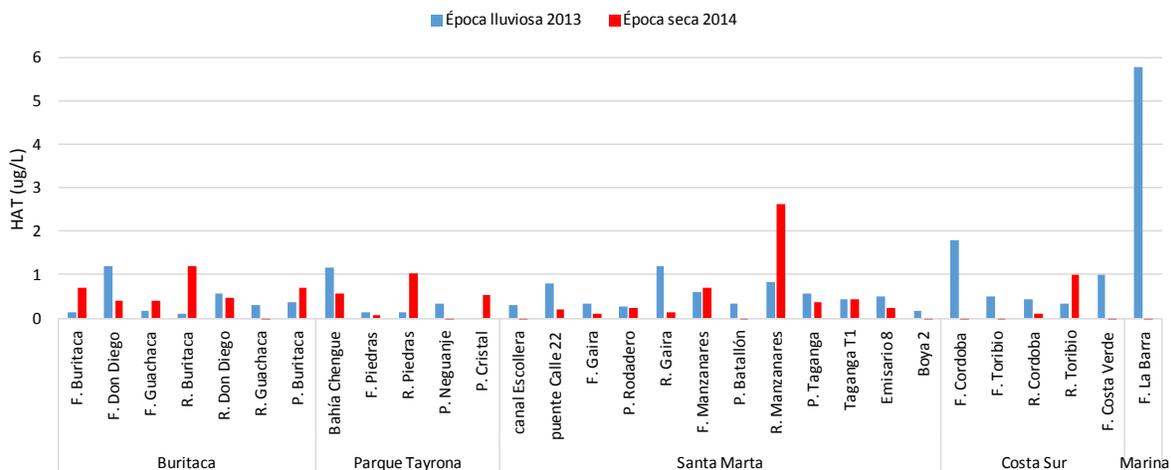


Figura 4.3.9 Concentraciones de Hidrocarburos Aromático Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El análisis histórico entre 2001 y 2014 mostró las concentraciones más altas de HAT en las estaciones de la calle 10 ($7,02 \pm 7,14 \mu\text{g/L}$); playa Municipal ($4,81 \pm 4,78 \mu\text{g/L}$); puente de la calle 22 ($5,19 \pm 4,49 \mu\text{g/L}$) y en playa Salguero ($4,80 \pm 5,91 \mu\text{g/L}$) en época lluviosa (Figura 4.3.10). De igual forma, la variación interanual muestra diferencias significativas ($p < 0,05$), registrando en el año 2001 concentraciones de HAT superiores al valor de referencia, en las estaciones río Manzanares ($33,4 \mu\text{g/L}$), frente al río Guachaca ($21,6 \mu\text{g/L}$) y Boca del río Manzanares ($12,6 \mu\text{g/L}$), que en ciertas ocasiones ha presentado valores por encima de la referencia. Estas concentraciones pueden ser ocasionadas principalmente por los vertimientos de residuos oleosos de la actividad marítima y portuaria, el tráfico de buques y lanchas, así como el transporte de petróleo y sus derivados (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

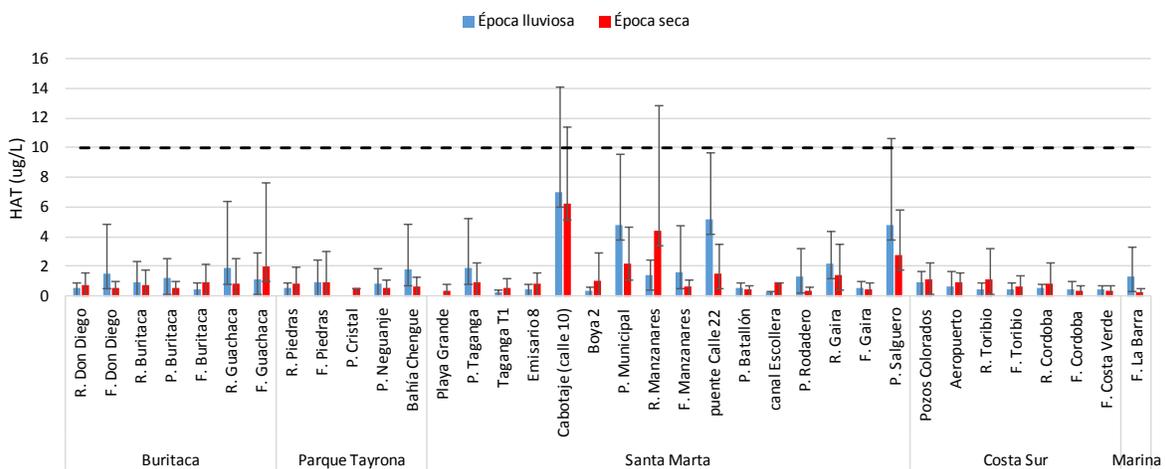


Figura 4.3.10 Promedio histórico (2001 - 2014) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Magdalena. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea discontinua de $10 \mu\text{g/L}$ corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según Unesco (1984).

4.3.1.4 PLAGUICIDAS

La presencia de residuos de plaguicidas en el medio marino de este departamento está asociada principalmente a las escorrentías de los ríos que atraviesan zonas de alta pluviosidad de la Sierra Nevada de Santa Marta - SNSM, lo cual favorece, la recepción por escorrentía de efluentes producidos por actividades agrícolas típicas de la región, como el cultivo de café y banano principalmente ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)).

Los registros históricos de las concentraciones de compuestos Organoclorados (OC) han mostrado variaciones que se relacionan con los cambios de 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 2014), que permitió determinar nuevos analitos a partir del 2010. Durante los primeros tres años del monitoreo de la REDCAM (2001-2003), se registraron presencia de compuestos organoclorados (OC) que en algunos casos, como en el 2003 en la estación frente al río Don Diego (36,8 ng/L) superaron el valor de referencia (30 ng/L; [EPA, 2009](#); Figura 4.3.11a). Entre el 2004 y el 2006 se observó una tendencia decreciente en la presencia de los compuestos determinados, sin embargo, a partir de 2007 y hasta el 2010, con el incremento en la capacidad de determinación de nuevas moléculas, esta tendencia se irrumpió al detectarse residuos de Aldrines (45,4 ng/L) y DDT's (20,20 ng/L) en el río Buritaca, en el 2008, hasta el momento, los valores más altos registrados en el departamento. A partir del 2011 continuó observándose una tendencia decreciente en las concentraciones que están por debajo del límite de detección del método analítico (6,0 ng/L). Cabe destacar que en el 2012, tres años después de no detectarse residuos de isómeros de DDT, aparecieron en los ríos de la SNSM como Buritaca, Don Diego, Guachaca y Piedras, de igual forma, durante la época seca 2014 volvieron a detectarse residuos de estos compuestos en los ríos Buritaca (13,4 ng/L) y Guachaca (11,8 ng/L), pero en concentraciones que no representan riesgo para los organismos ya que están por debajo del nivel de referencia de la NOAA para efectos agudos (550 ng/L; [Buchman, 2008](#); Figura 4.3.11b).

Históricamente se ha encontrado que las concentraciones más altas de OC se han registrado en las estaciones de los ríos, siendo los ríos Buritaca, Gaira y Guachaca, en los que los promedios históricos han sido más altos ($9,04 \pm 20,01$, $6,53 \pm 8,19$ y $5,77 \pm 5,86$ ng/mL respectivamente). El análisis histórico (2001-2014), muestran que el 49 % de los puntos monitoreados en el departamento han presentado algún residuo de plaguicidas organoclorados (OC). Durante este período de análisis, el 74 % de los compuestos que se han registrado en las aguas superficiales del departamento del Magdalena corresponden al DDT y sus metabolitos, seguido por los Heptacloros (44 %), compuestos del Aldrin (42 %), y finalmente los HCH (31 %). Sin embargo, en los últimos cuatro años se ha evidenciado una reducción en la aparición de estos compuestos ya que el porcentaje de detección no ha superado el 16 % de las muestras.



Figura 4.3.11 Concentración de plaguicidas en aguas superficiales del departamento del Magdalena; 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 2009 se inició la determinación de compuestos plaguicidas diferentes a los OC, algunos organofosforados y piretroides; la presencia de estos nuevos analitos, ha sido baja (inferior al 3%), únicamente se ha detectado Clorpirifos (en el río Piedras, 16 ng/L) compuesto que es de amplio uso en la agricultura en concentración menor al nivel de referencia de la NOAA para efectos agudos (83,0 ng/L; [Buchman, 2008](#)).

4.3.1.5 METALES PESADOS

Para el periodo de lluvias de 2013 y seco de 2014, los niveles de Cadmio, Cromo y Cobre estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (Cd: 0,42 µg/L; Cr: 1,0 µg/L; Cu: 0,9 µg/L). Esto sugiere que no existe riesgo de contaminación por estos metales al estar por debajo de valores de referencia para aguas marinas reportados en guías internacionales (Cd: 40 µg/L, Cu: 4,8 µg/L, [Buchman, 2008](#); Cr: 50 µg/L, [CONAMA, 2005](#)).

El Níquel disuelto presentó concentraciones por debajo del límite de detección en época lluviosa de 2013, mientras que en época seca de 2014, registró una concentración promedio de $1,6 \pm 0,6$ $\mu\text{g/L}$ con un valor máximo de $3,1$ $\mu\text{g/L}$ en la estación frente a Costa Verde. No obstante, ninguna estación superó el valor de referencia reportado en la guía internacional de la NOAA para aguas marinas (74 $\mu\text{g/L}$; [Buchman, 2008](#)).

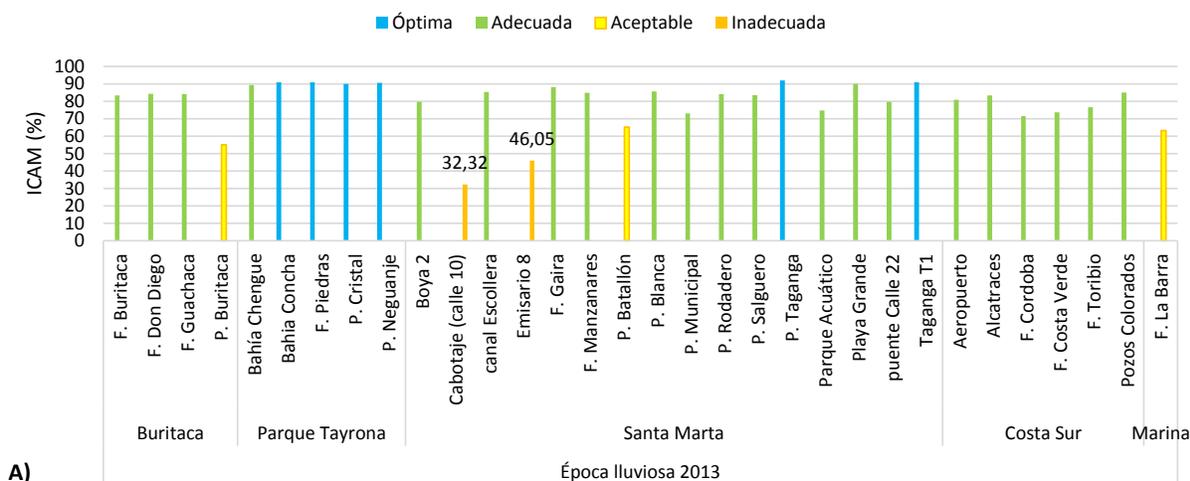
El Zinc en época lluviosa de 2013 registró una concentración promedio de $11,6 \pm 7,0$ $\mu\text{g/L}$ con un máximo de $28,8$ $\mu\text{g/L}$ en la estación río Guachaca. Durante la época seca de 2014 solo en la estación río Manzanares ($7,2$ $\mu\text{g/L}$) fue detectado este metal. En ambas épocas, los niveles de Zinc no superaron el valor de referencia reportado en la guía internacional de la NOAA (90 $\mu\text{g/L}$; [Buchman, 2008](#)).

El Hierro fue el metal con mayor presencia en las aguas marino-costeras del departamento del Magdalena. En época lluviosa de 2013, la concentración promedio fue $62,2 \pm 89,8$ $\mu\text{g/L}$ con un máximo de $360,7$ $\mu\text{g/L}$ en la estación río Gaira, y en la época seca de 2014, se registró una concentración promedio de $23,5 \pm 22,4$ $\mu\text{g/L}$, con máximo de $102,2$ $\mu\text{g/L}$ en la estación río Gaira, condiciones que podrían ser causadas por factores naturales. En ambas épocas, las estaciones ubicadas en aguas marinas estuvieron por debajo del valor de referencia a de la NOAA ($300,0$ $\mu\text{g/L}$; [Buchman, 2008](#)) por lo que no generan riesgo para la biota acuática.

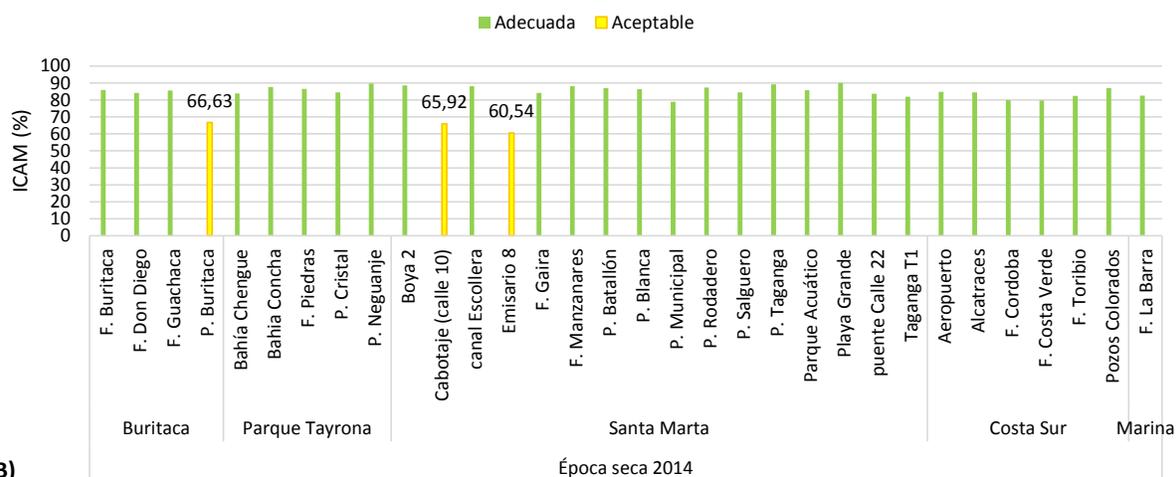
4.3.1.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

El resultado del índice de calidad de aguas en época lluviosa de 2013 evidenció que las mejores condiciones de calidad se encontraron en las zonas del parque Tayrona y Costa sur, donde se encontraron aguas en estado óptimo y adecuada (Figura 4.3.12A), mientras que en la zona de Santa Marta se registraron las estaciones con estados inadecuados en Cabotaje (Calle 10) por presentar altos valores de SST (107 mg/L) y PO_4 ($183,4$ $\mu\text{g/L}$) y Emisario 8 por las concentraciones de CTE (16.000 $\text{NMP}/100$ mL) superior a la normatividad colombiana para contacto primario y secundario, afectando el ambiente para la preservación de fauna y flora acuática.

En época seca de 2014 la calidad del agua se fue adecuada en la mayoría de las estaciones, y en algunos casos como en playa Buritaca, Cabotaje (calle 10) y Emisario 8 mejoró, llegando a un estado aceptable para la preservación de la fauna y flora acuática (Figura 4.3.12B).



A)



B)

Figura 4.3.12. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), A) Época lluviosa 2013 y B) Época seca 2014, en las estaciones en el departamento del Magdalena

4.3.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

4.3.2.1 NUTRIENTES

Se evaluó el contenido de materia orgánica como un parámetro para la determinación de la calidad de los sedimentos en la estación frente al río Manzanares. Se registró un valor de 13,8 mg/g en la época lluviosa 2013. Este valor podría relacionarse con la concentración de especies nitrogenadas (Nitritos y Nitratos) debido a que su concentración puede también influenciarse por oxidación del nitrógeno presente en el sedimento (Jacome y Llanos, 1990), sin embargo debe seguir monitoreándose este parámetro para tener un mayor número de datos en este punto que permitan determinar si los valores continúan estando en los rangos típicos según la literatura (García *et al.*, 2011).

4.3.2.2 HIDROCARBUROS

Puesto 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).

Los sedimentos evaluados en ambas épocas, provenientes de las estaciones en el río Manzanares presentaron concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) que no superaron el valor de referencia (Tabla 4.3.3). Sin embargo, en la estación río Manzanares para la época seca de 2014 se determinó una concentración de HAT de (3,43 µg/g), valor próximo a la referencia de 3,9 µg/g, lo que evidencia la entrada de este contaminante, por lo cual es importante seguirlo evaluando ya que con el tiempo podrían encontrarse concentraciones que afecten a las especies hidrobiológicas que allí se desarrollan.

Tabla 4.3.3. Concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales medidos en sedimentos del departamento del Magdalena, durante la época lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Estación	Época Lluviosa 2013	Época seca 2014
	HAT (µg/g)	HAT (µg/g)
Frente al río Manzanares	0,29	-
Río Manzanares	-	3,43
Valor de referencia	3,9 *	3,9 *

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

4.3.2.3 PLAGUICIDAS

La evaluación de plaguicidas en sedimentos entre 2013 y 2014 mostró la presencia de metabolitos de DDT's frente al río manzanares durante la época lluviosa 2014 (Tabla 4.3.4), sin embargo, el valor reportado no superó los límites de referencia sugeridos por la NOAA (Buchman, 2008). A pesar de que el uso de estos compuestos ha sido restringido, se siguen encontrando en el medio acuático debido a su naturaleza hidrofóbica que les permite asociarse fuertemente a las partículas del sedimento y a la materia orgánica (Romano et al., 2004). Por otra parte, en la época lluviosa de 2014 no se registró presencia de ninguno de los analitos evaluados, esta variabilidad en los resultados entre épocas puede explicarse porque los contaminantes no quedan permanentemente retenidos y pueden ser liberados a la columna de agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de materia orgánica (Said, 2007).

Tabla 4.3.4. Concentraciones de plaguicidas en sedimentos en estaciones del departamento del Magdalena, durante la época lluviosa 2013 y seca 2014.

Estación	Época Lluviosa 2013	Época seca 2014
	DDT's (ng/g)	DDT's (ng/g)
Frente al río Manzanares	4,3	-
Río Manzanares	-	-
Valor de referencia	10 *	10 *

*Valor de referencia para sedimentos no contaminados (Buchman, 2008).

4.3.2.4 METALES PESADOS

Se evaluó el contenido de metales pesados en sedimentos de la estación frente al río Manzanares por considerarse una vía importante de ingreso de estos contaminantes al cuerpo de agua de mar en el departamento del Magdalena. Estas concentraciones son mostradas en la Tabla 4.3.5. Se observa que tanto en época lluviosa de 2013 y seca de 2014 los metales estuvieron por debajo del valor guía reportado en diferentes fuentes bibliográficas, por lo que no se consideran de riesgo para el desarrollo de la vida acuática. Se observa que para los metales Pb, Cr y Zn, las concentraciones fueron mayores para la época seca mientras que en el Cu y Fe ocurrió el efecto contrario. El Cd y Ni en las dos épocas climáticas estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica.

Tabla 4.3.5. Concentraciones de Pb, Cd, Cr, Cu, Zn y Ni ($\mu\text{g/g}$) y Fe (mg/g) medidas en sedimentos superficiales del departamento del Magdalena en la época lluviosa 2013 y la época seca 2014. Los valores de referencia fueron tomados de la tabla Squirts de la NOAA (Buchman, 2008) y de Feria *et al.*, (2010)

	Pb ($\mu\text{g/g}$)		Cd ($\mu\text{g/g}$)		Cr ($\mu\text{g/g}$)		Cu ($\mu\text{g/g}$)		Zn ($\mu\text{g/g}$)		Ni ($\mu\text{g/g}$)		Fe (mg/g)	
	lluvia 2013	seca 2014	lluvia 2013	seca 2014										
Frente al río Manzanares	4,8	8,0	<0,5	<0,5	22,6	29,0	6,8	<1,9	51,8	63,7	<2,0	<2,1	21,1	10,4
Valor de referencia PEL	112,0		4,21		160,0		108,0		271,0		42,8		-	
Barbate Estuary (Spain)	32,6		1,2		-		35,9		82,0		35,4		27,9	
Guadalquivir Estuary (Spain)	63,4		2,0		-		61,7		122,8		39,8		27,1	
Guadamar river place lower (Spain)	28,0		-		-		10,0		50,0		20,0		30,3	

4.3.3 CONCLUSIONES

Los valores de pH y oxígeno disuelto en las aguas marino costeras del departamento del Magdalena muestran condiciones de calidad óptimas para la preservación de la fauna y flora acuática; por su parte, los sólidos suspendidos totales en los ríos han mostrado una tendencia de aumento en la principalmente en la época de lluvias.

En el caso de los nutrientes Inorgánicos, las mayores concentraciones se encontraron en las zonas de ríos destacándose la estación río Manzanares caracterizada por estar entre las concentraciones altas para todos los iones, las estaciones Cabotaje (Calle 10) y Emisario 8 mostraron una elevada presencia de amonio y fosfatos, lo cual puede atribuirse al vertimiento de aguas servidas que contienen trazas de heces y detergentes.

Las condiciones microbiológicas de los ríos Manzanares, Gaira, Córdoba, Toribio, Buritaca y Piedras no son aptas para contacto secundario debido a la elevada carga microbiana, lo cual puede traer consigo afecciones a la población que hace uso de sus aguas, dada la alta posibilidad de contener microorganismos patógenos. Por otro lado, las playas del departamento se encontraron aptas para el desarrollo de actividades recreativas, a pesar de casos aislados principalmente durante la época lluviosa del 2013.

Las concentraciones de hidrocarburos medidas en las aguas costeras y en los sedimentos del departamento fueron inferiores a los valores de referencia. No se observa una tendencia espacial o temporal definida aunque históricamente, las mayores concentraciones de estos residuos en las aguas se han determinado en la zona de Santa Marta, ocasionados por manejo de crudo y sus derivados, actividades turísticas y operaciones portuarias.

Los plaguicidas analizados en aguas, en la mayoría de estaciones se encontraron en concentraciones por debajo del límite de detección de los métodos aplicados, a excepción de los ríos Guachaca y Buritaca donde se volvieron a encontrar residuos de DDT, en concentraciones que no revisten riesgo para los ecosistemas acuáticos. Así mismo, en sedimentos se determinaron metabolitos de DDT's por debajo de los niveles de referencia propuestos por la NOAA. Sin embargo, debido a la presencia ocasional que han mostrado estos compuestos en las aguas costeras del departamento, se hace necesario mantener la supervisión puesto que son altamente persistentes y pueden afectar el medio marino.

Las concentraciones de metales pesados en las aguas del departamento estuvieron en su mayoría por debajo del límite de detección y de los valores de referencia de la NOAA, a excepción del Hierro el cual fue el de mayor presencia, lo que no implicaría contaminación por origen antropogénicos, sino que puede considerarse naturalmente su presencia.

El índice de calidad de agua, presentó calidad *inadecuada* para la preservación de fauna y flora durante la época lluviosa 2013 en las estaciones Cabotaje Calle 10 y Emisario 8; lo cual se atribuyó a las concentraciones de los sólidos suspendidos y fosfatos, y coliformes termotolerantes respectivamente.

En general, la calidad de las aguas y sedimentos de las estaciones monitoreadas en el departamento del Magdalena es buena al no presentar riesgo por contaminación de metales pesados.

Atlántico



Muelle Puerto Colombia. Foto: Karen Ibarra

EQUIPO TÉCNICO CRA

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

4.4 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 °C; con medias máximas de 29,9 °C, y mínimas de 25 °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).

Con el fin de evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras y establecer la influencia de las actividades desarrolladas en el departamento, se localizaron a lo largo de la línea de costa 17 estaciones de la REDCAM en el Atlántico, de las cuales seis son de carácter fluvial como el Arroyo León que tributa a la ciénaga de Mallorquín y cinco ubicadas sobre el río Magdalena; tres de carácter estuarino en las ciénagas Mallorquín, Balboa y Rincón Hondo; y ocho a lo largo del litoral como Bocas de Ceniza como zona de mezcla y otras siete con influencia marino-costera localizadas en sitios de interés de los municipios de Puerto Colombia, Tubará y Juan de Acosta (Figura 4.4.1). Los datos analizados en este último informe corresponden a los muestreos realizados entre el 30 de septiembre y 2 de octubre de 2013 (en adelante, época de lluvia 2013) y el 10 y 11 de febrero de 2014 (en adelante, época seca 2014).

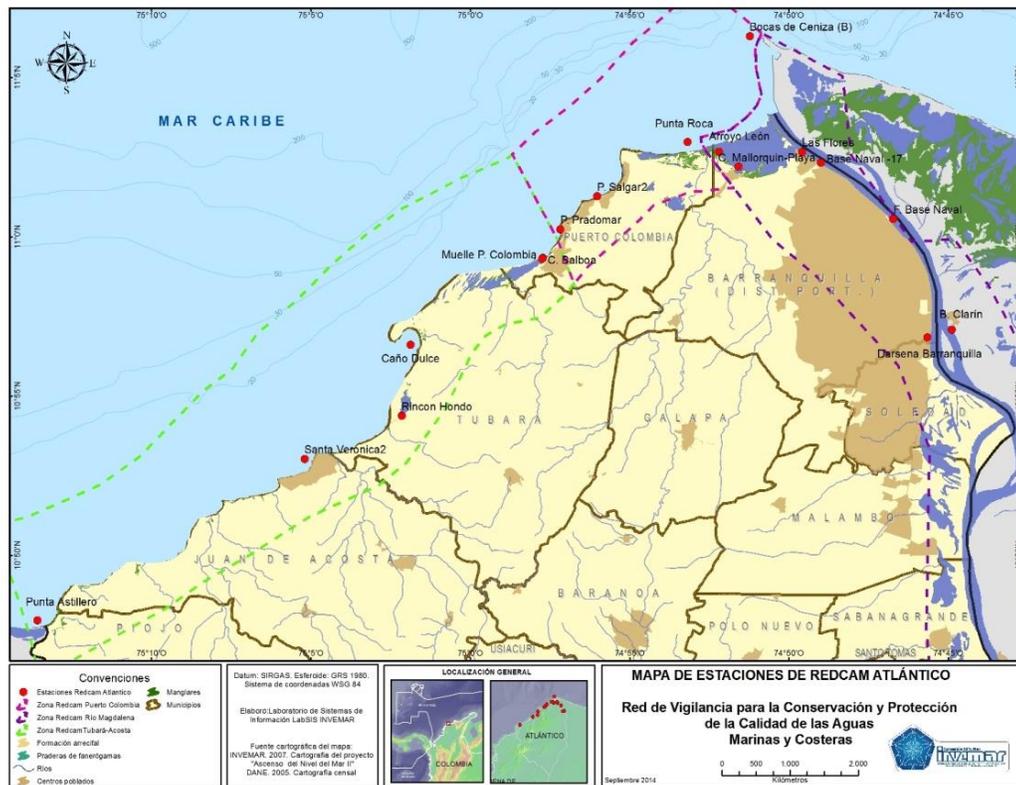


Figura 4.4.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Atlántico.

Las corrientes más importantes del sistema hidrográfico son el río Magdalena y el Canal del Dique, que se unen en su extremo sur. 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).

4.4.1 CALIDAD DE AGUAS

Las mediciones de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados muestran las condiciones del agua marina y costera del departamento del Atlántico y su aptitud para la conservación de los recursos acuáticos y el desarrollo de actividades de recreación, entre otros usos. A continuación se presentan los resultados de los muestreos en época lluviosa 2013 y seca 2014 (Tabla 4.4.1) contrastados con los datos históricos 2001 – 2013.

Tabla 4.4.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento del Atlántico.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	31,19	1,21	35,10	29,80	28,51	2,01	32,20	25,80
SST (mg/L)	84,22	67,90	293,70	28,10	105,63	53,19	176,80	26,20
Salinidad	16,21	14,99	32,80	0,00	21,64	19,09	57,10	0,00
pH			8,71	7,06			8,70	7,00
OD (mg/L)	5,44	1,92	8,56	0,45	6,75	1,58	8,89	4,04
NO ₃ (µg/L)	69,93	93,89	261,00	1,30	237,07	230,56	551,90	11,10
NO ₂ (µg/L)	10,19	27,28	111,70	0,90	99,61	255,73	760,00	1,60
NH ₄ (µg/L)	226,80	441,74	1620,90	8,00	368,54	980,28	3749,30	3,20
PO ₄ (µg/L)	61,13	116,85	473,60	1,70	127,72	258,41	825,10	3,60
CTT (NMP/100 mL)			1,60E+06	2,00E+01			5,40E+04	7,80E+01
CTE (NMP/100 mL)			1,60E+06	2,00E+01			2,20E+04	2,00E+01
TUR (NTU)	32,10	33,47	117,00	1,27	93,05	81,75	236,00	8,53
DBO (mg/L)	2,98	2,24	7,20	0,70	2,60	1,99	7,40	0,50
Fe (µg/L)	70,15	68,47	205,50	7,90				
HAT (µg/L)	1,14	1,27	4,23	0,13	0,70	0,66	1,96	0,07

4.4.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendidos totales

El monitoreo de aguas en la zona costera del departamento del Atlántico para la época lluviosa 2013 y seca 2014 en términos de las variables fisicoquímicas: salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), conductividad y turbidez mostró diferencias entre las estaciones. El análisis estadístico separó en cuatro grupos las estaciones (Figura 4.4.2) por tipo de

agua, según su ubicación marino-costera, ciénagas y las del río Magdalena, encontrando que la estación ubicada en la ciénaga Rincón Hondo se separó como un cuarto grupo por sus características diferenciadas por la alta salinidad que se registró en la época seca de 2014 (57,1) debido a las altas temperaturas del agua favoreciendo el proceso de evaporación y la concentración de sales.

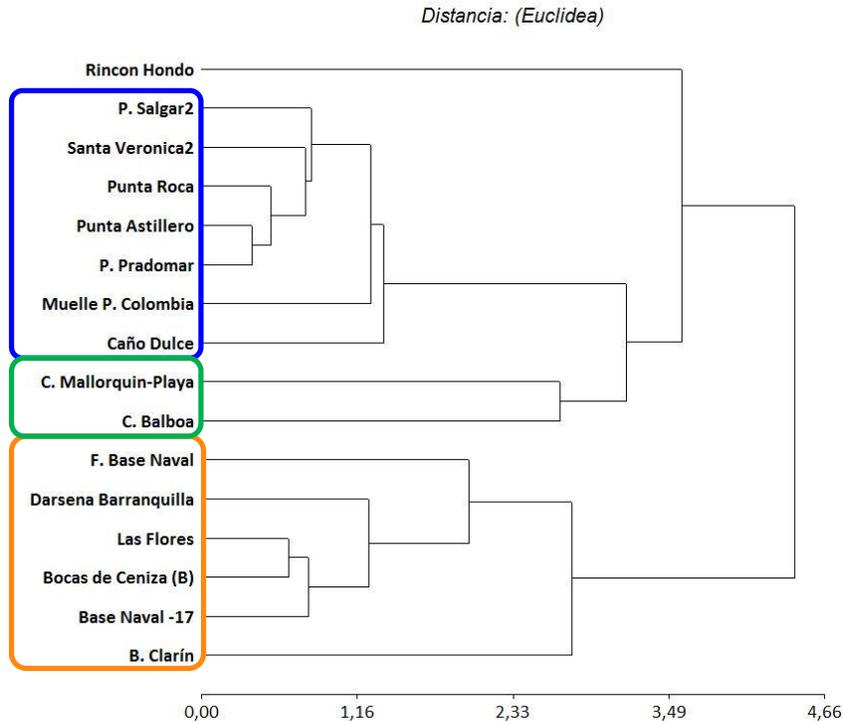


Figura 4.4.2. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento del Atlántico en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014. El recuadro azul indica las estaciones con influencia marino-costera, el verde las ciénagas y el naranja el río.

La salinidad en las playas osciló entre 23,5 y 36,5, encontrándose los valores más altos en las playas Santa Verónica y Caño Dulce en la época seca de 2014; en las ciénagas se presentaron valores entre 3,8 y 37,2, siendo la ciénaga de Mallorquín la que presentó el valor más bajo en la época de lluvias, debido a la influencia del río Magdalena. En las estaciones ubicadas en la ribera del río Magdalena, la salinidad osciló entre 0 y 0,3, condición normal para este tipo de agua. Los valores de pH fluctuaron entre 7,06 y 8,71, valores adecuados para este tipo de aguas, que están dentro del límite de calidad permisible para la preservación de flora y fauna según la legislación colombiana (4.5 - 9.0; [Minsalud, 1984](#)). La temperatura del agua superficial varió entre 25,8 y 35,1 presentando las aguas ligeramente más cálidas en la época de lluvias en comparación con la época seca, especialmente en la ciénaga Rincón Hondo (35,1 °C).

El OD fluctuó entre 0,45 y 8,89 mg/L, presentando los valores más bajos en la época de lluvias en las estaciones de frente a Base Naval (0,45 mg/L) por la influencia del caño la Ahuyama, que recoge las aguas servidas sin tratamiento del sector del mercado y algunas empresas de la ciudad de Barranquilla, y en la Dársena (3,39 mg/L) donde se capta el agua del acueducto de Barranquilla, ambas estaciones ubicadas sobre el margen del río Magdalena. Los SST fluctuaron en un rango de 26,2 a 293,7 mg/L, presentando los valores más altos en la época seca, especialmente en las

estaciones ubicadas en el río Magdalena, debido al transporte de material particulado por resuspensión de sólidos y arrastre de sedimentos.

Nutrientes

Se determinaron las concentraciones de cuatro nutrientes inorgánicos disueltos como Nitritos (NO_2^-), Nitratos (NO_3^-), Amonio (NH_4^+) y Fosfatos (PO_4^{3-}), los cuales permiten el desarrollo de organismos fotosintéticos y la presencia de bacterias en el medio ([Paparazzo et al., 2013](#)).

En cuanto a la concentración de Nitritos, se registró el nivel más alto en la estación ciénaga Mallorquín-Playa, para las dos épocas monitoreadas (Figura 4.4.3) con valores de 760 $\mu\text{g/L}$ en época seca y de 111,7 $\mu\text{g/L}$ en época lluviosa, además se ubicó como el valor histórico más alto monitoreado hasta la fecha, siendo que este comportamiento ya se había reportado en 2008 (279,67 $\mu\text{g/L}$). La segunda concentración más alta se presentó en la estación Arroyo León en la época seca 2014, con un valor de 749,3 $\mu\text{g/L}$, esto se puede relacionar con la gran influencia antropogénica de las zonas especialmente por la presencia de residuos líquidos y sólidos proveniente de la ciudad y los transportados por río Magdalena ([Noriega et al., 2009](#)).

Por otro lado, los valores más bajos se presentaron en la estación Caño dulce para la época seca, la cual tuvo valores inferiores al límite de detección del método (<0,7 $\mu\text{g/L}$) siendo similar a los valores de las estaciones monitoreadas en Tubará-Acosta, Puerto Colombia y algunas ubicadas en el río Magdalena (Figura 4.4.3), mientras que estaciones como Ciénaga Balboa (12,4 $\mu\text{g/L}$), frente a Base Naval (12,9 $\mu\text{g/L}$), Base Naval-17 (8,6 $\mu\text{g/L}$) y Santa Verónica (1,6 $\mu\text{g/L}$) tuvieron valores por encima del límite de detección del método.

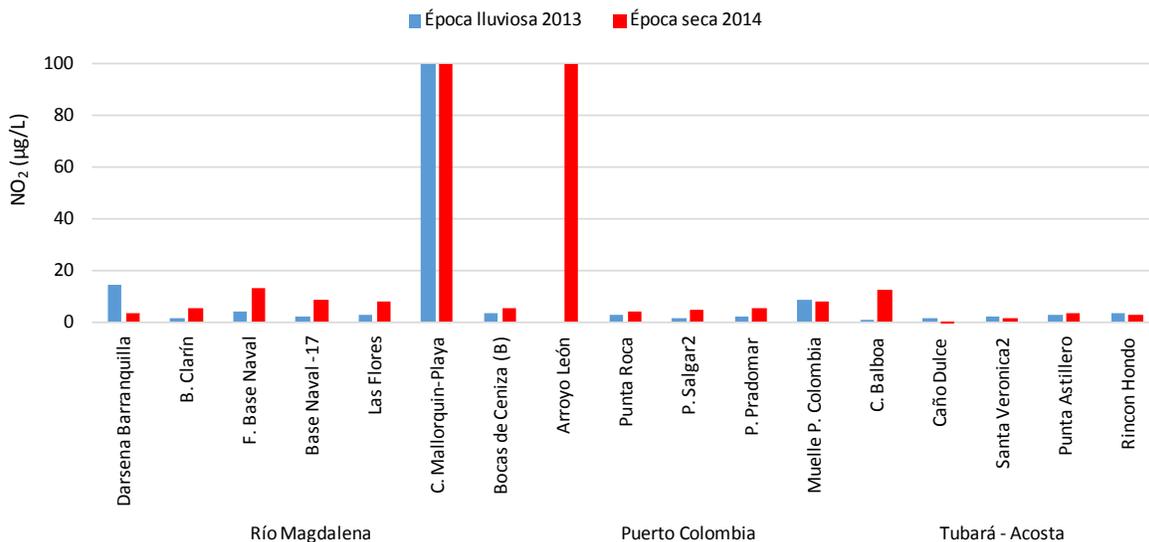


Figura 4.4.3. Concentraciones de Nitrato (NO_2^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Respecto a los datos históricos, en la estación ciénaga Mallorquín-Playa se han reflejado altas concentraciones de Nitritos con respecto a las demás estaciones de muestreo en este departamento, con un promedio de $125,2 \pm 2,64 \mu\text{g/L}$ en la época seca y de $50,5 \pm 1,28 \mu\text{g/L}$ en época lluviosa (Figura 4.4.4). Los valores de concentración de Nitritos para la época seca han sido altos a lo largo de los periodos analizados, específicamente para las muestras tomadas en puntos con influencia del río Magdalena, desde Dársena Barranquilla hasta Bocas de ceniza, con estaciones como Base naval-17 que presentó una concentración de $5,72 \pm 1,13 \mu\text{g/L}$ en época seca y de $2,82 \pm 0,89 \mu\text{g/L}$ en época lluviosa, valores relativamente bajos teniendo en cuenta el comportamiento de la zona donde la menor concentración está por encima de este valor en la estación Bocas de Ceniza con $3,91 \pm 2,52 \mu\text{g/L}$ y $7,83 \pm 2,68 \mu\text{g/L}$, seguida de Dársena Barranquilla con $4,41 \pm 2,37 \mu\text{g/L}$ y $11,90 \pm 8,98 \mu\text{g/L}$ en época lluviosa y seca respectivamente.

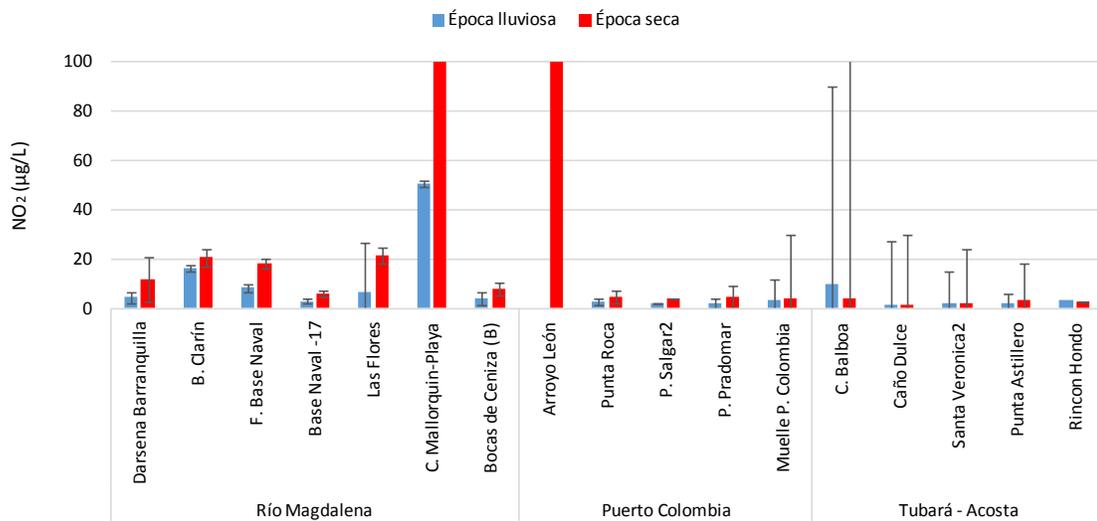


Figura 4.4.4. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Nitrito (NO_2) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico. Las barras de error representan la desviación estándar.

Los Nitratos durante la época seca presentaron las mayores concentraciones en las zonas con influencia del río Magdalena, en las estaciones Las Flores ($551,9 \mu\text{g/L}$), Boca Clarín ($517,6 \mu\text{g/L}$) y Dársena Barranquilla ($496,9 \mu\text{g/L}$). Las zonas de Puerto Colombia y Tubará-Acosta por su parte, presentaron valores inferiores acercándose al límite de detección para el método analítico ($2,1 \mu\text{g/L}$), como en Santa Verónica 2 y Rincón Hondo (Figura 4.4.5).

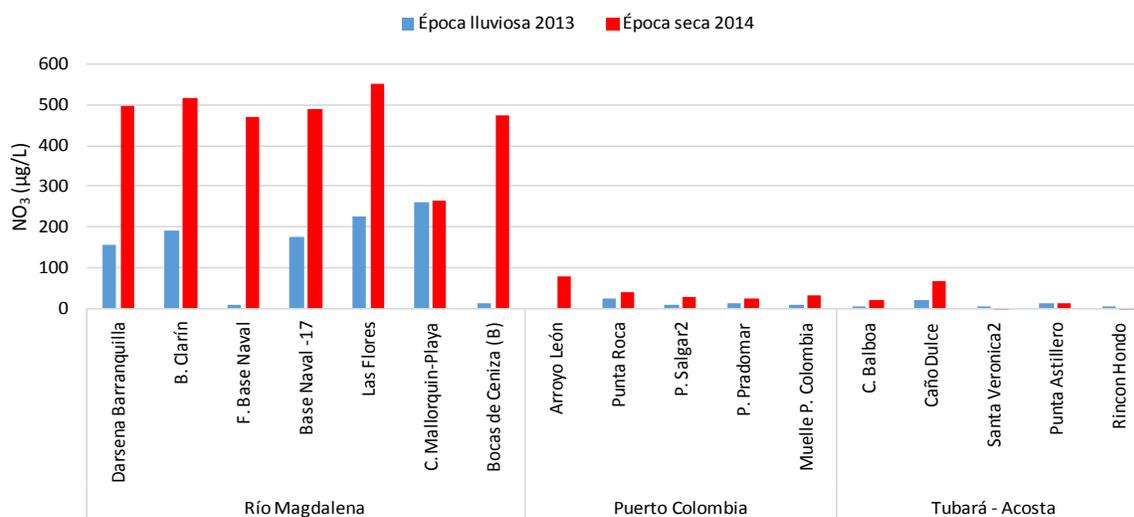


Figura 4.4.5. Concentraciones de Nitrato (NO_3^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Históricamente la zona correspondiente a Tubará-Acosta ha presentado las concentraciones de Nitratos más bajas, donde la estación de la ciénaga de Balboa registró el valor más alto en la época lluviosa con $100,61 \pm 274,15 \mu\text{g/L}$, lo que podría atribuirse al vertimiento de aguas residuales sobre la ciénaga, sin embargo este comportamiento también puede observarse en playa salgar 2 con $20,54 \pm 23,15 \mu\text{g/L}$, Punta Astillero $27,66 \pm 44,62 \mu\text{g/L}$, muelle Puerto Colombia $20,30 \pm 38,66 \mu\text{g/L}$, Bocas de Ceniza $162,51 \pm 197,48 \mu\text{g/L}$ (Figura 4.4.6).

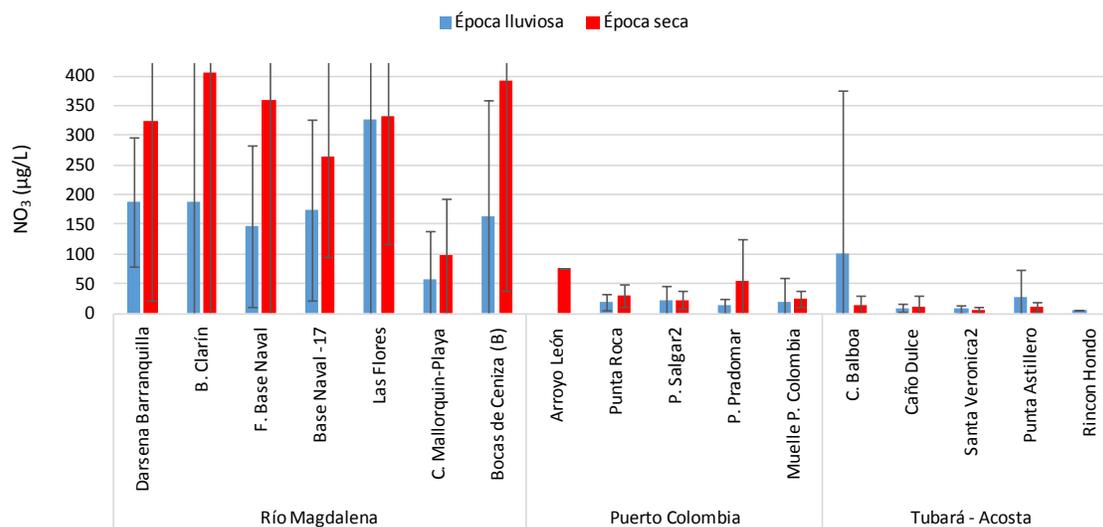


Figura 4.4.6. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Nitrato (NO_3^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico. Las barras de error representan la desviación estándar.

El Amonio presentó las mayores concentraciones para la época lluviosa 2013 en las estaciones frente Base Naval (1620,9 $\mu\text{g/L}$), ciénaga Mallorquín-Playa (956,7 $\mu\text{g/L}$), Dársena Barranquilla (340 $\mu\text{g/L}$), Muelle Puerto Colombia (202,5 $\mu\text{g/L}$), Base Naval-17 (130,5 $\mu\text{g/L}$) y playa Pradomar (57,4 $\mu\text{g/L}$) comparadas con la época seca 2014, donde se registraron las concentraciones más bajas (Figura 4.4.7), lo que podría atribuirse a la disolución del nitrógeno de la atmósfera por las lluvias (Noriega *et al.*, 2009), excepto en la estación arroyo León (3.749,3 $\mu\text{g/L}$) debido a la influencia antropogénica con el vertimiento de aguas residuales. Estaciones como Las Flores, cuyo valor fue de 182,8 $\mu\text{g/L}$ en la época seca 2014 y 159,6 $\mu\text{g/L}$ en la época lluviosa 2013, al igual que la estación de la ciénaga de Balboa con 9,3 $\mu\text{g/L}$ y 98,4 $\mu\text{g/L}$ para las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 se comportaron de manera diferente; las altas concentraciones de Amonio se deben a la influencia de vertimiento de aguas residuales y la reciente sequía o descenso en las precipitaciones que facilita la evaporación ocasionando una posible concentración de este nutriente (IDEAM, 2014).

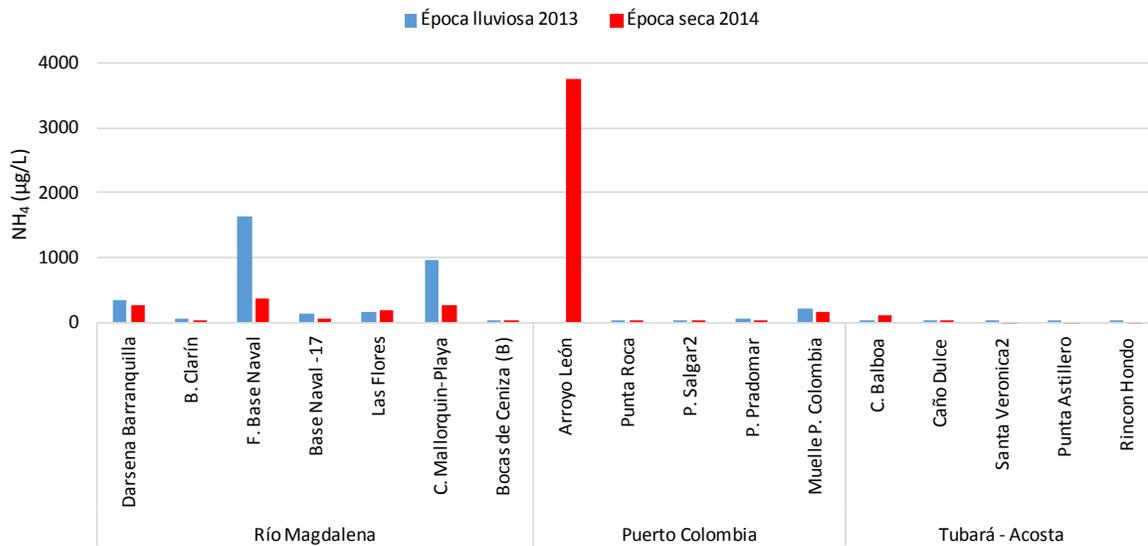


Figura 4.4.7. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Amonio (NH_4^+) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

Los promedios históricos de Amonio desde 2001 hasta 2014 muestran también una tendencia a ser más altos en la zona influenciada por el río Magdalena. Los valores en esta zona van desde el más alto registrado en frente a la Base Naval ($556,92 \pm 16,94 \mu\text{g/L}$ en la época lluviosa; $393,53 \pm 42,85 \mu\text{g/L}$ en época seca) hasta el menor en Boca Clarín ($18,82 \pm 25,46 \mu\text{g/L}$ en época lluviosa; $15,58 \pm 33,77 \mu\text{g/L}$ en época seca; Figura 4.4.8). Por su parte la estación Arroyo León muestra el valor más alto 3.749,3 $\mu\text{g/L}$ el único registrado en el periodo de estudio y corresponde a la época seca del año 2014, su comportamiento se debe al alto grado de contaminación, el vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos y líquidos. Los promedios de concentración en el sector de Puerto Colombia a excepción de Arroyo León se mantienen en rangos más bajos con el menor concentración en playa Salgar 2 con $20,89 \pm 25,99 \mu\text{g/L}$ y la mayor concentración de nitrógeno amoniacal en Muelle Puerto Colombia ($47,66 \pm 132,56 \mu\text{g/L}$ en época lluviosa y $40,66 \pm 163,67 \mu\text{g/L}$ en época seca).

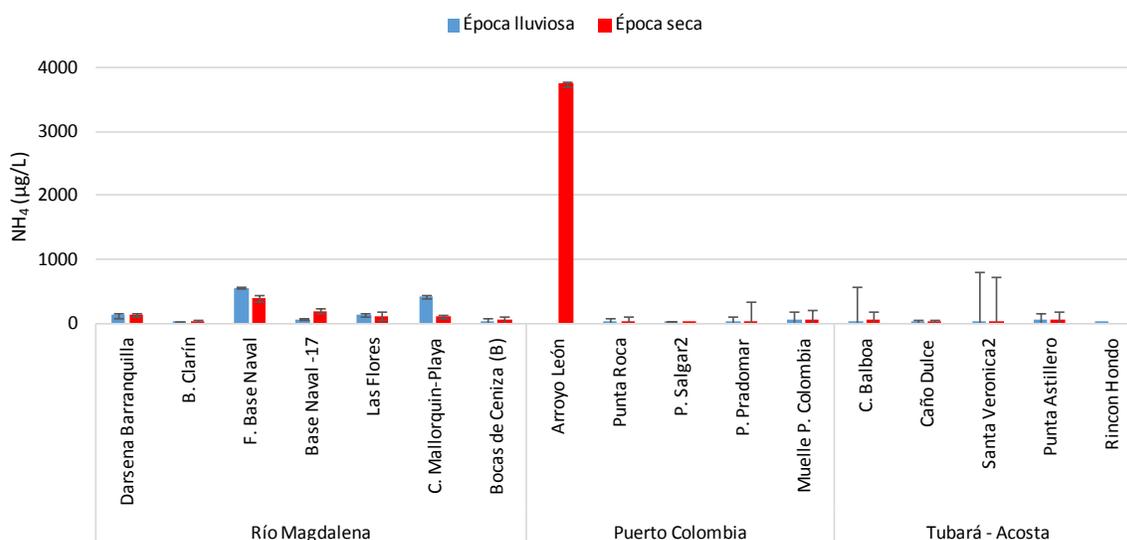


Figura 4.4.8. Promedio histórico de las concentraciones de Amonio (NH₄⁺) medidas durante las épocas lluviosa y seca entre el año 2001 y 2014 en el agua superficial de las estaciones del departamento de Atlántico. Las barras de error representa la desviación estándar.

El Fosfato al igual que los demás nutrientes inorgánicos mostró una tendencia en la zona influenciada por los aportes del río Magdalena con las mayores concentraciones en la estación ciénaga de Mallorquín-Playa con 690,7 µg/L en la época seca y 473,6 µg/L en época lluviosa. Así mismo la estación con mayor presencia de Fosfatos fue Arroyo León (825,1 µg/L en la época seca 2014). En las demás estaciones durante la época lluviosa F. Base Naval tuvo una concentración de 156,5 µg/L, mientras que Santa Verónica 2 registró un valor de 4,9 µg/L. Para la época seca los valores estuvieron desde menor al límite de detección (<2,4 µg/L) en las estaciones Caño Dulce y Rincón Hondo hasta la estación Dársena Barranquilla con 94,7 µg/L (Figura 4.4.9).

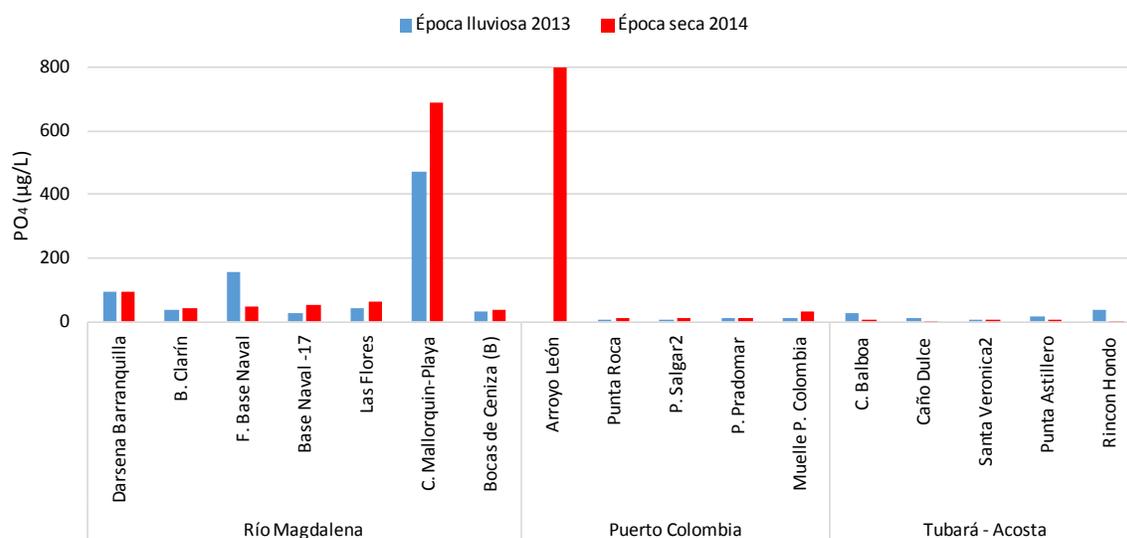


Figura 4.4.9. Concentraciones de Fosfatos (PO₄³⁻) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Históricamente el Fosfato presentó en la época seca la concentración más alta en la estación arroyo León $825,1 \mu\text{g/L}$, y el más bajo para esta época fue de $15,70 \mu\text{g/L} \pm 8,89 \mu\text{g/L}$ en Punta Roca. En la época lluviosa para el periodo de 2001 hasta 2014 el promedio de concentración más alto en la ciénaga Mallorquín-Playa $169,82 \mu\text{g/L} \pm 135,17 \mu\text{g/L}$ y el más bajo fue de $2,83 \mu\text{g/L} \pm 67,17 \mu\text{g/L}$ en Santa Verónica 2 (Figura 4.4.10).

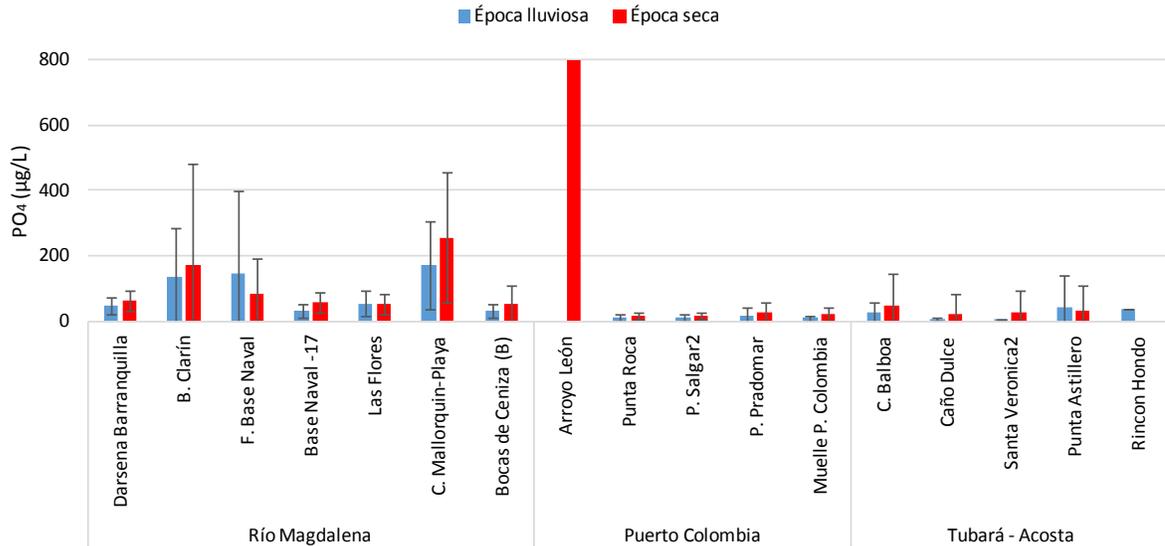


Figura 4.4.10. Promedio histórico de las concentraciones de Fosfato (PO_4^{3-}) medidas durante las épocas lluviosa y seca entre el año 2001 y 2014 en el agua superficial de las estaciones del departamento de Atlántico. Las barras de error representa la desviación estándar.

4.4.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

Se determinaron las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE) durante la época lluviosa 2013 y seca 2014. Con respecto a los CTT, se registraron concentraciones que oscilaron entre el límite de detección del método ($1,8 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$) y $1.600.000 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$, encontrándose condiciones óptimas de calidad del recurso hídrico para uso por contacto primario y secundario en las estaciones Rincón Hondo, punta Astillero, Santa Verónica2, caño Dulce, playa Pradomar, punta Roca, arroyo León y boca caño Clarín, mientras que en el resto de las estaciones las condiciones fueron inapropiadas, presentándose las mayores concentraciones durante la época lluviosa, principalmente en las influenciadas por el río Magdalena (Figura 4.4.11).

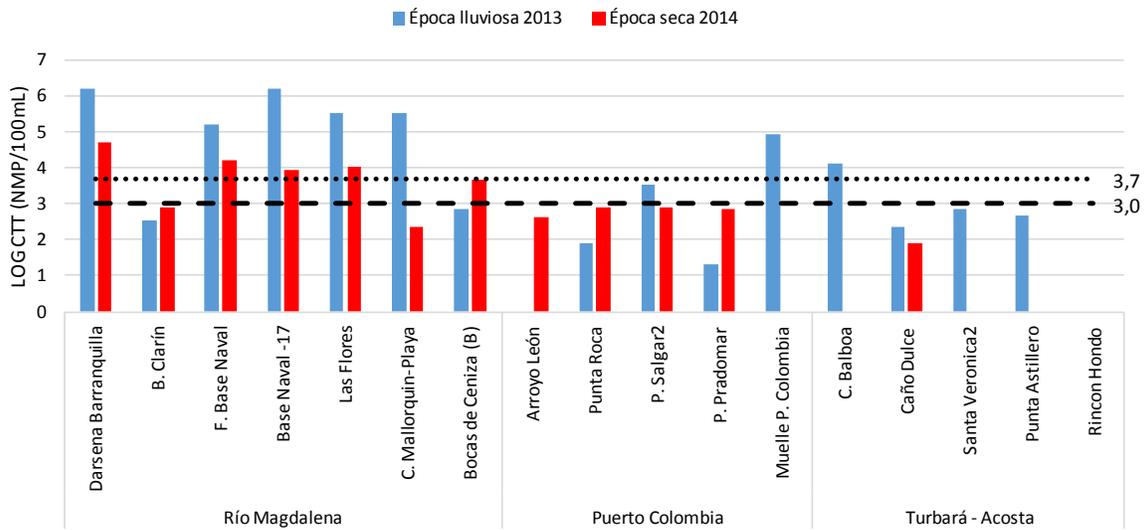


Figura 4.4.11. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Los datos históricos del 2001 al 2014 de CTT mostraron que las estaciones en la zona del río Magdalena han presentado valores superiores al criterio de calidad admisible para aguas de contacto primario y secundario (Figura 4.4.12; [MinSalud, 1984](#)). Estas concentraciones de microorganismos de origen fecal se ven favorecidas por las condiciones ambientales de estas estaciones, cómo salinidades cercanas a cero y pH neutros ([Chigbu et al., 2004](#); [Hughes, 2003](#)). El promedio histórico de las playas demostró que en general no superan la norma debida especialmente al poder bactericida del agua de mar ([Chigbu et al., 2004](#); [MinSalud, 1984](#)).

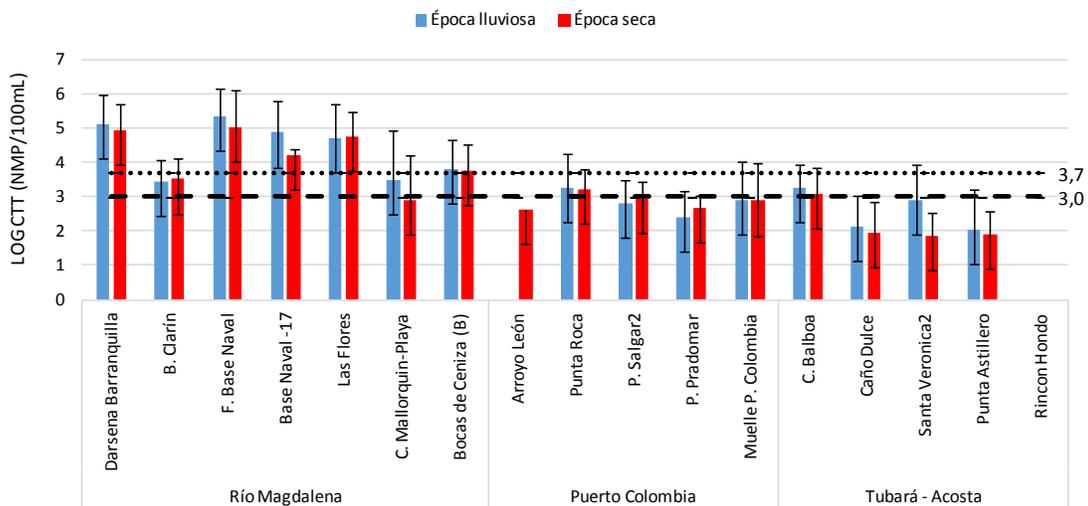


Figura 4.4.12. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en los principales ríos del departamento del Atlántico. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Los CTE presentaron concentraciones entre 1,0 y 1.600.00 NMP/100 mL, presentándose valores por encima del criterio de calidad para el uso del contacto primario y secundario en las estaciones situadas en la zona del río Magdalena (<200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)), lo que demuestra que el río Magdalena es el receptor de aguas residuales de las poblaciones cercanas.

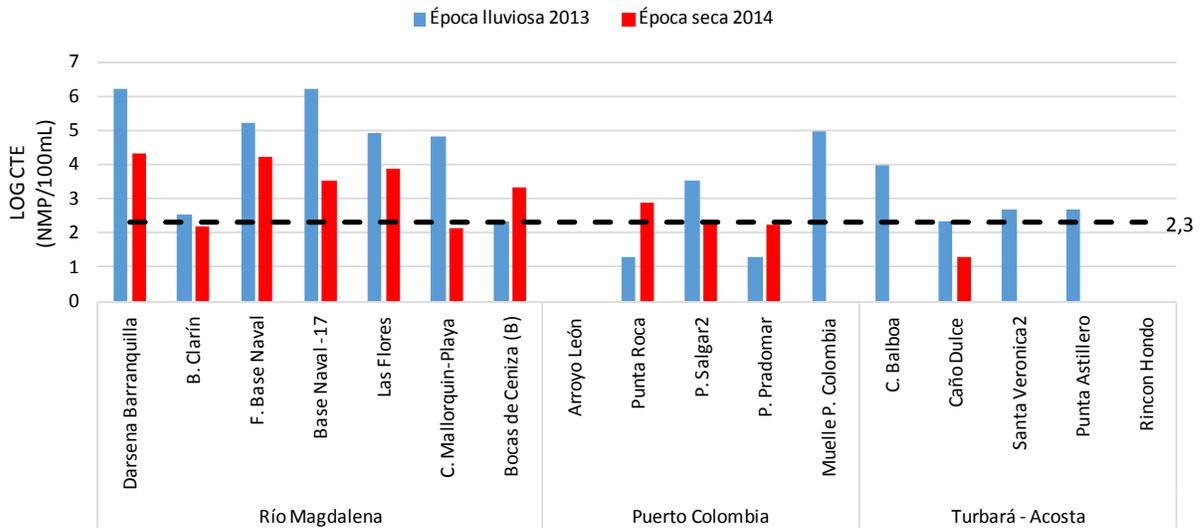


Figura 4.4.13. Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) en las estaciones medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 2,3 corresponde al Log 200 NMP/ 100 mL del límite permisible para contacto primario según [MinSalud \(1984\)](#).

En el caso de la calidad microbiológica de las playas del departamento, entre la época lluviosa de 2013 el 71 % de las playas superaron el límite permisible para contacto primario para CTE, solo Pradomar y Punta Roca fueron aptas, mientras que en la época seca de 2014 las playas de Salgar y Punta Roca que corresponden al 29 % superaron la norma (Tabla 4.4.2), estas condiciones favorables en época seca puede atribuirse al incremento en la salinidad y radiación solar ([Davies et al., 1994](#)).

Los EFE presentaron valores que variaron en un rango entre 1 y 1.720 UFC/100 mL, encontrándose la mayor concentración en la estación Muelle Puerto Colombia en la época lluviosa 2013 (Tabla 4.4.2). De acuerdo con las concentraciones registradas, las playas Prado Mar, punta Roca, caño Dulce y punta Astilleros corresponderían a la categoría A (≤ 40 UFC/100 mL; [OMS, 2003](#)), con un riesgos de que las personas puedan contraer enfermedades gastrointestinales (EGI; <1%) y enfermedades respiratorias febril aguda (ERFA; <0,3%); por su parte, las playas Santa Verónica y Salgar2 corresponden a la categoría B (41–200 UFC/100 mL; [OMS, 2003](#)), con riesgos entre 1 y 5 % de contraer EIG y entre 0,3 y 1,9 % de contraer ERFA; finalmente la estación Muelle Puerto Colombia que presentó el valor máximo de EFE, clasificó en la categoría D (>500 UFC/100 mL; [OMS, 2003](#)) con riesgos >10 % de contraer EGI y >3,9 % de contraer ERFA.

Tabla 4.4.2. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las estaciones correspondientes a playas en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014. Los valores en negrilla son aquellos que sobrepasan los límites de referencia establecidos tanto por la norma nacional para Coliformes Termotolerantes (<200 NMP/100 mL) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para Enterococos.

Zona	Estación	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)						Enterococos (UFC/100 mL)					
		Época lluviosa			Época seca			Época lluviosa			Época seca		
		2013	% casos*	n	2014	% casos*	n	2013	% casos**	n	2014	% casos**	n
Puerto Colombia	Punta Roca	20	50	10	800	75	12	18	0	1	36	0	1
	P. Salgar2	3500	36	11	220	77	13	30	0	5	46	38	8
	P. Pradomar	20	44	9	170	45	11	20	60	5	32	0	8
	Muelle P. Colombia	92000	36	11	1	46	13	1720	80	5	22	22	9
Tubará - Acosta	Caño Dulce	230	40	10	20	18	11	ND	50	4	1	11	9
	Santa Veronica2	460	50	10	1	17	12	42	40	5	2	0	9
	Punta Astillero	490	44	9	1	0	11	9	0	5	1	11	9

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2001-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario <200 NMP/ 100 mL ([MinSalud, 1984](#)).

**Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2006-2014) en donde se presentaron valores por encima de la guía internacional según la Organización Mundial para la Salud para aguas de uso recreativo de contacto primario ([OMS, 2003](#)).

4.4.1.3 HIDROCARBUROS

Para el período de lluvia 2013 y seca 2014, las concentraciones de los Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) determinadas en las estaciones de este departamento no superaron el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la UNESCO y por encima del cual se considera alto riesgo para la biota acuática ([UNESCO, 1984](#)). Los valores oscilaron en un rango entre el límite de detección del método (0,07 µg/L) y 4,23 µg/L. Las concentraciones más altas se registraron durante la época lluviosa 2013, destacándose las estaciones de la zona del río Magdalena, frente a Base Naval (2,48 µg/L) y ciénaga de Mallorquín (2,39 µg/L), las cuales pueden estar vinculadas al mantenimiento de embarcaciones y al transporte diario de hidrocarburos a través del río desde la refinería de Barrancabermeja hasta el Canal del Dique ([CORMAGDALENA, 2007](#)). Así mismo, la estación de punta Roca en la zona costera de Puerto Colombia, presentó el valor más alto durante el periodo evaluado (4,23 µg/L), lo cual posiblemente se debe a las descargas de aguas servidas y residuos de lavaderos de carros en las poblaciones ribereñas. Por otro lado, en la época seca de 2014, la concentración más alta de HAT (2,43 µg/L) se registró en la ciénaga de Balboa (Figura 4.4.14).

El análisis temporal de los datos históricos desde el 2001 al 2014 mostró que, de manera general las concentraciones más altas de HAT se registraron en la época de lluvias, sin embargo, en algunas estaciones no se ha observado una tendencia histórica similar ($p > 0,05$). Las concentraciones que pueden afectar a las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estas aguas, al estar por encima del valor de referencia, se han registrado en la zona río Magdalena (Figura 4.4.15), principalmente en las estaciones frente a Base Naval (13,69 µg/L, en 2010), ciénaga de Mallorquín urbanización las Flores (12,40 µg/L, en 2001) y Bocas de Ceniza (10,50 µg/L, en 2001). De igual forma, las concentraciones promedio más altas se han registrado en la ciénaga de Mallorquín ($2,46 \pm 3,14$ µg/L), las Flores ($2,00 \pm 3,71$ µg/L), y frente a Base Naval ($2,19 \pm 2,56$ µg/L), estas pueden ser ocasionadas principalmente por los vertimientos de residuos oleosos de la actividad marítima y portuaria, el tráfico de buques y lanchas así como el transporte de petróleo y sus derivados ([Garay et al., 1992](#)).

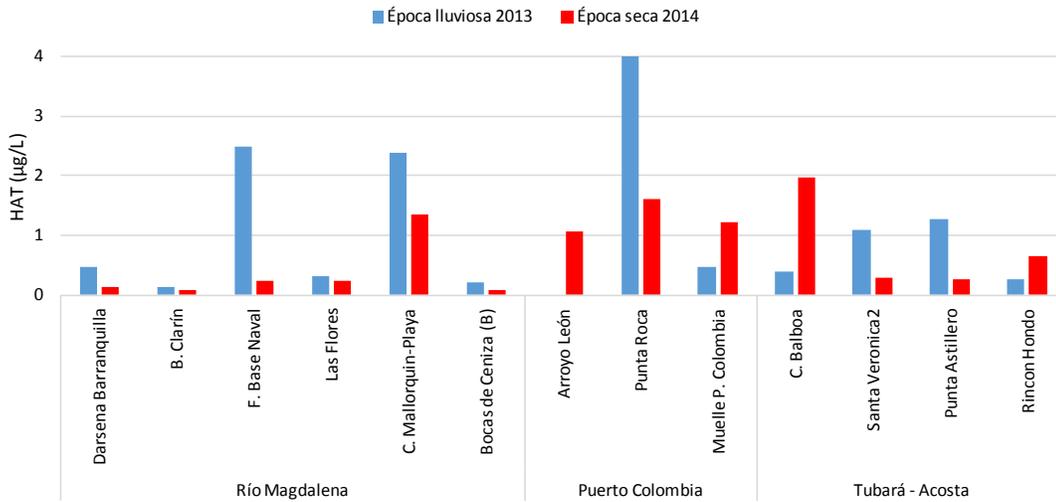


Figura 4.4.14. Concentraciones de Hidrocarburos Aromático Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

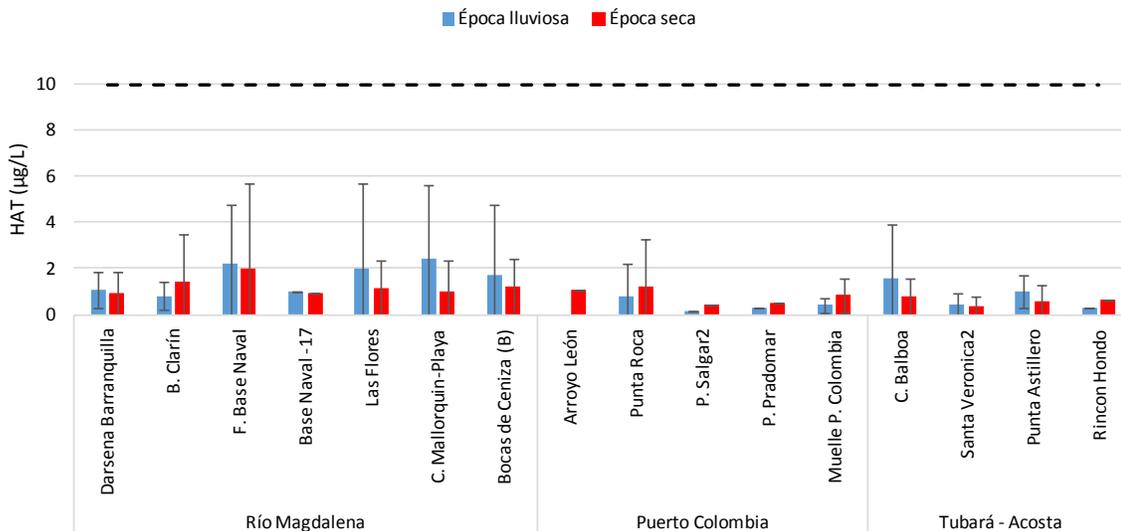


Figura 4.4.15. Promedio histórico (2001 - 2014) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea discontinua de 10 µg/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según [Unesco \(1984\)](#).

4.4.1.4 PLAGUICIDAS

La contaminación por residuos de plaguicidas en las aguas costeras de este departamento está asociada al procesamiento de derivados agroquímicos en la ciudad de Barranquilla y a las descargas del río Magdalena ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)).

Los registros históricos de las concentraciones de compuestos Organoclorados (OC) han mostrado variaciones que se relacionan con los cambios de 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 2014), que permitió determinar nuevos analitos a partir del 2010. Durante los primeros seis años de seguimiento (2001-2006), las concentraciones de los OC en las estaciones monitoreadas presentaron una tendencia general a descender con valores que no superaron la referencia de 30 ng/L establecida por la [EPA \(2009\)](#). Entre 2007 y 2008 se observó un ligero incremento en las concentraciones de los compuestos determinados (Figura 4.4.16a); esta variabilidad que se ha presentado es un indicador de que los suelos pueden drenar sustancias que fueron aplicadas hace mucho tiempo y que aún se encuentran en el medio debido a su persistencia. En el 2009 las concentraciones de OC estuvieron por debajo del límite de detección (6 ng/L), mientras que para el 2010 se registró la concentración más alta (128,7 ng/L) de plaguicidas OC totales, este resultado es atribuible a la implementación del análisis de nuevos analitos. A partir de 2011 continuó observándose la tendencia decreciente en la concentración de estos compuestos (Figura 4.4.16b).

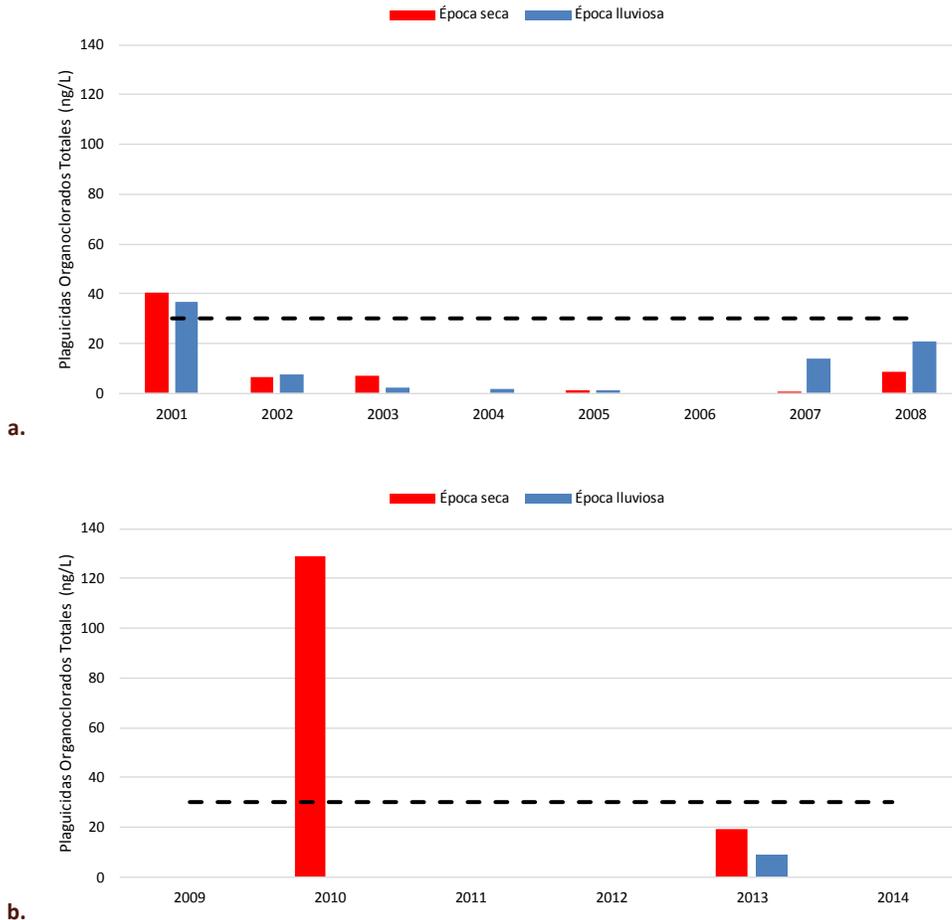


Figura 4.4.16. Concentración de plaguicidas en aguas superficiales del departamento del Atlántico; a) valores registrados antes de la implementación de nuevos equipos y técnicas analíticas (2001-2008); b) valores registrados después de la implementación de nuevas técnicas analíticas (2008-2014). La línea discontinua de 30 ng/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según [EPA \(2009\)](#).

Durante el monitoreo realizado en la temporada lluviosa 2013 y seca 2014, la mayoría de las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección de las técnicas analíticas, excepto que el único compuesto detectado fue el pp-DDE (8,4 ng/L) en la estación frente a Base Naval para la época lluviosa de 2013, sin embargo, este no supera el valor de referencia para efectos agudos en aguas superficiales marinas (14.000 ng/L) determinado por [Buchman \(2008\)](#). Este residuo se encuentra en el medio ambiente como efecto de la contaminación por DDT y es el metabolito más persistente de dicho plaguicida, no obstante, es difícil establecer su procedencia ya que es un compuesto de amplio uso. En este aspecto, el hecho de hallar un isómero de degradación (pp-DDE) y no el compuesto original (DDT) es un indicador de que el producto no fue usado recientemente.

A partir del 2009 se inició el monitoreo de plaguicidas de uso actual, dentro de los compuestos detectados se encuentran el metil paratión y el endosulfán en la ciénaga de Balboa durante la época seca de 2010. Así mismo, durante la época de lluvias 2010, este último compuesto se detectó en algunas estaciones ubicadas en el río Magdalena, en las Flores (31,8ng/L) y en la boca del Caño Clarín (20,3 ng/L), sin embargo, las concentraciones son bajas y no representan riesgo de toxicidad para los organismos acuáticos. Durante las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 no hubo presencia de ninguno de estos compuestos en las estaciones monitoreadas.

4.4.1.5 METALES PESADOS

Las distintas fuentes de contaminación que se encuentran en el departamento del Atlántico, permite separarlo por zonas para realizar los estudios de calidad de aguas y sedimento. Claramente se ha identificado a la zona del río Magdalena como la más afectada; debido al desarrollo industrial a lo largo del río, sumado con las descargas de aguas servidas en la cuenca alta, media y baja que por escorrentías llegan hasta este mismo ([Cedeño et al., 2001](#)). En estudios previos, se ha identificado que el mayor aporte de metales a las aguas marinas, proviene precisamente del río Magdalena, producto de la intensa actividad industrial en el departamento del Atlántico como las metalúrgicas, productoras de químicos, curtiembres, agroquímicos, entre otras ([Garay y Vélez, 2004](#)).

Durante la época lluviosa de 2013, el Plomo disuelto (Pb) tuvo mayor presencia en las zonas de Puerto Colombia y Tubará- Acosta, con el máximo valor en la estación punta Roca (7,1 µg/L), mientras que en la época seca de 2014 solo fue detectado este metal con un nivel de 5,1 µg/L en la estación Frente a Base Naval. En general, la concentración promedio de Pb fue de 5,9±2,7 µg/L, valor que está por debajo del nivel de referencia establecido por la NOAA (210 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

Las concentraciones de Cadmio (Cd) y Níquel (Ni) disuelto, estuvieron por debajo del límite de detección para el periodo 2013-2014; solo en la estación ciénaga Mallorquín-Playa fue detectado Cd en época lluviosa de 2013 con concentración de 3,1 µg/L y el Ni en época seca de 2014 con concentración de 7,4 µg/L, sin embargo, ningún metal superó el valor de referencia reportado en guías internacionales para aguas con potenciales efectos tóxicos (Cd: 40 µg/L, Ni: 74 µg/L; [Buchman, 2008](#)). El Cromo disuelto (Cr), en ambos periodos ha estado por debajo del límite de detección (0,5 µg/L), situación que no representa riesgo para la vida acuática, ya que sus niveles son inferiores al valor de riesgo reportado en guías internacionales (50 µg/L; [CONAMA, 2005](#)).

En el periodo de lluvias de 2013, en las zonas de Puerto Colombia, Tubará-Acosta y río Magdalena los niveles de Cobre disuelto (Cu) fueron menores al límite de detección (5 µg/L). Solo en la estación Bocas de Cenizas fue detectado con una concentración de 1,6 µg/L. En el periodo seco de 2014, solo en la zona del río Magdalena se ha detectado el Cu, estableciéndose una concentración media de $2,0 \pm 0,9$ µg/L con un mínimo de 1,9 µg/L y máxima de 3,2 µg/L. La Figura 4.4.17 muestra la amplia variación presentada en la zona del río Magdalena, sin embargo, los niveles no superan el valor de referencia de la NOAA en aguas marinas; quienes establecen que una concentración de 4,8 µg/L puede tener efectos tóxicos agudos sobre la biota presente en aguas marinas destinadas a la conservación (Buchman, 2008).

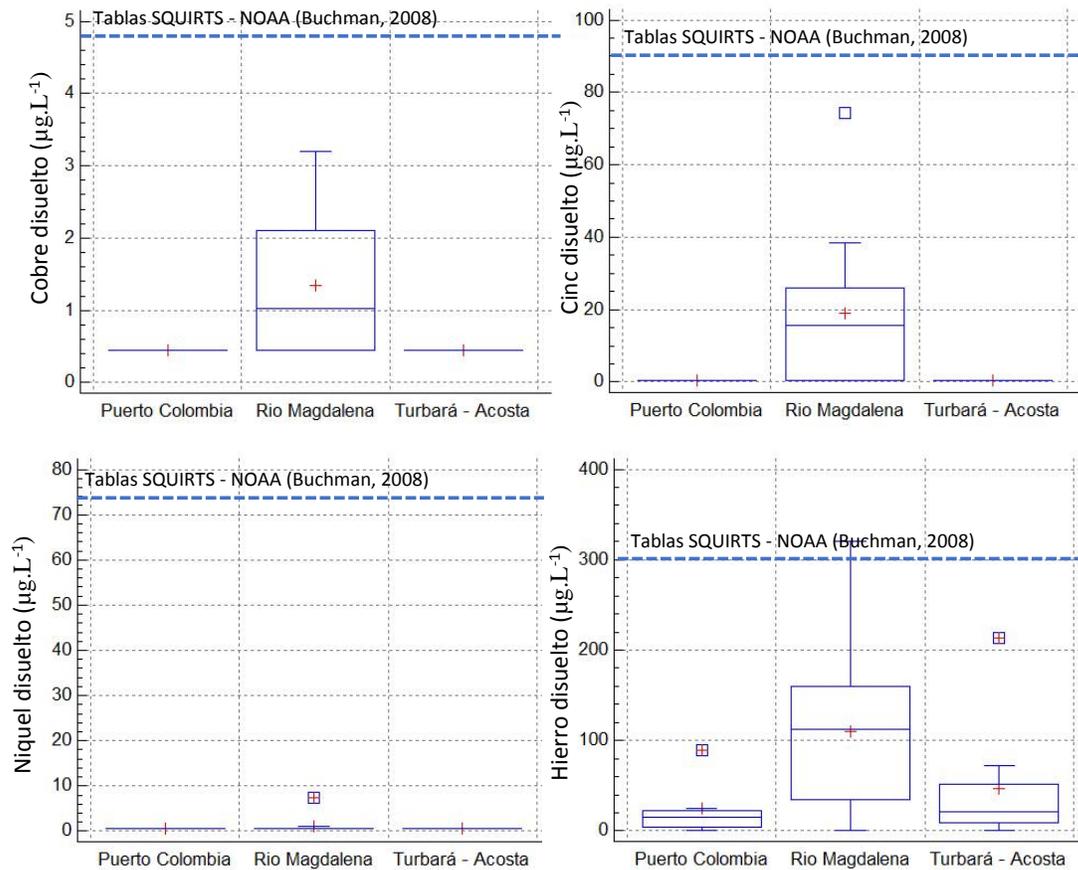


Figura 4.4.17. Concentraciones de Cobre, Cinc, Níquel y Hierro en las zonas del departamento de Atlántico durante la época lluviosa de 2013 y seca de 2014. La línea punteada señala el valor máximo sugerido por la NOAA (Buchman, 2008).

El Zinc disuelto (Zn) presentó un comportamiento similar al Cu, siendo detectado solamente en la zona del río Magdalena. La concentración media de Zn para la época lluviosa de 2013 fue de $14,7 \pm 14,1$ µg/L mientras que para la época seca de 2014 fue de $23,4 \pm 27,7$ µg/L, sin embargo, no se observó diferencias significativa entre épocas para la zona del río Magdalena ($p > 0,05$; Tabla 4.4.3). En general, los niveles de Zn estuvieron por debajo del valor de referencia de la NOAA para aguas con potenciales efectos tóxicos agudos a la vida acuática (90,0 µg/L; Buchman, 2008).

Tabla 4.4.3. Análisis de varianza (ANOVA, Statgraphics plus 5.1) de las concentraciones medias de Zn en la zona del río Magdalena del departamento de Atlántico durante el periodo de lluvias de 2013 y seco de 2014.

Fuente	Sumas de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	230,6	1	230,6	0,48	0,5043
Intra grupos	4806,9	10	480,7		
Total (Corr.)	5037,4	11			

El Hierro (Fe) disuelto a pesar de ser el metal que presentó mayor abundancia en el presente análisis, es el menos tóxico de todos (Segovia-Zavala *et al.*, 2009). Factores antropogénicos así como procesos naturales de meteorización, favorecen el aumento de los niveles de este metal en las aguas marino-costeros. La Figura 4.4.17 muestra una amplia variación en las concentraciones de Fe en la zona del río Magdalena estando en el rango de <4,7 µg/L a 319,0 µg/L. Las zonas Puerto Colombia y Tubará-Acosta presentan datos atípicos (outliers) que corresponden a las estaciones Arroyo León (89,5 µg/L) y Rincón Hondo (213,3 µg/L) en época seca 2014, sin embargo, las zonas de aguas marinas estuvieron por debajo del valor de referencia de la NOAA para aguas con potenciales efectos tóxicos (300 µg/L; Buchman, 2008).

4.4.1.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

Los resultados del índice de calidad de aguas, mostraron condiciones adecuadas y aceptables del agua marina para la preservación de flora y fauna en las estaciones Pradomar, punta Astillero, Santa Verónica y Punta Roca para ambas épocas climáticas (Figura 6.3.12). Mientras que Puerto Colombia y Salgar presentaron condiciones inadecuadas en la época de lluvias de 2013, debido a que presentaron altas concentraciones de coliformes (92.000 NMP/mL y 3.500 NMP/mL) respectivamente. En Bocas de Ceniza en la época seca de 2014, también el estado fue inadecuado por los altos contenido de sólidos suspendidos (103 mg/L) atribuido al arrastre de sedimentos.

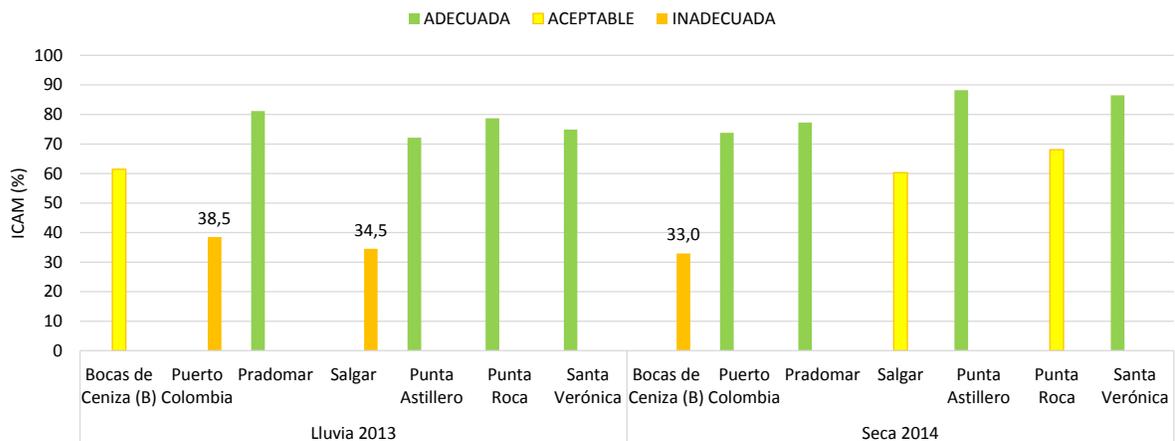


Figura 4.4.18. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), para la época lluviosa año 2013 y época seca 2014, en las estaciones en el departamento del Atlántico.

4.4.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

4.4.2.1 MATERIA ORGÁNICA

Las muestras para determinar la calidad en los sedimentos se tomaron en las estaciones de Muelle Puerto Colombia, Rincón Hondo y Base Naval - 17 (influencia del caño la Ahuyama). Los valores de materia orgánica fueron similares en el Muelle Puerto Colombia y Base Naval en ambas épocas climáticas (Tabla 4.4.4), excepto en Rincón Hondo, que mostró un incremento debido a que en la época seca, la estación no tenía comunicación con el mar, lo que evitaba la circulación de agua y pudo causar la disminución del oxígeno disuelto y mayor descomposición de la materia orgánica. (Rullkötter, 2000).

Tabla 4.4.4. Materia orgánica en sedimentos determinada durante la época lluviosa 2013 y seca 2014 en el departamento del Atlántico.

Estación	MO (mg/g)	
	Época Lluviosa 2013	Época seca 2014
Muelle Puerto Colombia	2,2	2,8
Rincón Hondo	5,2	19,4
Base Naval - 17	22,6	22,7

4.4.2.2 HIDROCARBUROS

En el caso de hidrocarburos, en Colombia no existen criterios sobre niveles permisibles o valores umbrales de hidrocarburos en sedimentos, o referencias de concentraciones que puedan causar efectos tóxicos a la vida marina; por lo tanto se tomó como referencia para el análisis de la información obtenida durante los muestreos el valor determinado por la NOAA de 3,9 $\mu\text{g/g}$ para sedimentos no contaminados. A diferencia del agua, los sedimentos provenientes de la estación Base naval – 17, ubicada en el río Magdalena, mostraron una concentración de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) que supera el valor de referencia tanto en la época de lluvias 2013 (5,59 $\mu\text{g/g}$), como en la seca 2014 (26,74 $\mu\text{g/g}$; Tabla 4.4.5), esto se debe a la gran cantidad de materia orgánica contenida en las aguas residuales, la cual llega al río y se convierte en un absorbente de contaminantes que se encuentran suspendidos, disueltos y/o particulados en las masas de agua. Los sedimentos provenientes de las estaciones Muelle Puerto Colombia y Rincón Hondo presentaron concentraciones que estuvieron por debajo del nivel de referencia de evaluación para sedimentos contaminados (NOAA, 1990). La variabilidad espacial y temporal implica que no existe una entrada constante de residuos de hidrocarburos al medio evaluado.

Tabla 4.4.5. Concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Totales en sedimentos en las estaciones del departamento del Atlántico, durante la época lluviosa 2013 y lluviosa 2014.

Estación	Época Lluviosa 2013	Época seca 2014
	HAT ($\mu\text{g/g}$)	HAT ($\mu\text{g/g}$)
Muelle Puerto Colombia	1,95	0,11
Rincón Hondo	0,47	0,04
Base Naval - 17	5,59	26,74
Valor de referencia	3,9 *	3,9 *

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

4.4.2.3 PLAGUICIDAS

El sedimento es un cuerpo dinámico complejo que proporciona información importante sobre la calidad del medio ambiente acuático dada la capacidad de acumular sustancias contaminantes. Se realizó una primera evaluación de la contaminación de este sustrato por plaguicidas en tres estaciones del departamento durante la época lluviosa 2013 y seca 2014 (Tabla 4.4.6).

Tabla 4.4.6. Concentraciones de plaguicidas en sedimentos en estaciones del departamento del Atlántico, durante la época lluviosa 2013 y lluviosa 2014.

Época	Estación	DDT's (ng/g)	HCH's (ng/g)
Lluviosa 2013	Muelle Puerto Colombia	1,7	-
	Rincón Hondo	-	-
	Base Naval - 17	1,5	5,3
Seca 2014	Muelle Puerto Colombia	-	-
	Rincón Hondo	-	-
	Base Naval - 17	-	-
Valores de referencia		10 *	10 *

*Valor de referencia para sedimentos no contaminados (Buchman, 2008).

Los resultados mostraron presencia de metabolitos de DDT's y HCH's en dos de las estaciones monitoreadas (Muelle Puerto Colombia y Base Naval- 17) durante la época de lluvias 2013. A pesar de que el uso de estos compuestos ha sido restringido, pueden seguir encontrándose en el medio acuático debido a su naturaleza hidrofóbica que les permite asociarse fuertemente a las partículas del sedimento y a la materia orgánica (Romano *et al.*, 2004), sin embargo, ninguna de las concentraciones reportadas supera los límites de referencia reportados por Buchman (2008). Por otra parte, durante la época seca 2014 no se registró presencia de ninguno de los analitos evaluados, esta variabilidad en los resultados entre épocas puede explicarse porque los contaminantes no quedan permanentemente retenidos y pueden ser liberados a la columna de agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de materia orgánica (Said, 2007).

4.4.3 CONCLUSIONES

Las variables *in situ* y sólidos suspendidos totales mostraron diferencias entre las estaciones de monitoreo, las cuales se agruparon en sitios de carácter estuarino, dulceacuícola y marinas, excepto la estación Rincón Hondo que por sus características diferenciadas (alta temperatura y salinidad) se separó en un cuarto grupo. El pH se encontró dentro los rangos establecidos por la legislación colombiana para aguas dulces, marinas y estuarinas, mientras que el oxígeno disuelto en las estaciones frente a Base Naval y Dársena Barranquilla, presentaron valores por debajo del límite establecido, debido a que se encuentran influenciadas directamente por aguas servidas.

En las tres zonas del departamento del Atlántico: río Magdalena, Puerto Colombia y Tubará Acosta se observó que en las estaciones influenciadas por el río Magdalena se presentaron las mayores concentraciones de nutrientes, lo que puede explicarse por la gran influencia antropogénica y el aporte natural del río. Estaciones como ciénaga de Mallorquín-Playa y arroyo León presentaron indicios de eutrofización, debido al vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos en la zona. En

las estaciones ubicados en las zonas Puerto Colombia y Tubará-Acosta indicaron una menor presencia de nutrientes inorgánicos, se pueden resaltar entre los puntos menos influenciados debido a la presencia de las especies de nitrógeno y fósforo soluble las estaciones Santa Verónica y playa Salgar. En el caso de la estación Arroyo León es importante continuar con el monitoreo para determinar si continúa presentando los mayores valores de concentración de nutrientes inorgánicos según los resultados obtenidos.

Con respecto a la calidad microbiológica, las estaciones del departamento del Atlántico se encuentran altamente influenciadas no solo por la carga tanto orgánica y biológica que aporta el río Magdalena, sino, por las condiciones ambientales inherentes al tipo de agua (continental) cómo lo es la baja salinidad y pH. Por otro lado, las playas de las zonas de Puerto Colombia, Turbaco y Juan de Acosta han venido siendo frecuentadas con fines recreativos y deportes náuticos, dándole un valor turístico y por ende un impacto directo sobre la salud de sus usuarios. Por tal motivo es importante continuar con el seguimiento y vigilancia de las condiciones de estas playas para tomar medidas que disminuyan el riesgo de adquirir enfermedades fortaleciendo la frecuencia de los muestreos y la implementación de indicadores alternativos de contaminación fecal.

Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales en las aguas costeras del departamento fueron inferiores al valor de referencia ($<10 \mu\text{g/L}$) para aguas no contaminadas. El río Magdalena continúa presentando los valores más altos, especialmente durante la época de lluvias, ocasionados por manejo de crudo y sus derivados, operaciones de transporte y actividades propias de la zona ribereña. De igual forma, los sedimentos provenientes del río Magdalena presentaron las concentraciones más altas de hidrocarburos superando el valor de referencia determinado por la NOAA para sedimentos no contaminados, debido a la cantidad de materia orgánica contenida en las aguas residuales, la cual funciona como en un absorbente de contaminantes.

La mayoría de los plaguicidas analizados presentaron concentraciones por debajo del límite de detección de los métodos aplicados. Así mismo, en los sedimentos se determinaron metabolitos de DDT's y HCH's por debajo de los niveles de referencia, sin embargo, debido a la variabilidad que han mostrado las concentraciones de estos compuestos en las aguas de este departamento, se hace necesario mantener la vigilancia ya que se han registrado compuestos como el clorpirifos que estuvo presente en concentraciones por encima de los valores de referencia, lo que puede afectar el medio marino.

Aunque se presentaron concentraciones altas de algunos metales analizados, los niveles en aguas marinas no superaron el valor de referencia de la NOAA para aguas con potenciales efectos tóxicos, por tanto los niveles de metales en aguas marinas no genera riesgo para el desarrollo de la vida acuática.

Bolívar



Canal del Dique. Foto: Ostin Garcés

EQUIPO TÉCNICO CARDIQUE

Mady Carolina García – Jefe de Oficina Laboratorio

Ildefonso Castro – Profesional Especializado

Adriana Gonzalez – Profesional Universitario

4.5 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). El periodo lluvioso 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). Para el monitoreo de la REDCAM se han ubicado 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 4.5.1).

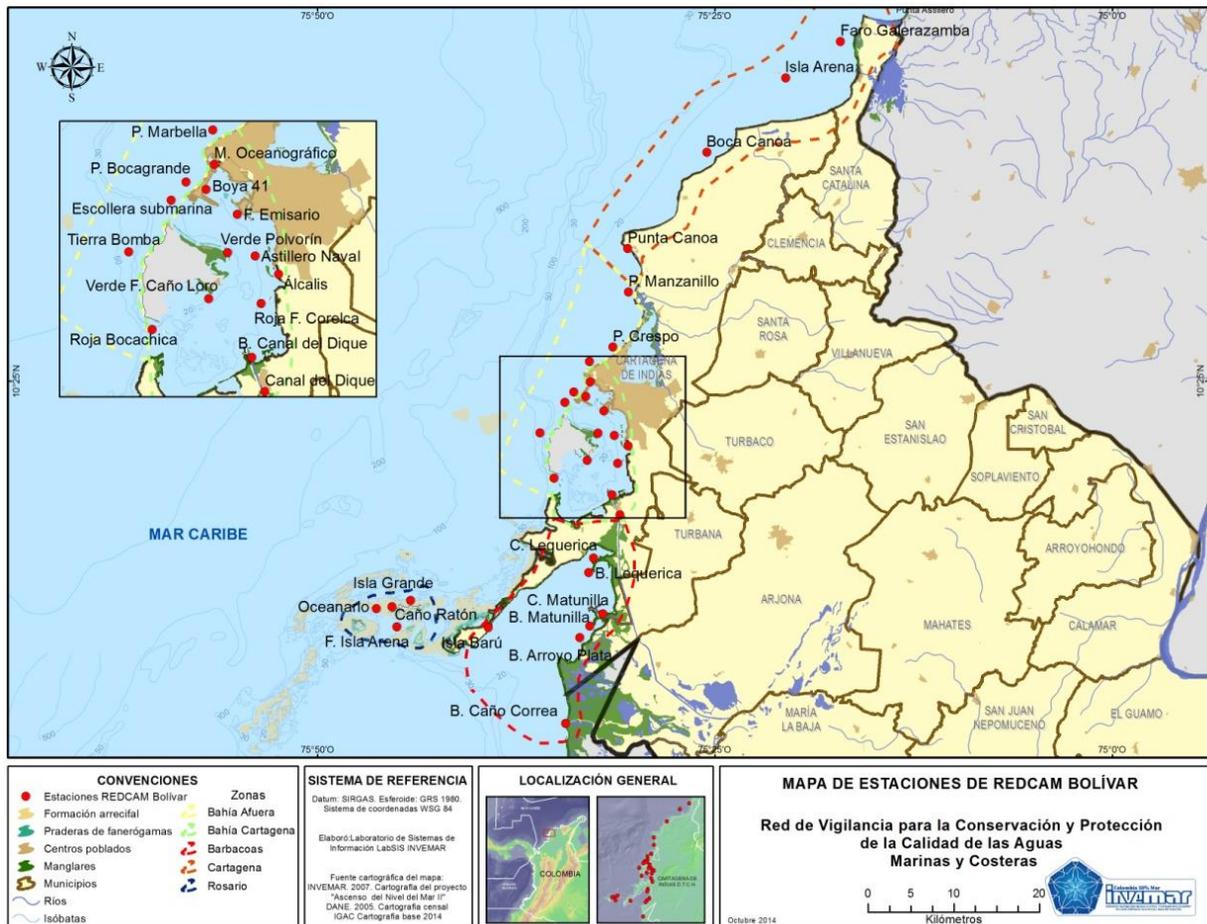


Figura 4.5.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Bolívar.

En el departamento también se encuentran la zona de las islas de Rosario, las cuales constituyen una de las áreas arrecifales más importantes del Caribe colombiano, donde el ecosistema predominante es coralino, encontrándose extensiones menores de praderas de fanerógamas marinas y pequeñas lagunas costeras rodeadas por manglares (Mejía *et al.*, 1994). Por su parte la capital se encuentra enmarcada dentro de una bahía con una superficie de 82 km 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. Los muestreos para este informe se realizaron entre el 19 de septiembre, 03 y 29 de octubre, 26 de noviembre y 17 de diciembre de 2013 (en adelante, época lluviosa 2014) y entre el 13 de marzo, 07, 08 y 27 de mayo de 2013 (en adelante, época seca 2014).

4.5.1 CALIDAD DE AGUAS

Las mediciones de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados muestran el estado de calidad del agua marina y costera del departamento de Bolívar para el uso del recurso con fines recreativos y de preservación de la fauna y flora acuática en los ecosistemas asociados. A continuación se presentan los resultados de los muestreos realizados en la época lluviosa 2013 y en la época seca 2014 (Tabla 4.5.1) contrastados con los datos históricos del monitoreo REDCAM del 2001 al 2013.

Tabla 4.5.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento de Bolívar.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	30,49	0,89	32,20	27,60	30,20	1,60	32,40	27,50
SST (mg/L)	98,52	95,01	491,00	4,00	115,32	210,76	759,00	8,00
Salinidad	21,76	13,34	41,00	0,00	26,98	14,61	40,60	0,06
pH			8,43	5,91			8,35	7,59
OD (mg/L)	6,55	1,65	9,14	2,76	7,34	1,00	9,70	4,60
NO ₃ (µg/L)	85,48	104,42	390,90	3,40	103,67	123,47	427,00	12,20
NO ₂ (µg/L)	6,86	7,10	25,50	1,60	17,71	21,65	70,50	0,00
NH ₄ (µg/L)	86,24	226,44	690,00	3,20	606,67	46,19	660,00	580,00
PO ₄ (µg/L)	52,73	68,85	290,00	6,10	103,18	167,12	810,00	30,00
CTT (NMP/100 mL)			7,90E+05	1,80E+00			2,00E+00	7,90E+04
CTE (NMP/100 mL)			3,30E+05	2,00E+00			2,30E+04	2,00E+00
TUR (NTU)	23,41	38,05	168,00	0,12	100,57	196,76	630,00	0,79
DBO (mg/L)	2,36	1,53	5,10	0,10	2,46	1,27	5,30	0,64
Pb (µg/L)	36,71	19,52	53,00	0,20	0,07	0,03	0,12	0,02

4.5.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendedos totales

Las estaciones de monitoreo de calidad de aguas en la zona costera del departamento de Bolívar presentaron variaciones en término de las variables de salinidad, conductividad eléctrica, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales (SST), turbidez, oxígeno disuelto (OD) y temperatura en las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014, siendo las variables de salinidad y SST las de mayor influencia en el análisis estadístico de conglomerado permitiendo separar las estaciones con mayores afinidades en dos grupos según el tipo de agua: las dulceacuícola que comprenden las ubicadas en el Canal del Dique y sus principales brazos, y las marino-estuarinas que incluye las playas, frentes y desembocaduras de algunos caños donde predomina la influencia de aguas saladas; la estación bocana del arroyo Plata se separó de las dulceacuícolas por presentar altas salinidades en época seca, mostrando mayor afinidad por el grupo marino-estuarinas (Figura 4.5.2).

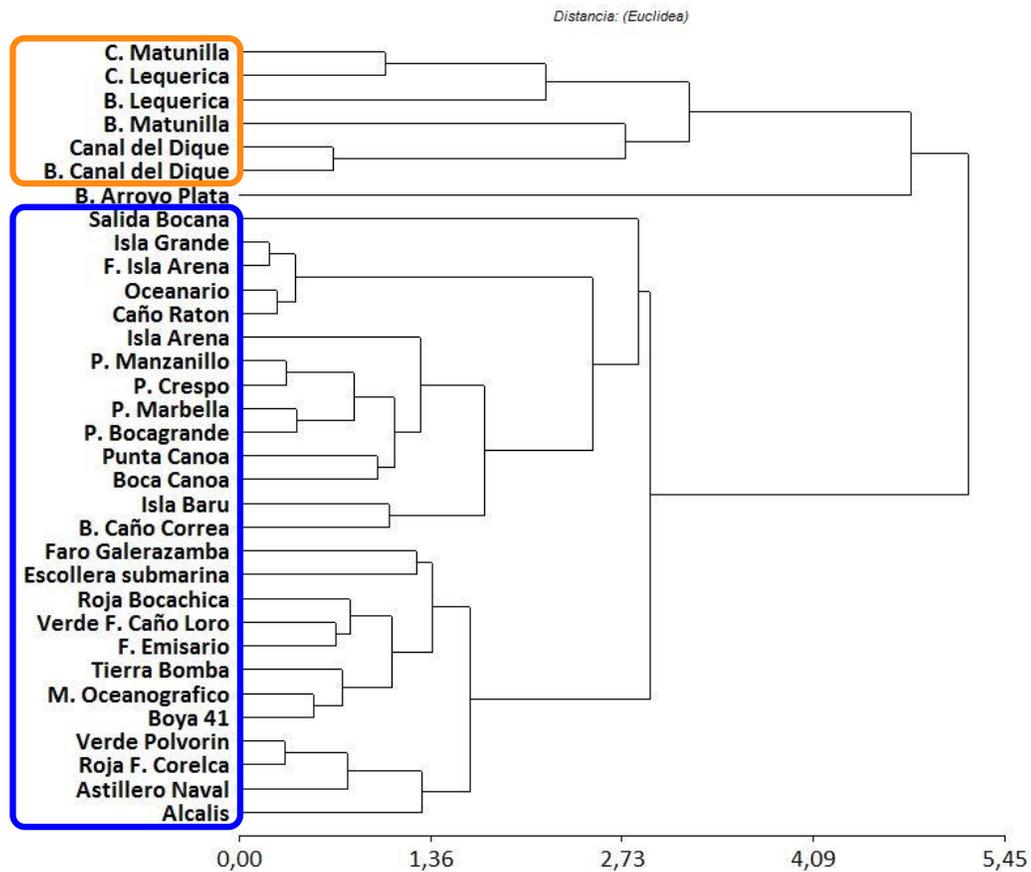


Figura 4.5.2. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento de Bolívar en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014. El recuadro azul indica las estaciones con influencia marino-costera y el naranja las ubicadas en los ríos. El recuadro azul agrupa las estaciones con influencia marino-estuarinas y el naranja las de agua dulce.

La salinidad en las estaciones marino-costeras presentó fluctuaciones entre 6,5 y 41,0, siendo las aguas típicamente más saladas en la época seca de 2014 ($34,3 \pm 3,6$) en comparación con la época lluviosa de 2013 ($28,0 \pm 11,0$), los valores máximos fueron registrados en las estaciones Faro de Galerazamba (41,0) en época de lluvias de 2013 y en Tierra Bomba (40,6) en la época de 2014. En las estaciones dulceacuícolas la salinidad máxima fue de 5,0 registrándose en la estación de la desembocadura del caño Matunilla. La conductividad eléctrica mostró un comportamiento similar a la salinidad por estar directamente relacionadas.

Los valores de pH en las estaciones marino-costeras oscilaron entre 7,7 y 8,4, con promedios de $8,1 \pm 0,1$ en época de lluvias de 2013 y de $8,2 \pm 0,1$ en época seca de 2014; por su parte, las estaciones dulceacuícolas presentaron fluctuaciones entre 7,1 y 8,2 con promedios de $7,6 \pm 0,4$ y $7,8 \pm 0,2$ en las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014 respectivamente; encontrándose los valores dentro de los límites permisibles para la preservación de fauna y flora según la legislación colombiana (de 6.5 a 8.5 para aguas marinas y estuarinas y de 4,5 a 9,0 para aguas dulces; [Minsalud, 1984](#)). La temperatura del agua superficial estuvo alrededor de los 30 °C en ambas épocas climáticas.

Los sólidos suspendidos totales presentaron variaciones entre 4,0 y 759,0 mg/L encontrándose los mayores rangos en las estaciones dulceacuícolas (70,0 – 759,0 mg/L), donde los valores máximos se encontraron en las estaciones ubicadas en los principales brazos del Canal del Dique como el caso de la estación de la desembocadura del brazo Lequerica (759,0 mg/L) y en el caño Lequerica (751,0 mg/L); mientras que en las estaciones marino-costeras el rango de valores de sólidos estuvo entre 4,0 y 211,0 mg/L, siendo la estación del Faro Galerazamba la de mayor valor en época de lluvias de 2013.

Los valores de oxígeno disuelto estuvieron en un rango entre 3,3 y 9,7 mg/L encontrándose los valores máximos las estaciones Astillero Naval (9,7 mg/L) en época seca de 2014 y en la estación Punta Canoa (9,1 mg/L), mientras que los valores mínimos fueron registrados en la estación de la desembocadura del arroyo Plata en época de lluvias de 2014 (4,6 mg/L) y en época seca de 2014 (3,3 mg/L), este último valor revela condiciones inadecuadas de las aguas de esta estación debido a que se encuentra por debajo del valor mínimo de referencia para la preservación de la fauna y flora acuática según la legislación colombiana ($>4,0$ mg/L; [Minsalud, 1984](#)).

Nutrientes

Se determinaron las concentraciones de Nitritos, Nitratos, Amonio y Fosfatos, en las estaciones de monitoreo del departamento durante la época lluviosa 2013 y seca 2014. Con respecto a los Nitritos, se registraron concentraciones entre 2,5 y 70,5 µg/L, presentándose los mayores valores en el sector de Barbacoas, principalmente en los brazos del Canal del Dique en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 (Figura 4.5.3); la estación con la mayor concentración de nitritos fue la desembocadura del caño Lequerica (70,5 µg/L) en época de lluvias de 2013 y la de menor concentración se registró en la estación de Tierra Bomba (2,5 µg/L) en época seca de 2014.

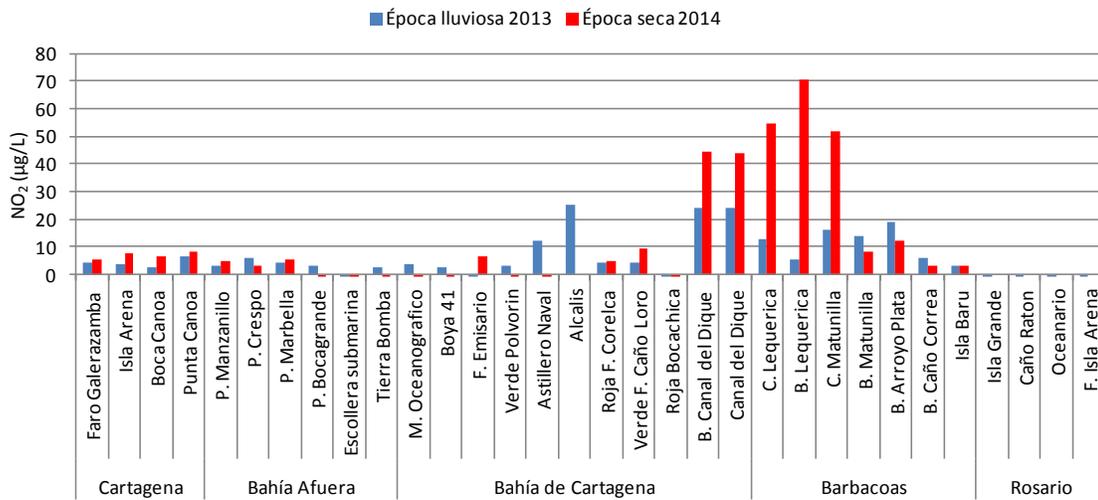


Figura 4.5.3 Concentraciones de Nitritos (NO₂) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Las concentraciones de Nitratos variaron en un rango entre 12,2 y 427,0 µg/L, siendo las estaciones situadas en los sectores de Bahía de Cartagena y Barbacoas los de mayores concentraciones en época lluviosa de 2013 y seca de 2014 (Figura 4.5.4). Las estaciones con mayores concentraciones de Nitratos fueron Astillero Naval (390,9 µg/L), Alcalis (275,2 µg/L) y la desembocadura del Canal del Dique (226,3 µg/L) en época de lluviosa de 2013, mientras que en época seca 2014 las estaciones con mayores valores fueron desembocadura del caño Lequerica (427,0 µg/L), caño Lequerica (379,5 µg/L), caño Matunilla (350,5 µg/L) y Canal del Dique (327,6 µg/L). Es importante mencionar que las estaciones ubicadas en el sector de Rosario presentaron concentraciones por debajo del límite de detección del método analítico utilizado (10,4 µg/L) siendo esta la zona donde se encuentran las formaciones coralinas de gran importancia en el Caribe (Mejía et al., 1994).

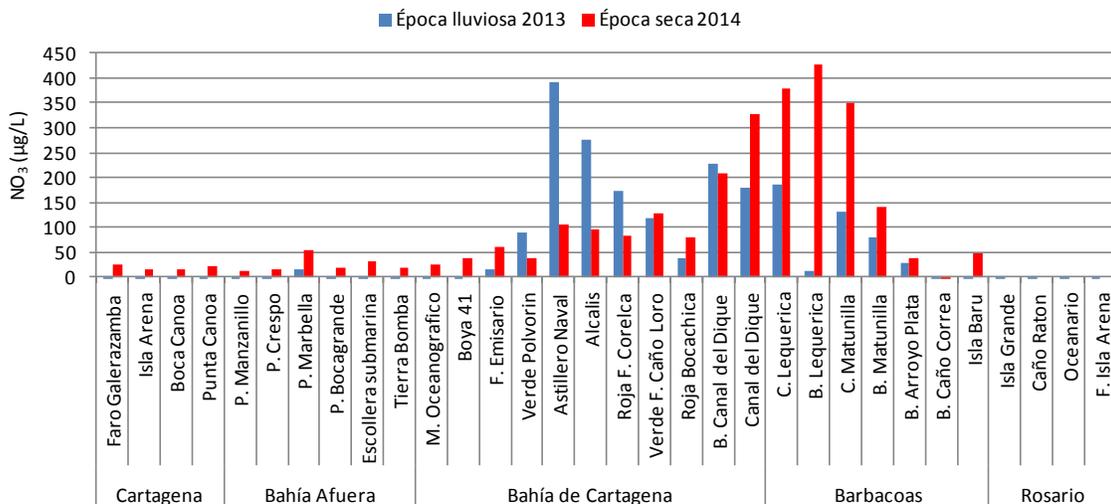


Figura 4.5.4 Concentraciones de Nitratos (NO₃) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Bolívar para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El Amonio por su parte, presentó una concentración de 690,0 µg/L en la estación Boca Canoa durante la época lluviosa de 2013, mientras que en las demás estaciones los valores estuvieron por debajo de límite de detección de la técnica analítica utilizada (576 µg/L). En época seca las concentraciones de amonio solo fueron detectadas en las aguas de las estaciones en las desembocaduras de los caños Matunilla (580,0 µg/L), Correa (660,0 µg/L), arroyo Plata (840,0 µg/L) y en la isla Barú (580,0 µg/L).

Los Fosfatos mostraron concentraciones entre 30,0 y 810 µg/L, presentándose los valores más altos en las estaciones caño Matunilla (180,0 µg/L), caño Lequerica (180,0 µg/L) y su desembocadura (200,0 µg/L) en época de lluvias de 2013, mientras que los valores más bajos fueron registrados en las estaciones de los sectores Cartagena y Bahía Afuera en la época lluviosa y seca de 2014 (Figura 4.5.5). Es importante resaltar que las concentraciones de fosfato en las zonas con reservas coralinas como en el sector de Rosario se encontraron por debajo de 62,0 µg/L, valores superiores pueden afectar las comunidades coralinas (Fabricius, 2005).

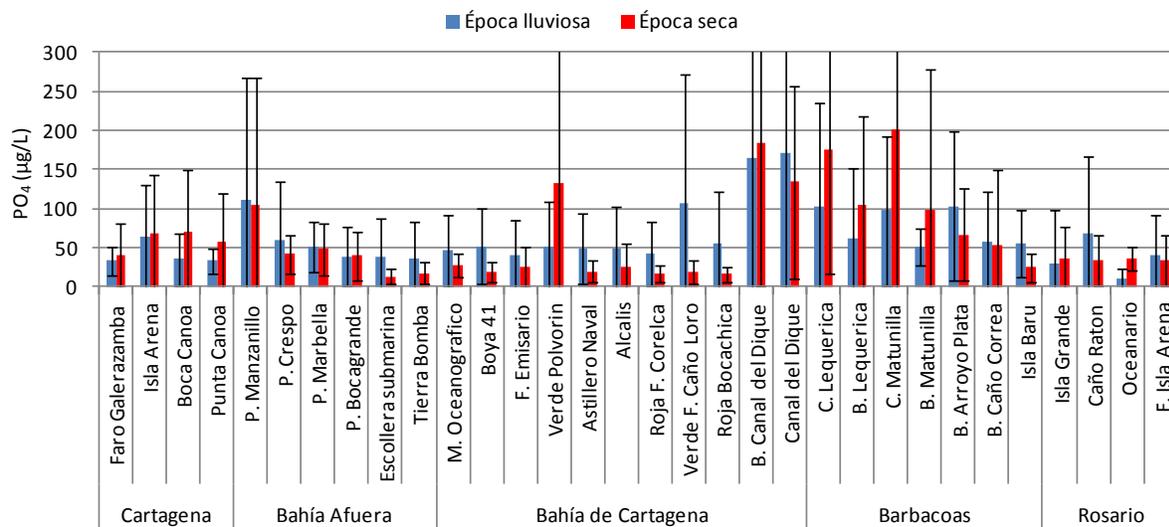


Figura 4.5.5 Concentraciones Fosfatos (PO₄³⁻) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

4.5.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

Se determinaron las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE) durante la época lluviosa 2013 y seca 2014. Las concentraciones de CTT se registraron en un rango entre el límite de detección de la técnica analítica (1,8) y 790.000 NMP/100 mL, presentándose las mayores concentraciones de CTT en las estaciones situadas en el canal del Dique (13.000 – 790.000 NMP/100 mL) en ambas épocas climáticas (Figura 4.5.6), valores que sobrepasaron los criterios de calidad para el uso del recurso hídrico por contacto primario (1.000 NMP/100 mL) y secundario (5.000 NMP/100 mL; MinSalud, 1984); Por su parte las estaciones Faro Galerazamba (1.300 NMP/100 mL), frente a caño Loro (1.700 NMP/100 mL), Astillero Naval (1.400 NMP/100 mL) y arroyo Plata (1.700 NMP/100 mL) incumplieron el criterio de calidad para contacto primario en época lluviosa 2013.

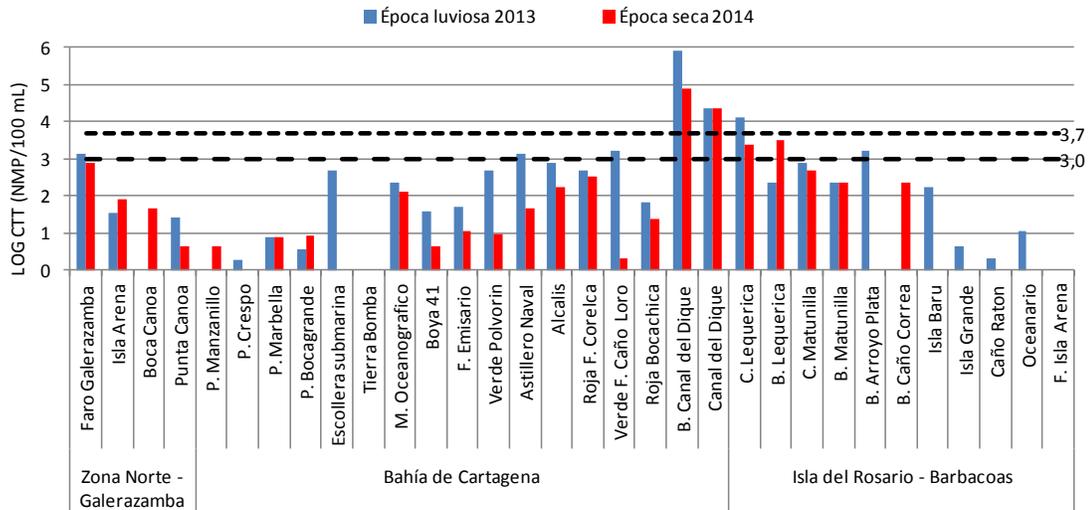


Figura 4.5.6. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Históricamente las concentraciones de CTT han mostrado que la estación desembocadura del Canal del Dique ha sido la de mayor número de incumplimiento de los criterios de calidad para contacto secundario ha presentado (Figura 4.5.7; <5.000 NMP/100 mL; [MinSalud. 1984](#)). A pesar que las concentraciones más altas se han obtenido durante la época de lluvias, a nivel histórico, no se presentan diferencias entre el número de casos de incumplimiento de los límites durante las épocas lluviosa (11%; n=261) y seca (10%; n= 265). Este comportamiento indica que fuentes hídricas reciben altas cargas microbianas indiferente de las condiciones ambientales, resaltándose la época seca de 2013 donde se obtuvieron el mayor número de casos de incumplimiento ([Vivas-Aguas, et al., 2014](#)).

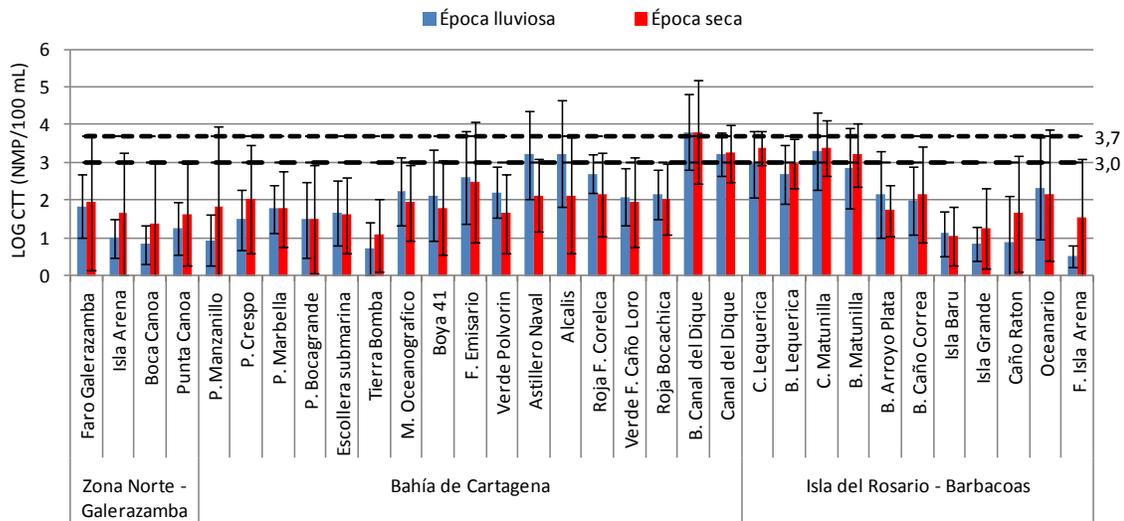


Figura 4.5.7 Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en los principales ríos del departamento de Bolívar. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Las concentraciones de CTE han presentado valores que oscilaron entre 1,0 y 330.000 NMP/100 mL, encontrándose las concentraciones más altas durante la época lluviosa, en comparación con la época seca en la mayoría de las estaciones, principalmente en el canal del Dique (22.000 NMP/100 mL) y su desembocadura (330.000 NMP/100 mL), valores que se encuentran por encima del criterio de calidad para el uso del recurso hídrico por contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)), en las mismas condiciones se encontraron las estaciones Faro Galerazamba, Escollera submarina, astillero Naval, frente caño Loro, caño Lequerica y su desembocadura, y el caño Matunilla (Figura 4.5.8).

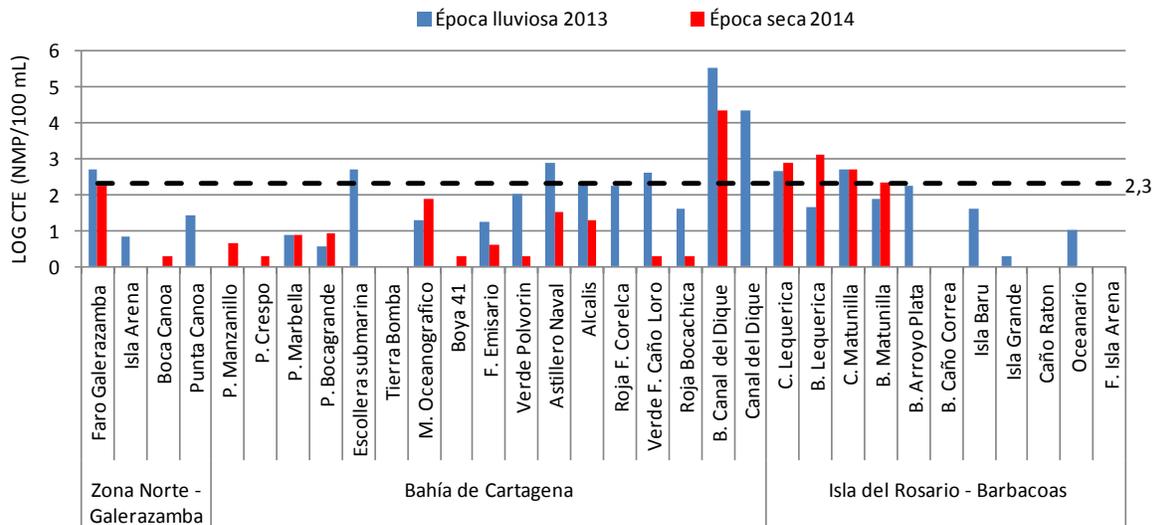


Figura 4.5.8. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

La condiciones microbiológica de las principales playas de interés turístico del departamento, se encontraron en un estado de calidad óptimo para uso recreativo por contacto primario, debido a que las concentraciones de CTE estuvieron por debajo del valor normativo (<200 NMP/100 mL; MinSalud, 1984; Tabla 4.5.2).

Históricamente estas estaciones han cumplido los criterios de calidad para el contacto primario durante las épocas lluviosas, a excepción de la playa Bocagrande que ha incumplido el criterio de calidad en un 33 %, mientras que en las épocas secas se han registrados casos de incumplimiento en bajos porcentajes (8 – 22 %), siendo las playas de Punta Canoa y Crespo las que presentaron el mayor y menor porcentaje respectivamente ([Vivas-Aguas, et al., 2014](#)).

Tabla 4.5.2. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las playas del departamento de Bolívar. Los valores de referencia están establecidos según la norma nacional para coliformes termotolerantes (CTE: <200 NMP/100 mL).

Zona	Estación	Época Lluviosa - 2013	Época seca - 2014	Época Lluviosa (2001-2013)	Época Seca (2001-2014)		
Zona Norte - Galerazamba	Punta Canoa	27	<LD	0	5	22	9
Bahía de Cartagena	P. Manzanillo	<LD	4,5	0	7	11	9
	P. Crespo	<LD	2	0	8	8	12
	P. Marbella	7,8	7,8	0	8	18	11
	P. Bocagrande	3,7	8,3	33	9	18	11
Isla del Rosario - Barbacoas	Isla Barú	40	<LD	0	11	9	11
	Isla Grande	2	ND	0	10	9	11

ND= No hay datos para este sitio durante el último periodo evaluado.

<LD= Valor por debajo del Límite de Detección (<1.8 NMP/100 mL).

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2001-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario, coliformes termotolerantes <200 NMP/100 mL ([MinSalud, 1984](#)).

4.5.1.3 METALES PESADOS

Los estudios más relevantes sobre metales pesados en el departamento de Bolívar, se han llevado a cabo en la bahía de Cartagena, principalmente el análisis de Mercurio (Hg) ya que la extinta planta de cloro-álcali que utilizaba este metal como cátodo en la electrólisis para la producción de cloro, realizaba sus descargas en la bahía, generándose una acumulación en los sedimentos. Debido al interés generado a partir de esta problemática de contaminación, se han desarrollado diversos estudios de contaminación por Hg en la bahía de Cartagena, no solo en aguas y sedimento, sino organismos tales como el trabajo de [Olivero et al. \(2009\)](#) que estudió la concentración en musculo de peces. Entre los otros estudios sobre metales pesados en la bahía, destaca de [Manjarrez et al. \(2008\)](#) quienes determinaron la concentración de Cadmio (Cd) en ostras de diferentes puntos estratégicos de la bahía, generando una alerta sobre el peligro de los consumidores de las especies de ostras capturadas en la bahía.

Para la época lluviosa de 2013, los niveles de Plomo (Pb) disuelto en aguas no superaron los 53,0 µg/L registrados en la estación Faro Galerazamba, y en general este metal registró mayor presencia en la zona Norte – Galerazamba. En zona de la bahía de Cartagena, solo en las playas Manzanillo (50,0 µg/L), Crespo (48,0 µg/L), Marbella (42,0 µg/L) y Bocagrande (38,0 µg/L) se registraron concentraciones detectables de este metal. En las demás estaciones de esta zona como también en la zona Isla del Rosario – Barbacoas, las concentraciones de Pb estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (23,0 µg/L). En época seca 2014, todas las estaciones presentaron concentraciones por debajo del límite de detección. En general, los niveles de Pb estuvieron por debajo del valor guía reportado en las tablas de NOAA (210,0 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

El Cd disuelto en época lluviosa de 2013 se registró por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (5,0 µg/L), mientras que en época seca de 2014 registró concentraciones que oscilaron entre 6,0 µg/L y 11,0 µg/L; presentándose la máxima concentración en la desembocadura del caño Correa. En general, el Cd fue detectable en la zona Isla del Rosario – Barbacoas y bahía de Cartagena, mientras que en la zona Norte – Galerazamba, este metal no fue detectable en ninguna de

las dos épocas climáticas. En ambas épocas, los niveles de Cd estuvieron por debajo del valor guía reportado en las tablas de la NOAA (40,0 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

El Cromo (Cr) disuelto en época lluviosa de 2013 presentó la concentración más alta en las estaciones de la zona Norte – Galerazamba con una concentración máxima de 53 µg/L en Boca Canoa, la cual está por encima del valor reportado en guías internacionales ([CONAMA, 2005](#)), sin embargo, en la época seca 2014, la concentración de esta estación estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica (10,4 µg/L). En cuanto a la zona Isla del Rosario – Barbacoas, durante la época lluviosa de 2013 las estaciones monitoreadas presentaron concentraciones por debajo del límite de detección, mientras que en época seca 2014, registró un promedio de $59,1 \pm 14,1$ µg/L, observándose una influencia de los caños que desembocan en esta zona.

4.5.1.4 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

El índice de calidad de agua, presentó una calidad *adecuada* para la preservación de fauna y flora en las estaciones Playa Bocagrande, Playa Crespo, Playa Manzanillo, Isla Barú en ambas épocas climáticas. Durante la época lluviosa 2013, se presentó la condición *aceptable* en desembocadura del caño Correa, isla Arena y Punta Canoa; mientras que en las estaciones Boca Canoa y Faro Galerazamba la condición fue *inadecuada*, atribuido a las concentraciones de SST de 160 mg/L y 211 mg/L, y a la alta DBO₅ 4,51 mg/L y 4,28 respectivamente, condiciones que se le pueden atribuir a una posible entrada de aguas residuales provenientes por fuentes difusas a través de los arroyos aledaños. Adicionalmente, en la época seca 2014 las estaciones playa Marbella y Faro Galerazamba presentaron condición *aceptable* de calidad del agua, atribuida a las concentraciones de Nitrito (54,2 µg/L) y Fosfatos (60 µg/L) respectivamente (Figura 4.5.9).

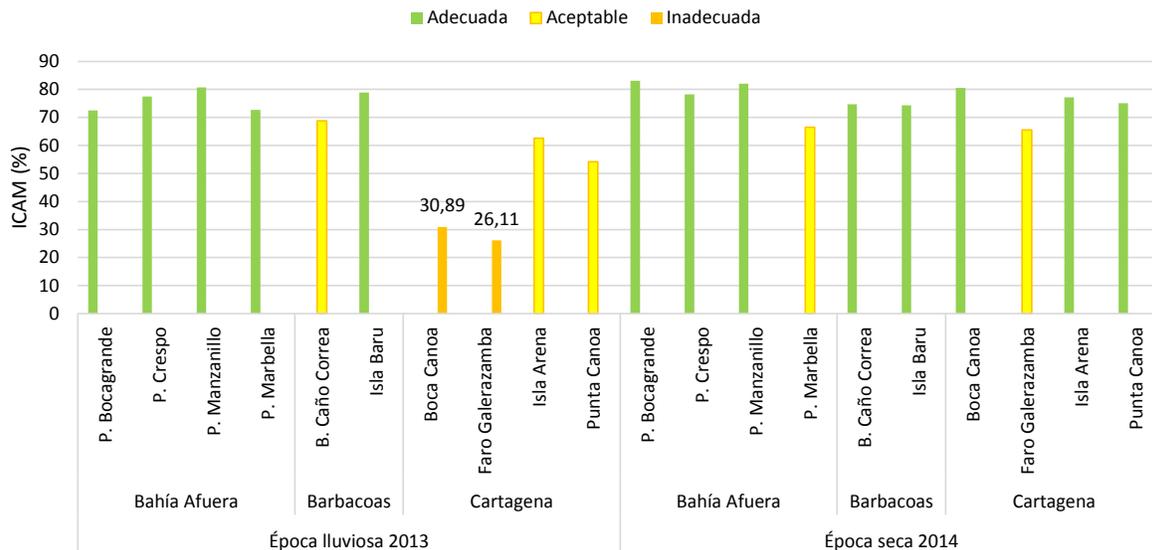


Figura 4.5.9. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), Época lluviosa 2013 y Época seca 2014, en las estaciones en el departamento de Bolívar.

4.5.2 CONCLUSIONES

Las estaciones de monitoreo en el departamento de Bolívar se han agrupado según el tipo de aguas y las variables fisicoquímicas en dos grupos que corresponden a dulceacuícolas y aguas marinas-estuarinas. Las variables fisicoquímicas del agua marino costera del departamento mostraron valores dentro de los rangos normativos de la legislación colombiana para el pH y el OD, y de los datos históricos de la REDCAM en la mayoría de las estaciones, a excepción de la estación de la desembocadura del arroyo Plata donde el OD se registró por debajo de la normatividad colombiana y a su vez presentaron altas concentraciones de SST al llegar las lluvias.

Los nutrientes inorgánicos evaluados en el departamento de Bolívar presentaron las mayores concentraciones en la zona de Barbacoas donde la estación de la desembocadura del caño Lequerica presentó concentraciones de Nitratos y Nitritos más elevadas. Por su parte el Fósforo en ninguna estación con reservas coralinas superó los límites considerados peligrosos para estos ecosistemas; sin embargo la concentración de Fosforo para la mayoría de las estaciones fue superior a 3,1 µg/L lo cual favorece de manera preocupante el crecimiento de macroalgas que pueden afectar la calidad de las aguas, lo cual sugiere continuar el monitoreo de estos sectores e identificar las posibles fuentes del aumento de nutrientes.

Según los indicadores microbiológicos, la desembocadura Canal del Dique continúa presentando las mayores concentraciones de CTT y CTE. Lo anterior se debe a la influencia del río Magdalena, el cual no solo arrastra altos contenidos de materia orgánica sino que propicia las condiciones para que se desarrollen y proliferen estos microorganismos. Por otro lado, las playas presentaron condiciones adecuadas para el desarrollo de actividades recreativas como natación y buceo.

Los niveles de Pb, Cd y Cr en aguas marinas del departamento de Bolívar, en general presentaron buena calidad, registrando concentraciones por debajo de los valores guía de la normativa internacional. Solamente el Cr en la estación Boca Canoa estuvo por encima del valor guía durante la época lluviosa, sin embargo en época seca la concentración de cromo en esta estación estuvo por debajo del límite de detección sugiriendo condiciones puntuales de la época de monitoreo y que no se mantienen.

El índice de calidad de agua, presentó una calidad *inadecuada* para la preservación de fauna y flora durante la época lluviosa 2013 en Boca Canoa y Faro Galerazamba.

Sucre



Isla Boquerón. Foto: Max Martínez

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

4.6 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) la extensión total es de 10.350,66 km², de las cuales 10.280,55 km² corresponden al área urbana y 70,11 km² al área rural. 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 REDCAM cuenta con 32 estaciones de muestreo distribuidas en tres zonas: zona Norte que se extiende desde Matatigre (influenciada por aguas continentales) 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 por último, la zona de Tolú, 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 (Figura 4.6.1). Los muestreos se realizaron los días 29, 30 de julio y 1 de agosto de 2013 (en adelante, época lluviosa 2013) y entre el 17, 19 y 20 de marzo de 2014 (en adelante, época seca 2014).

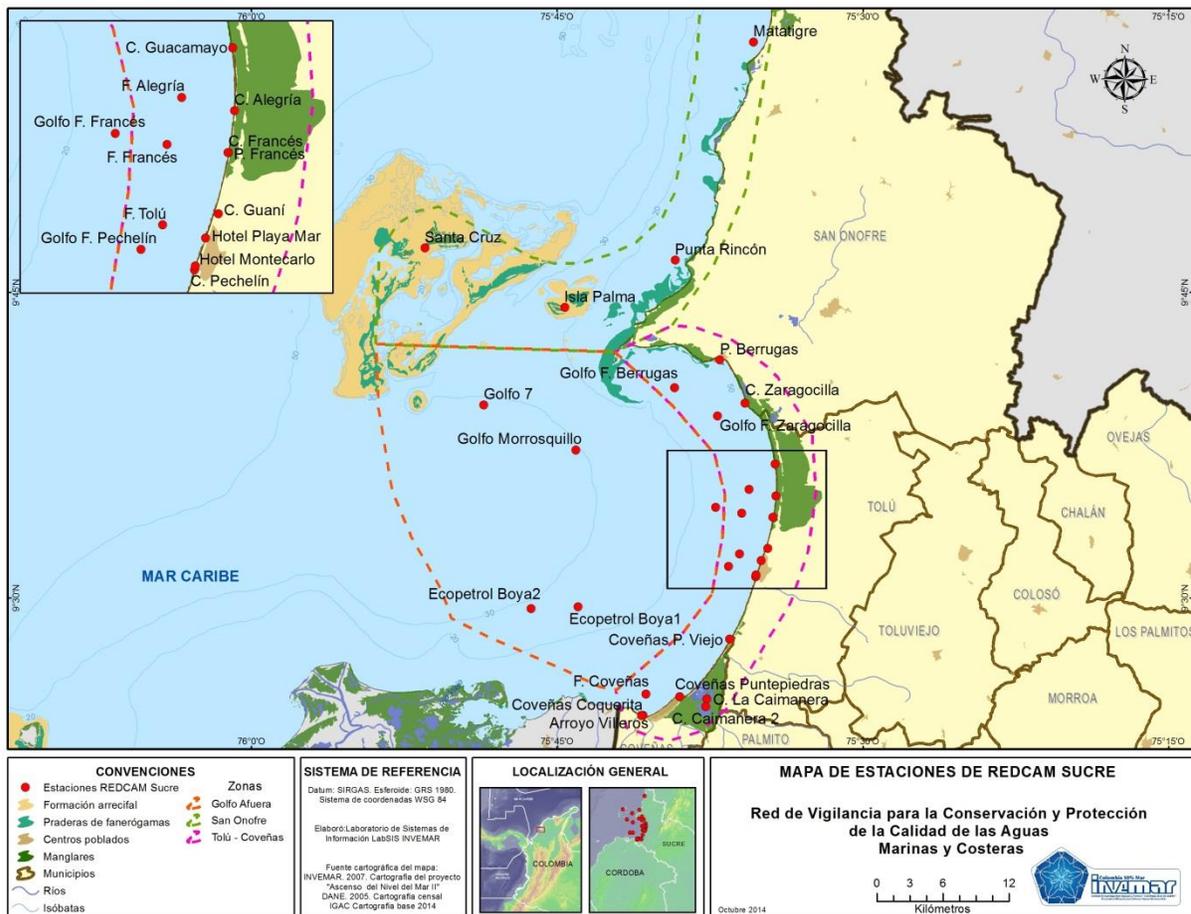


Figura 4.6.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Sucre.

4.6.1 CALIDAD DE AGUAS

El estado de la calidad del agua marina y costera del departamento de Sucre se evaluó a través de las mediciones de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados, con énfasis en la preservación de la fauna y flora de los ecosistemas presentes, así como para el uso de este recurso hídrico con fines recreativos. A continuación se presentan los resultados de los muestreos realizados en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 (Tabla 4.6.1) contrastados con los datos históricos del monitoreo REDCAM del 2001 al 2013.

Tabla 4.6.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento de Sucre.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	31,35	1,46	33,90	28,60	30,50	1,27	33,70	28,60
SST (mg/L)	22,14	10,03	51,90	11,00	31,33	34,57	194,00	10,20
Salinidad	24,12	8,96	30,30	1,70	32,16	7,51	35,70	2,30
pH			8,39	7,06			8,65	7,28
OD (mg/L)	5,71	1,82	8,23	0,38	6,23	1,77	9,82	0,32
NO ₃ (µg/L)	16,70	44,15	193,00	<2,10	9,43	14,14	63,50	<2,10
NO ₂ (µg/L)	1,76	5,95	29,40	<0,60	0,09	2,37	7,20	<0,70
NH ₄ (µg/L)	189,51	991,95	5532,80	<1,70	184,88	1018,05	5670,10	<3,10
PO ₄ (µg/L)	61,05	209,48	1157,70	<1,50	116,67	594,31	3315,9	<2,40
CTT (NMP/100 mL)			160000,00	<1,80			4,90E+03	<1,80
CTE (NMP/100 mL)			92000,00	<1,80			4,90E+02	<1,80
TUR (NTU)	7,70	11,01	51,20	0,13	9,14	17,60	63,00	0,42
DBO ₅ (mg/L)	2,63	0,42	3,10	2,30	0,56	0,70	1,00	<0,50

4.6.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendidos totales

Los resultados de salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad y sólidos suspendidos totales (SST) medidos en aguas superficiales del departamento de Sucre durante las épocas lluviosa 2013 y seca 2014, mostraron diferencias entre las estaciones, permitiendo separar las estaciones en dos grupos (Figura 4.6.2) según el tipo de agua, en dulceacuícolas conformado por los caños Guainí, Alegría, Francés, Pechelín, Guacamayo, Zaragocilla y la ciénaga La Caimanera y Caimanera 2, y marino-costeras que agrupa las playas, los frentes y las estaciones fuera del golfo de Morrosquillo.

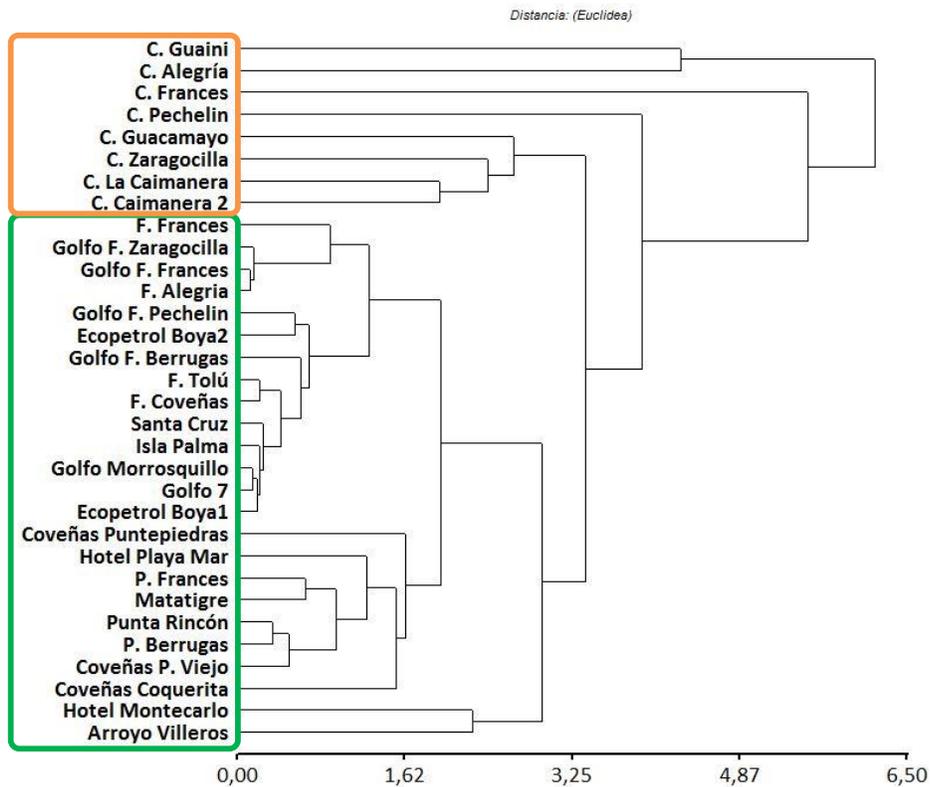


Figura 4.6.2 Dendrograma de clasificación de las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM de la zona costera del departamento de Sucre. El recuadro naranja indica las estaciones de carácter dulceacuícola y el recuadro verde indica las estaciones de marino-costeras.

La salinidad del agua superficial durante el periodo evaluado, presentó valores que oscilaron entre 1,7 y 35,7, encontrándose los valores más bajos en las estaciones de carácter dulceacuícola como los caños. Por su parte, la estación Santa Cruz presentó el valor más alto de salinidad (35,7), aspecto corroborado históricamente según la base de la REDCAM (Vivas-Aguas *et al.*, 2014).

Los valores de temperatura en el agua superficial de las estaciones marino-costeras para el departamento se encontraron constantes en las épocas y estuvieron entre 28,6 y 33,9 °C, encontrándose el valor más alto en la estación Hotel Playa Mar. Valores cercanos a los 30 °C presentados en estaciones como Isla Palma y Santa Cruz pueden afectar a largo plazo el desarrollo de los arrecifes coralinos presentes en estas áreas, debido a la alta sensibilidad que presentan los corales al estar expuestos a altas temperaturas (Vega- Sequeda *et al.*, 2011; Hoegh-Guldbberg, 1999), y pueden afectar a largo plazo la actividad fotosintética, abundancia, florecimiento y distribución de pastos marinos (Borde *et al.*, 2004). Estas temperaturas han sido registradas en la base de datos histórica de la REDCAM (Vivas-Aguas *et al.*, 2014).

Los valores de pH presentaron variaciones entre 7,1 y 8,6, los cuales se mantuvieron dentro del rango permisible según la legislación colombiana para la preservación de flora y fauna para aguas dulceacuícolas (5,0 – 9,0) y marinas – estuarinas (6,5- 8,5 Minsalud, 1984). El OD en el periodo evaluado presentó variaciones no significativas entre épocas, y se encontraron entre 0,32 y 9,82 mg/L, donde los valores más bajos se encontraron en los caños Guacamayo (0,38 mg/L), Alegría (1,32 mg/L),

Francés (2,95 mg/L) y Guainí (3,34 mg/L) y en la ciénaga La Caimanera (3,14 mg/L) durante la época lluviosa de 2013 y en los caños Alegría (0,32 mg/L) y Guainí (1,50 mg/L) y en la ciénaga La Caimanera (3,60 mg/L) y Caimanera 2 (3,78 mg/L) en la época seca de 2014. Todos estos valores estuvieron por debajo del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1584 (4 mg/L; [Minsalud, 1984](#)), situación que se ha presentado anteriormente según los reportes históricos ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)).

Por su parte, los SST fluctuaron entre 10,2 y 194 mg/L, registrándose el valor más bajo en la estación Golfo 7, mientras que el valor más alto se presentó en caño Francés durante la época seca 2014. Estos valores se encontraron dentro de los rangos históricos de la REDCAM y no representan riesgo para los ecosistemas presentes en el área, especialmente para el desarrollo de los arrecifes coralinos en las estaciones Isla Palma y Santa Cruz donde los valores de SST estuvieron por debajo de 50 mg/L, valor que puede ocasionar stress en los corales ([Fabricius, 2005](#)).

Nutrientes

Se evaluaron las concentraciones de cuatro nutrientes inorgánicos, Nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-), Amonio (NH_4^+) y Fosfato (PO_4^{3-}) en la zona costera del departamento de Sucre. Con relación a los Nitritos, las concentraciones de este nutriente variaron en un rango entre el límite de detección de la técnica analítica (0,7) y 29,4 $\mu\text{g/L}$, encontrándose las mínimas concentraciones en la época seca 2014, lo cual se puede atribuir al bajo número de precipitaciones que dificultan el ingreso de nutrientes de los suelos y de especies de la atmósfera como el nitrógeno que faciliten la formación de estos ([Noriega et al., 2009](#)); mientras que las mayores concentraciones se registraron en los Caños, siendo Zaragocilla el de mayor concentración (7,2 $\mu\text{g/L}$; Figura 4.6.3) en la época lluviosa 2013, condiciones que se pueden atribuir a los vertimientos de aguas residuales domesticas y desechos sólidos que llegan a estas fuentes hídricas.

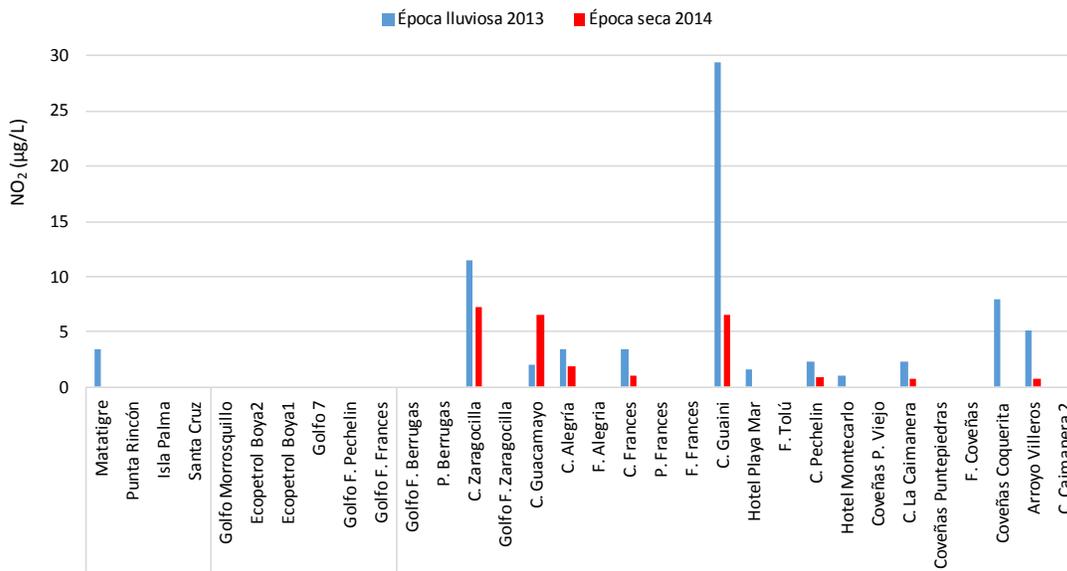


Figura 4.6.3 Concentración de Nitritos (NO_2^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los Nitratos presentaron concentraciones que oscilaron entre el límite de detección (2,1) y 193 µg/L, encontrándose los valores más altos en las estaciones caño Zaragocilla (193,0 µg/L), golfo frente Zaragocilla (157,8 µg/L) y Matatigre (58,2 µg/L) en la época lluviosa de 2013, mientras que en época seca 2014 las mayores concentraciones se registraron en las estaciones Hotel Montecarlo (63,5 µg/L), Hotel playa mar (39,4 µg/L) y frente Tolú (24,6 µg/L; Figura 4.6.4).

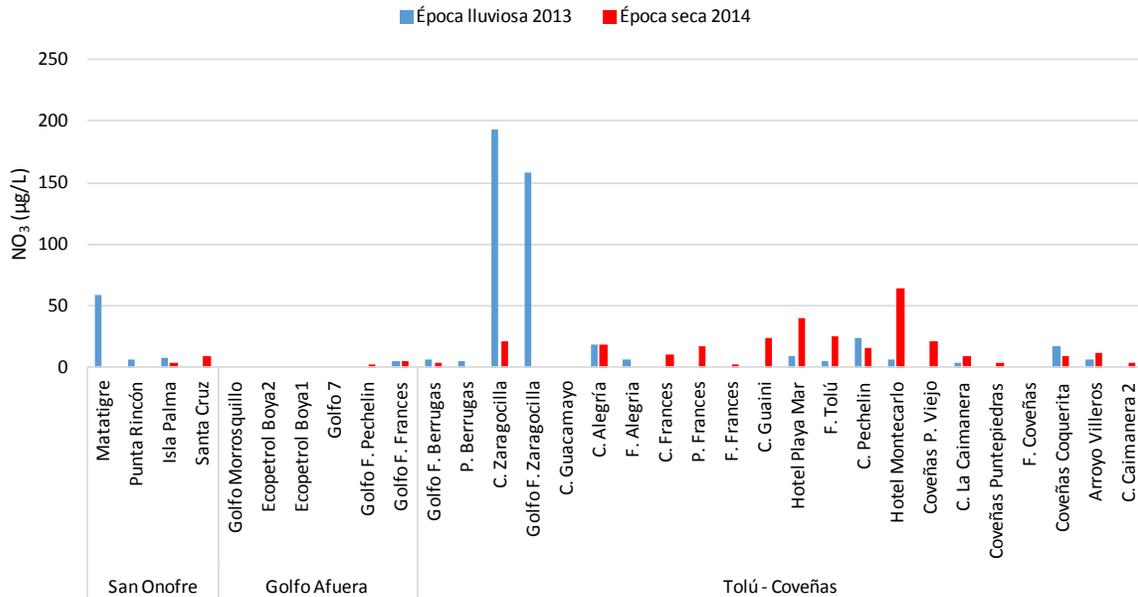


Figura 4.6.4. Concentración de Nitratos (NO₃) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Históricamente las estaciones de los caños han presentado las concentraciones de Nitratos más elevadas principalmente la estación caño Guainí con un máximo (1.358 µg/L) en el 2009, seguido por Zaragocilla y Pechilin (Figura 4.6.5), condiciones que favorecen el crecimiento del fitoplancton, provocando variaciones drásticas de las concentraciones de OD, el cual se ha mantenido por debajo del criterio de calidad para la preservación de fauna y flora (4 mg/L; [MinSalud, 1984](#)) en estas estaciones.

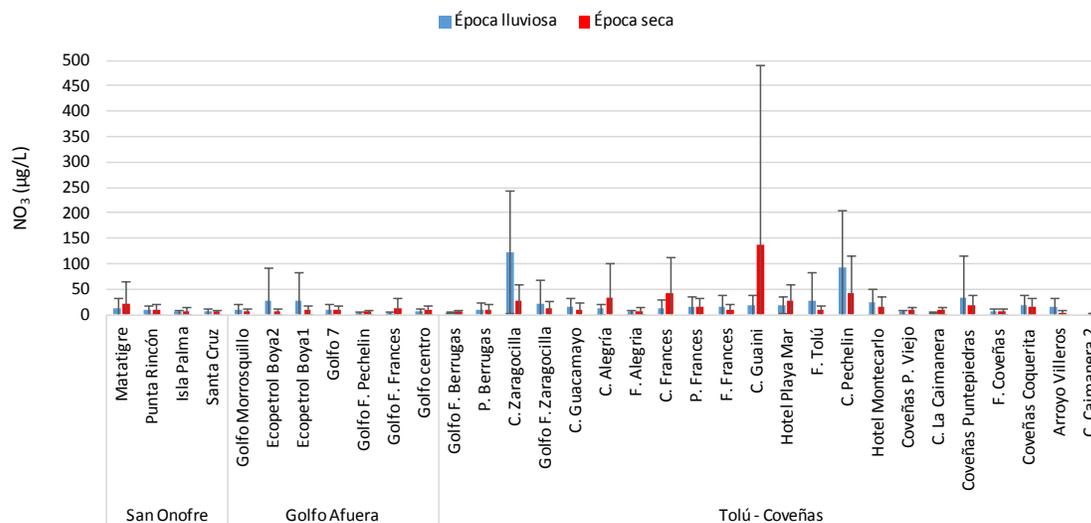


Figura 4.6.5. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Nitrato (NO_3^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre. Las barras de error representan las desviaciones estándar. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

Los valores de Amonio oscilaron entre el límite de detección de la técnica analítica (3,1) y 3.315,9 $\mu\text{g/L}$ encontrándose la concentración más alta en la estación caño Guainí en la época lluviosa 2013 (3.315,9 $\mu\text{g/L}$), al igual que en época seca 2014 (1.158 $\mu\text{g/L}$), valores que mostraría condiciones de aguas eutrofizadas posiblemente por vertimientos de aguas residuales de la población aledaña.

Históricamente el comportamiento de esta variable ha sido en general mantenida por debajo del límite de detección, destacándose caño Guainí con una elevada concentración tanto en la época seca como en la lluviosa con 5.670,1 $\mu\text{g/L}$ y 5.532,8 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, condiciones atribuibles al vertimiento de aguas residuales, ya que la presencia del ión amonio en altas concentraciones normalmente proviene de materia fecal humanos y animales (Figura 4.6.6; [Quintero et al., 2010](#)).

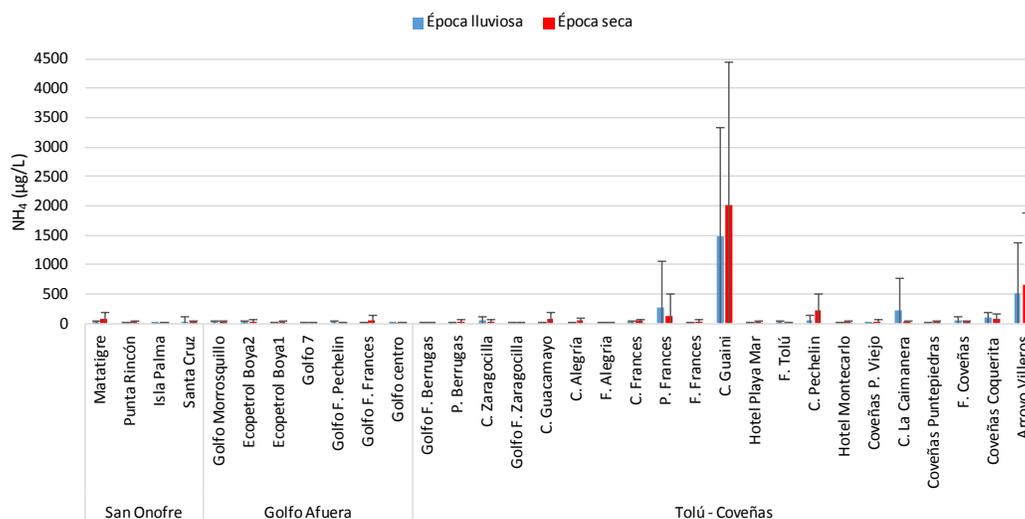


Figura 4.6.6. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Amonio (NH_4^+) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

Los Fosfatos mostraron concentraciones por debajo del límite de detección (2,4) y 3.315,9 µg/L, siendo la estación caño Guainí la que presentó las mayores concentraciones durante las épocas lluviosa 2013 (1.157,7 µg/L) y seca 2014 (3.315,9 µg/L; Figura 4.6.7).

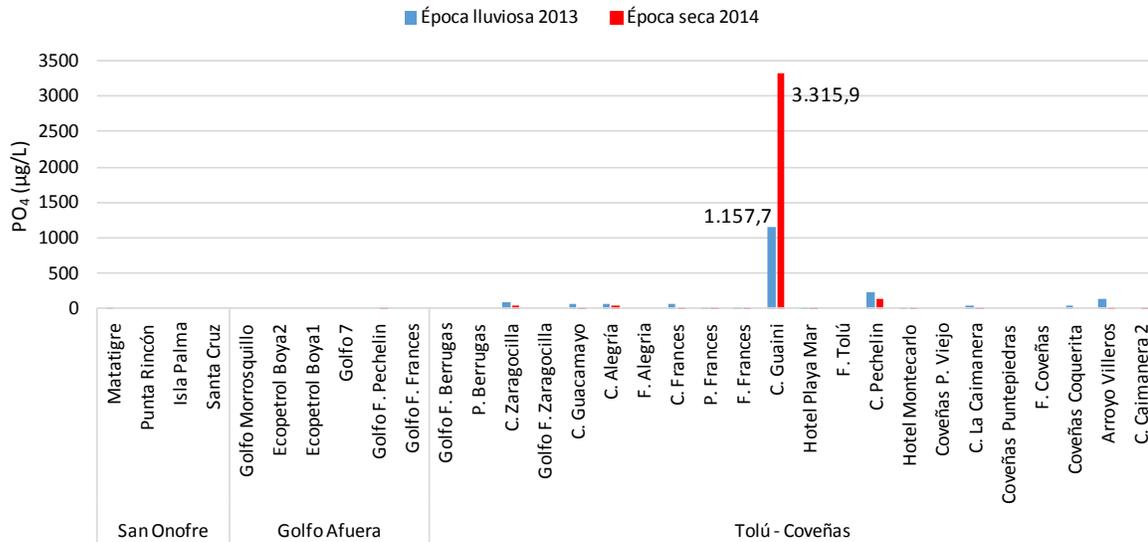


Figura 4.6.7 Concentraciones de Fosfatos (PO_4^{3-}) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Históricamente los valores más altos de Fosfatos se han presentado en la zona de Tolú-Coveña, donde se concentran poblaciones donde las coberturas de alcantarillados son bajas y los residuos domésticos son vertidos en los caños próximos a la zona urbana (Figura 4.6.8; [Quintero et al., 2010](#)).

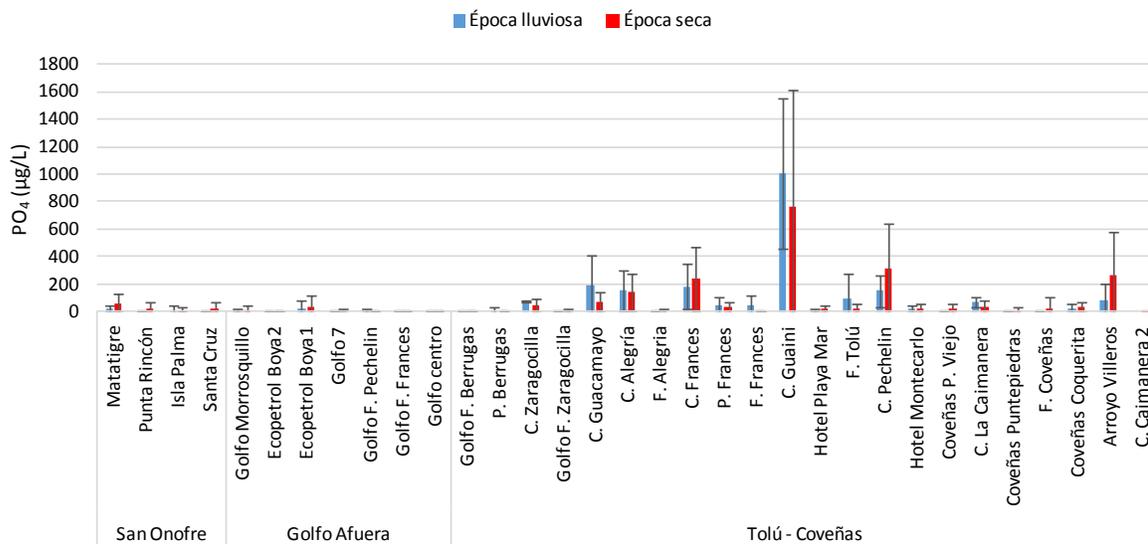


Figura 4.6.8. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Fosfatos (PO_4^{3-}) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

4.6.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

El análisis microbiológico del departamento de Sucre, se ha venido realizando a partir de los muestreos semestrales desde el 2002 hasta la fecha, evaluándose los indicadores de contaminación fecal como los coliformes y Enterococos. Con respecto a los Coliformes Totales (CTT), se registraron concentraciones por encima de los criterios de calidad para contacto primario y secundario en las estaciones punta Rincón (160.000 NMP/100 mL), frente Tolú (160.000 NMP/100 mL) y arroyo Villeros (24.000 NMP/100 mL) en la época lluviosa 2013, mientras que en época seca solo se registró incumplimiento para contacto primario en la estación arroyo Villeros (4.900 NMP/100 mL; Figura 4.6.9), valores que indican contaminación por vertimientos de aguas residuales que contienen abundante de materia orgánica de origen fecal ([Domènech y Peral, 2006](#)).

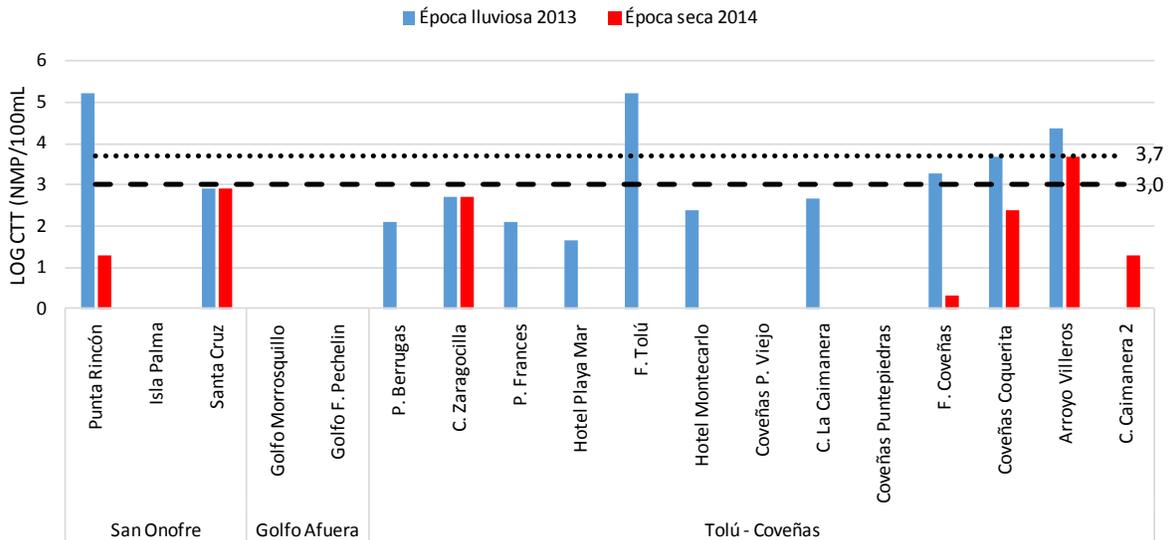


Figura 4.6.9. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Los históricos de coliformes totales del departamento (n=338), demuestran que en general los mayores casos de incumplimiento en aguas destinadas para uso recreativo con contacto secundario y riego agrícola (<5.000 NMP/100 mL), se han presentado durante la época lluviosa (25 %, n=159) en comparación con la época seca (11 %, n=179; Figura 4.6.10; [MinSalud, 1984](#)). Durante la época lluviosa las estaciones que han presentado recurrencia en elevadas concentraciones fueron arroyo Villeros, Coveñas Coquerita y caño Zaragocilla con un 100 %, 82 % y 60 % de casos respectivamente, esto se atribuye al arrastre de microorganismos por los caños y arroyos, debido a que corriente arriba estos reciben descargas por parte de las poblaciones y fincas ganaderas aledañas, además de la cercanía a cuerpos de manglares los cuales permiten la supervivencia y proliferación tanto de microorganismos indicadores como de posibles patógenos ([Fries et al., 2008](#); [Soares, et al., 2010](#)).

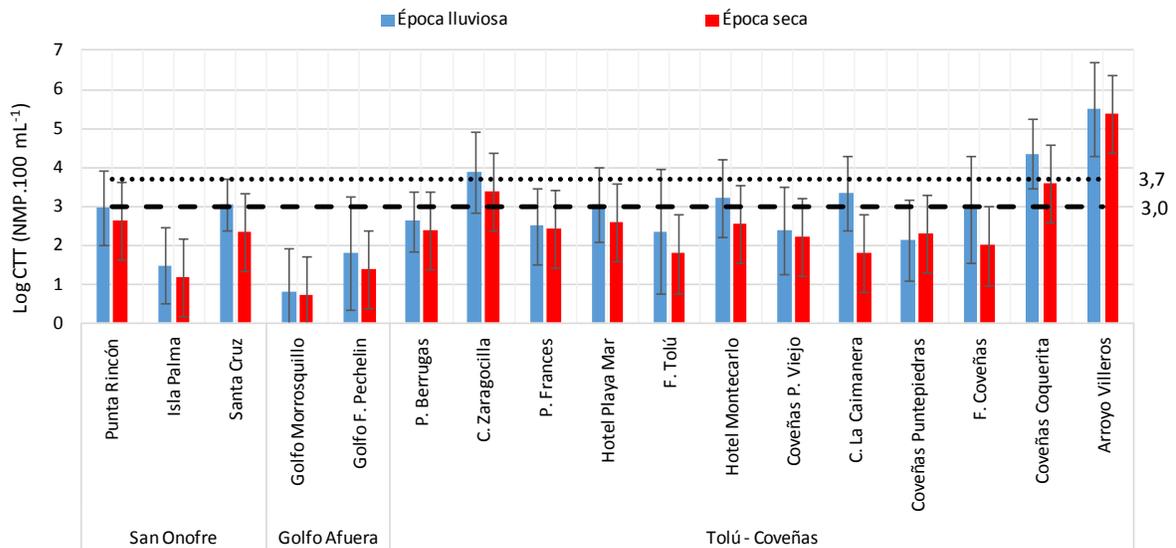


Figura 4.6.10 Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en los principales ríos del departamento del Magdalena. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Las condiciones microbiológicas de las playas durante las épocas lluviosa 2013 y seca 2014, fueron aptas para su uso por bañistas (natación y buceo) ya que se encontraron por debajo del valor permisible de coliformes termotolerantes en aguas para contacto primario (<200 NMP/100 mL) según el Decreto 1584 de 1984 (Tabla 4.6.2; [MinSalud, 1984](#)). De igual forma, se presentaron 4 casos de incumplimiento durante la época lluviosa-2013, para punta Rincón (92.000 NMP/100 mL), Coveñas Coquerita (4.600 NMP/100 mL), Santa Cruz (790 NMP/100 mL) y Hotel Montecarlo (230 NMP/100 mL). Por otro lado la estación punta Rincón presentó la concentración más alta de Enterococos fecales (132 UFC/100 mL), lo cual según los valores internacionales de Enterococos representa un riesgo entre el 1 – 5 % de adquirir una enfermedad gastrointestinal ([OMS, 2003](#)).

Los casos de incumplimiento durante la época lluviosa en Coveñas Coquerita (91 %), Punta Rincón (64 %) y Hotel Montecarlo (82 %), se ven asociados a los aportes por los caños y arroyos que vierten sus aguas en la costa y traen consigo una alta carga de contaminantes por parte de las poblaciones aledañas y por la escorrentía urbana. Por otro lado, en el Islote Santa Cruz (67 %) se debe en gran medida a la falta de un sistema de tratamiento de aguas y la alta densidad poblacional los cuales descargan directamente sobre el mar, lo que ocasiona que se superen los límites a pesar de la capacidad de deletérea de este ([Chigbu et al., 2004](#), [Soares, et al., 2010](#)).

Tabla 4.6.2 Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en los sitios de muestreo de las costas del departamento de Sucre, entre la época lluviosa de 2013 y seca de 2014. Los valores de referencia están establecidos según la norma nacional para coliformes termotolerantes (CTE: <200 NMP/100 mL) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para Enterococos fecales (EFE: <40 UFC/100 mL).

Zona	Estación	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)						Enterococos (UFC/100 mL)					
		Época lluviosa			Época seca			Época lluviosa			Época seca		
		2013	% casos*	n	2014	% casos*	n	2013	% casos**	n	2014	% casos**	n
San Onofre	Punta Rincón	92000	64	11	<LD	50	10	132	33	6	<LD	0	7
	Isla Palma	<LD	9	11	<LD	9	11	6	0	7	<LD	0	7
	Santa Cruz	790	67	9	170	22	9	ND	0	0	ND	0	0
Tolú - Coveñas	P. Berrugas	130	27	11	<LD	50	12	44	33	6	<LD	25	8
	P. Francés	130	27	11	<LD	46	13	14	33	6	<LD	25	8
	Hotel Playa Mar	45	73	11	<LD	54	13	<LD	33	6	<LD	0	8
	Hotel Montecarlo	230	82	11	<LD	54	13	8	67	6	<LD	25	8
	Coveñas P. Viejo	<LD	45	11	<LD	31	13	<LD	0	7	<LD	0	8
	Coveñas Puntepedras	<LD	36	11	<LD	46	13	<LD	0	6	1	13	8
	Coveñas Coquerita	4600	91	11	20	77	13	26	50	6	94	88	8

ND= No hay datos para este sitio durante el último periodo evaluado.

<LD= Valor por debajo del Límite de Detección (CTE: <1.8 NMP/100 mL; EFE: <1 UFC/100 mL).

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2002-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario <200 NMP/100 mL ([MinSalud, 1984](#)).

**Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2006-2014) en donde se presentaron valores por encima de la guía internacional según la Organización Mundial para la Salud para aguas de uso recreativo de contacto primario <40 UFC/100 mL ([OMS, 2003](#)).

4.6.1.3 HIDROCARBUROS

Durante las épocas lluviosa 2013 y seca 2014, las concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) determinadas en agua superficial oscilaron en un rango de valores menores al límite de detección (0,07) y 1,37 µg/L, y no superaron el valor de referencia de 10 µg/L considerado de alto riesgo para la biota acuática ([Unesco, 1984](#)). Las mayores concentraciones se obtuvieron en la época seca de 2014, en la zona de Tolú - Coveñas (Figura 4.6.11), en las estaciones caño Pechelín (1,37 µg/L), Caño Francés (1,24 µg/L) y golfo frente Berrugas (0,67 µg/L). De igual forma, en Coveñas Coquerita se presentó el valor más alto para la época lluviosa 2013 (0,86 µg/L). 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 a la influencia de actividades marítimas.

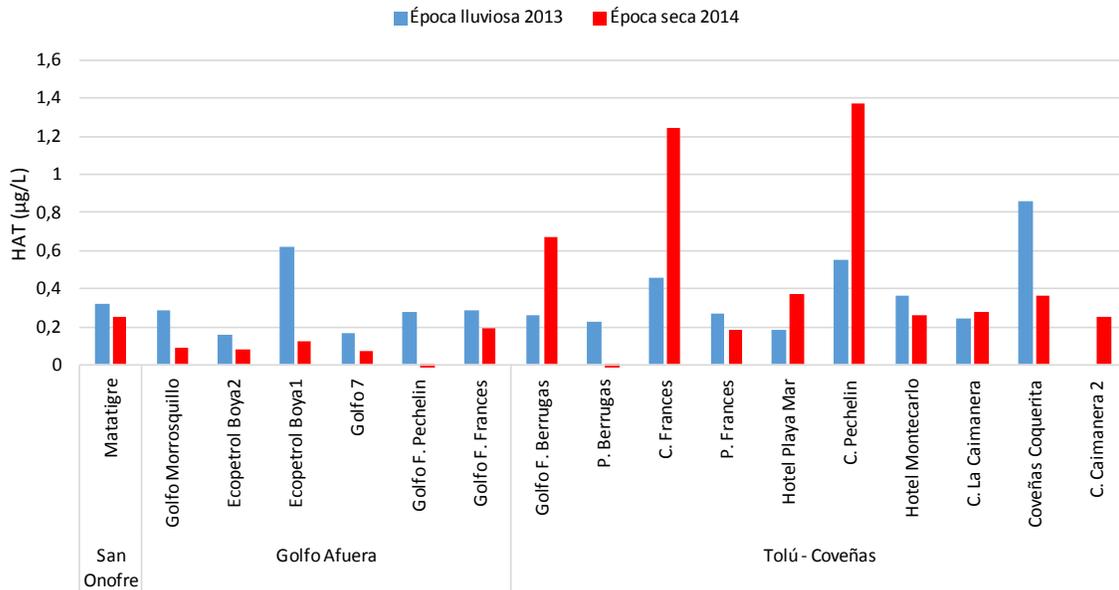


Figura 4.6.11 Concentraciones de Hidrocarburos Aromático Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El análisis de los registros históricos de HAT medidos del 2001 al 2014, demostró diferencias en las concentraciones promedio ($p > 0,05$), siendo más altos los valores registrados en las épocas lluviosas en las estaciones de la zona de Tolú - Coveñas principalmente, en los caños, Zaragocilla ($98,87 \pm 133,12 \mu\text{g/L}$) y Pechelín ($19,67 \pm 54,08 \mu\text{g/L}$). De igual forma, las estaciones caño Francés ($40,08 \pm 123,80 \mu\text{g/L}$), Coveñas - Coquerita ($15,78 \pm 29,37 \mu\text{g/L}$) y arroyo Villeros ($12,96 \pm 17,56 \mu\text{g/L}$) han presentado las mayores concentraciones promedio durante la época seca.

La dispersión presentada demuestra que no existe una entrada constante de estos contaminantes al medio, sin embargo se han llegado a determinar valores que superaron la referencia para aguas no contaminadas determinado por la UNESCO ($10 \mu\text{g/L}$). Estas concentraciones pueden estar relacionadas con escorrentías de aguas de lluvia, vertimientos de aguas residuales domésticas y de lavaderos de carros captadas por los caños que recorren la zona hasta alcanzar el mar, así como a la actividad portuaria y turística del área (Figura 4.6.12).

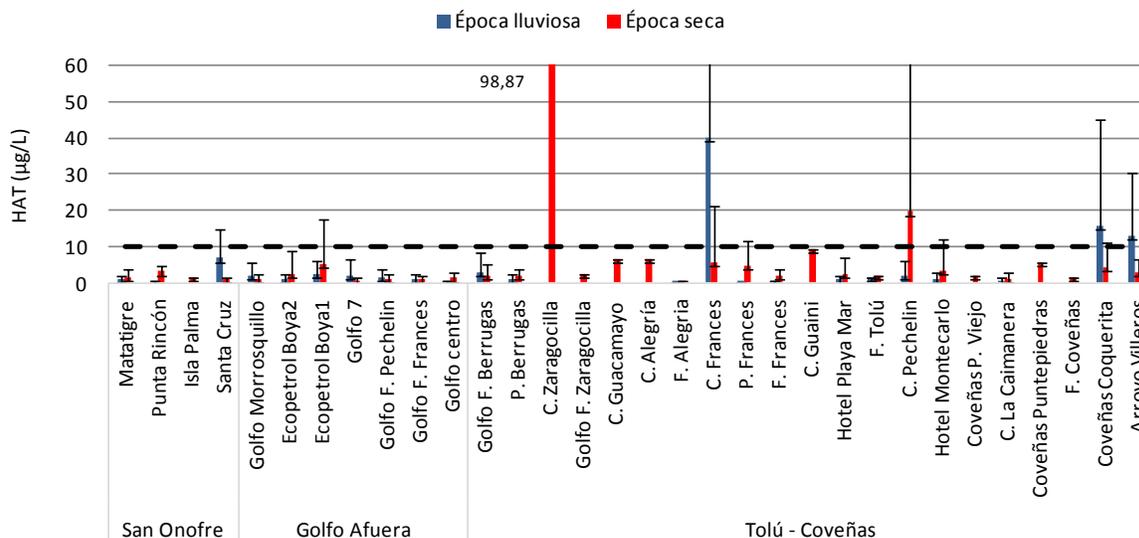


Figura 4.6.12 Promedio histórico (2001 - 2014) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea discontinua de 10 µg/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según [Unesco \(1984\)](#).

4.6.1.4 PLAGUICIDAS

La principal fuente de residuos de plaguicidas en las aguas costeras del departamento está asociada a la actividad agrícola de la Unidad Ambiental del golfo de Morrosquillo, así como a la escorrentía de los ríos que atraviesan zonas de cultivo de arroz, puesto que este departamento es uno de los principales productores de este cereal a nivel nacional ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)).

Los registros históricos de compuestos Organoclorados (OC) han mostrado variaciones que se relacionan con los cambios de método, equipos, y ajuste del límite de detección de la técnica (0,03 ng/L del 2001 al 2008, y 6,0 ng/L desde el 2009 al 2014), que permitió determinar nuevos analitos a partir del 2010. Durante los primeros tres años (2001-2003) del monitoreo de la REDCAM, se registraron presencia de compuestos organoclorados (OC) que en algunos casos, como en la época seca del 2001 en la estación caño Zaragocilla (43,6 ng/L) que superó la referencia de 30 ng/L ([EPA, 2009](#); Figura 4.6.13a). En los muestreos realizados en los años 2004 y 2006 no se registraron presencia de los compuestos determinados, mientras que en 2005, 2007 y 2008 se registraron presencia de los OC en varias estaciones (golfo Morrosquillo, Matatigre y Coveñas), registrándose los valores más altos en la estación Coveñas (34,0 ng/L) en época lluviosa de 2008, reflejando el uso intensivo de insumos agroquímicos en las cuencas de los caños Zaragocilla, Francés, Pechelin y arroyo Villeros. Entre los años 2009 y 2014 solo se registraron presencia de OC en los años 2009 y 2011, valores que no superaron el valor de referencia (Figura 4.6.13b; [EPA, 2009](#)). A partir de 2012 los registros de OC estuvieron por debajo del límite de detección del método analítico (6 ng/L), tendencia que se mantuvo hasta el periodo actual de estudio (Figura 4.6.13b).

La evaluación de plaguicidas de uso actual se inició a partir de 2009, durante los 5 años de monitoreo ninguno de los analitos ha sido detectado, sin embargo, en el departamento de Córdoba, en la zona de influencia del río Sinú y parte del Golfo de Morrosquillo se han detectado Clorpirifos y Permetrina, lo cual amerita dar continuidad a la vigilancia de estos compuestos.

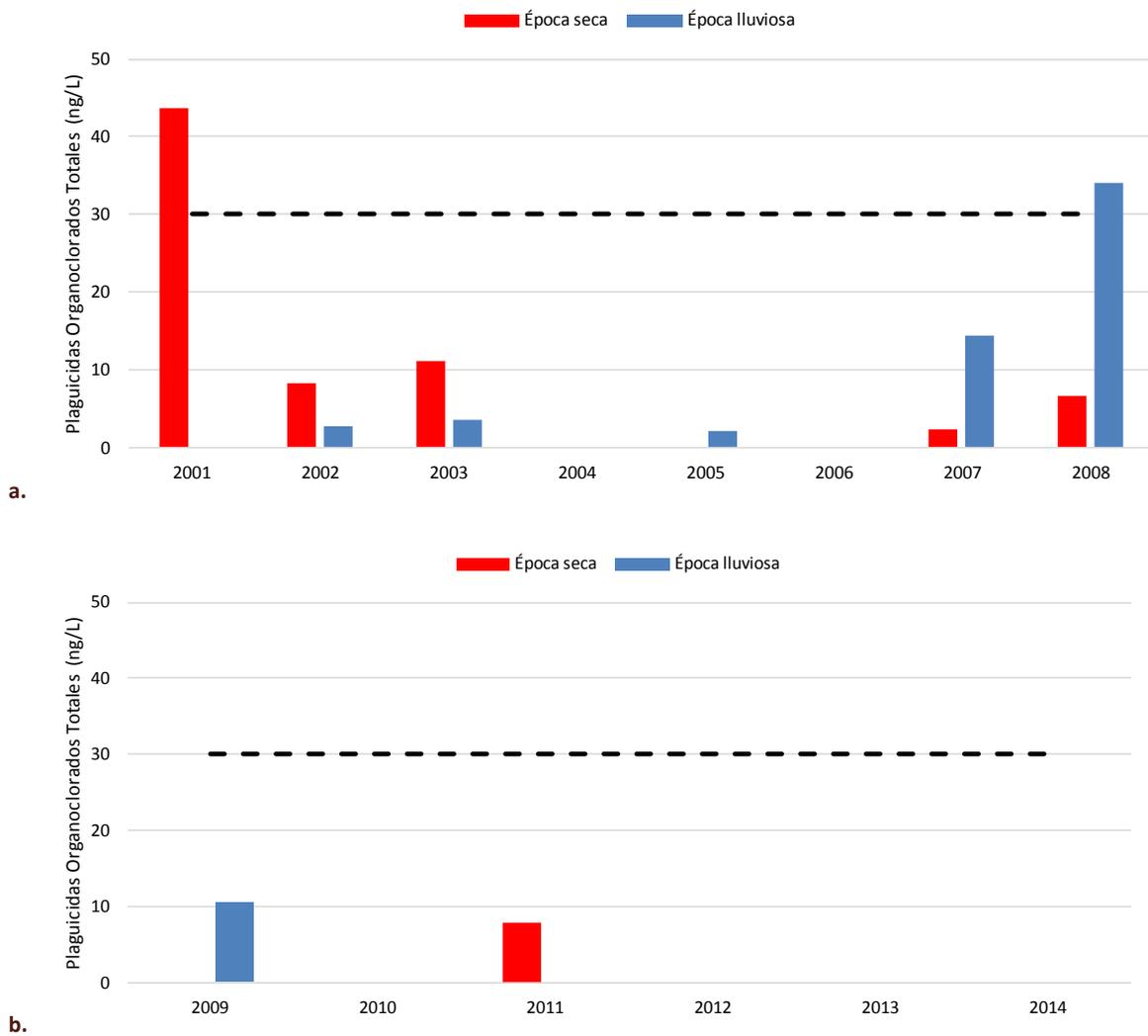


Figura 4.6.13 Concentración de plaguicidas en aguas superficiales del departamento de Sucre; a) valores registrados antes de la implementación de nuevos equipos y técnicas analíticas (2001-2008); b) valores registrados después de la implementación de nuevas técnicas analíticas (2008-2014). La línea discontinua de 30 ng/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según EPA (2009).

4.6.1.5 METALES PESADOS

En el departamento de Sucre, los problemas de contaminación en zonas costeras se asocia a los vertimientos inadecuados de aguas residuales, la actividad portuaria, el transporte en lanchas, la agricultura y la industria camaronera (Garay y Vélez, 2004).

En cuanto al estudio de contaminación por metales, existen pocas fuentes de información que indique como ha sido afectado el golfo por la actividad antropogénica de la zona. El INVEMAR desde 2001 realiza el monitoreo de las aguas y en el presente informe se analizan los resultados obtenidos de la época lluviosa de 2013 y seca de 2014.

El Plomo (Pb) disuelto solo fue detectable en época lluviosa de 2013 en las estaciones ciénaga la Caimanera (0,44 µg/L) y Coveñas Coquerita (0,53 µg/L). El Cadmio (Cd) y Zinc (Zn) en ambas épocas estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,42 µg/L y 6,9 µg/L, respectivamente).

Los metales Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Hierro (Fe) se detectaron solo en la época seca de 2014 en la estación ciénaga la Caimanera, sin embargo, las estaciones ubicadas en aguas marino-costeras permanecieron por debajo de los niveles de referencia reportados en las guías internacionales de la NOAA y CONAMA.

La zona de Tolú es la que muestra los valores históricos más altos de Pb y Cd, mostrando la importante influencia de la infraestructura turística en esta zona. En cuanto al Cr, el promedio histórico más alto en época lluviosa se registró en la Ciénaga la Caimanera ($1,1 \pm 0,8$ µg/L). Los reportes de Pb, Cd y Cr en todas las estaciones han estado muy por debajo de los límites establecidos en guías internacionales, por lo que se considera que no hay riesgo de contaminación por estos metales.

4.6.1.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

Los resultados del índice de calidad de aguas marinas y costeras durante la época lluviosa 2013 se presentaron condiciones óptimas en las estaciones golfo frete Francés y golfo frente Berrugas, mientras que las demás presentaron estados de calidad adecuada y aceptable, a excepción de las estaciones frete Tolú, Coveñas Coquerita, caño Zaragocilla y punta rincón que mostraron condiciones inadecuadas (Figura 4.6.14a) debido a las altas concentraciones de CTE las cuales oscilaron entre 490 y 92.000 NMP/100 mL, superando el criterio de calidad para el contacto primario (<200 NMP/100 mL).

En época seca de 2014, los estados de calidad mejoraron notablemente registrándose solamente condiciones óptimas en siete estaciones, 12 estuvieron con estado adecuado y solo dos fueron aceptables (Figura 4.6.14b), estas últimas fueron caño Zaragocilla por el valor de CTE (490 NMP/100 mL) superior al criterio de calidad para el contacto primario y Hotel Montercarlo debido a la alta concentración de Nitrato (63,5 µg/L).

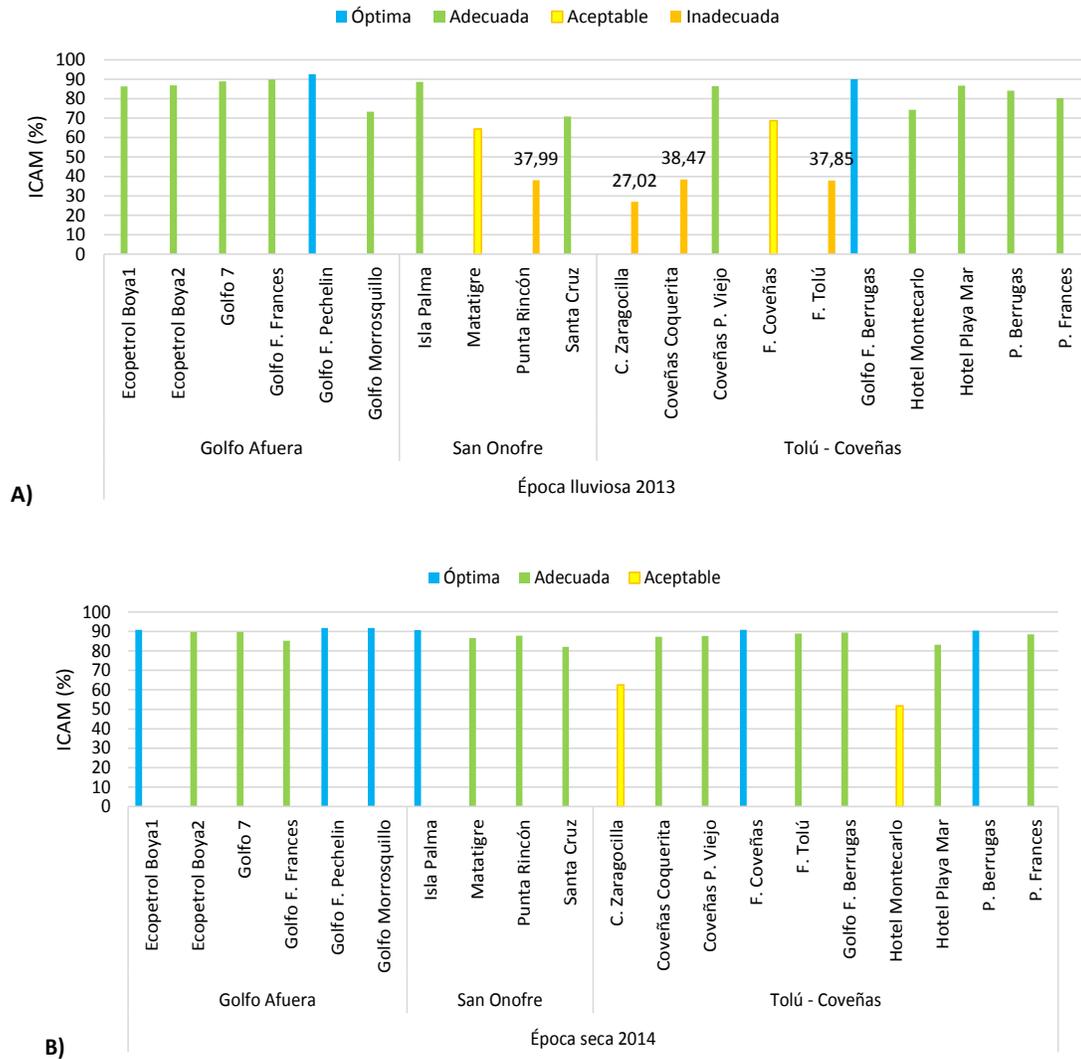


Figura 4.6.14. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), para la época lluviosa año 2013 y época seca 2014, en las estaciones en el departamento de Sucre.

4.6.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

4.6.2.1 MATERIA ORGÁNICA

Se evaluó el contenido de materia orgánica en la estación ciénaga la Caimanera, obteniéndose un resultado de 11,4 mg/g, valor que corresponde a los aportes de materia orgánica proveniente del manglar que se encuentra bordeando el cuerpo de agua; este alto contenido de materia orgánica aporta paulatinamente nutrientes al medio. El valor obtenido se encuentra por debajo de los niveles de materia orgánica encontrados en la literatura para ecosistemas de este tipo en el país (Tirado *et al.*, 2011).

4.6.2.2 HIDROCARBUROS

Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) determinadas en los sedimentos colectados de la estación ciénaga la Caimanera durante el monitoreo realizado la seca de 2014, se encontraron por debajo del límite de detección de la técnica aplicada y por ende no superaron el valor de referencia de 3,9 µg/g para sedimentos no contaminados, determinado por la [NOAA \(1990\)](#) demostrando que no existe una entrada constante de residuos de hidrocarburos al medio.

4.6.2.3 PLAGUICIDAS

El análisis de plaguicidas en los sedimentos permitió evidenciar la presencia de residuos de metabolitos de DDT's (Tabla 4.6.3), aunque la concentración determinada durante la época seca 2014 no superó los límites de referencia sugeridos por la NOAA ([Buchman, 2008](#)). La principal forma en que puede ser encontrado el DDT en el ambiente es como productos de degradación, pp'-DDE y pp'-DDD ([Calamari et al., 1995](#)), por lo tanto, se deduce que la presencia de dichos residuos sería producto de una contaminación no reciente.

Tabla 4.6.3 Concentraciones de plaguicidas en sedimentos en el departamento de Sucre, durante la época seca 2014.

Época	Estación	DDT's (ng/g)
Seca 2014	Ciénaga la Caimanera	6.0
Valor de referencia		10 *

*Valor de referencia para sedimentos no contaminados ([Buchman, 2008](#)).

4.6.2.4 METALES PESADOS

Los metales Pb, Cd, Cr, Cu, Zn y Fe en sedimento superficiales de la ciénaga la Caimanera, presentaron concentraciones por debajo del valor de referencia de la NOAA, por encima del cual es probable que ocurran efectos adversos en la biota acuática (Tabla 4.6.4). Esto sugiere que no hay riesgo de contaminación por metales en el sitio monitoreado. Solo el Níquel ha superado el nivel de referencia por lo que es importante continuar con el monitoreo de este metal para poder establecer tendencias temporales y posibles fuentes de ingreso a la matriz sedimentaria.

Tabla 4.6.4. Concentraciones de metales en sedimentos para la época seca de 2014 en el departamento de Sucre.

	Pb (µg/g)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Ni (µg/g)	Fe (mg/g)
Ciénaga la Caimanera	30,8	<LD	42	64,3	59,5	53,5	33,7
PEL*	112,0	4,2	160,0	108,0	271,0	42,8	-

* Probable Effect Level ([Buchman, 2008](#)).

4.6.3 CONCLUSIONES

El análisis estadístico realizado en las estaciones de la zona costera del departamento de Sucre para el periodo evaluado y según las variables fisicoquímicas, se conglomeraron según el tipo de agua en dulceacuícolas y estuarinas. Así mismo, en la mayoría de las estaciones se presentaron valores de oxígeno disuelto y pH dentro de los límites sugeridos por la legislación colombiana, excepto el oxígeno disuelto para estaciones ubicadas en caños y ciénagas. Valores de temperatura cercanos a 30 °C se presentaron en las estaciones Isla Palma y Santa Cruz, lo que puede afectar a largo plazo los arrecifes de coral y pastos marinos presentes en estas áreas.

En el caso de los nutrientes inorgánicos los sectores San Onofre y Golfo afuera presentaron concentraciones más bajas predominando valores por debajo de los límites de detección de los métodos utilizados, mientras que en Caños como Guainí la presencia de los iones fue marcada y significativamente elevada especialmente en el caso de los fosfatos. Caño Zaragocilla también presentó altas concentraciones de Nitritos y Nitratos, mostrando en esta última especie su influencia en el punto Golfo Frente a Zaragocilla durante la época de lluvias 2013. Estos datos revelan la marcada influencia de los vertimientos de aguas residuales domésticas en estos puntos generando tendencia a la eutrofización.

De manera general las estaciones marinas y estuarinas del departamento presentaron condiciones microbiológicas adecuadas para su uso por parte de usuarios tanto para las actividades recreativas con contacto primario (natación y buceo) como secundario (deportes náuticos y pesca), a diferencia de Punta Rincón que presentó concentraciones muy por encima de lo habitual y Coveñas Coquerita que ha sido recurrente en incumplimiento de los límites. Con respecto al Caño Zaragocilla y Arroyo Villeros, han presentado históricamente altas concentraciones de microorganismos los cuales terminan vertiéndose en el mar generando un detrimento de la calidad de las playas aledañas y un potencial riesgo a la población que las visita.

Los valores de hidrocarburos en el departamento de Sucre estuvieron por debajo del valor de referencia de la NOAA, por lo que no hay contaminación por este tipo de contaminantes. De igual forma los plaguicidas no tuvieron presencia en las aguas marino-costera del departamento.

La estación ciénaga la Caimanera se caracterizó por presentar las mayores concentraciones de metales en época seca, sin embargo la calidad de las aguas marino costeras fue buena ya que ninguna estación superó el valor de riesgo reportado en guías internacionales. En los sedimentos, solo el níquel presenta una concentración por encima del nivel de riesgo considerando necesario seguir con el monitoreo de este metal para establecer tendencias entre época y posibles fuentes de este metal.

El índice de calidad de agua, varió en las épocas de estudio entre una óptima e inadecuada condición para la preservación de fauna y flora. Encontrando la calidad inadecuada en Punta Rincón, Coveñas Coquerita, Frete Tolú y Caño Zaragocilla en época lluviosa 2013.

Córdoba



Río Sinú. Foto: Max Martínez

EQUIPO TÉCNICO CVS

Rafael Espinosa - Profesional Especializado División de Calidad Ambiental

Lina María García Corrales - Profesional Especializado

María Luisa Sánchez Banda – Bióloga, División de Calidad Ambiental

4.7 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 km² 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 aproximada de 1.658.090 habitantes en el 2013 ([DANE, 2009](#)).

El régimen hidrológico en el departamento es de carácter unimodal, con concentración de precipitaciones entre los meses de mayo y octubre, con un máximo destacado 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 1000 y 1500 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, 2014](#)).

Su 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, 2014](#)).

Para el monitoreo, la REDCAM cuenta con 18 estaciones de muestreo distribuidas en la bahía de Cispatá y la costa occidental (Figura 4.7.1). La primera zona se extiende desde la bahía Cispatá hasta el frente de la desembocadura del río Sinú conocido como boca de Tinajones, conformada por el delta del río y lagunas interconectadas con el río y el mar, constituyéndose en una importante zona de manglar en el Caribe colombiano ([Bernal et al., 2005](#)), al poseer caños interconectados que albergan diversidad de especies que sustentan la pesquería artesanal e industrial de la región ([INVEMAR, 2002](#)). La zona occidental por su parte va desde San Bernardo hasta Puerto Escondido (límites con el departamento de Antioquia), la cual se encuentra directamente afectada por los vertimientos de aguas servidas sin tratamiento a los cuerpos de agua mediante drenajes superficiales, contribuyendo con el ingreso de contaminantes hacia la zona marina y costera, cuentan con una baja cobertura y acceso al servicio de alcantarillado como San Bernardo del Viento con 13,99%, Moñitos y Puerto Escondido con el 0,82% de cobertura del servicio ([DNP, 2010](#)). En este informe se presentan los resultados de los muestreos realizados en el mes de agosto del 2013 (en adelante, época lluviosa 2013) y marzo de 2014 (en adelante, época seca 2014), se incluyó una muestras de sedimentos en la estación Frente al ríos Sinú- Tinajones para las dos épocas climáticas.



Figura 4.7.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Córdoba.

4.7.1 CALIDAD DE AGUAS

Los resultados de las mediciones de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados muestran las condiciones que presentaron las aguas marinas y costeras del departamento de Córdoba para la conservación de los recursos acuáticos y el desarrollo de actividades de recreación, entre otros usos. A continuación se presentan los resultados de los muestreos 2013 – 2014 (Tabla 4.7.1).

Tabla 4.7.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento de Córdoba.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	30,53	0,92	32,60	28,80	30,58	1,46	33,20	28,60
SST (mg/L)	83,07	90,61	379,00	13,40	55,59	39,16	128,40	15,20
Salinidad	24,04	9,68	31,80	0,00	26,29	11,00	34,60	0,00
pH			8,73	7,38			8,88	7,76

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
OD (mg/L)	5,67	1,84	9,98	1,49	6,35	1,82	11,05	1,48
NO ₃	43,36	53,54	182,5	<2,10	10,80	11,68	50,40	<2,10
NO ₂ (µg/L)	1,84	1,91	5,9	<0,60	1,00	1,02	1,30	<0,70
NH ₄ (µg/L)	38,50	22,74	71,9	<3,10	20,07	11,79	29,20	<3,10
PO ₄ (µg/L)	7,56	6,05	21,4	<1,50	5,28	3,69	9,20	<2,40
CTT (NMP/100 mL)			1,60E+05	<1,80			200,00	<1,80
CTE (NMP/100 mL)			1,60E+05	<1,80			1700,00	<1,80
TUR (NTU)	63,91	185,39	798	2,52	12,29	11,73	44,40	2,82
DBO (mg/L)	4,32	1,89	7,20	1,90	3,71	3,34	6,70	<0,50
HAT (µg/L)	0,38	0,28	0,89	0,06	0,20	0,09	0,41	0,10

4.7.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendidos totales

Los resultados de las variables fisicoquímicas medidas (oxígeno disuelto (OD), salinidad, temperatura, pH, sólidos suspendidos totales (SST), conductividad eléctrica y turbidez) en la zona costera del departamento de Córdoba para las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 mostraron diferencias entre las estaciones. El análisis estadístico de las variables presentó la separación y agrupación de las estaciones según el tipo de agua, donde la salinidad fue la variable determinante de esta agrupación; encontrando que las estaciones río Sinú y Ostional, por sus características dulceacuícolas se separaron del resto; las siguientes estaciones que se agruparon fueron Cantarillo, frente a Agrotijó, La Loma y ciénaga Soledad que son de carácter estuarinos y se encuentran influenciadas por las aguas del río Sinú, y en un tercer grupo las estaciones marinas como son las playas y las estaciones ubicadas en la bahía de Cispatá (Figura 4.7.2).

El OD en la mayoría de las estaciones se encontró por encima del valor de referencia sugerido por la normatividad nacional para preservación de flora y fauna (>4mg/L: [Minsalud, 1984](#)), excepto Cantarillo, que presentó valores de alrededor de 1,4 mg/L en ambas épocas climáticas, históricamente esta estación ha presentado este comportamiento, lo cual se debe principalmente a la poca inundación que la caracteriza, sumado al descenso de las precipitaciones durante el periodo de estudio ([IDEAM, 2014](#)), lo que conlleva a una disminución en la columna de agua que desfavorece el intercambio del oxígeno, acelerando procesos de descomposición y acumulación de la materia orgánica en los sedimentos, haciendo que se presenten condiciones anóxicas, que pueden traer consigo a largo plazo la reducción de la tasa de fotosíntesis ([Krauss et al., 2008](#)).

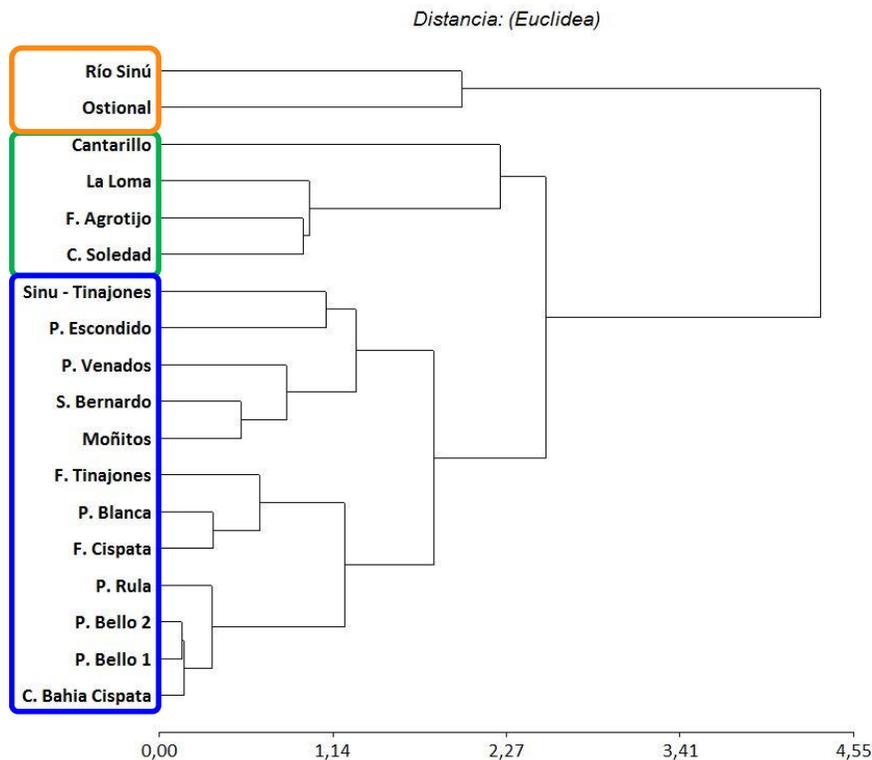


Figura 4.7.2 Dendrograma de clasificación de las variables *In situ* medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM de la zona costera del departamento de Córdoba para la época lluviosa 2013 y seca 2014. El recuadro naranja indica la estación de carácter dulceacuícola, el verde las estaciones de carácter estuarino y el azul las de carácter marino.

El valor de la salinidad en las playas fluctuó entre 29,6 y 34,6 siendo el valor más alto registrado en la estación Moñitos durante la época seca de 2014; en las estaciones estuarinas (ciénagas) los valores estuvieron entre 0 para la estación Ostional en ambas épocas debido a la influencia del río Sinú y 24,1 en la estación frente a Agrotijó durante la época lluviosa 2013, siendo condiciones normales para estos tipos de agua. Los valores de temperatura del agua superficial durante el periodo evaluado se mantuvieron constantes entre épocas en las diferentes estaciones, los cuales variaron entre 28,6 °C y 33, 2 °C, donde se presentaron los valores más altos en las estaciones ubicadas en el frente Agrotijó, ciénaga Soledad y La Loma, con valores alrededor de 33 °C, aspecto registrado históricamente por la REDCAM.

Respecto al pH no se observaron variaciones entre épocas en las diferentes estaciones; se registraron valores entre 7,3 a 8,7 para la época lluviosa 2013 y entre 7,7 y 8,8 en la época seca 2014 los cuales se encuentran dentro del rango permisible según la legislación colombiana para la preservación de flora y fauna (6,5- 8,5 [Minsalud, 1984](#)). Por su parte los valores de los SST fluctuaron entre 13 mg/L en la estación ubicada en el frente de Cispata y 379 mg/L en la estación del río Sinú durante la época lluviosa de 2013. Aparte de la estación río Sinú, las siguientes estaciones que presentaron valores altos de SST fueron Ostional (211 mg/L; época lluviosa 2013), Sinú-Tinajones (137 mg/L; ambas épocas) y ciénaga la soledad (97 mg/L; época lluviosa 2013); este comportamiento en estas estaciones ha sido registrado históricamente y puede deberse a la influencia del río Sinú, que aporta material de arrastre a estas zonas.

Nutrientes

Se realizó el análisis de Nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-), y Amonio (NH_4^+) y Fosfatos (PO_4^{3-}). Con respecto a los Nitritos, las concentraciones oscilaron entre el límite de detección del método ($0,7 \mu\text{g/L}$) y $5,9 \mu\text{g/L}$, presentando diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las épocas climáticas, siendo el periodo de lluvias donde se presentaron las mayores concentraciones especialmente en las estaciones río Sinú ($5,9 \mu\text{g/L}$), ciénaga Ostional ($5,4 \mu\text{g/L}$), y Cantarillo ($2,2 \mu\text{g/L}$), esto se debe principalmente al transporte de este ión por parte de las escorrentías y el río Sinú de las plantaciones agrícolas de la zona y al vertimiento de aguas servidas (Figura 4.7.3).

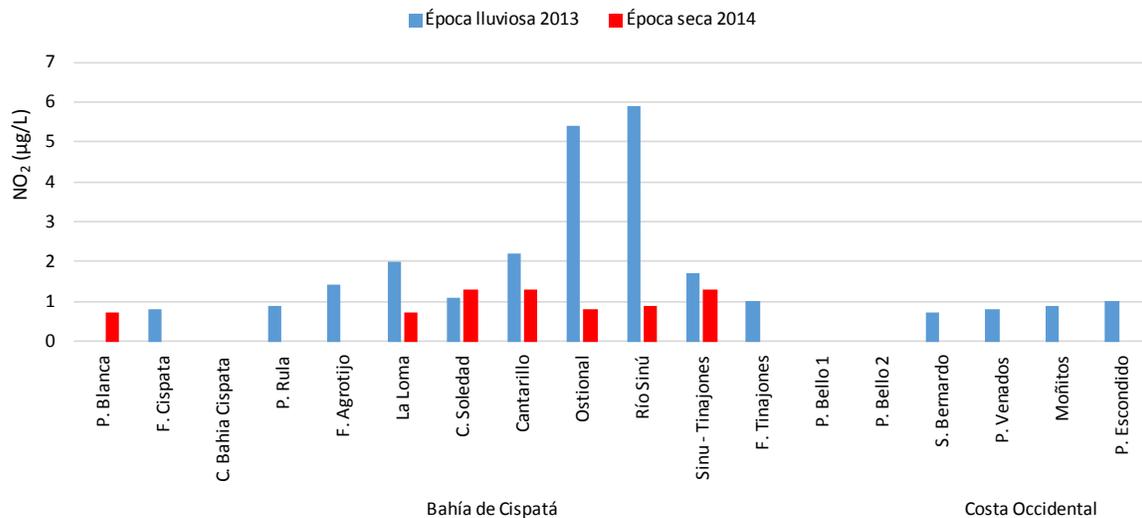


Figura 4.7.3. Concentraciones de Nitrito (NO_2^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los Nitratos fluctuaron en un rango entre el límite de detección ($2,1 \mu\text{g/L}$) y $182,5 \mu\text{g/L}$, entre las épocas climáticas no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), registrándose las concentraciones más altas en las estaciones río Sinú ($182,5 \mu\text{g/L}$) y ciénaga Ostional ($151,6 \mu\text{g/L}$) en la época lluviosa 2013 (Figura 4.7.4), como consecuencia de actividades urbanas, industriales y agrícolas que se han incrementado durante los últimos años, afectando los procesos biogeoquímicos naturales (Aydin-Onen *et al.*, 2011).

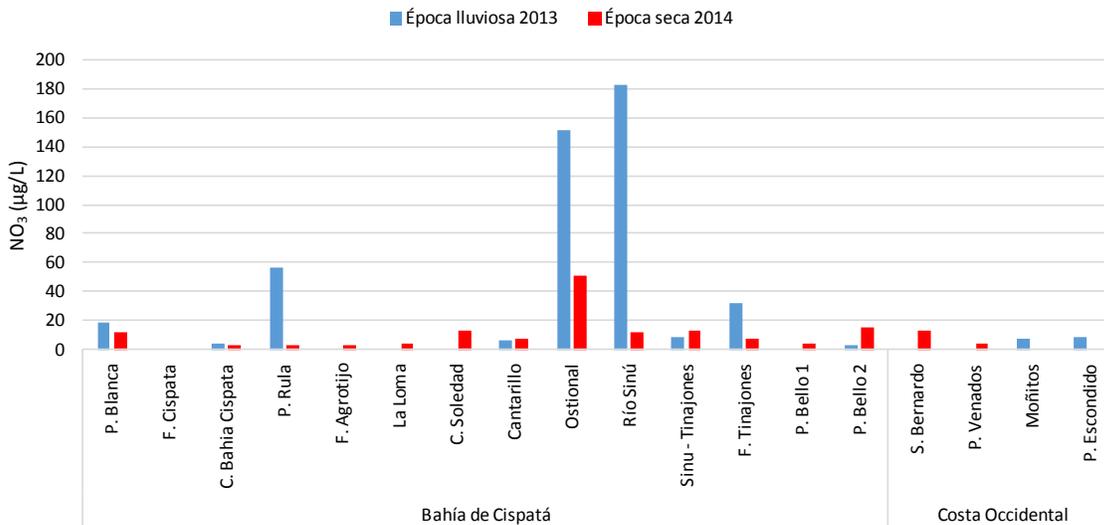


Figura 4.7.4. Concentraciones de Nitrato (NO_3^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Las concentraciones de Amonio no presentan diferencias significativas entre las épocas climáticas ($p > 0,05$), las concentraciones más altas se registraron en las estaciones río Sinú ($71,9 \mu\text{g/L}$) y Cantarillo ($67,8 \mu\text{g/L}$) en la época lluviosa de 2013. Los Fosfatos por su parte, oscilaron entre el límite de detección y $21,4 \mu\text{g/L}$, las variación entre las épocas climáticas no fueron significativamente diferentes, y al igual que las especies nitrogenadas las mayores cantidades se registraron en las estaciones río Sinú ($21,4 \mu\text{g/L}$) y ciénaga Ostional ($12,7 \mu\text{g/L}$) durante la época de lluvias (Figura 4.7.5), éste ion es un indicativo de la presencia de detergentes y fertilizantes que pueden provenir de las aguas residuales domésticas y riesgos de cultivo (Quintero *et al.*, 2010).

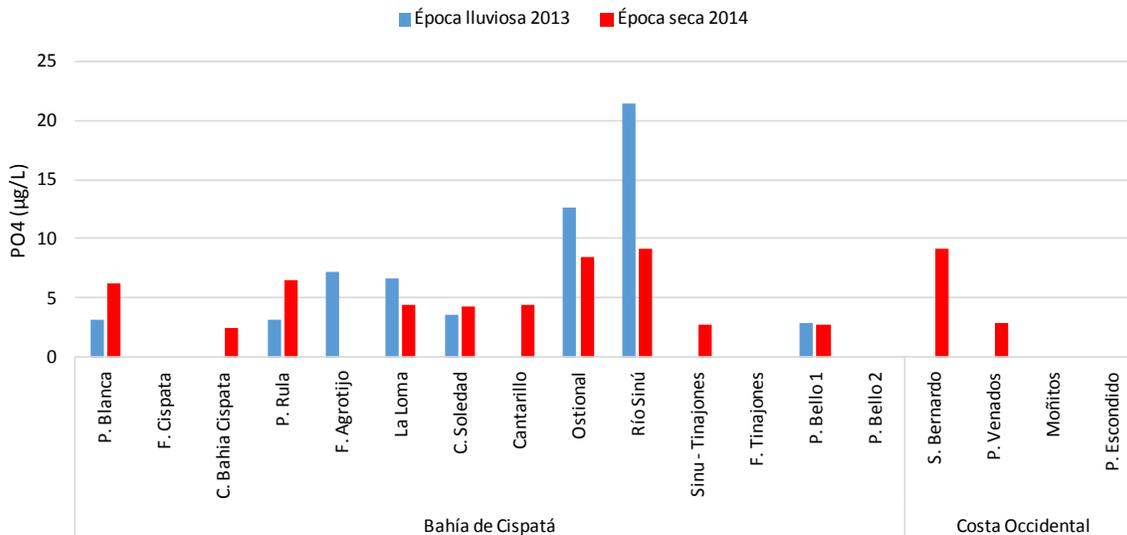


Figura 4.7.5. Concentraciones de Fosfatos (PO_4^{3-}) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba para el muestreo realizado en la época seca 2014.

4.7.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

En el departamento de Córdoba desde hace 13 años se ha venido monitoreando la calidad microbiológica de las playas, ciénagas y cuerpos de agua continentales que desembocan en la costa. Se determinaron las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE) durante la época lluviosa 2013 y seca 2014. Con respecto a las CTT, se registraron valores entre el límite de detección de la técnica (1,8 NMP/100 mL) y 160.000 NMP/100 mL, encontrándose condiciones inadecuadas del agua para su uso por contacto primario y secundario en las estaciones río Sinú y puerto Escondido en la época lluviosa de 2013 (Figura 4.7.6), puesto que se encontraron por encima de los criterios de calidad del decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)).

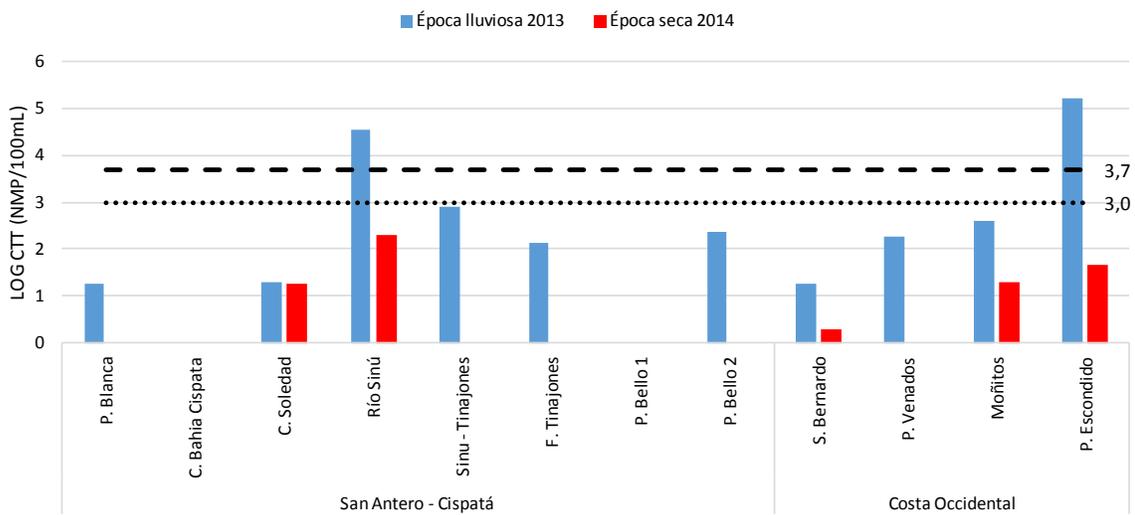


Figura 4.7.6. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Sucre para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Históricamente las concentraciones de CTT en el departamento ha evidenciado la prevalencia de contaminación en la estación río Sinú con un porcentaje de incumplimiento del 81 % (n=11) encontrándose por encima de los criterios de calidad establecidos para aguas destinadas a uso agrícola y recreativo con contacto secundario (deportes náuticos y la pesca) durante las épocas lluviosa y un 71 % para época seca (Figura 4.7.7; [INVEMAR, 2014b](#); [MinSalud, 1984](#)). Las concentraciones de este grupo de microorganismos se encuentran relacionadas estrechamente a las propiedades fisicoquímicas del cuerpo de agua como es la baja salinidad y rangos de pH cercanos a la neutralidad, condiciones que se dan por el incremento de las precipitaciones, los cuales favorecen la proliferación de estos microorganismos ([Chigbu et al., 2004](#); [Hughes, 2003](#)).

En las estaciones de interés turístico como Playa Blanca, centro bahía Cispata, San Bernardo y playa Venados han presentado condiciones óptimas para uso recreativo por contacto primario (natación y buceo) en más del 81% de los casos en época lluviosa y 84% en época seca, lo cual corrobora no solo la influencia de las precipitaciones en la disminución de la salinidad sino el aumento del aporte de los afluentes continentales (arroyos, caños y lagunas) y la resuspensión de los sedimentos marinos en la

columna de agua ([Chigbu et al., 2004](#)). La estación ubicada al costado sur del departamento, puerto escondido oscila entre un rango de 120-160.000 NMP/100 mL en época lluviosa y hasta 11.000 NMP/100 mL en época seca, viéndose una fuerte tendencia a sobrepasar los límites en época lluviosa.

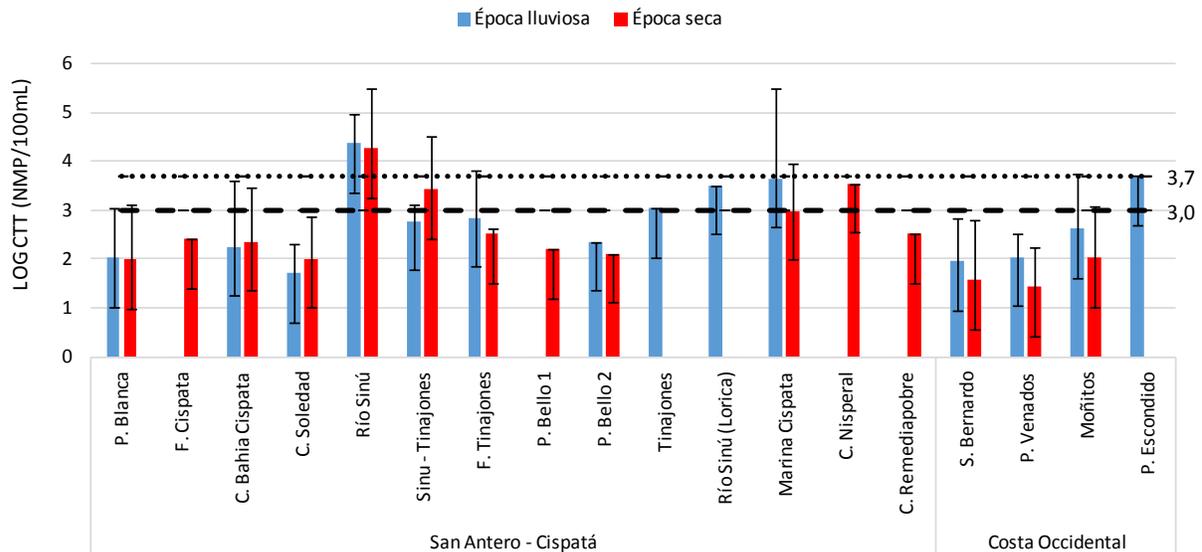


Figura 4.7.7 Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Con respecto a los coliformes termotolerantes, durante el último periodo de evaluación comprendido entre la época lluviosa del 2013 y la seca del 2014, se superó el límite permisible para contacto primario con uso recreativo en las playas de Moñitos y Puerto Escondido (<200NMP/100 mL), la estación playa Blanca no evidencia diferencias entre las épocas lluviosa y seca, mientras que las estaciones de la zona Costa-Occidental presentan un mayor número de casos de incumplimiento durante la época lluviosa (Tabla 4.7.2; [MinSalud, 1984](#)). En general estaciones en las playas, Blanca, San Bernardo y Venados son aptas para su uso por bañistas para practicar buceo y natación, según el criterio de calidad con termotolerantes (<200 NMP/100 mL) y presentan el riesgo mínimo (<1%) de adquirir una infección gastrointestinal según los valores internacionales de Enterococos ([OMS, 2003](#); [Davies et al., 1994](#)).

Tabla 4.7.2. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las playas, en la época lluviosa de 2013 y seca de 2014. Los valores en negrilla sobrepasan los límites de referencia establecidos por la norma nacional para coliformes termotolerantes (<200 NMP/100 mL) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para Enterococos (<40 UFC/100 mL).

Zona	Estación	Coliformes termotolerantes (NMP.100 mL ⁻¹)						Enterococos (UFC.100 mL ⁻¹)					
		Época lluviosa			Época seca			Época lluviosa			Época seca		
		2013	% casos*	n	2014	% casos*	n	2013	% casos**	n	2014	% casos**	n
San Antero - Cispatá	P. Blanca	40	44	9	<1	46	13	8	29	7	3	22	9
	S. Bernardo	18	64	11	2	33	12	<1	33	6	<1	13	8
Costa Occidental	P. Venados	180	75	8	<1	27	11	16	29	7	2	11	9
	Moñitos	400	91	11	20	54	13	16	71	7	5	44	9
	P. Escondido	16000	100	11	230	58	12	2000	71	7	<1	11	9

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2001-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario <200 NMP.100 mL⁻¹ (MinSalud, 1984)

**Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2006-2014) en donde se presentaron valores por encima de la guía internacional según la Organización Mundial para la Salud para aguas de uso recreativo de contacto primario <40 UFC.100 mL⁻¹ (OMS, 2003)

4.7.1.3 HIDROCARBUROS

Las concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales – HAT, en el período de lluvia 2013 y seco 2014 no superaron el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la [Unesco \(1984\)](#) para aguas no contaminadas, oscilando en un rango menor al límite de detección de 0,07 µg/L y 0,89 µg/L (Figura 4.7.8). La tendencia general observada fue de concentraciones más altas durante la época lluviosa 2013, con máximos valores para la bahía de Cispatá en las estaciones de playa Bello 2 (0,89 µg/L) y río Sinú (0,78 µg/L). Por otra parte, durante la época seca 2014 la concentración máxima se registró en la estación de Moñitos (0,41 µg/L). Estas concentraciones posiblemente se deban a la influencia que ejercen las actividades marítimas, tráfico de buques y lanchas, así como actividades de transporte, refinación y usos del petróleo como expendios informales de combustible y lavaderos de vehículos en la zona, además de las descargas provenientes del río Sinú ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)).

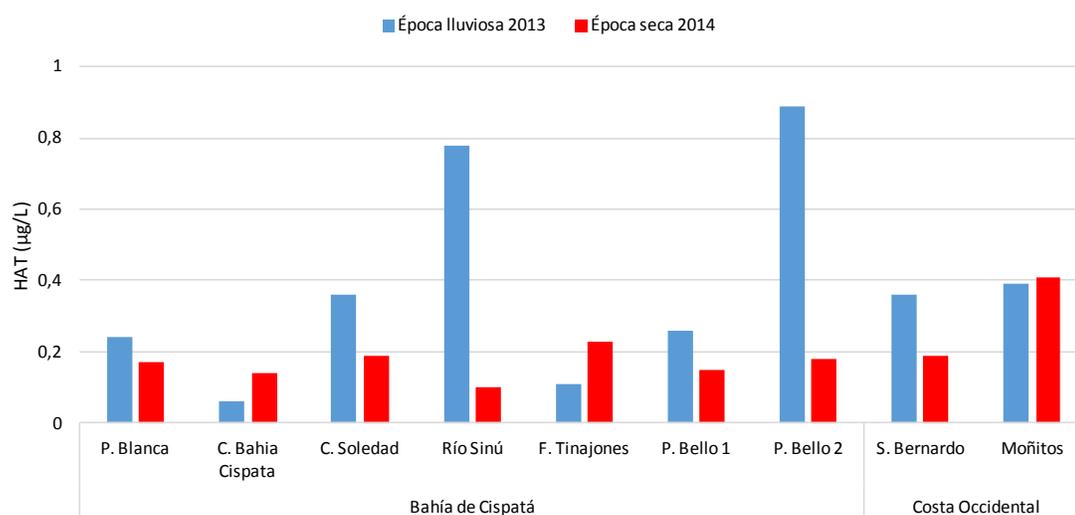


Figura 4.7.8. Concentraciones de Hidrocarburos Aromático Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los registros históricos de HAT medidos desde el 2001 al 2014, mostraron que las concentraciones promedio más altas se han registrado en las épocas secas, en las estaciones de la zona bahía Cispatá principalmente, en ciénaga la Soledad ($5,38 \pm 9,67 \mu\text{g/L}$), río Sinú ($4,57 \pm 9,90 \mu\text{g/L}$) y frente a Tinajones ($3,77 \pm 7,41 \mu\text{g/L}$). Estos valores pueden estar relacionados con escorrentías de aguas de lluvia y vertimientos de aguas residuales domésticas y de lavaderos de carros captadas por los el río Sinú a lo largo de su recorrido, además de la actividad portuaria y turística de la zona. Mientras que durante las épocas de lluvia, se han determinado en San Bernardo los valores más altos, al igual que las mayores variaciones ($5,84 \pm 16,92 \mu\text{g/L}$) mostrando que no se presenta una entrada constante de estos compuestos al medio marino y que probablemente las concentraciones observadas sean resultado del escurrimiento superficial (Figura 4.7.9).

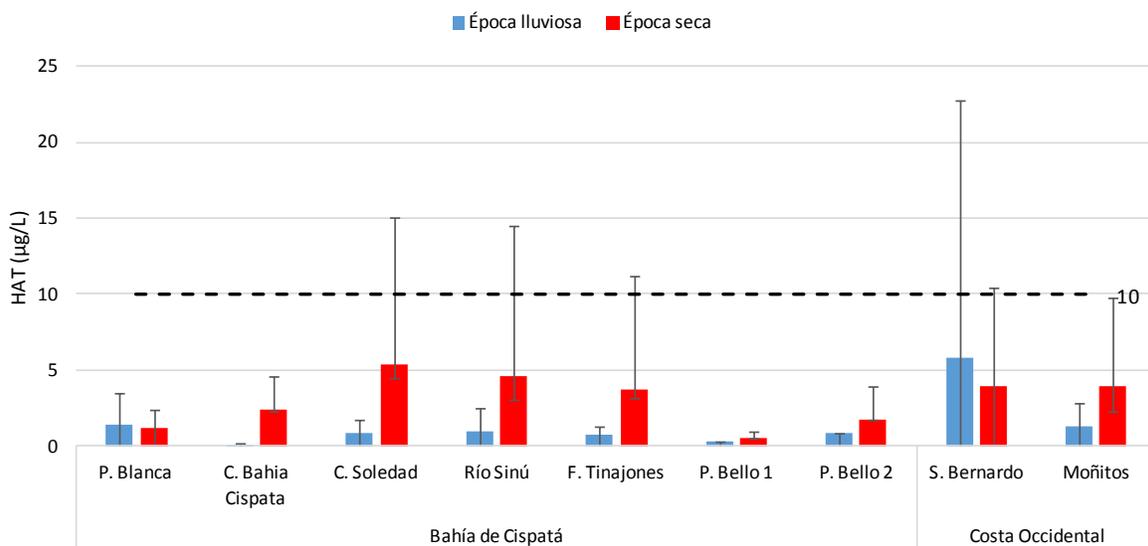


Figura 4.7.9. Promedio histórico (2001 - 2014) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea discontinua de $10 \mu\text{g/L}$ corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según [Unesco \(1984\)](#).

4.7.1.4 PLAGUICIDAS

La actividad agrícola es un renglón importante de la economía de Córdoba, departamento que históricamente ha sido uno de los mayores productores de algodón y arroz del país ([Vivas-Aguas et al., 2010](#)). Estos cultivos demandan altas cantidades de plaguicidas, por tanto la presencia de tales compuestos en las aguas costeras del departamento se encuentra sujeta a la aplicación de plaguicidas de uso actual, e igualmente a la escorrentía de residuos persistentes aplicados tiempo atrás en la zona.

En el monitoreo de la REDCAM, los registros históricos de las concentraciones de compuestos Organoclorados (OC) 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 ($0,03 \text{ ng/L}$ del 2001 al 2008, y $6,0 \text{ ng/L}$ desde el 2009 al 2014), que permitió determinar nuevos analitos a partir

del 2010. En el 2001 se determinó una concentración de OC de 30,5 ng/L en la bahía de Cispatá en la época seca, valor que se encontró en el límite de la referencia de 30 ng/L establecida por la [EPA \(2009\)](#), mientras que en los siguientes seis años, se registraron presencia de OC por debajo del valor de referencia considerado de riesgo para la biota acuática (Figura 4.7.10a). En el 2008 se registraron concentraciones que superaron el valor de referencia para el río Sinú (30,7 ng/L), frente a Tinajones (32,7 ng/L) y frente a Agrotijó (34,6 ng/L; Figura 4.7.10a).

Entre el año 2009 y 2011 continuó registrándose presencia de OC, presentándose valores mayores a la referencia en la época de lluvias del 2010 en el río Sinú (110,8 ng/L) y en la seca del 2011 en la ciénaga la Loma (81,5 ng/L), aunque estos resultados están relacionados con la determinación de nuevos analitos, lo que significó la cuantificación de sustancias como el endosulfan que anteriormente no se tenía en cuenta. A partir de 2012 y hasta el 2014 los valores estuvieron por debajo del límite de detección del método analítico (6 ng/L), comportamiento que se ha mantenido hasta el último periodo de estudio, época lluviosa 2013 y seca 2014 (Figura 4.7.10b).

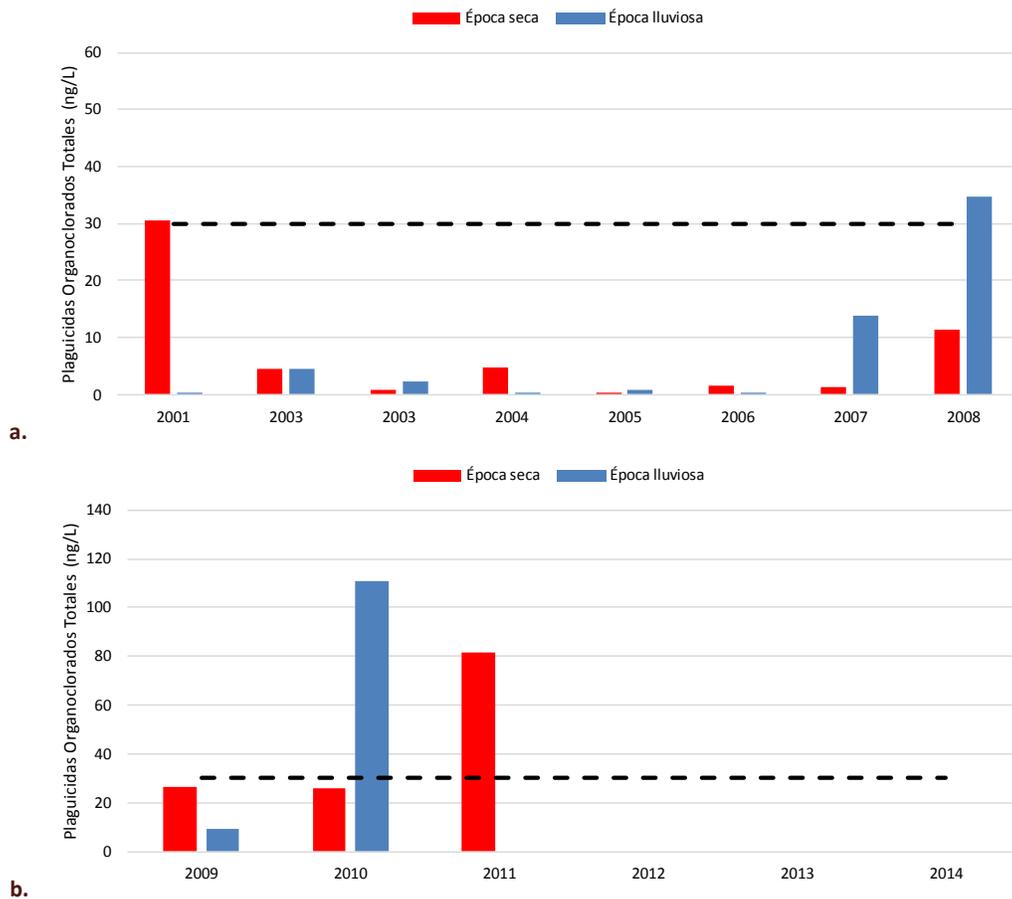


Figura 4.7.10. Concentración de plaguicidas en aguas superficiales del departamento de Córdoba; a) valores registrados antes de la implementación de nuevos equipos y técnicas analíticas (2001-2008); b) valores registrados después de la implementación de nuevas técnicas analíticas (2009-2014). La línea discontinua de 30 ng/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según [EPA \(2009\)](#).

Por otro lado, a partir de 2009 el monitoreo de plaguicidas de uso actual permitió realizar la evaluación por contaminación de moléculas como diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenamifos, Cis y Trans-permetrina. Durante estos seis años de monitoreo no se han detectado concentraciones que representen riesgo de toxicidad para los organismos acuáticos, solamente se ha detectado clorpirifos (66 ng/L) en el río Sinú durante la época lluviosa 2010, probablemente debido a la escorrentía proveniente de la actividad agrícola cercana al cauce.

4.7.1.5 METALES PESADOS

El comportamiento de los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Níquel (Ni) fue similar para la época seca de 2014, presentando en la mayoría de las estaciones, concentraciones por debajo del límite de detección. Además, las estaciones con niveles detectables de estos metales fueron las ubicadas en la zona de la bahía de Cispatá, caracterizada por recibir aportes del río Sinú.

En general, la zona de la bahía de Cispatá presentó una concentración promedio de Pb durante la época seca de 2013 de $1,1 \pm 0,9$ µg/L con un valor máximo de 2,63 µg/L en el río Sinú y un valor mínimo de 0,23 µg/L en la Boca Distrito riego Cantarillo. El Cd en ambas épocas se encontró por debajo del límite de detección de técnica (0,42 µg/L). El Cr y el Ni solo se detectaron en la estación frente a Tinajones en época seca de 2014, con concentraciones de 39,4 µg/L y 46,6 µg/L, respectivamente. El Cu en época lluviosa de 2013 solo se detectó en la estación Ostional (1,9 µg/L) y en época seca de 2014 fue detectado en las estaciones río Sinú (1,2 µg/L) y frente a Tinajones (52,1 µg/L). El Zn en época lluviosa de 2013 registró una concentración promedio de $13,9 \pm 11,1$ µg/L con un valor máximo de 37,3 µg/L en la estación Ostional y un mínimo de 3,4 µg/L en la estación Sinú-Tinajones. El Fe fue el metal con mayor presencia en las aguas del departamento de Córdoba, registrando para la época lluviosa de 2013 una concentración promedio de $131,6 \pm 197,6$ µg/L, con valor máximo de 516,0 µg/L en la estación Ostional y una concentración mínima de 5,0 µg/L en frente a Tinajones.

Las estaciones marinas registraron concentraciones de metales por debajo de los valores guías reportados en las tablas Squirts de la NOAA ([Buchman, 2008](#)) y la [CONAMA \(2005\)](#); Tabla 4.7.3), sugiriendo que no existen problemas potenciales de contaminación en la zona costera del departamento de Córdoba.

Tabla 4.7.3. Valores guía para metales en aguas marinas reportados en las guías internacionales de la NOAA y CONAMA.

Referencia	Pb (µg/L)	Cd (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Ni (µg/L)	Fe (µg/L)
NOAA (Buchman, 2008)	-	40	50	4,8	90	74	300
CONAMA, 2005	210	5,0	-	5,0	90	25	300

4.7.1.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

El resultado del índice de calidad de aguas marinas y costeras del departamento de Córdoba en época lluviosa 2013, mostró condiciones adecuadas y aceptables en la mayoría de las estaciones, a excepción de puerto Escondido y frente Agrotijó donde se encontraron aguas en estado inadecuado (Figura 4.7.11), debido a las altas concentraciones de DBO₅ en época lluviosa 2013 (5,4 mg/L) y época seca 2014 (6,7 mg/L), y de SST con valores de 54 y 70 mg/L en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 respectivamente, valores que podrían atribuirse a la influencia de las descargas residuales de las camaroneras de la zona, deteriorando la calidad de agua. En época seca 2014 las condiciones de calidad mejoraron notablemente, registrándose estados óptimos y adecuados en la mayoría de las estaciones, menos en frente Agrotijó donde se presentaron altas concentraciones de coliformes (valores entre 230 y 160.000 NMP/100 mL), superando el límite de contacto primario de la legislación colombiana, por lo tanto la calidad del agua fue inadecuada.

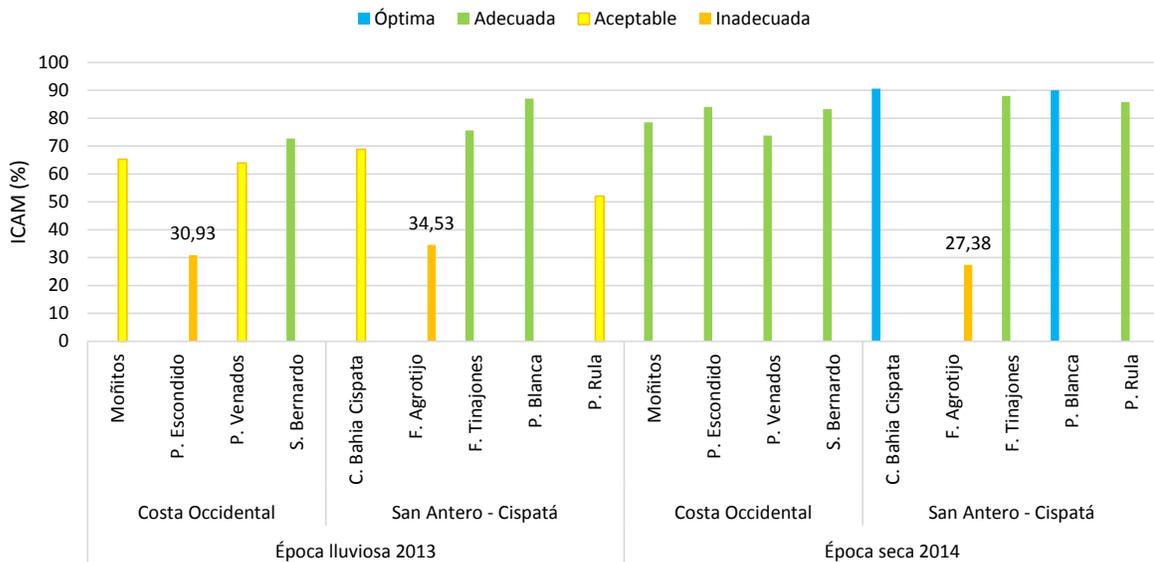


Figura 4.7.11. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), para la época lluviosa año 2013 y época seca 2014, en las estaciones en el departamento de Córdoba.

4.7.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

4.7.2.1 HIDROCARBUROS

Puesto que en Colombia no existen valores umbrales 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 \(1990\)](#) de 3,9 µg/g para sedimentos no contaminados.

Las muestras de sedimentos colectados en la estación frente al río Sinú - Tinajones permitieron evaluar la influencia de las descargas provenientes del río en la zona costera del departamento. Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) determinadas en el monitoreo realizado durante la época de lluvias de 2013 (0,30 µg/g) y en la seca de 2014 (0,22 µg/g) no superaron el valor de referencia (Tabla 4.7.4), demostrando que no existe una entrada constante de residuos de hidrocarburos al medio.

Tabla 4.7.4. Concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales medidos en sedimentos del departamento de Córdoba, durante la época lluviosa de 2013 y lluviosa de 2014.

Estación	Época Lluviosa 2013	Época seca 2014
	HAT (µg/g)	HAT (µg/g)
Frente a Río Sinú - Tinajones	0,30	0,20
Valor de referencia	3,9 *	3,9 *

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

4.7.2.2 PLAGUICIDAS

La evaluación de plaguicidas en sedimentos entre 2013 y 2014 mostró la presencia de metabolitos de DDT's frente al río Sinú - Tinajones (Tabla 4.7.5), el hecho de hallar los isómeros de degradación y no el compuesto original (DDT) es un indicador de que el producto no fue usado recientemente. Sin embargo, la concentración determinada durante la época seca 2014 superó el límite de referencia sugeridos por la NOAA (Buchman, 2008) y presentó un aumento de un orden de magnitud con respecto a la época lluviosa 2013, probablemente porque cuando las lluvias disminuyen, el flujo de agua continental disminuye y la materia orgánica que se encuentra suspendida en la columna de agua puede depositarse de nuevo en el sedimento. A pesar de que el uso de estos compuestos ha sido restringido, se siguen encontrando en el medio acuático debido a su naturaleza hidrofóbica que les permite asociarse fuertemente a las partículas del sedimento y a la materia orgánica (Romano *et al.*, 2004).

Tabla 4.7.5. Concentraciones de plaguicidas en sedimentos en estaciones del departamento de Córdoba, durante la época lluviosa 2013 y lluviosa 2014.

Época	Estación	DDT's (ng/g)
Lluviosa 2013	Frente a Río Sinú - Tinajones	1,8
Seca 2014	Frente a Río Sinú - Tinajones	11,6
Valores de referencia		10 *

*Valor de referencia para sedimentos no contaminados (Buchman, 2008).

En general, los metales en sedimento mostraron un leve aumento en su concentración al pasar de época lluviosa en 2013 a época seca en 2014. Solo el cinc presentó iguales concentraciones para las dos épocas de estudio, sugiriendo que este metal es poco influenciado con actividades antropogénicas. Por otro lado el cadmio en ambas épocas de estudio, estuvo por debajo del límite de detección de la técnica (0,5 µg/g). En la Tabla 4.7.6 se observa que la mayoría de los metales están por debajo del valor guía reportado por la NOAA (TEL, Probable Effect Level), nivel por encima del cual se espera que ocurran con frecuencia efectos adversos en la biota acuática. Solo el níquel presentó valores por encima de este nivel, sugiriendo un probable riesgo por ese metal, sin embargo debe tenerse en cuenta que el sitio de muestreo Frente al río Sinú – tinajones está fuertemente influenciada por la descarga del río Sinú, lo cual favorece el aumento de los niveles de metales en la zona.

Tabla 4.7.6. Concentraciones de metales en sedimentos para la época lluviosa de 2013 y seca de 2014 en el departamento de Córdoba.

Estación	Pb (µg/g)		Cd (µg/g)		Cr (µg/g)		Cu (µg/g)		Zn (µg/g)		Ni (µg/g)		Fe (mg/g)	
	llovía	seca	llovía	seca	llovía	seca	llovía	seca	llovía	seca	llovía	seca	llovía	seca
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Frente al río Sinú - Tinajones	5,3	37,1	<LD	<LD	57,0	78,3	68,6	103,2	109,6	110,0	47,6	94,1	48,9	64,7
PEL*	112		4,2		160		108		271		42,8		-	

* Probable Effect Level (Buchman, 2008).

4.7.3 CONCLUSIONES

Las variables fisicoquímicas evaluadas en general se encuentran dentro de los criterios de calidad exigidos por la legislación colombiana, excepto la estación Cantarillo que históricamente ha presentado valores de oxígeno disuelto por debajo del límite establecido. La estación río Sinú por su parte, se separó de las demás estaciones por sus características diferenciadas (baja salinidad).

Los nutrientes se encuentran en mayores concentraciones en el río Sinú, donde llegan las escorrentías de tierras agrícolas, además de los vertimientos de aguas residuales domésticas de las poblaciones ribereñas.

La calidad microbiológica de las aguas del departamento de Córdoba para la época lluviosa 2013 y seca 2014, indicaron que el río Sinú es recurrente en los incumplimientos de los criterios de calidad de la legislación colombiana para el uso del agua por contacto primario y secundario. En cuanto a las playas del departamento, éstas presentaron valores dentro de los rangos históricos y demostraron estar en condiciones adecuadas para su uso recreativo por bañistas, buceadores, para deportes náuticos y la pesca, cómo lo establece la norma, con el caso excepcional de puerto Escondido, el cual reiteradamente presenta valores muy por encima del criterio de calidad para tales actividades.

En términos de hidrocarburos, las concentraciones medidas en las aguas costeras del departamento fueron inferiores a los valores de referencia para aguas y sedimentos no contaminados. Sin embargo, históricamente se han presentado valores altos principalmente en épocas secas en las aguas de la bahía de Cispatá, ocasionados por manejo de crudo y sus derivados, operaciones de transporte y actividades propias de la zona, así como por las descargas provenientes del río Sinú.

Las concentraciones para la mayoría de los plaguicidas analizados se encontraron por debajo del límite de detección de los métodos aplicados. Sin embargo, durante la época seca 2014, en los

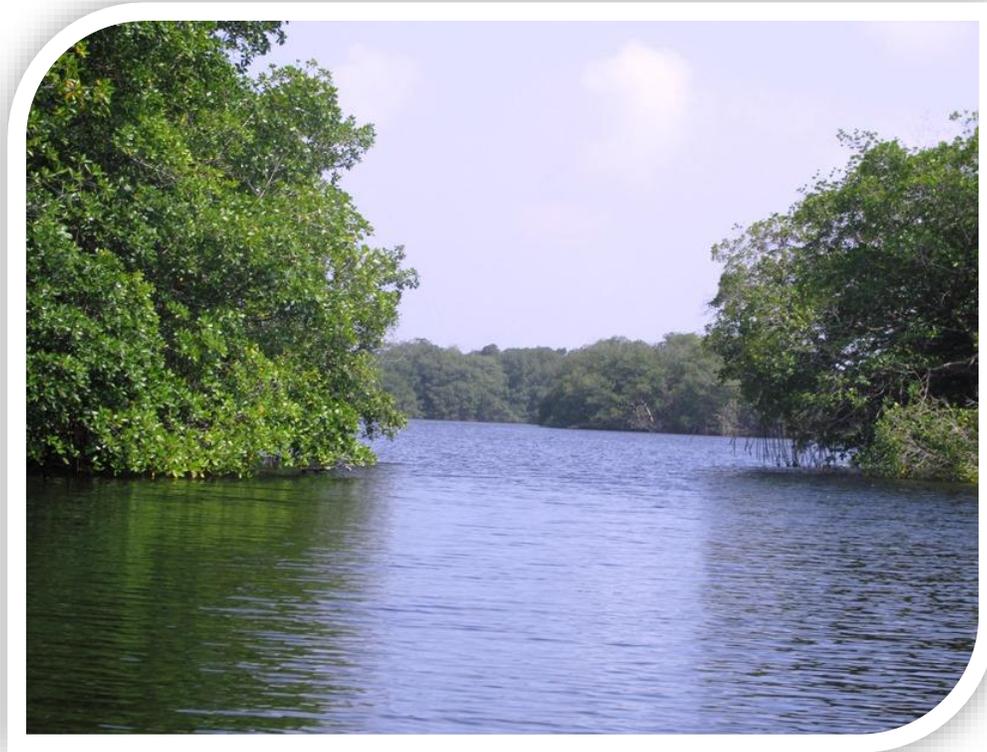
sedimentos provenientes del frente del río Sinú – Tinajones se determinaron metabolitos de DDT's que superaron los niveles de referencia propuestos por la NOAA. La variabilidad espacial y temporal de los resultados demuestra la presencia y persistencia de estos contaminantes de alto riesgo para el medio marino, lo cual hace necesario mantener su supervisión.

El comportamiento de los metales Plomo, Cadmio, Cromo, Cobre, Zinc y Níquel en la época seca y lluviosa fueron similares, presentando concentraciones por debajo del límite de detección. Las aguas marino-costeras no superaron el valor guía reportado en las tablas de la NOAA y CONAMA, sugiriendo que no existen problemas potenciales de contaminación en la zona costera del departamento de Córdoba.

En cuanto a los metales en sedimento, se presentó un aumento de concentración en la época seca de 2014, sin embargo, los niveles de metales no superaron los valores guías reportados en las tablas de la NOAA. Solo en Níquel estuvo por encima de los valores guía, no obstante, debe tenerse en cuenta que al frente del río Sinú – Tinajones está fuertemente influenciada por la descarga de este río lo cual favorece el aumento de los niveles de metales en la zona y para evaluar efectos de acumulación de metales es recomendable analizar otros sitios en la zona que tengan menor influencia.

El ICAM evidenció que las condiciones de calidad de las aguas marino costeras mejoran en la época seca, por la disminución de contaminantes provenientes del río Sinú.

Antioquia



Ensenada Ríonegro. Foto: Ostin Garcés

EQUIPO TÉCNICO CORPOURABA

*Vanessa Paredes Zuñiga – Subdirectora de Gestión y Administración Ambiental
Diana Andrade Gamboa – Profesional Universitario, Coordinadora Subprograma UAC Darién
Haold Garcéz Terán – Contratista responsable de la toma de muestras
Diana Cuervo Paternina – Director técnico Laboratorio de Aguas
Adelaida Pastrana – Responsable área Microbiología
Margara Alquerque – Analista del área Físicoquímica
Eulicer Cuellar – Análista del área Físicoquímica*

4.8 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). En el Urabá antioqueño la REDCAM cuenta con 26 estaciones de muestreo distribuidas en cuatro zonas: la Zona de San Juan de Urabá que comprende desde la frontera con el departamento de Sucre 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 4.8.1). Este informe presenta los resultados de los muestreos realizados entre el 30 septiembre, 21, 22, 29, 30 y 31 de octubre de 2013 (en adelante, época lluviosa 2013) y entre los días 12, 13 de marzo, 02, 03, 08, 28, 29, 30 de abril y el 02 de mayo de 2014 (en adelante, época seca 2014).

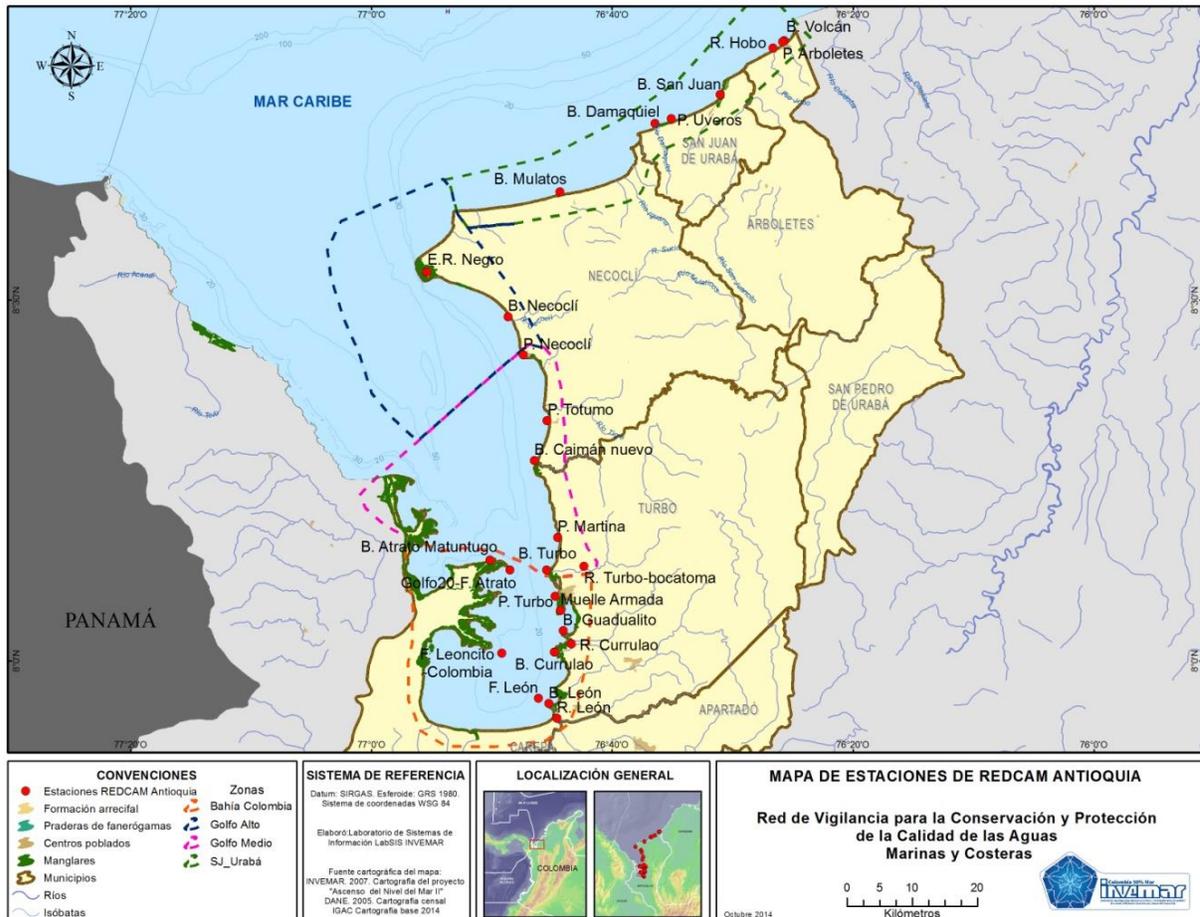


Figura 4.8.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Antioquia.

El alto desarrollo agrícola ha convertido al departamento 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 sean una de las principales fuentes de contaminantes pues la escorrentía desde la zona continental trae un arrastre importante de residuos de plaguicidas, fertilizantes, entre otros que al llegar a la zona costera afectan la calidad de las aguas marinas. En general, en la escorrentía del golfo predominan los aportes hídricos de los ríos Atrato y León, junto a otros pequeños efluentes del departamento. Ésta carga de aguas trae consigo un aporte de sólidos ($1,1 \cdot 10^6$ ton/año) de importancia para la dinámica del golfo junto a aguas de tipo doméstico por la falta de servicio de alcantarillado en algunas zonas rivereñas (INVEMAR *et al.*, 2007).

4.8.1 CALIDAD DE AGUAS

Las mediciones de las variables las variables fisicoquímicas, microbiológicas e hidrocarburos muestran el estado de calidad del agua marina y costera del departamento de Antioquia para el uso del recurso con fines recreativos y de preservación de la fauna y flora acuática en los ecosistemas asociados. A continuación se presentan los resultados de los muestreos realizados en la época de lluvias de 2013 y época seca de 2014 (Tabla 4.8.1) contrastados con los datos históricos del monitoreo REDCAM entre el 2001 y el 2013.

Tabla 4.8.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento de Antioquia.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	28,79	0,85	30,30	26,90	29,65	1,35	33,60	27,10
SST (mg/L)	175,66	200,44	818,00	10,10	88,26	99,03	489,00	9,50
Salinidad	7,37	7,59	21,30	0,00	7,28	9,37	32,40	0,00
pH			8,90	6,70			8,70	7,20
OD (mg/L)	5,92	1,94	8,40	1,70	6,35	1,95	8,48	0,42
CTT (NMP/100 mL)			2,80E+08	5,00E+01			2,60E+06	1,70E+02
CTE (NMP/100 mL)			7,00E+07	2,00E+01			1,30E+06	0,00E+00
DBO (mg/L)	1,22	0,79	4,04	0,50	17,33	30,68	150,00	1,60
HAT (µg/L)	0,18	0,11	0,44	0,07	0,84	1,37	4,40	0,09

4.8.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendidos totales

Las estaciones de monitoreo de calidad de aguas en la zona costera del departamento de Antioquia durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014 mostraron variaciones entre las variables de salinidad, conductividad eléctrica, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales (SST), turbidez y oxígeno disuelto (OD). Con el análisis de conglomerado se logró separar las estaciones con mayores afinidades de acuerdo al tipo de agua, siendo las variables de salinidad, pH y SST las de mayor importancia, formando dos grupos: estuarinas y dulceacuícolas (Figura 4.8.2).

En el grupo de las estuarinas se conglomeraron las estaciones de las playas, los frentes y desembocaduras de algunos ríos, las cuales presentaron salinidades entre 0,2 y 32,4, siendo la estación río Hobo la de mayor salinidad en época seca (32,4) debido a que las mediciones se realizaron en su desembocadura donde la influencia de las aguas marinas es mayor, y al llegar las lluvias las aguas presentan una salinidad de carácter estuarino (12,9); mientras que las estaciones río Turbo-Bocatoma y desembocadura del río Turbo fueron las de menor salinidad (entre 0,2 y 0,5 en ambas épocas climáticas) mostrando características de aguas dulceacuícolas, no obstante estas estaciones tuvieron mayor afinidad por las de carácter estuarinas al presentar altos valores de sólidos suspendidos totales. Las estaciones del grupo dulceacuícolas reunió las ubicadas en la zona del río Atrato, y las de los ríos Guadualito, Volcán, Currulao, Mulatos y Caimán Nuevo, en donde la salinidad osciló entre 0,0 y 11,4 presentándose los mayores valores en la estación desembocadura del río Volcán en las épocas lluviosa de 2013 (11,4) y seca de 2014 (7,43).

Los valores de pH en las estaciones estuarinas mostraron variaciones entre 7,1 y 8,9; mientras que en las estaciones dulceacuícolas el pH osciló entre 6,7 y 8,6; en todas las estaciones (estuarinas y dulceacuícolas) los valores de pH estuvieron dentro de límites permisibles para la preservación de la flora y fauna acuática (rangos entre 6,5 y 8,5 para aguas marinas-estuarinas y entre 4,5 y 9,0 para aguas dulces; [Minsalud, 1984](#)). La temperatura del agua superficial fluctuó entre 27,1 y 31,8 °C, siendo las aguas más calidad en época de seca de 2014 ($29,7 \pm 1,4$ °C) en comparación con la época lluviosa de 2013 ($28,8 \pm 0,8$ °C).

Los SST en las estaciones dulceacuícolas mostraron los mayores rangos, encontrándose valores desde 25,0 mg/L en la estación de la desembocadura del río Damaquiel hasta 818,0 mg/L en la estación de la desembocadura del río Guadualito en época lluviosa de 2013. En las estaciones de carácter estuarinas se registraron altos valores de SST, con oscilaciones entre 9,5 mg/L en el Muelle de la Armada en época seca de 2014 y 313,0 mg/L en la playa del Totumo en época lluviosa de 2013, valores que se encuentran dentro de los rangos históricos y que obedecen a los procesos de erosión y a los aportes de importantes ríos que desembocan en el golfo de Urabá.

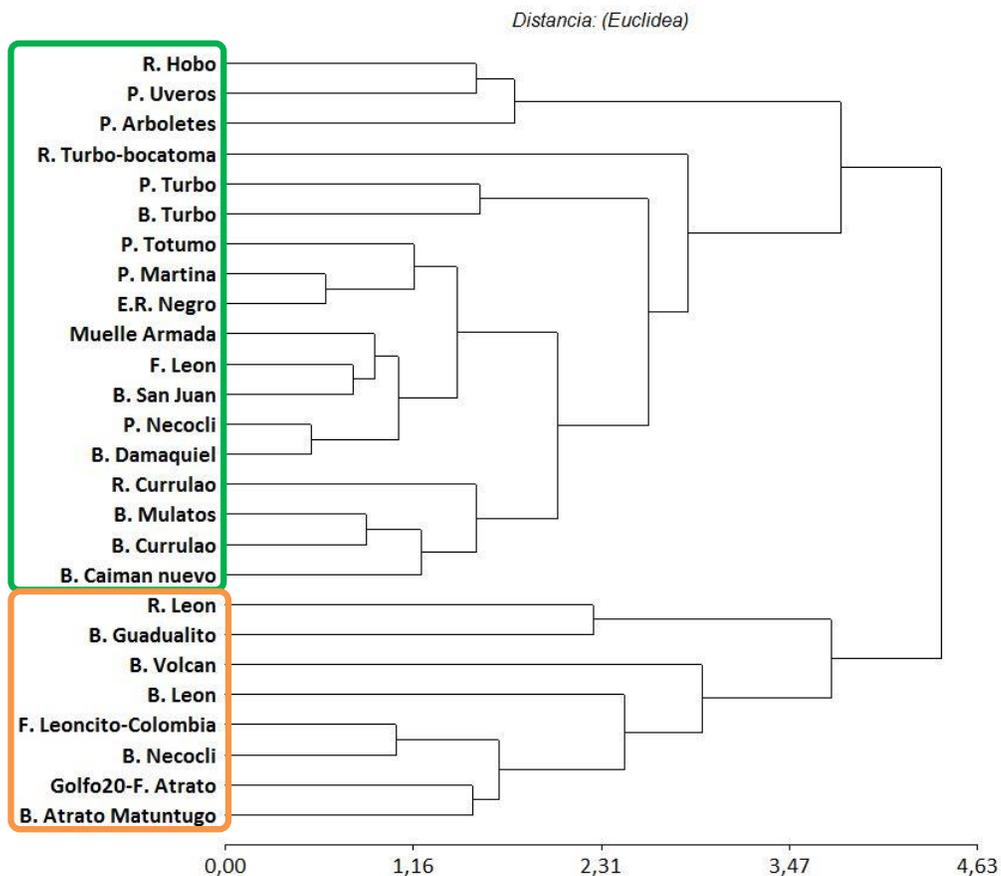


Figura 4.8.2. Dendrograma de clasificación de las estaciones REDCAM por las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial en el departamento de Antioquia en las épocas lluviosa 2013 y seca 2014. El recuadro verde abarca las estaciones de carácter estuarino y el recuadro naranja las de carácter dulceacuícola.

El OD mostró variaciones entre 0,4 y 8,5 mg/L con promedios de $5,9 \pm 1,9$ mg/L en época de lluvias de 2013 y de $6,3 \pm 1,9$ mg/L en época seca de 2014 encontrándose condiciones inadecuadas en las estaciones desembocadura del río Volcán (0,4 mg/L), río León (1,7 mg/L), desembocadura del río Guadualito (2,3 mg/L), frente del río León (3,3 mg/L), desembocadura del río León (3,5 mg/L) y en frente de Leoncito-Colombia (3,8 mg/L), valores que estuvieron por debajo de la concentración mínima de referencia para la preservación de la flora y fauna acuática según la legislación colombiana (>4 mg/L; [Minsalud, 1984](#)), condiciones que se asocian con altos contenidos de sólidos suspendidos totales provenientes de las actividades agrícolas, urbanas e industriales que deterioran la calidad de las aguas en relación con las concentraciones de oxígeno requerida por los organismos acuáticos de interés ecológico y económico presentes ([Roldán, 2003](#); [Corpourabá, 2014](#)).

Nutrientes

Para el análisis de los nutrientes se consideraron los valores de Nitritos (NO_2^-) y Fosfatos (PO_4^{3-}) obtenidos en la época lluviosa de 2013. En el caso de los Nitritos, las concentraciones de este anión presentaron variaciones entre 4,0 y 70,0 $\mu\text{g/L}$, encontrándose los valores más altos en las estaciones río Currulao, desembocadura del río Damaquiel (70,0 $\mu\text{g/L}$) y playa de Necoclí (50,0 $\mu\text{g/L}$), valores se encuentran por fuera dentro del rango histórico de estas estaciones según los datos de la REDCAM 2002-2013 (1,0 – 43,3 $\mu\text{g/L}$; Figura 4.8.3) condiciones que demuestran la influencia de las actividades agrícolas desarrolladas en estos sectores (Corpourabá, 2014) mostrando una tendencia al aumento de la concentración de nitritos en el agua que pueden favorecer el crecimiento excesivo de fitoplancton (microalgas y bacterias) que al morir conformarán masas de materia orgánica que pueden deteriorar la calidad de las aguas por el consumo de oxígeno al momento de su descomposición y variaciones diarias significativas (Mazzeo et al., 2002; Quintero et al., 2010).

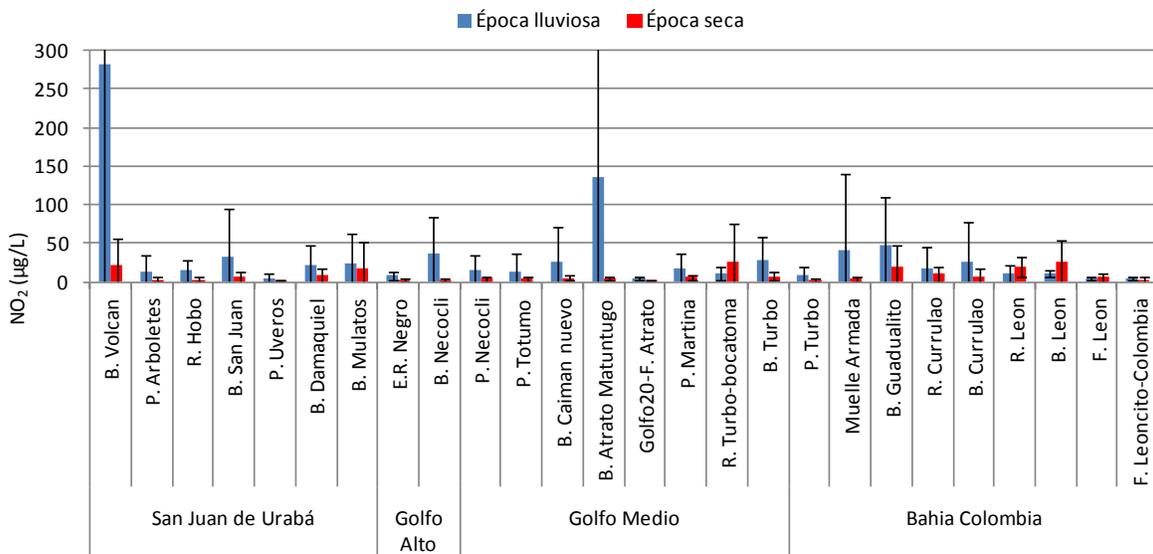


Figura 4.8.3. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Nitritos (NO_2^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia.

Con respecto a los fosfatos, se registraron concentraciones entre 40,0 y 1.150,0 $\mu\text{g/L}$, siendo la estación desembocadura del río Volcán la de mayor concentración, seguido por la estación desembocadura del río Turbo (500,0 $\mu\text{g/L}$), río Currulao (340,0 $\mu\text{g/L}$), río Turbo-bocatoma (280,0 $\mu\text{g/L}$) y las desembocaduras de los ríos Damaquiel y Caimán Nuevo donde se registraron valores de 240,0 $\mu\text{g/L}$; estas altas concentraciones se debe a la influencia de las actividades agrícolas que se desarrollan en el golfo por el uso de fertilizantes, principalmente en las bananeras y plataneras (Bonilla et al., 2000).

Históricamente en la estación desembocadura del río Volcán se han registrado los valores más elevados de fosfatos en ambas épocas climáticas, encontrándose mayores concentraciones en la época seca (6.185,7 $\mu\text{g/L}$) en comparación con la época de lluvias (949,6 $\mu\text{g/L}$), situación similar ocurre en las estaciones playa Arboletes, playa Uveros, desembocadura del río Mulatos, Playa de Necoclí, playa Martina, río Turbo-bocatoma, Muelle Armada, desembocadura del río Guadualito, y

frente Leoncito-Colombia, mientras que en las demás estaciones las concentraciones de fosfatos son mayores en la época de lluvias en comparación con la época seca (Figura 4.8.4).

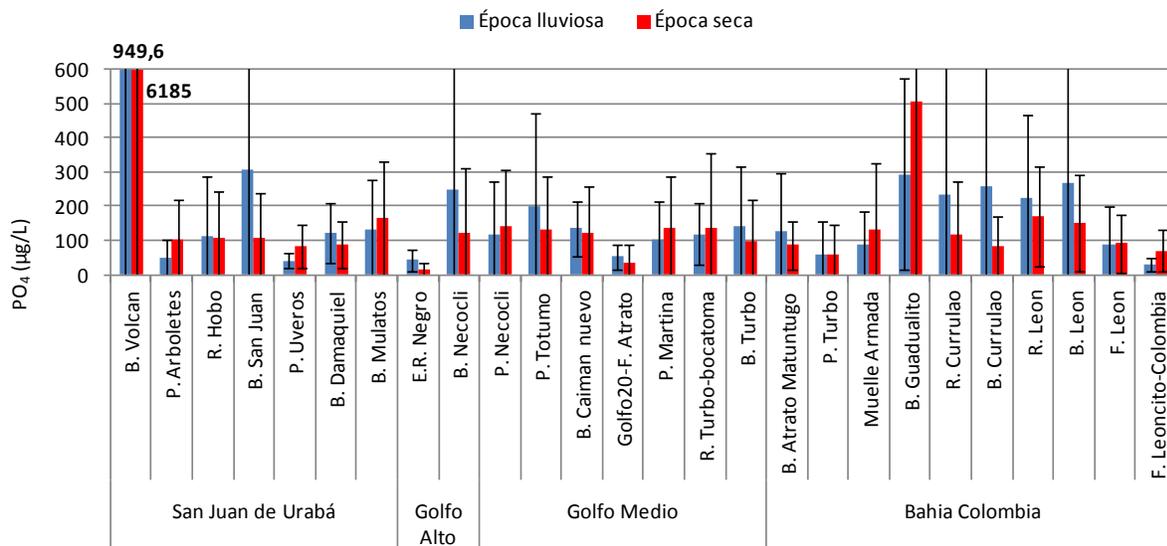


Figura 4.8.4 Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Fosfato (PO_4^{3-}) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

4.8.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

Se determinaron las condiciones fitosanitarias de las aguas marino costera del departamento de Antioquia a través de las mediciones de Coliformes Totales (CTT) y Termotolerantes (CTE). Con respecto a las CTT durante las épocas lluviosa 2013 y seca 2014 se encontraron condiciones inadecuadas para el uso de recurso hídrico por contacto primario y secundario en la mayoría de las estaciones situadas en bahía Colombia en ambas épocas climáticas, mientras que en las zonas de San Juan de Urabá, golfo Alto y golfo Medio, los valores de coliformes generalmente sobrepasaron el criterio de calidad para contacto primario, a excepción de la ensenada Río Negro el cual presentó valores por debajo 1.000 NMP/100 mL (Figura 4.8.5; [MinSalud, 1984](#)).

El análisis histórico de las condiciones microbiológicas del departamento se llevó a cabo por medio de la evaluación de los CTT, determinados a partir de las muestras de aguas marinas, costeras y fluviales (Figura 4.8.6). Con respecto a los principales tributarios de la zona costera, se presentaron las mayores concentraciones durante las épocas lluviosas donde las estaciones desembocadura del río Mulatos, río Currulao, desembocadura del río Currulao y río Turbo-bocatoma, tienen 92 %, 90 %, 92 % y 82 % de casos de incumplimiento. De igual forma, es importante resaltar que también durante la época seca se han encontrado significativos casos de incumplimiento como en la desembocadura del río Volcán, río Turbo-bocatoma, río Currulao y río León, con un 100 %, 100 %, 90 % y 85 % de casos respectivamente. Estas condiciones son inadecuadas para el desarrollo de actividades de contacto secundario como actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (<5.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

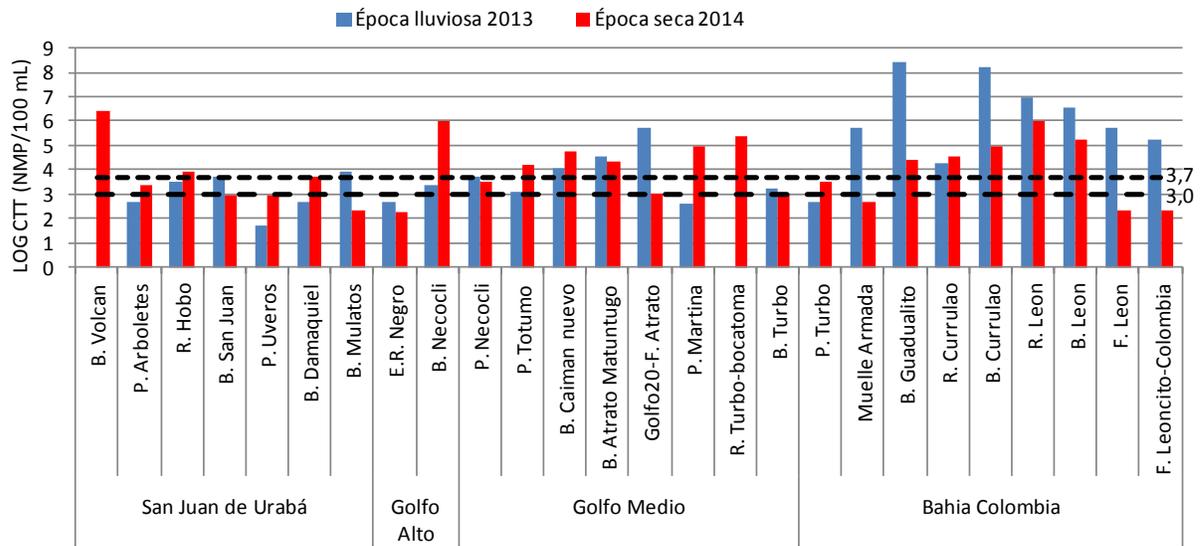


Figura 4.8.5. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

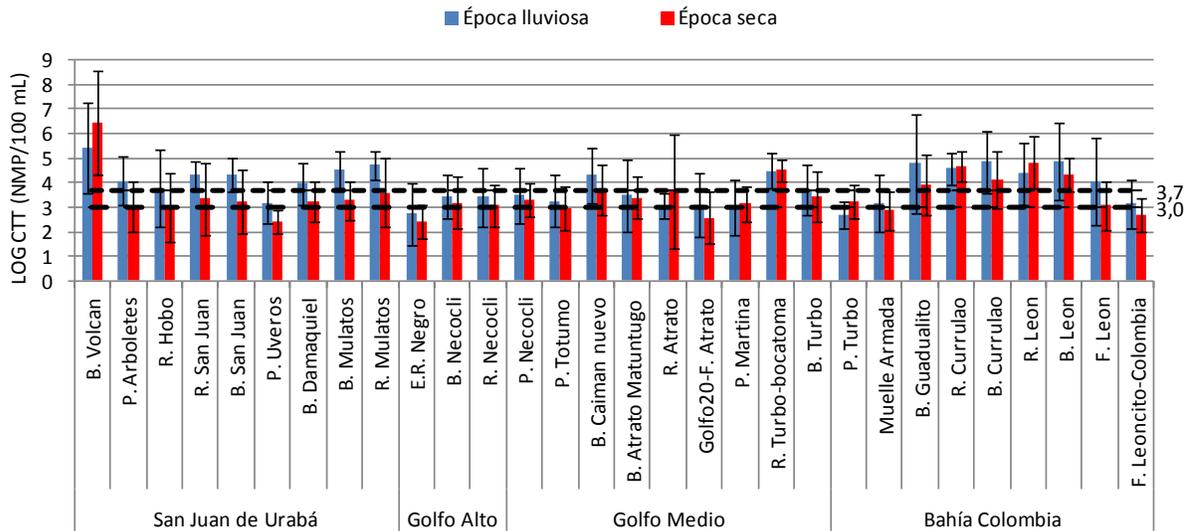


Figura 4.8.6. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

La variación de las concentraciones de CTT durante las épocas secas, se encuentra relacionada por la disminución del caudal y el aumento de la temperatura lo cual influye sobre la concentración de microorganismos en la columna de agua. Por otro lado, las altas precipitaciones permiten la resuspensión de los microorganismos depositados en los sedimentos además del arrastre por

escorrentía provenientes de los centros poblados aledaños, esto sumado a las propiedades como el pH neutro y alto contenido en materia orgánica, las cuales permiten la proliferación tanto de los microorganismos indicadores como de los patógenos (Chigbu *et al.*, 2004; Hughes, 2003).

Con respecto a los resultados de CTE del último periodo evaluado, la mayoría de playas del golfo de Urabá se encontraron por encima del límite establecido para su uso recreativo por contacto primario como natación y buceo (<200 NMP/100 mL), haciendo de las condiciones de estas no aptas (Tabla 4.8.2; MinSalud, 1984). Los niveles de contaminación se ven relacionados por dos motivos; primero, la cercanía de las playas a las poblaciones aledañas, lo cual sumado a la falta de tratamiento de las aguas residuales y la baja cobertura de alcantarillado, hace que los residuos domésticos lleguen hasta el mar (Mitch, *et al.*, 2010); en segunda instancia, el aporte de los tributarios, ya que traen consigo una elevada carga microbiana ya sea por descargas directas de las poblaciones como por las condiciones propias de las aguas, las cuales permiten el desarrollo y proliferación de los microorganismos patógenos (Hughes, 2003).

Tabla 4.8.2. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las playas del departamento de Antioquia. Los valores de referencia están establecidos según la norma nacional para coliformes termotolerantes (CTE: <200 NMP/100 mL).

Zona	Estación	Época lluviosa - 2013	Época seca - 2014	Época Lluviosa (2001-2013)		Época Seca (2001-2014)	
		CTE (NMP/100 mL)	CTE (NMP/100 mL)	% casos*	n	% casos*	n
San Juan de Urabá	P. Arboletes	300	2300	91	11	43	14
	P. Uveros	200	140	45	11	20	10
Golfo Medio	P. Martina	20	2300	46	13	69	13
	P. Necoclí	2000	3400	77	13	86	14
	P. Totumo	460	4900	58	12	54	13
Bahía Colombia	P. Turbo	1700	1300	50	12	69	13

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2001-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario, coliformes termotolerantes <200 NMP/100 mL (MinSalud, 1984).

4.8.1.3 HIDROCARBUROS

Para el período de lluvia 2013 y seca 2014, las concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) determinadas en agua superficial no superaron el valor de referencia de 10,0 µg/L considerado de alto riesgo para la biota acuática (Unesco, 1984). Los HAT oscilaron entre el límite de detección del método de 0,07 µg/L y 4,40 µg/L; y se obtuvieron las mayores concentraciones en la época seca de 2014, en la zona de bahía Colombia (Figura 4.8.7), en las estaciones boca de río León (1,06 µg/L) y su frente (4,40 µg/L), evidenciando la presencia de estos residuos debido al mantenimiento de embarcaciones y al transporte diario de hidrocarburos a través del río, así como por las corrientes provenientes de descargas de aguas servidas y residuos de lavaderos de carros de poblaciones cercanas.

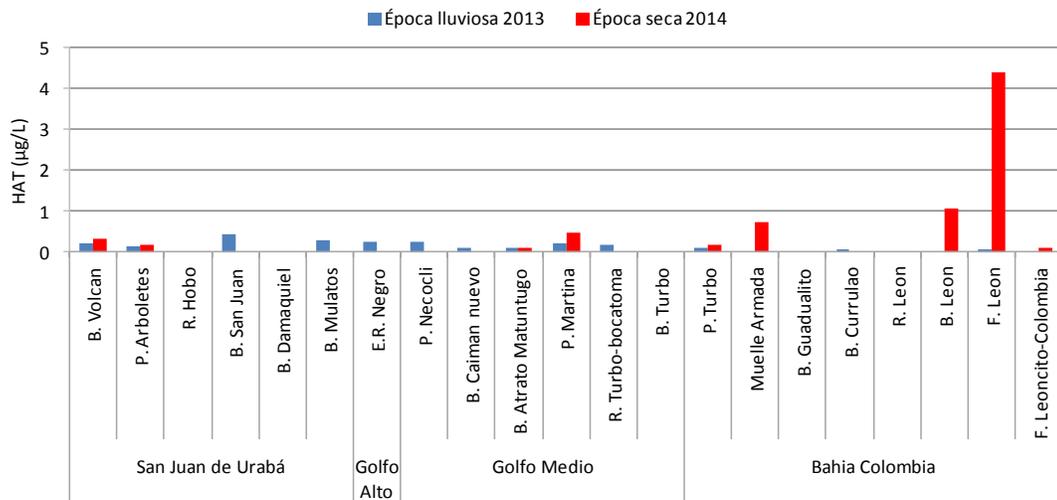


Figura 4.8.7. Concentraciones de Hidrocarburos Aromático Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El análisis histórico entre 2001 y 2014 mostró que, de manera general las concentraciones más altas de HAT se registraron en épocas secas (Figura 4.8.8) respecto a las lluviosas, ($p>0,05$). Eventualmente, la mayoría de las estaciones monitoreadas han presentado valores por encima de la referencia, como por ejemplo en 2004 en las desembocaduras de los ríos Damaquiel (142,90 µg/L), Caimán (74,91 µg/L), Atrato (98,61 µg/L), Mulatos (149,87 µg/L), Currulao (79,95 µg/L), Guadualito (76,69 µg/L), León (81,14 µg/L) y Turbo (75,49 µg/L); y en el 2009 en las desembocaduras de los ríos Caimán (19,43 µg/L), Currulao (160,03 µg/L), Guadualito (92,84 µg/L), León (27,74 µg/L), Turbo (41,42 µg/L), Necocli (26,86 µg/L) y Volcán (17,76µg/L), lo cual puede afectar a las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estas aguas.

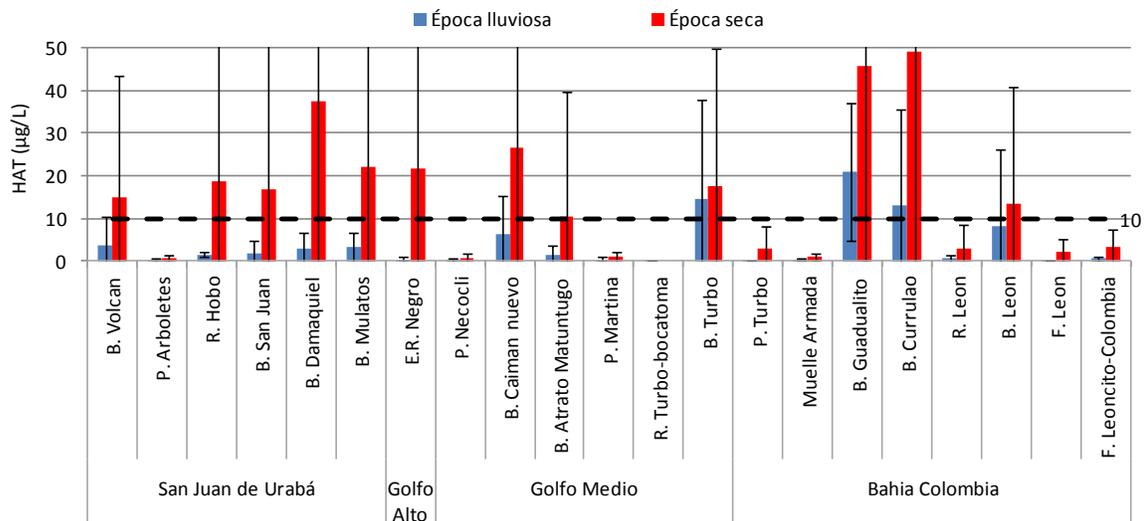


Figura 4.8.8. Promedio histórico (2001 - 2014) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Antioquia. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea discontinua de 10 µg/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según [Unesco \(1984\)](#).

4.8.1.4 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

El resultado del índice de calidad de aguas marino costera del departamento de Antioquia durante la época lluviosa 2013, mostró condiciones adecuadas en las estaciones ensenada Río Negro y playa de Turbo, mientras que la playa de Necoclí se encontró en estado aceptable y las demás estaciones estuvieron en la categoría de calidad inadecuadas (Figura 4.8.9). En época seca 2014, la calidad de agua mejoró registrándose en la mayoría de las estaciones estado aceptable, mientras que las playas Arboletes y Necoclí la calidad del agua fue pésima debido las altas concentraciones de SST (220,5 mg/L), DBO₅ (33,5 mg/L) y CTE (2.300 NMP/100 mL) que superó el límite establecido por la legislación colombiana (<200 NMP/100 mL), lo anterior se puede atribuir a los procesos de erosión y a los aportes de importantes ríos que desembocan en el golfo de Urabá.

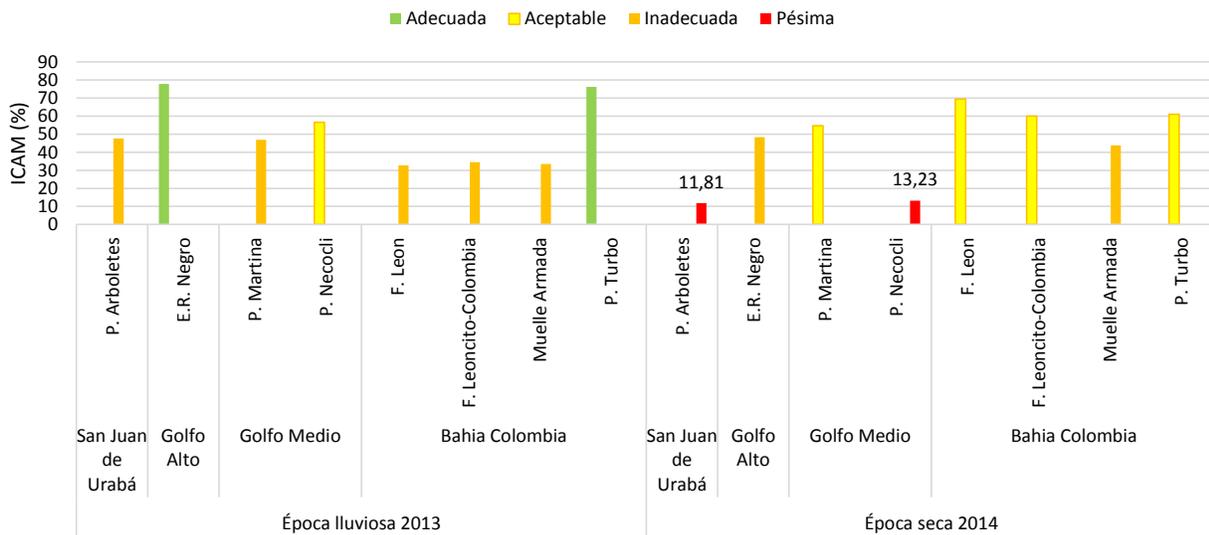


Figura 4.8.9. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PF}), para la época lluviosa año 2013 y época seca 2014, en las estaciones en el departamento del Antioquia.

4.8.2 CONCLUSIONES

En algunas estaciones de los ríos y sus desembocaduras presentaron valores de oxígeno disuelto por debajo del límite permisible (<4,0 mg/L) para la preservación de fauna y flora. Por su parte los valores de pH estuvieron dentro de los rangos del criterio de calidad de la legislación colombiana para aguas dulceacuícolas, esturinas y marinas. Los valores de sólidos suspendidos tienden a aumentar en la época de lluvias afectando la calidad de las aguas.

Los nutrientes inorgánicos evaluados presentaron niveles variables en las diferentes estaciones, registrándose valores altos de nitratos y fosfatos en la mayoría de las estaciones, valores que fueron generalmente predominante en las estaciones de los ríos, condiciones que favorece los procesos de eutrofización de las aguas y por ende la pérdida de la calidad para la preservación de los organismos acuáticos. Los elevados niveles detectados en la época de estudio sugieren continuar el monitoreo para generar alertas tempranas sobre la contaminación de las aguas marinas y costeras del departamento.

Las concentraciones microbianas en las playas del golfo, demostraron condiciones no aptas para su uso por bañistas para natación y buceo, principalmente durante la época seca del 2014 a pesar que históricamente no se ha presentado diferencia entre las temporadas. Es importante resaltar que las condiciones de estas estaciones se ven influenciadas por los aportes de los tributarios a la zona costera, los cuales durante el último periodo evaluado en su mayoría presentaron niveles de contaminación por encima de los límites para su uso en riego de hortalizas y actividades recreativas como deportes náuticos y pesca.

Las concentraciones de hidrocarburos medidas en las aguas costeras del departamento fueron inferiores al valor de referencia para aguas no contaminadas. La zona de bahía Colombia continúa presentando los valores más altos, especialmente durante la época seca, ocasionados por manejo de crudo y sus derivados, operaciones de transporte y actividades propias de la zona ribereña lo que puede llegar a afectar el medio marino.

Regional

Costa del Pacífico



Morro de Jurubidá, Chocó. Foto: Ostin Garcés

5 DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA DEL PACÍFICO

5.1 CALIDAD DE AGUAS EN LA ZONA COSTERA DEL PACÍFICO

El Pacífico colombiano comprende los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño con una longitud de línea de costa de 1.392 km aproximadamente que se extiende desde punta Ardita en las fronteras con Panamá (7° 17'N y 77° 52'W) hasta bahía Ancón de Sardinas en inmediaciones de la desembocadura del río Mataje en los límites con el Ecuador (1° 28'N y 78° 46'W; [Posada et al., 2009](#)). Geomorfológicamente, se encuentra dividido en dos grandes zonas: a partir de cabo Corrientes, en Chocó, hacia el norte se extiende una gran zona de acantilados, dominadas en su mayoría por las estribaciones de la Serranía del Baudó. Al sur de cabo Corrientes con extensas llanuras intermareales, planicies aluviales, deltas e islas barreras, interrumpido en las bahías de Málaga, Buenaventura y norte de Túmaco por colinas y terrazas altas ([Posada et al., 2009](#)). El 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. La lluvia mensual promedio va desde 80 mm en octubre a 300 mm en abril para un promedio total anual de 2.300 mm, con un promedio de días lluviosos de 192 mm ([Eslava, 1994](#)).

La salinidad en las aguas superficiales marino-costeras del Pacífico durante la época lluviosa 2013 y seca 2014 fluctuó entre 1,6 y 32,6 con un promedio de $22,4 \pm 7,6$, siendo el departamento del Valle del Cauca el que presentó el promedio más bajo $17,5 \pm 6,8$, debido al aporte de los ríos tributarios San Juan, Dagua, Anchicayá, Potodó y Raposo; mientras que Nariño obtuvo valores más altos de salinidad con un promedio de $28,2 \pm 4,8$. En aguas fluviales la salinidad osciló entre 0 y 18,4, valores que se relacionan con las fluctuaciones de mareas, que cambia la salinidad en las aguas creando condiciones estuarinas temporalmente. La temperatura superficial de las aguas marino-costeras fluctuó entre 23,9 y 30,1 °C sin presentar grandes variaciones entre los departamentos (Figura 5.1.1a), encontrándose las aguas ligeramente más cálida en la época seca 2014 ($28,4 \pm 0,9$ °C) en comparación con la época lluviosa de 2013 ($27,7 \pm 0,9$ °C). Las aguas fluviales por su parte, presentaron temperaturas del agua superficial entre 24,0 y 29,4 °C, sin muchas variaciones entre épocas ($26,3 \pm 1,2$ °C en época lluviosa de 2013 y $26,6 \pm 1,1$ °C en época seca de 2014; Figura 5.1.1b).

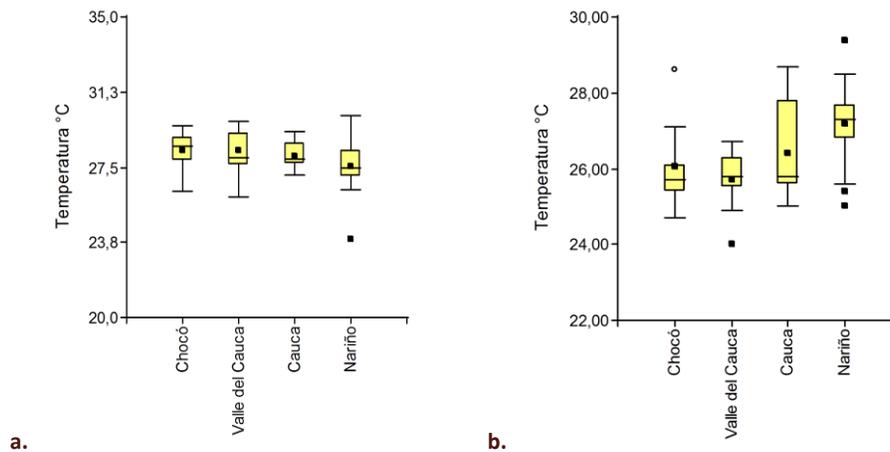


Figura 5.1.1. Temperatura superficial de las aguas marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Pacífico colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Los valores del pH en las aguas marino-costeras variaron en un rango entre 6,7 y 8,7, los cuales están dentro del rango de calidad de aguas marinas y estuarinas para la preservación de la flora y la fauna en Colombia (6,5-8,5; [Minsalud, 1984](#); Figura 5.1.2a) así como valores típicos para este tipo de aguas (7,5 – 8,3; [Hernández et al., 2003](#); Figura 5.1.2a) según la literatura. Las aguas fluviales presentaron valores de pH entre 6,4 y 8,9, encontrándose dentro del rango estipulado en la normatividad colombiana para la preservación de fauna y flora en aguas dulceacuícolas cálidas (4,5 – 9,0; [MinSalud, 1984](#); Figura 5.1.2b).

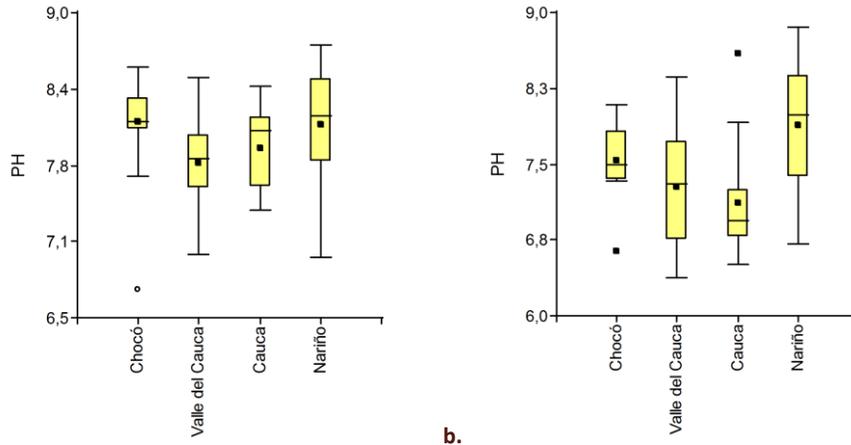


Figura 5.1.2 Valores de pH de las aguas superficiales marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Pacífico colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

El oxígeno disuelto (OD) en aguas marino-costeras osciló entre 3,9 y 8,5 mg/L, predominando concentraciones adecuadas para la preservación de flora y fauna, según la norma colombiana (> 4 mg/L; [MinSalud, 1984](#)). El análisis espacial mostró diferencias entre los departamentos ($p < 0,05$) siendo las aguas del Cauca las que presentaron mayor oxigenación ($6,8 \pm 1,0$ mg/L) comparadas con los demás departamentos (Figura 5.1.3a). Para la época lluviosa de 2013 la estación El Pajal en Nariño presentó un valor de 3,94 mg/L de OD, inferior al criterio de calidad de la norma (> 4 mg/L), lo cual indica que en el momento de la medición, en este estero había algún proceso que estaba consumiendo el oxígeno. En las aguas fluviales el OD osciló entre 3,3 y 7,8 mg/L, presentando buenas condiciones para la preservación de la biota acuática en los departamentos del Chocó, Cauca y Valle del Cauca, mientras que en Nariño algunas estaciones no cumplieron con el criterio de calidad de la normatividad colombiana por estar por debajo de 4,0 mg/L de OD (Figura 5.1.3b).

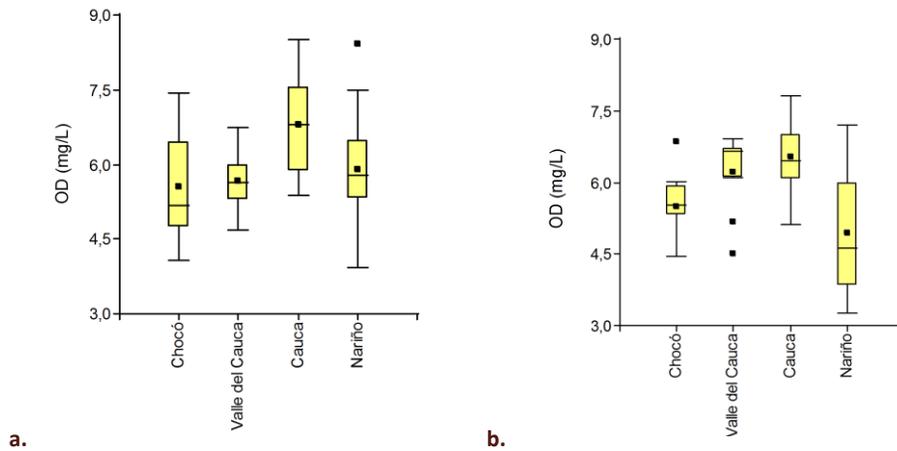


Figura 5.1.3 Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) de las aguas superficiales marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Pacífico colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en aguas marino-costeras fluctuaron entre 9,6 y 164,0 mg/L, con promedios de $56,1 \pm 23,6$ mg/L en época lluviosa de 2013 y de $35,3 \pm 20,7$ mg/L en época seca de 2014. Los valores más altos de SST se presentaron en Nariño ($61,3 \pm 14,3$ mg/L) y Cauca ($49,0 \pm 21,0$ mg/L; Figura 5.1.4a). Lo anterior debido a la influencia de las precipitaciones atmosféricas, resuspensión de sedimentos por oleaje y mareas y la influencia de los ríos que desembocan en la zona costera. Los valores encontrados en este periodo fueron menores en contraste con los reportados en el periodo lluvioso 2012 y seco 2013 (Nariño: $74,6 \pm 13,7$ mg/L; y Cauca: $74,6 \pm 5,8$ mg/L; [Vivas-Aguas et al., 2014](#)). En aguas fluviales, los SST oscilaron entre 2,5 y 217,1 mg/L, presentándose los rangos más amplios en Nariño (17,3 - 160,5 mg/L) y Cauca (11,7 - 217,1 mg/L), mientras que el Chocó presentó un rango menor (2,5 - 71,4 mg/L) en comparación con los demás departamentos.

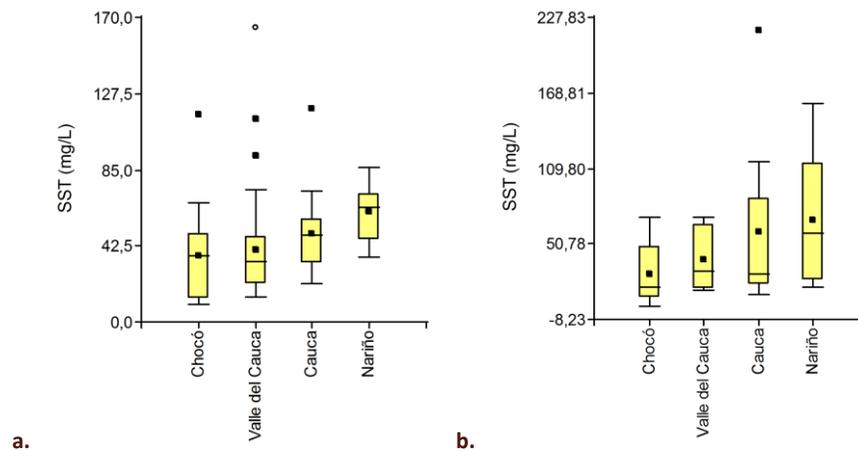


Figura 5.1.4. Concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) de las aguas superficiales marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Pacífico colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Con respecto a los Nitratos, las concentraciones de este nutriente en las aguas marino-costeras fluctuaron entre el límite de detección de la técnica analítica utilizada (2,1 $\mu\text{g/L}$) y 53,5 $\mu\text{g/L}$, registrándose los rangos más amplios en Chocó (2,8 - 53,5 $\mu\text{g/L}$), seguido por Nariño (2,1 - 29,0 $\mu\text{g/L}$) y Cauca (2,9 - 33,8 $\mu\text{g/L}$; Figura 5.1.5a). En las aguas fluviales, los valores de Nitratos oscilaron entre el límite de detección de la técnica y 294,1 $\mu\text{g/L}$, encontrándose el rango de variación más amplios en Nariño (4,1 - 294,1 $\mu\text{g/L}$) y el menos amplio en Cauca (12,3 - 45,4 $\mu\text{g/L}$; Figura 5.1.5b).

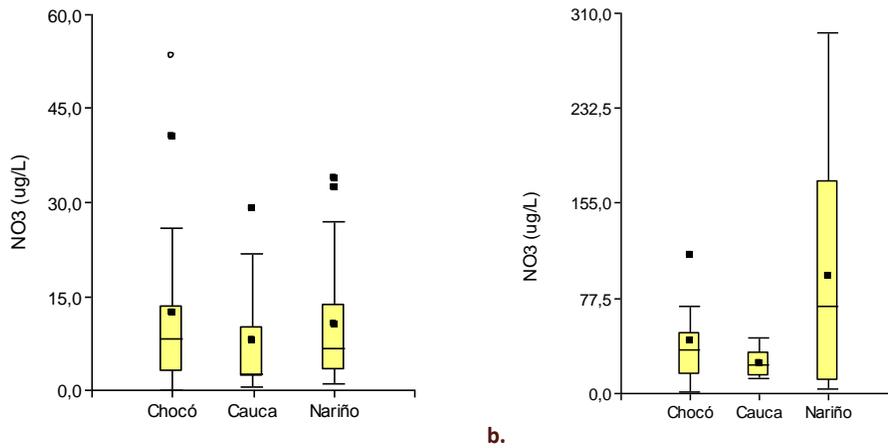


Figura 5.1.5. Concentraciones de Nitrato (NO_3^-) de las aguas superficiales marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Pacífico colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

El Amonio varió entre 0,03 - 53,7 $\mu\text{g/L}$ en aguas marino- costeras y en aguas fluviales entre 1,9 - 70,8 $\mu\text{g/L}$ con un promedio regional de $20,7 \pm 8,2 \mu\text{g/L}$ y $12,8 \pm 7,7 \mu\text{g/L}$, respectivamente (Figura 5.1.6a; Figura 5.1.6b). En ambos tipos de agua, el departamento de Nariño registró las mayores concentraciones (agua marino-costera: $16,2 \pm 12,6 \mu\text{g/L}$ y agua fluvial: $30,2 \pm 23,1 \mu\text{g/L}$, respectivamente).

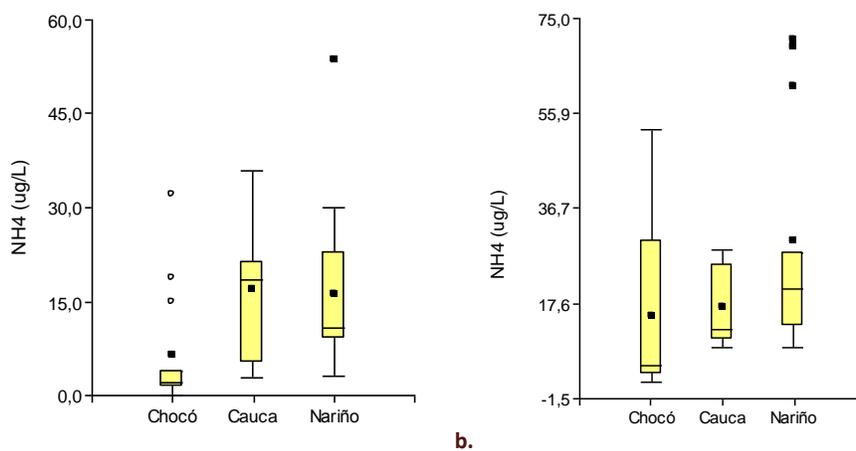


Figura 5.1.6. Concentraciones de Amonio (NH_4^+) medidas en las aguas marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Pacífico colombiano durante las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Las coliformes termotolerantes (CTE) en aguas marino-costeras del Pacífico presentaron concentraciones que oscilaron entre el límite de detección y 430.000 NMP/100 mL; evidenciando que el 40 % de las mediciones de CTE estuvieron por debajo del criterio de calidad para contacto primario de la legislación colombiana (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)). Por otro lado, los CTE fueron diferentes ($p < 0,05$) entre departamentos, siendo el Valle del Cauca el que mostró mayor promedio $1.023,3 \pm 8,04$ NMP/100 mL (transformando con LOG_{10} : $2,94 \pm 0,98$ NMP/100 mL; Figura 5.1.7a), influido principalmente por mediciones en zonas próximas a la isla Cascajal en la bahía de Buenaventura. En general las playas que fueron aptas para el desarrollo de actividades de contacto primario se encontraron en el departamento de Cauca ($153,3 \pm 250,3$ NMP/100 mL representadas principalmente por la isla Gorgona). El rango de distribución de las concentraciones de CTE en aguas fluviales fue 45 - 92.000 NMP/100 mL, donde tan solo un 13 % de los datos se agruparon debajo de los 200 NMP/100 mL, porcentaje mucho más bajo que el correspondiente en aguas marino-costeras, lo cual refleja el efecto de dilución de los contaminantes ejercido por el mar (Figura 5.1.7b). Los menores valores promedio de CTE se registraron en Cauca ($1.483,6 \pm 1.764,5$ NMP/100 mL) y los mayores en Chocó ($12.795,6 \pm 22.649,4$ NMP/100 mL)

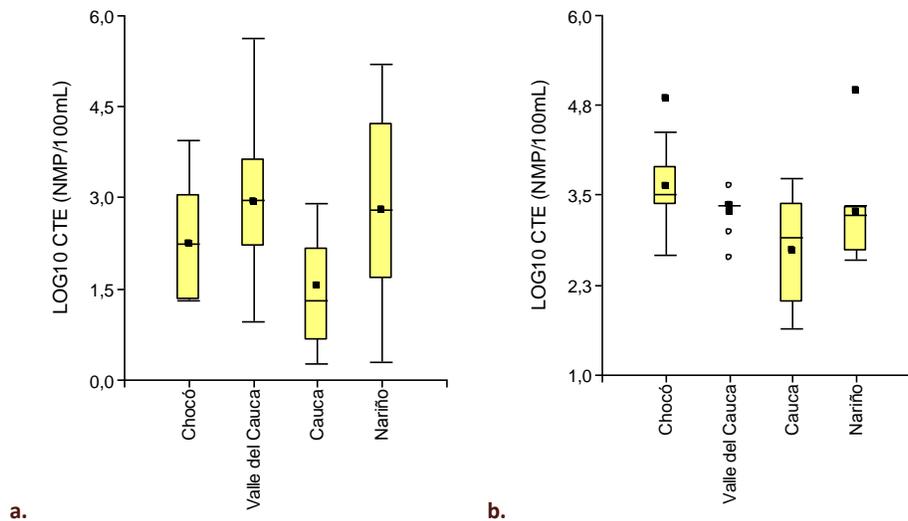


Figura 5.1.7. Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) de aguas superficiales marino-costeras (a) y fluviales (b) de las estaciones de los departamentos costeros del Pacífico colombiano. Las concentraciones en unidades de Número más Probable (NMP) fueron transformados con el logaritmo en base 10 con fines gráficos para ajustar la variabilidad de los datos sin perder la relación entre estos. El criterio de calidad para contacto primario de 200 NMP/100 mL equivale a 2,3 Log₁₀ CTE.

6 DIAGNÓSTICO CALIDAD DE AGUAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE LA COSTA PACÍFICA



Puerto de Buenaventura, Valle del Cauca. Foto: Janet Vivas

Chocó



Playa Huina, Chocó. Foto: Max Martínez

EQUIPO TÉCNICO CODECHOCO

*Iván Rodrigo Restrepo – Subdirector de Calidad y Control Ambiental
Samir Serna Córdoba – Químico, Contratista
Danny Yennecsy Palomeque Largacha – Ingeniera Ambiental, Contratista*

6.1 CHOCÓ

El Departamento del 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 km², presenta clima cálido en un 92 %, templado en 6,4 % y el resto entre frío y muy frío (IGAC, 2008). La REDCAM cuenta con una red de 17 estaciones de muestreo ubicadas en la extensión central del departamento dadas las condiciones de acceso a la zona, no obstante, el área de muestreo incluye las zonas de Bahía Solano y el Golfo de Tribugá donde se encuentra 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 6.1.1).

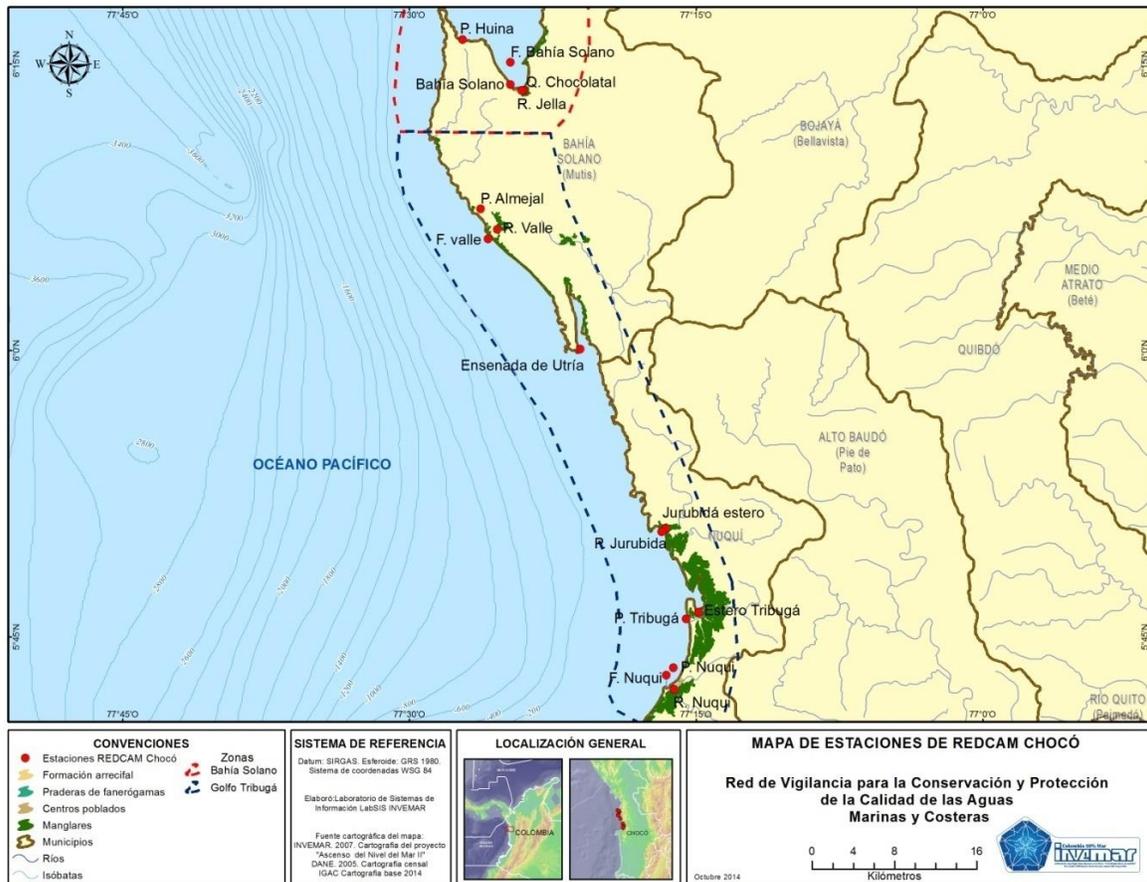


Figura 6.1.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Chocó

Las condiciones climáticas están determinadas fundamentalmente por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) que genera precipitación durante todo el año que responde a una distribución de tipo bimodal, que se caracteriza por la presencia alternada de dos temporadas muy lluviosas y las “relativamente” menos lluviosas. La primera temporada lluviosa se 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 -noviembre, en las zonas norte y central; y octubre–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).

El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos de los días 08 y 09 de octubre de 2013 (época de alta precipitación) y el 03 de junio de 2014 (época de baja precipitación), en consecuencia los gráficos y el análisis de la información se muestran como la época lluviosa 2013 y época seca de 2014, respectivamente, con el propósito de ser coherentes con el análisis nacional de todos los departamentos.

6.1.1 CALIDAD DE AGUAS

Las mediciones de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados muestran el estado de la calidad del agua marina y costera del departamento del Chocó para la preservación de la fauna y flora en los ecosistemas asociados y para el uso del recurso hídrico con fines recreativos, entre otros. A continuación se presentan los resultados de los muestreos en la época de altas precipitaciones de 2013 (en adelante época lluviosa 2013) y de bajas precipitaciones del 2014 (en adelante época seca 2014), contrastados con los datos históricos del 2001 al 2013 (Tabla 6.1.1).

Tabla 6.1.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento del Chocó.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	26,80	0,99	27,50	26,10	27,69	1,54	29,60	24,70
SST (mg/L)	49,74	24,56	116,00	2,50	17,75	9,89	37,90	2,50
Salinidad	17,56	8,43	24,40	0,00	19,13	11,71	28,70	0,00
pH			8,55	6,64			8,18	7,35
OD (mg/L)	6,29	0,70	7,44	5,28	4,73	0,38	5,52	4,07
NO ₃ (µg/L)	116,89	402,34	1570,00	0,05	26,39	29,39	112,80	2,80
NO ₂ (µg/L)	2,24	2,95	13,20	0,93	1,64	1,06	4,70	0,80
NH ₄ (µg/L)	5,89	10,34	31,94	0,03	16,88	18,52	52,60	3,20
PO ₄ (µg/L)	7,52	8,36	27,50	1,69	10,13	9,95	29,80	2,80
CTT (NMP/100 mL)			2,40E+04	2,00E+01			3,50E+05	2,00E+01
CTE (NMP/100 mL)			2,40E+04	2,00E+01			7,00E+04	2,00E+01
TUR (NTU)	21,95	44,29	150,00	0,75	3,25	2,42	7,75	0,62
Cu (µg/L)	84,90	0,00	84,90	84,90	29,25	38,68	56,60	1,90
Ni (µg/L)	33,75	46,17	66,40	1,10	65,20	0,00	65,20	65,20
Fe (µg/L)	5573,53	18248,48	63512,00	5,60	22,51	18,86	76,60	6,20
HAT (µg/L)	0,77	0,37	1,86	0,43	1,03	0,85	3,37	0,21

6.1.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendidos totales

Las estaciones de monitoreo de calidad de aguas en la zona costera del departamento del Chocó durante la época lluviosa de 2013 y época seca de 2014 presentaron variaciones con respecto a las variables de salinidad, conductividad eléctrica, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales (SST), turbidez y oxígeno disuelto (OD). Con el análisis de conglomerado se logró separar las estaciones con características similares entre sí en tres grupos según el tipo de aguas, en donde los valores de salinidad fueron los más influyentes en la agrupación. El primer grupo reúne las estaciones con características dulceacuícolas y el segundo grupo las estaciones de carácter marino-costero (Figura 6.1.2).

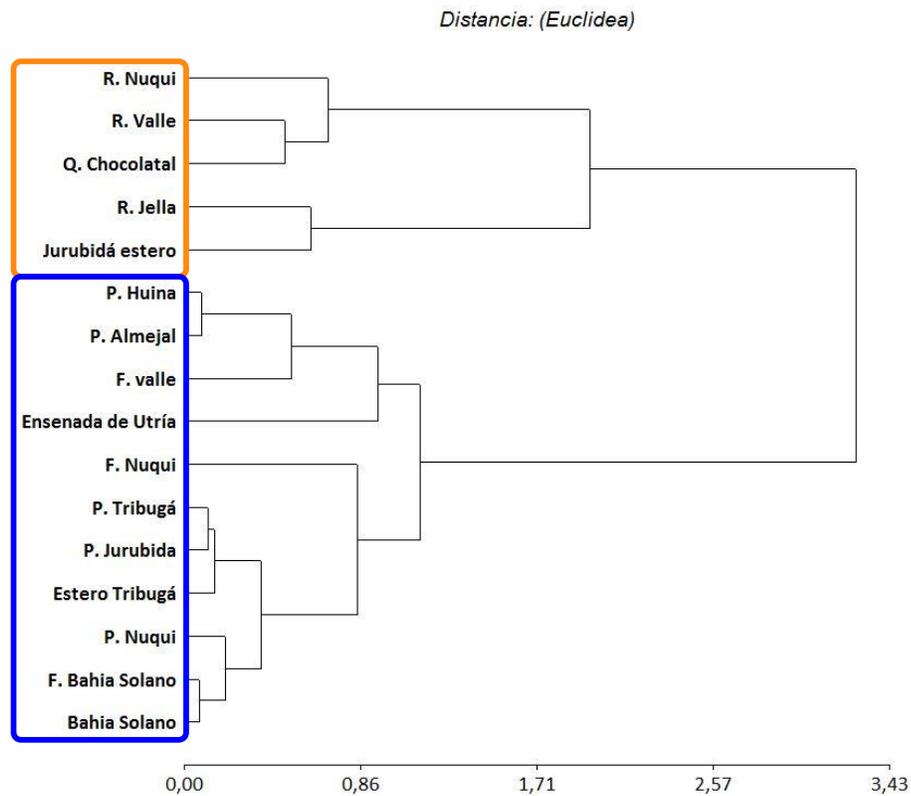


Figura 6.1.2. Dendrograma de clasificación de las estaciones por las variables. El recuadro naranja agrupa las estaciones de los ríos y el recuadro azul encierra las estaciones marino-costeras.

Los valores de salinidad presentaron oscilaciones entre 0 y 28,7 encontrándose las aguas más saladas en la época seca de 2014 ($26,5 \pm 2,7$) en comparación con la época de lluvias de 2013 ($21,7 \pm 2,8$); mientras que en las estaciones de carácter dulceacuícola las salinidades máximas fueron registradas en época de lluvia de 2014 con valores de 2,4. El pH de las aguas en las estaciones marino-costeras presentó fluctuaciones entre 6,6 y 8,6 con promedios de $8,0 \pm 0,6$ en época de lluvias de 2013 y de $8,0 \pm 0,4$ en época seca 2014, mientras que en las estaciones dulceacuícolas los valores de pH estuvieron entre 7,3 y 8,1, encontrándose dentro de los límites permisibles para la preservación de la fauna y flora acuática según la legislación colombiana (para aguas marinas y estuarinas el rango de pH

es de 6,5 a 8,5 y para aguas dulces es de 4,5 a 9,0; [Minsalud, 1984](#)). La temperatura del agua superficial fluctuó entre 24,7 y 29,6 °C, siendo las aguas ligeramente más cálidas en la época de lluvias de 2013 (rango entre 25,4 y 29,6 °C; promedio de $27,8 \pm 1,3$ °C) en comparación con la época seca de 2014 (rango entre 24,7 y 29,6 °C; promedio de $27,7 \pm 1,5$ °C).

Los SST en las estaciones marino-costero mostraron variaciones en un rango entre 0,9 y 71,4 mg/L encontrándose las mayores concentraciones en las estaciones de los ríos Jella (71,4 mg/L) y Nuquí (49,2 mg/L), frente al río Nuquí (66,3 mg/L) y bahía Solano (61,3 mg/L) en época lluviosa de 2013. En las estaciones dulceacuícolas se encontraron concentraciones máximas de 16,9 mg/L en época seca de 2014 en la estación del río Valle y de 9,4 mg/L en época lluviosa de 2013 en la estación de la quebrada Chocolatal. En general los valores de SST se encontraron dentro de los rangos históricos de la REDCAM (2001-2013).

El OD mostró una variación entre 4,1 y 7,4 mg/L presentándose las mayores concentraciones en la época de lluvias de 2013 ($6,4 \pm 0,7$ mg/L) en comparación con la época seca de 2014 ($4,7 \pm 0,4$ mg/L), siendo las estaciones playa de Tribugá y estero de Tribugá las de mayores valores de OD (7,4 mg/L), mientras que las menores concentraciones fueron registrados en las estaciones bahía Solano y frente de bahía Solano con 4,1 mg/L, valores que se encuentran por encima del límite permisible para la preservación de flora y fauna acuática ($<4,0$ mg/L; [Minsalud, 1984](#)).

Nutrientes

Se determinaron las concentraciones de Nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-), Amonio (NH_4^+) y Fosfato (PO_4^{3-}) en las estaciones de monitoreo de calidad de aguas del departamento. Con respecto a los Nitritos, las concentraciones oscilaron entre el límite de detección para el método utilizado (0,7 $\mu\text{g/L}$) y 4,7 $\mu\text{g/L}$, encontrándose las mayores concentraciones en las estaciones de los ríos Valle (4,7 $\mu\text{g/L}$), Jella (2,3 $\mu\text{g/L}$) en la época seca de 2014 y Nuquí (2,7 $\mu\text{g/L}$) en época lluviosa 2013 (Figura 6.1.3).

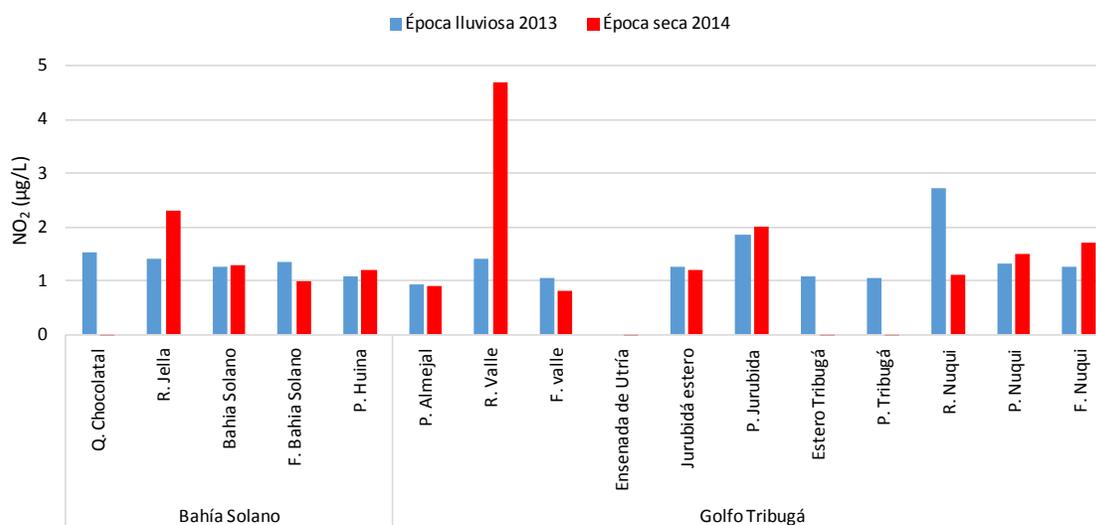


Figura 6.1.3 Concentraciones de Nitrito (NO_2^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Chocó para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

En el caso de los Nitratos, las concentraciones variaron en un rango entre el límite de detección de la técnica (2,1 µg/L) y 112,8 µg/L, observándose mayor presencia de este nutriente en durante la época seca de 2014, principalmente en las estaciones de la zona de bahía Solano, como en la quebrada Chocolatal (112,8 µg/L) y río Jella (71,0 µg/L; Figura 6.1.4). En la zona del golfo de Tribugá por su parte, se encontraron los mayores valores en Jurubidá estero (40,4 µg/L), en los ríos Nuquí (41,2 µg/L) Valle y (30,8 µg/L) en época seca y playa Almejal (53,5 µg/L) en época lluviosa.

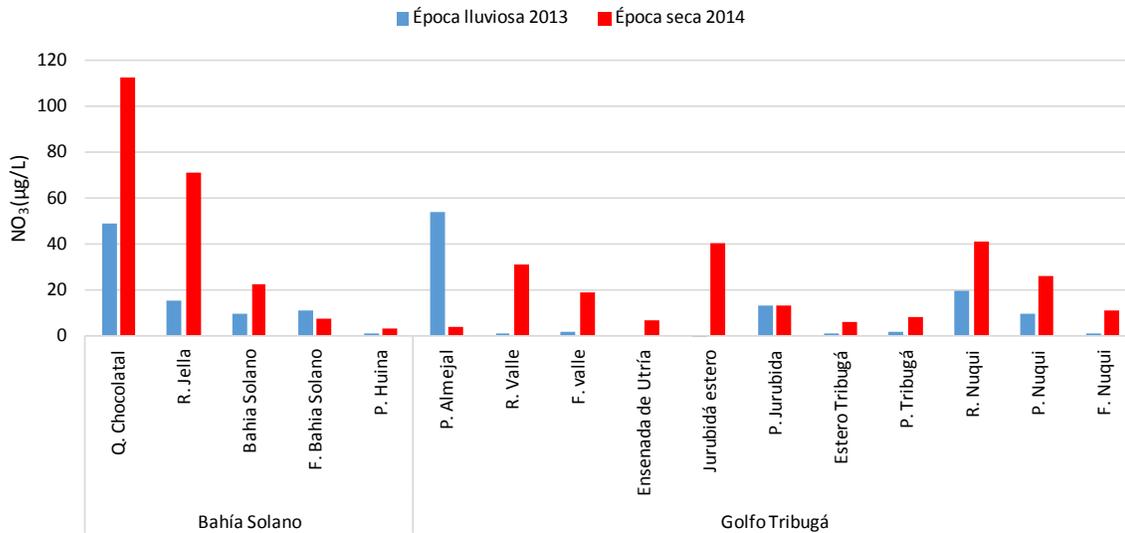


Figura 6.1.4 Concentraciones de Nitrato (NO_3^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Chocó para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El Amonio presentó valores entre el límite de detección (3,1 µg/L) y 52,6 µg/L, presentándose mayor presencia de este nutriente en la época lluviosa, principalmente en la quebrada Chocolatal (30,3 µg/L) y playa Jurubidá (31,9 µg/L), mientras que en la época seca solo se registraron concentraciones por encima del límite de detección en las estaciones de los ríos Jella (52,6 µg/L), Valle (3,2 µg/L) y Nuquí (8,1 µg/L); en Jurubidá estero (14,9 µg/L) y en las playas Almejal (3,9 µg/L) y Nuquí (18,6 µg/L; Figura 6.1.5).

Históricamente las concentraciones de Amonio han presentado los valores más elevados en las estaciones de la quebrada Chocolatal y el río Jella (Figura 6.1.6) por su cercanía al centro poblado de Bahía Solano, de donde arrastra residuos domésticos que aportan al contenido de este nutriente (Quintero *et al.*, 2010). La estación playa de Jurubidá y con gran variabilidad había presentado concentraciones menores a la actual durante la época lluviosa a excepción del año 2004 donde tuvo 57,82 µg/L, por lo tanto el valor reportado en el periodo actual estuvo por encima del promedio obtenido de 2001 a 2014 ($17,3 \pm 25,5$).

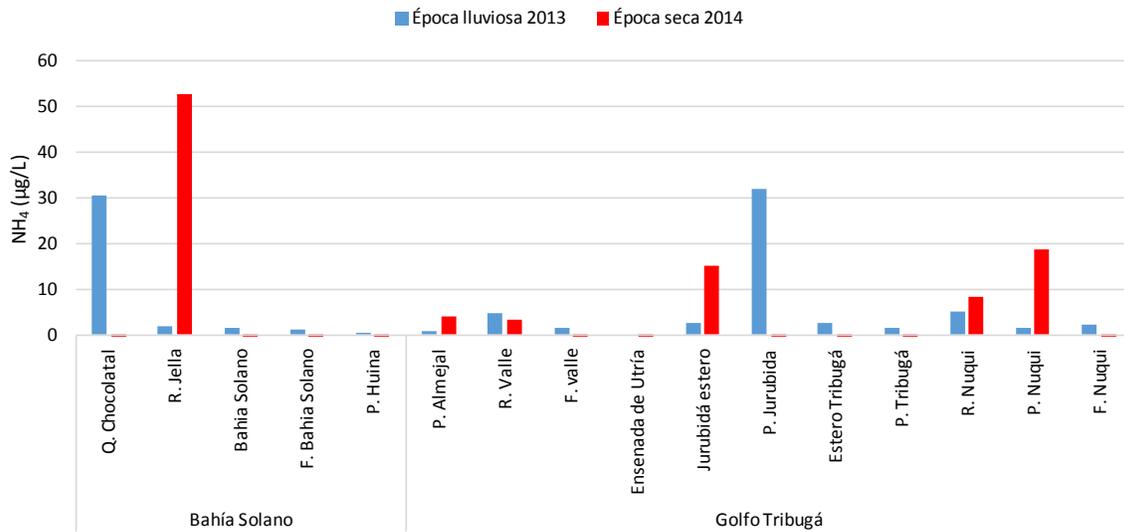


Figura 6.1.5. Concentraciones de Amonio (NH₄⁺) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Chocó para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

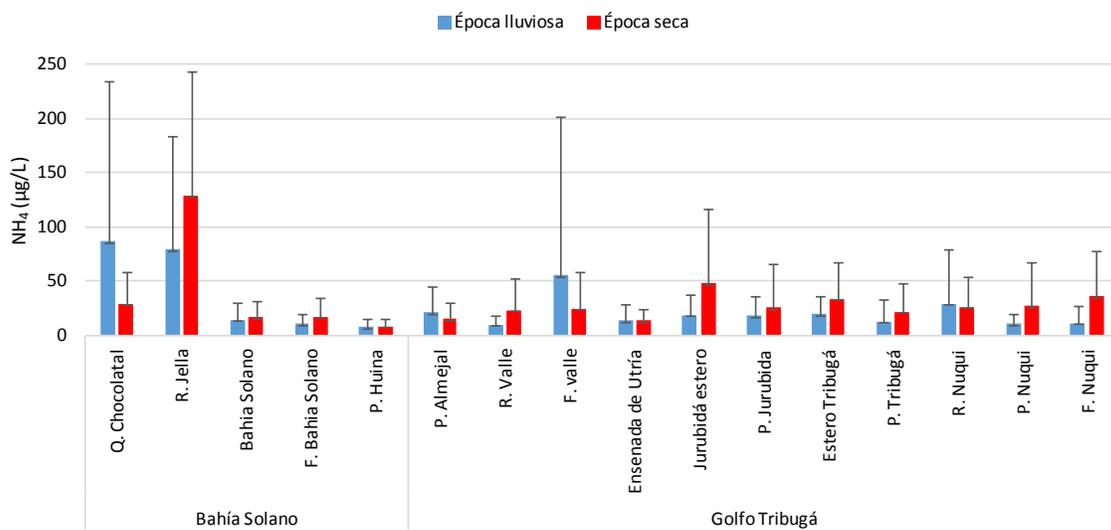


Figura 6.1.6. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Amonio (NH₄⁺) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Chocó. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

El Fosfato osciló entre el límite de detección (2,4 µg/L) y 29,8 µg/L registrado en el río Jella en la época seca 2014; mientras que las estaciones de la quebrada Chocolatal, playa Jurubidá y los ríos Valle y Nuquí se destacaron por presentar las concentraciones más altas durante la época lluviosa de 2013 (Figura 6.1.7).

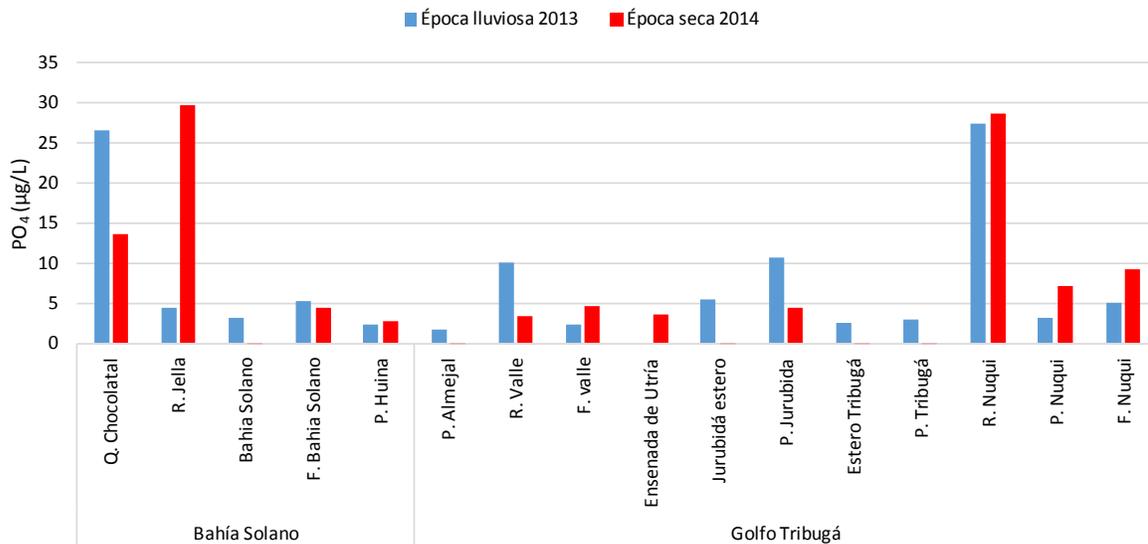


Figura 6.1.7. Concentraciones de Fosfatos (PO_4^{3-}) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Chocó para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

6.1.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

La evaluación de la calidad microbiológica del departamento del Chocó se realiza a partir de la determinación de microorganismos indicadores como, los Coliformes Totales (CTT), Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE) semestralmente. Con respecto a los CTT, las concentraciones oscilaron entre 20 y 350.000 NMP/100 mL, encontrándose en época lluviosa de 2013 condiciones inadecuadas para el uso del recurso hídrico por contacto primario en las estaciones de quebrada Chocolatal (24.000 NMP/100 mL), bahía Solano (3.500 NMP/100 mL), frente bahía Solano (2.400 NMP/100 mL), y los ríos Jella (7.800 NMP/100 mL), Valle (2.300 NMP/100 mL) y Nuquí (3.300 NMP/100 mL), frente al río Nuquí (9.200 NMP/100 mL) y la playa del mismo nombre (1.300 NMP/100 mL; Figura 6.1.8), debido a que se encontraron por encima de la norma colombiana (<1.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)). En época seca de 2014, los ríos continuaron con altas concentraciones de CTT, al igual que la playa de Jurubidá, permaneciendo por encima de norma para contacto primario, y en el caso de la quebrada Chocolatal, los ríos Jella, Valle y Nuquí y su frente, alcanzaron concentraciones de CTT mayor al valor límite del criterio de calidad para uso del agua para contacto secundario (<5.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)). Lo anterior se atribuye al aumento de las descargas por parte de los ríos, sumado a falta de sistemas de alcantarillado permitiendo que se arrastren residuos sólidos por escorrentía, contaminando el recurso hídrico ([Hughes, 2003](#)).

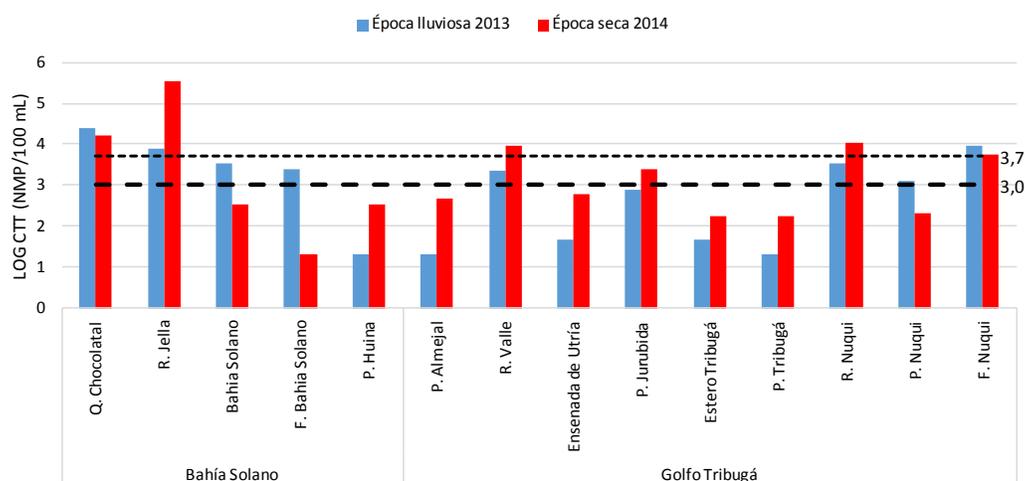


Figura 6.1.8. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Chocó para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Los valores históricos de CTT demostraron que los tributarios han presentado el mayor número de incumplimientos para los límites de uso recreativo con contacto secundario (<5.000 NMP/100 mL) según el Decreto 1594 de 1984 (Figura 6.1.9; [MinSalud, 1984](#)). Comparando los resultados históricos por épocas estacionales, no se evidencia diferencia alguna entre los porcentajes de casos de incumplimiento para las épocas lluviosa (28%; n=131) y seca (31%; n=130), lo que demuestra una tendencia anual a mantenerse los niveles de indicadores por encima de los límites en los ríos Jella, quebrada Chocolatal, río Valle y río Nuquí, esto se debe a las escasez de sistemas de recolección y tratamiento de aguas servidas sumado a las altas tasas de precipitaciones anuales (8.000 - 12.000 mm/año), manteniendo los ríos bajo constantes descargas de contaminantes ([Córdoba, et. al., 2006](#)).

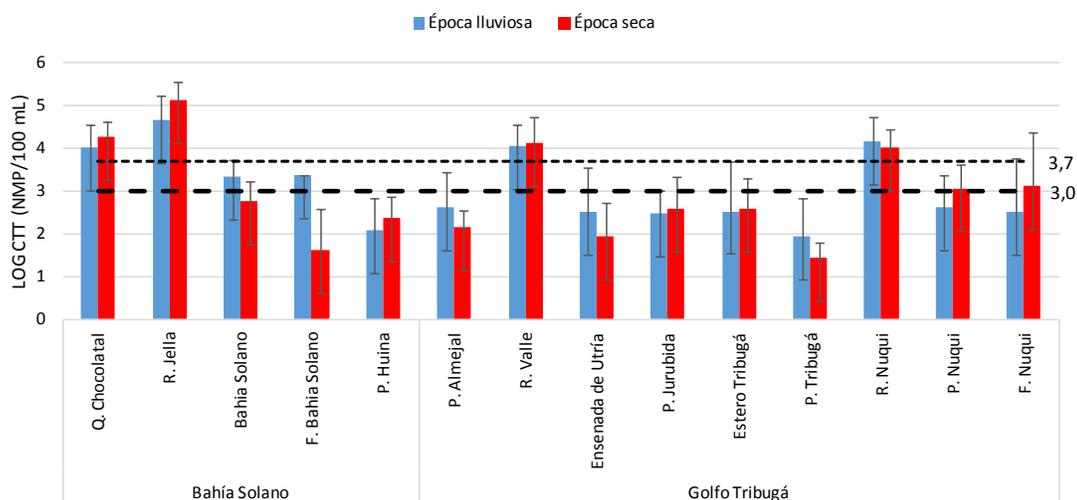


Figura 6.1.9 Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en los principales ríos del departamento del Chocó. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Con respecto a la calidad microbiológica de las playas del departamento del Chocó de acuerdo con los CTE, se evidenció que la mayoría cuentan con condiciones adecuadas para realizar actividades recreativas por contacto primario como natación y buceo, puesto que se encontraron por debajo del criterio de calidad de la normatividad colombiana (<200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)), a excepción de las playas de bahía Solano (1.300 NMP/100 mL), Nuquí (790 NMP/100 mL) y Jurubidá (790 NMP/100 mL) que sobrepasaron el criterio de calidad durante la época lluviosa de 2013 (Tabla 6.2.2). Con relación a los EFE, se determinaron bajas concentraciones en la mayoría de las estaciones lo que demuestra bajo riesgo para contraer enfermedades gastrointestinales (<1 %) y respiratorias febril aguda (<0,3 %; OMS, 2003).

Tabla 6.1.2 Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en los sitios de muestreo de las costas del departamento del Chocó, entre la época lluviosa de 2013 y seca de 2014. Los valores de referencia están establecidos según la norma nacional para coliformes termotolerantes (CTE: <200 NMP/100 mL) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para Enterococos fecales (EFE: <40 UFC/100 mL).

Zona	Estación	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)						Enterococos (UFC/100 mL)					
		Época lluviosa			Época seca			Época lluviosa			Época seca		
		2013	% casos*	n	2014	% casos*	n	2013	% casos**	n	2014	% casos**	n
Bahía Solano	Bahía Solano	1300	82	11	1100	73	11	42	29	7	3	0	7
	P. Huina	<LD	30	10	140	18	11	3	0	7	2	0	7
	P. Almejal	20	45	11	20	9	11	21	14	7	1	0	7
	Ensenada de Utría	20	18	11	44	18	11	0	0	7	1	0	7
Golfo Tribugá	P. Jurubidá	230	44	9	170	30	10	35	14	7	<LD	0	7
	P. Tribugá	20	22	9	170	ND	7	10	0	7	<LD	0	6
	P. Nuquí	790	45	11	180	80	10	43	29	7	<LD	0	6

ND= No hay datos para este sitio durante el último periodo evaluado.

<LD= Valor por debajo del Límite de Detección (CTE: <1.8 NMP/100 mL; EFE: <1 UFC/100 mL).

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2002-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario <200 NMP/100 mL ([MinSalud, 1984](#)).

**Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2006-2014) en donde se presentaron valores por encima de la guía internacional según la Organización Mundial para la Salud para aguas de uso recreativo de contacto primario <40 UFC/100 mL ([OMS, 2003](#)).

6.1.1.3 HIDROCARBUROS

Durante el período de lluvia 2013 y seca 2014, las concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) determinadas en agua superficial oscilaron en un rango de valores menores al límite de detección (0,07 µg/L) y 3,37 µg/L, y no superaron el valor de referencia de 10 µg/L considerado de alto riesgo para la biota acuática ([Unesco, 1984](#)). Las mayores concentraciones se obtuvieron en la época seca de 2014, en frente de bahía Solano (3,37 µg/L) y frente al río Valle (1,66 µg/L). De igual forma, en la estación ubicada en el río Jella se presentó el valor más alto para la época lluviosa 2013 (1,86 µg/L; Figura 6.1.10). 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 principales ríos de la zona, así como a la influencia de actividades marítimas.

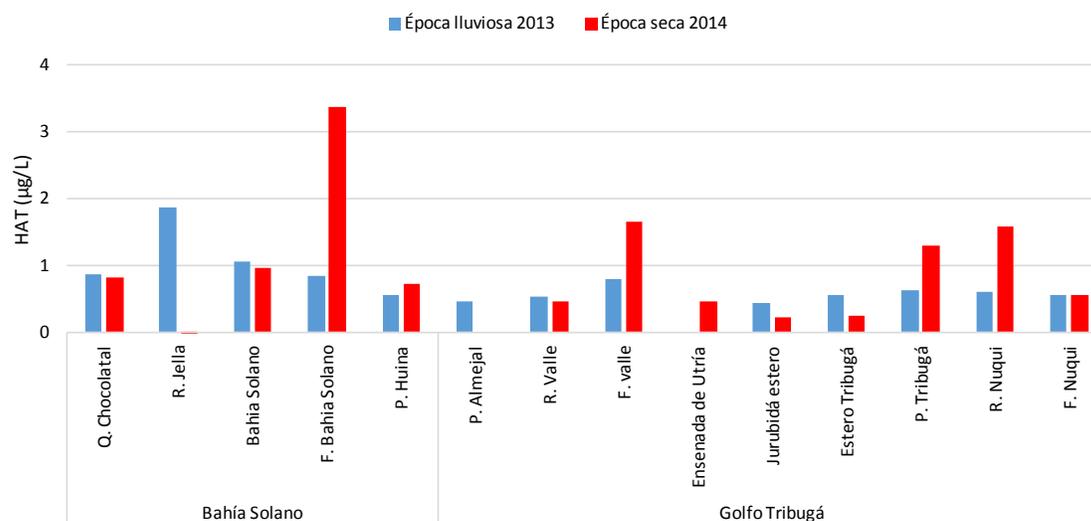


Figura 6.1.10. Concentraciones de Hidrocarburos Aromático Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Chocó para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El análisis de los registros históricos de HAT medidos desde el 2001 al 2014, demostró diferencias en las concentraciones promedio ($p > 0,05$,) siendo más altos los valores registrados en las épocas lluviosas en las estaciones de frente a bahía Solano ($1,6 \pm 4,4 \mu\text{g/L}$), la quebrada Chocolatal ($0,9 \pm 1,1 \mu\text{g/L}$) y en la ensenada de Utría ($0,6 \pm 1,3 \mu\text{g/L}$). De igual forma, las estaciones bahía Solano ($1,6 \pm 3,8 \mu\text{g/L}$), río Jella ($1,1 \pm 0,6 \mu\text{g/L}$) y río Nuquí ($1,1 \pm 1,4 \mu\text{g/L}$) han presentado las mayores concentraciones promedio durante la época seca (Figura 6.1.11).

La dispersión presentada demuestra que no existe una entrada constante de estos contaminantes al medio, sin embargo, los años donde se han presentado las concentraciones que superaron la referencia de [Unesco \(1984\)](#) fueron 2001 en la estación de bahía Solano ($13,8 \mu\text{g/L}$) y en 2003 en su frente ($13,9 \mu\text{g/L}$), en el resto del monitoreo no se ha llegado a determinar valores que superaran la referencia para aguas no contaminadas. Estas concentraciones pueden estar relacionadas con correntías de aguas de lluvia y vertimientos de aguas residuales domésticas y de lavaderos de carros captadas por las quebradas y ríos que recorren la zona hasta alcanzar el mar, así como a la actividad marítima del área.

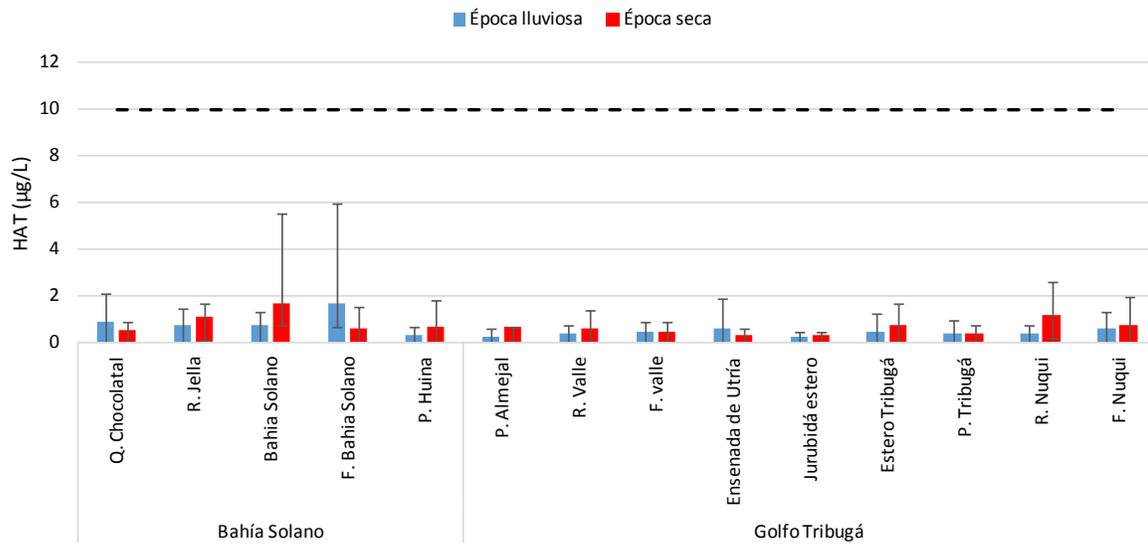


Figura 6.1.11. Promedio histórico (2001 - 2014) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Chocó. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea discontinua de 10 µg/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según [Unesco \(1984\)](#).

6.1.1.4 PLAGUICIDAS

En el departamento del Chocó, la agricultura es una de las actividades más importantes, más que la actividad minera. Las actividades agrícolas están muy difundidas en la región costera, pero son muy poco tecnificadas. Los cultivos básicos son el plátano, el maíz y el arroz, la yuca, la caña de azúcar, el chontaduro, el coco, el borojó y otras frutas, los cuales utilizan altas cantidades de plaguicidas de uso comercial ([Boletín Museo del Oro, 1990](#)).

Los registros históricos de las concentraciones de compuestos Organoclorados (OC) han mostrado variaciones que se relacionan con los cambios de 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 2014), que permitió determinar nuevos analitos a partir del 2010. Entre el 2002 y 2008 se registraron presencia de OC, con concentraciones en su mayoría por debajo del valor de referencia de 30 ng/L ([EPA, 2009](#)), a excepción del registro del 2002 donde se registró un valor de 35,8 ng/L en el río Valle durante la época seca (Figura 6.1.12a). Entre el 2009 y el 2014 a pesar de que se hicieron cambios en equipos, y se ajustó el límite de detección de la técnica, se registraron presencia de OC por encima de la referencia (30 ng/L; [EPA, 2009](#)) en el estero de Tribugá (31,3 ng/L) y la ensenada de Utría (33,0 ng/L) en el 2009, en el estero de Jurubidá (36,4 ng/L) en el 2010 (Figura 6.1.12b). A partir de la temporada lluviosa de 2012 no se registró presencia de OC puesto que se encontraron por debajo del límite de detección del método analítico, tendencia que se mantuvo hasta el 2014.

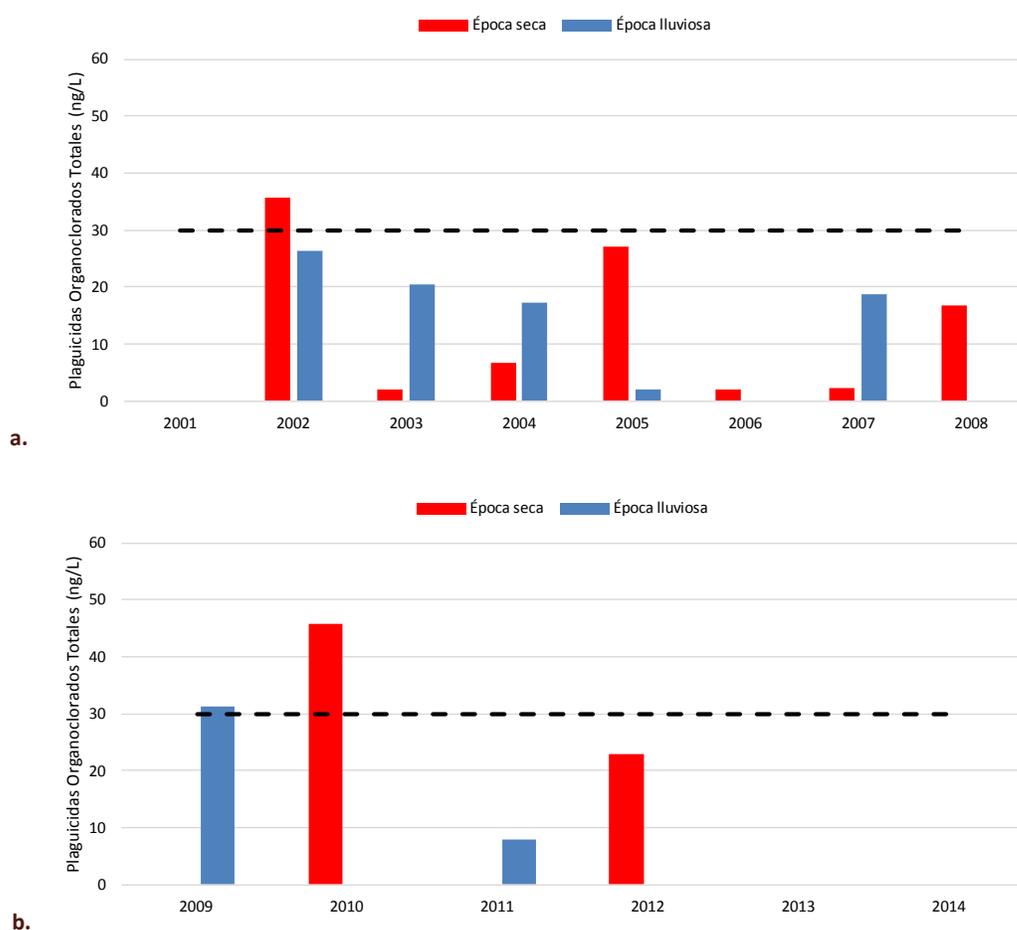


Figura 6.1.12 Concentración de plaguicidas en aguas superficiales del departamento del Chocó; a) valores registrados antes de la implementación de nuevos equipos y técnicas analíticas (2001-2008); b) valores registrados después de la implementación de nuevas técnicas analíticas (2009-2014). La línea discontinua de 30 ng/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según EPA (2009).

La mayor proporción de residuos de organoclorados detectados corresponden a los metabolitos del DDT (DDD y DDE), el hecho de encontrar los productos de degradación y no el compuesto original sugieren que el compuesto fue liberado al medio con anterioridad y se manifiestan de forma puntual en el transcurso del tiempo. Su introducción en los ecosistemas acuáticos pudo haberse originado en actividades diferentes a la agricultura como en la industria maderera y las campañas de fumigación para la prevención de la malaria. Por otro lado, la evaluación de plaguicidas de uso actual que se inició a partir de 2009, ha mostrado que durante los 5 años de monitoreo ninguno de los analitos ha sido detectado, sin embargo, el aumento continuo en la actividad agrícola del departamento amerita dar continuidad a la vigilancia de estos compuestos.

6.1.1.5 METALES PESADOS

La diversidad de ríos que desembocan en el litoral Pacífico, los cuales pueden arrastrar al lecho marino cantidades apreciables de metales, en especial por las descargas de aguas residuales domésticas de las poblaciones ribereñas que vierten a ellos, los convierten en la principal fuente de ingreso de metales al mar.

Para el presente estudio comprendido entre las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014, los niveles de metales disueltos, de manera general, presentaron baja presencia en los cuerpos de agua monitoreado. El Plomo (Pb) solo fue detectado en la estación frente a bahía Solano (3,9 µg/L) durante la época lluviosa de 2013, mientras que en época seca de 2014 todas las estaciones estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (3,1 µg/L).

Los metales disueltos Cadmio (Cd) y Cromo (Cr) estuvieron en ambas épocas climáticas por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,42 µg/L y 0,9 µg/L, respectivamente). Esto sugiere que no hay riesgo por estos metales al estar muy por debajo de los valores de referencia reportados en guías internacionales ([Buchman, 2008](#); [CONAMA, 2005](#)). El Cobre (Cu) disuelto solo registró un nivel detectable durante la época seca de 2014 en la estación del río Nuquí (0,19 µg/L), mientras que el Níquel (Ni) se detectó en época lluviosa de 2013 en la estación del río Valle (1,1 µg/L).

Durante la época lluviosa de 2013, el Zinc (Zn) disuelto permaneció por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, mientras que en época seca registró una concentración promedio de $12,1 \pm 6,4$ µg/L con máximo nivel de 22,9 µg/L en la estación playa de Tribugá. En cuanto al Hierro (Fe) en la época lluviosa se registró los niveles más altos, típicos de esta época donde los efectos de las intensas lluvias favorecen el arrastre de este metal, sin embargo se observa una disminución por debajo de los niveles de referencia de la NOAA ([Buchman, 2008](#)) durante la época seca de 2014.

6.1.1.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

El resultado del índice de calidad de aguas en la época lluviosa de 2013 mostró condiciones de calidad óptima y adecuada en la mayoría de las estaciones a excepción de la estación frente al río Nuquí donde se encontró condiciones inadecuadas por las altas concentraciones de SST (66,3 mg/L) y CTE (9.200 NMP/100 mL), situación que se le atribuye a los aportes del río que trae consigo los residuos domésticos del municipio de Nuquí (Figura 6.1.13). En época seca de 2014, la calidad del agua mejoró, dando como resultado estados aceptables en bahía Solano y frente al río Nuquí y adecuado en las demás estaciones.

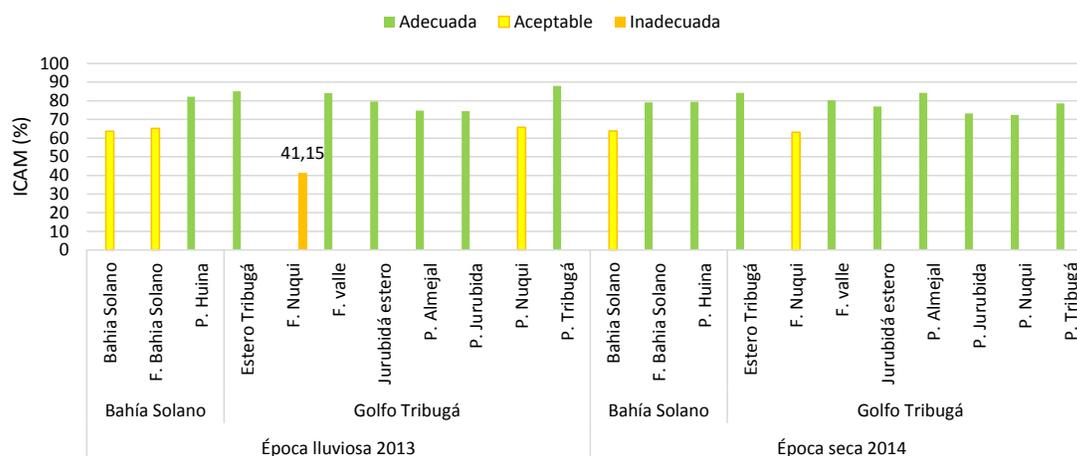


Figura 6.1.13. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), para la época lluviosa año 2013 y época seca 2014 en las estaciones en el departamento de Chocó.

6.1.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

6.1.2.1 MATERIA ORGÁNICA

Una muy baja cantidad de materia orgánica se encontró en la estación bahía Solano (0,7 µg/L), lo cual concuerda con el nivel de concentración de nutrientes en la zona, que presentan valores bajos que implican un aporte pobre de nutrientes provenientes de la oxidación de sustancias como el nitrógeno presente en los sedimentos (Jacome y Llanos, 1990). Sin embargo se sugiere continuar con el monitoreo de la zona para determinar alguna variabilidad significativa que permita la caracterización de esta estación.

6.1.2.2 HIDROCARBUROS

Los sedimentos evaluados en la época lluviosa 2013, provenientes de la estación bahía Solano, presentaron concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) de 1,02 µg/g, así mismo, durante la seca de 2014, la evaluación se realizó a los sedimentos tomados en la estación ubicada en el río Nuquí, determinándose una concentración de 1,07 µg/g, valores que no superaron la referencia de 3,9 µg/g (NOAA, 1990; Tabla 6.1.3).

Tabla 6.1.3. Concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales (HAT) medidos en sedimentos del departamento de Chocó, durante la época lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Estación	Época Lluviosa 2013	Época seca 2014
	HAT (µg/g)	HAT (µg/g)
Bahía Solano	1,02	-
Río Nuquí	-	1,07
Valor de referencia	3,9 *	3,9 *

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

6.1.2.3 PLAGUICIDAS

La evaluación de plaguicidas en sedimentos entre 2013 y 2014 mostró la presencia de metabolitos de DDT's en el río Nuquí durante la época lluviosa 2014 (Tabla 6.1.4), sin embargo, el valor reportado no superó el límite de referencia sugerido por la NOAA ([Buchman, 2008](#)). A pesar de que el uso de estos compuestos ha sido restringido, se siguen encontrando en el medio acuático debido a su naturaleza hidrofóbica que les permite asociarse fuertemente a las partículas del sedimento y a la materia orgánica ([Romano et al., 2004](#)). Por otra parte, en la época seca de 2013 no se registró presencia de ninguno de los analitos evaluados, esta variabilidad en los resultados entre épocas puede explicarse porque los contaminantes no quedan permanentemente retenidos y pueden ser liberados a la columna de agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de materia orgánica ([Said, 2007](#)).

Tabla 6.1.4. Concentraciones de plaguicidas en sedimentos en estaciones del departamento de Chocó, durante la época lluviosa 2013 y seca 2014.

Estación	Época Lluviosa 2013	Época seca 2014
	DDT's (ng/g)	DDT's (ng/g)
Bahía Solano	-	-
Río Nuquí	-	4,2
Valor de referencia	10 *	10 *

*Valor de referencia para sedimentos no contaminados ([Buchman, 2008](#)).

6.1.2.4 METALES PESADOS

Se evaluó el contenido de metales pesados en sedimentos de la estación bahía Solano en el departamento de Chocó. Estas concentraciones son mostradas en la Tabla 6.1.5. Se observa que tanto en época lluviosa de 2013 y seca de 2014 los metales Plomo y Cadmio estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada. Además, los metales Cobre y Zinc permanecieron en ambas épocas por debajo del valor guía reportado en la guía internacional de la NOAA, por lo que no se consideran de riesgo para el desarrollo de la vida acuática.

El Cromo en época lluviosa registró una concentración por encima del nivel de referencia, sin embargo en época seca este valor estuvo por debajo del nivel guía sugiriendo que por efectos de las lluvias se da un incremento en la matriz sedimentaria, este mismo efecto ocurre con el Hierro el cual presentó niveles seis veces mayor en época de lluvias (63,5 µg/g) con respecto a los niveles de este metal en época seca (10,0 µg/g). El Níquel no presentó una mayor variación entre épocas registrando una concentración promedio anual de 65,8 ± 0,9 µg/g, valor que se encuentra por encima del nivel de referencia reportado en guías internacionales.

Tabla 6.1.5. Concentraciones de metales en sedimentos para la época lluviosa de 2013 y seca de 2014 en el departamento de Chocó.

	Pb (µg/g)		Cd (µg/g)		Cr (µg/g)		Cu (µg/g)		Zn (µg/g)		Ni (µg/g)		Fe (mg/g)	
	lluvia 2013	seca 2014												
Bahía Solano	<4,0	<4,0	<0,5	<0,5	169,6	155,6	84,9	56,6	67,5	79,9	66,4	65,2	63,5	10,0
Valor de referencia PEL	112,0		4,21		160,0		108,0		271,0		42,8		-	

6.1.3 CONCLUSIONES

Las estaciones de monitoreo de la zona costera del departamento del Chocó presentan características fisicoquímicas similares que se relacionan con aguas dulceacuícolas y marino-costeras. Los resultados de las pH y oxígeno disuelto cumplen con criterios de calidad de la legislación colombiana para la preservación de la flora y fauna acuática; los sólidos suspendidos totales por su parte, se encuentran dentro de los rangos históricos de la REDCAM, por consiguiente la calidad del agua marino costera del departamento se encuentran en buenas condiciones de calidad.

Los nutrientes presentaron altas concentraciones en las estaciones influenciadas por los principales centros urbanos de la zona costera del Chocó, destacándose la quebrada Chocolatal y río Jella que se ubican en la zona bahía Solano donde los vertimientos de aguas residuales favorecen la eutrofización de las aguas.

Con respecto a la calidad microbiológica, las aguas de los principales ríos no cumplieron con los criterios de calidad para el uso del recurso hídrico por contacto primario y secundario, por los vertimientos de aguas residuales domesticas de las poblaciones ribereñas. La mayoría de las playas cumplen con los criterios de calidad de la normatividad para el contacto primario, por lo que son adecuadas para actividades recreativas, deportivas y pesca.

Las concentraciones de hidrocarburos medidas en las aguas costeras del departamento fueron inferiores al valor de referencia (<10 µg/L) para aguas no contaminadas. Bahía Solano, su frente, así como los ríos Jella y Nuquí continúan presentando los valores más altos de HAT, ocasionados por manejo de crudo y sus derivados, operaciones de transporte y actividades propias de la zona ribereña. De igual forma, los sedimentos provenientes de Bahía Solano y el río Nuquí no superaron el valor de referencia sugerido por la NOAA para sedimentos no contaminados.

Los plaguicidas analizados en las aguas superficiales presentaron concentraciones por debajo del límite de detección de los métodos aplicados. Así mismo, en sedimentos se determinaron metabolitos de DDT's por debajo de los niveles de referencia propuestos por la NOAA. Sin embargo, debido a la presencia ocasional que han mostrado estos compuestos en las aguas del departamento, se hace necesario mantener la vigilancia ya que se han registrado compuestos altamente persistentes como los plaguicidas organoclorados lo que puede afectar el medio marino.

En general, los metales en aguas superficiales del departamento de Chocó estuvieron por debajo del valor de referencia, indicando que no hay problemas de contaminación por metales pesados. Particularmente el Hierro presentó niveles altos en época lluviosa pero disminuyeron en época seca, indicando que hay una alta influencia por los ríos de esa zona. En los sedimentos la presencia de Cromo y Hierro aumentan durante la época lluviosa. Es importante continuar con el monitoreo para establecer comportamientos entre épocas y descartar fuentes de contaminación antropogénicas para los metales que exceden el valor de referencia.

En las épocas de estudio el índice de calidad de aguas estuvo entre las condiciones adecuadas e inadecuadas para la preservación de fauna y flora; encontrando la calidad inadecuada en época lluviosa 2013 en la estación frente al río Nuquí.

Valle del Cauca



Puente El Piñal. Foto: Ostin Garcés

EQUIPO TÉCNICO CVC

Luisa Marina Baena – Profesional Especializada, Coordinadora Laboratorio Ambiental

Miguel Angel Quintero Nuñez – 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

Hector Fabio Hernandez Betancourth – Ingeniero Químico, Profesional Especializado

Líber Enersto Carabalí Peña– Técnico Operativo (campo)

James Larrahondo Posú – Técnico Operativo (campo)

El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos realizados los días 17 y 24 de septiembre de 2013 (época de alta precipitación) y los días 8, 10 y 13 de abril de 2014 (época de baja precipitación), en consecuencia los gráficos y el análisis de la información se muestran como la época lluviosa 2013 y época seca de 2014, respectivamente, con el propósito de ser coherentes con el análisis nacional de todos los departamentos.

6.2.1 CALIDAD DE AGUAS

Las mediciones de las variables fisicoquímicas y microbiológicas muestran el estado de la calidad del agua marina y costera del departamento del Valle del Cauca para la preservación de la fauna y flora en los ecosistemas asociados, así como su aptitud para el uso del recurso hídrico con fines recreativos, entre otros. A continuación se presentan los resultados de los muestreos realizados en la época de altas precipitaciones de 2013 (en adelante época lluviosa 2013) y de bajas precipitaciones del 2014 (en adelante época seca 2014; Tabla 6.2.1) contrastados con los datos históricos del monitoreo REDCAM del 2001 al 2013.

Tabla 6.2.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento del Valle del Cauca.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	27,20	1,00	28,30	24,00	29,20	0,20	29,80	25,5
SST (mg/L)	49,70	32,50	164,00	<1	27,30	12,00	72,00	<1,00
Salinidad	10,60	3,70	18,30	4,30	21,70	4,40	28,30	14,3
pH			8,50	7,02			8,16	6,38
OD (mg/L)	5,60	0,60	6,91	4,69	5,60	0,40	6,75	4,52
NO ₃ (µg/L)	885,00	453,70	1780,00	<1	1122,30	496,40	5000,00	<1,00
NO ₂ (µg/L)	27,30	16,90	51,50	2,50	26,10	14,30	45,30	<1,00
CTT (NMP/100 mL)			9,30E+05	2,30E+02			2,40E+04	1,50E+02
CTE (NMP/100 mL)			4,30E+05	9,10E+01			1,10E+04	9,10E+00

6.2.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendidos totales

Los resultados de las variables fisicoquímicas medidas (salinidad, conductividad, temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST) y turbidez) en la zona costera del departamento del Valle del Cauca para la época lluviosa de 2013 y seca 2014 mostraron diferencias entre las estaciones. El análisis estadístico de las variables presentó la separación y agrupación de las estaciones según el tipo de agua (dulceacuícolas y estuarinas) en tres grupos: el primero lo conforman los ríos, el segundo agrupa las de la bahía de Buenaventura y el tercero reúne las estaciones de los frentes de los ríos en su (Figura 6.2.2).

La salinidad en las estaciones del departamento oscilaron entre 4,3 y 28,3, encontrándose los valores más bajos en las estaciones de los ríos por la influencia del agua fluvial, y los más altos se encontraron en las costa de bahía Málaga donde hay mayor influencia del agua marina; estos valores indican que las condiciones que predominan en las zonas monitoreadas son de carácter estuarino, debido a las fluctuaciones constantes de marea. La temperatura del agua por su parte, se registró en un rango entre 24,0 y 29,8 °C, encontrándose las aguas más cálidas durante la época seca 2014 ($28,6 \pm 1,2$ °C) en comparación con la época lluviosa de 2013 ($27,2 \pm 1,0$ °C).

Los valores de pH variaron entre 6,38 y 8,47, valores que se encuentran dentro del rango normativo para la preservación de fauna y flora descrito en el decreto 1594 de 1984 (6,5-8,5; [MinSalud, 1984](#)). Con respecto a las concentraciones de OD los valores oscilaron entre 4,52 y 6,91 mg/L, encontrándose los valores más altos en los ríos Raposo (6,9 mg/L), Dagua (6,6 mg/L) y Anchicayá (6,7 mg/L) en la época lluviosa 2013; en general todas las estaciones cumplen con el criterio de calidad de la normatividad colombiana el cual debe estar por encima de 4,0 mg/L ([MinSalud, 1984](#)).

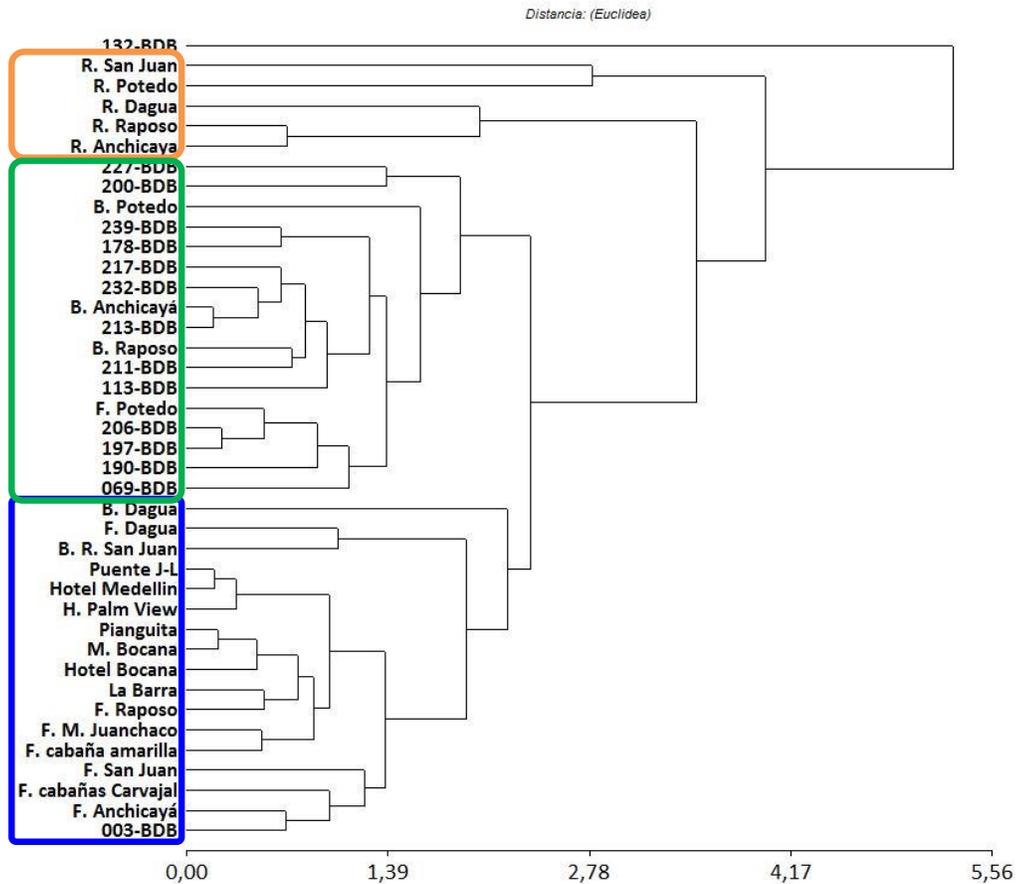


Figura 6.2.2 Dendrograma de clasificación de las variables *In situ* medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM de la zona costera del departamento del Valle del Cauca para la época lluviosa 2013 y seca 2014. El recuadro naranja indica la estación de carácter dulceacuícola, el verde las estaciones de carácter estuarino y el azul las de carácter marino.

Los SST fluctuaron entre 14,0 y 164,0 mg/L, encontrándose los valores más altos en las estaciones 132-BDB (164,0 mg/L), frente al río San Juan (113,0 mg/L), frente al río Anchicayá (93,0 mg/L) y 003-BDB (71,7 mg/L) en la época lluviosa de 2013, mientras que en época seca los valores más altos se registraron en el río Dagua (66,0 mg/L) y su desembocadura (72,0 mg/L) valores que se encuentran dentro del rango histórico de la REDCAM.

Nutrientes

Se determinaron las concentraciones de tres nutrientes inorgánicos influyentes en la calidad de las aguas marinas y costeras como son los Nitritos (NO_2^-), Nitratos (NO_3^-) y Fosfatos (PO_4^{3-}) durante los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca de 2014. Con respecto a los Nitratos, las concentraciones oscilaron entre el límite de detección de la técnica analítica utilizada (1,76 $\mu\text{g/L}$) y 51,5 $\mu\text{g/L}$, encontrándose los mayores valores en las estaciones frente al río Anchicayá (51,5 $\mu\text{g/L}$) en época lluviosa de 2013 y 211-bahía de Buenaventura (45,3 $\mu\text{g/L}$) en la época seca de 2014, valores que se relaciona con los aportes naturales del río y los vertimientos de aguas residuales de los asentamientos ribereños de la bahía (INVEMAR, 2014c). La tendencia en general fue de aumentar las concentraciones en durante la época lluviosa en la mayoría de las estaciones en la bahía de Buenaventura (Figura 6.2.3), mientras que en la zona de bahía Málaga las concentraciones de este nutriente estuvieron por debajo del límite de detección.

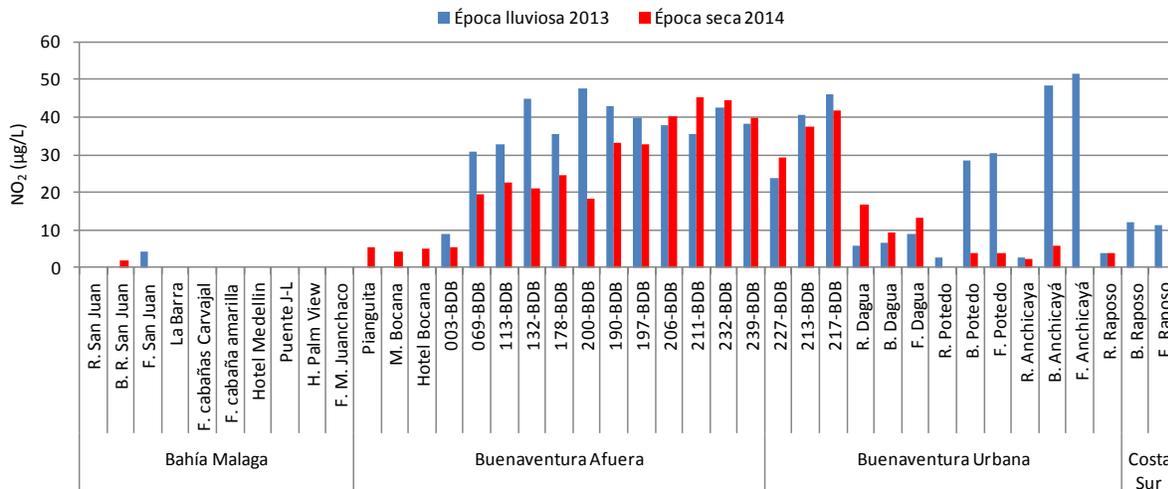


Figura 6.2.3 Concentraciones de Nitrito (NO_2^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Valle del Cauca para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los resultados de los análisis de Nitratos mostraron concentraciones que oscilaron entre el límite de detección de la técnica utilizada (114 $\mu\text{g/L}$) y 5.000 $\mu\text{g/L}$, registrándose concentraciones elevadas en la mayoría de las estaciones, principalmente en las ubicadas en el río Dagua durante la época seca 2014 donde se presentó la concentración máxima (5.000 $\mu\text{g/L}$; Figura 6.2.4), indicando aguas eutrofizadas que puede afectar la calidad del agua para la preservación de fauna y flora acuática, debido a que se pueden presentar florecimientos algales recurrentes (Nebel y Wright, 1999).

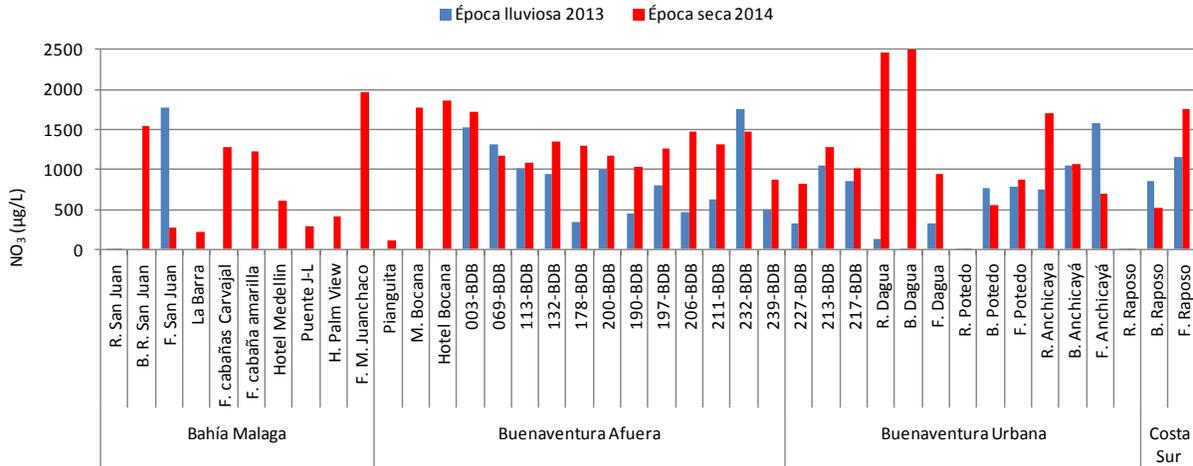


Figura 6.2.4 Concentraciones de Nitrato (NO_3^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Valle del Cauca para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

6.2.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

Se evaluó la calidad microbiológica del agua marino costera del departamento del Valle del Cauca usando como indicadores los Coliformes Totales (CTT) y Termotolerantes (CTE). Con respecto a los CTT, los resultados mostraron oscilaciones entre 200 y 930.000 NMP/100 mL, encontrándose altas concentraciones durante la época seca de 2014 en la zona de Bahía Málaga, y en las dos épocas climáticas en la bahía de Buenaventura, valores que en su mayoría incumplieron con los criterios de calidad del decreto 1594 de 1984 para el uso de recurso hídrico por contacto primario y secundario (Figura 6.2.5). Sólo en estaciones como 003-Bahía de Buenaventura, hotel Bocana, frente al Muelle Bocana, frente puente Juanchaco-Ladrillero y frente al Muelle de Juanchaco se encontraron aptas para el uso por contacto primario y secundario debido a que las concentraciones de CTT estuvieron por debajo de 1.000 NMP/100 mL por tener mayor influencia del agua marino donde se aumentan los procesos de dilución y mezcla que reduce rápidamente las concentración de estos microorganismos (De Luque *et al.*, 2011).

Históricamente los indicadores de contaminación fecal en las estaciones del departamento del Valle del Cauca, ha demostrado que las estaciones de las zonas Buenaventura Afuera y Urbana presentan los mayores casos de incumplimiento del límite para uso con contacto secundario establecidos para CTT por el Decreto 1594 de 1984 (Figura 6.2.6; *MinSalud, 1984*). Esto se debe no solo a la falta de un sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas, sino a las condiciones fisicoquímicas de la bahía de Buenaventura, ya que las bajas salinidades sumado a los aportes de materia orgánica, permiten la proliferación y desarrollo de microorganismos (*Chigbu et al.*, 2004). Las altas concentraciones de este grupo de microorganismos, representan un riesgo para la población que hace uso de sus aguas ya sea para transporte cómo para saneamiento básico (*Henrickson et al.*, 2001).

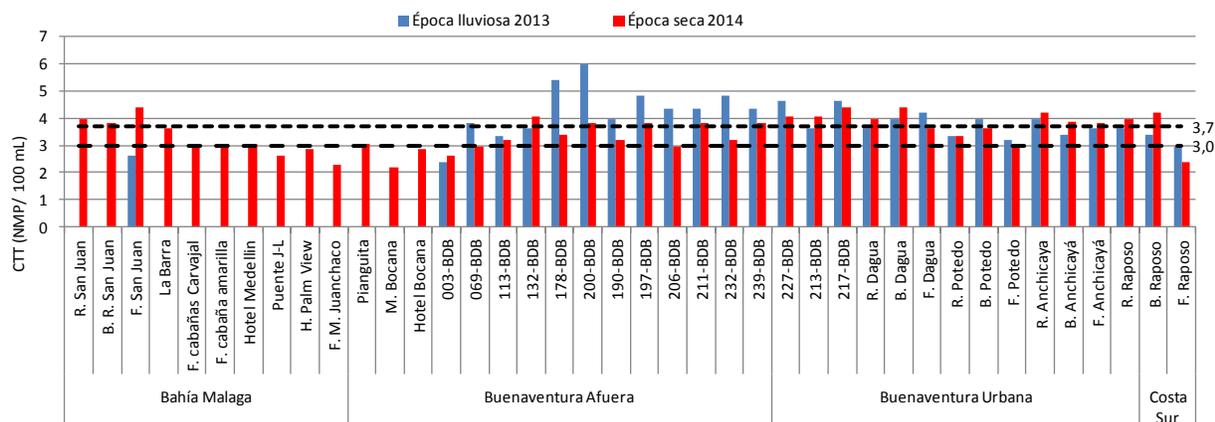


Figura 6.2.5 Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Valle del Cauca para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

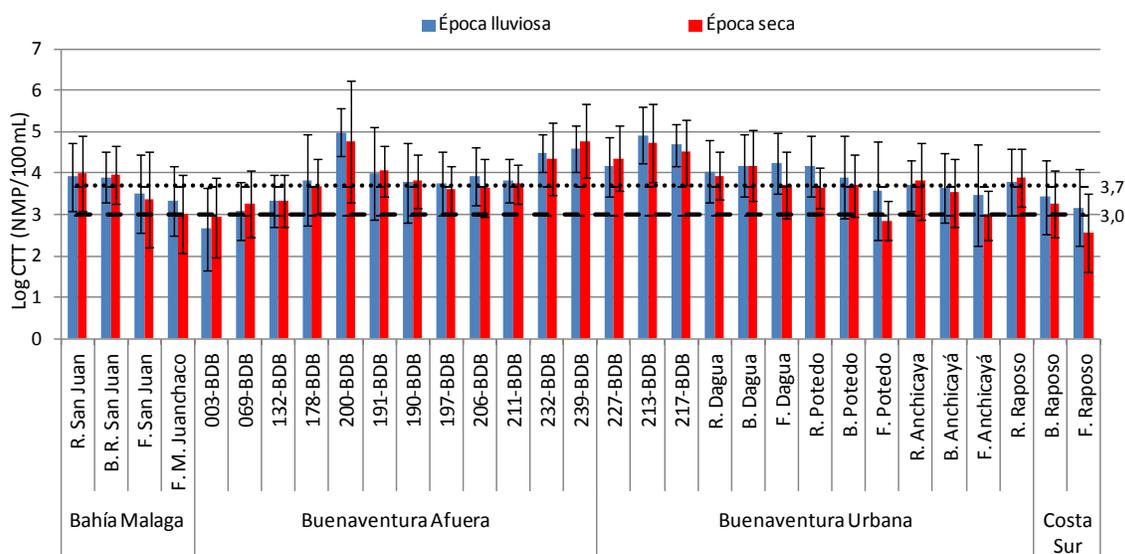


Figura 6.2.6 Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Valle del Cauca. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Con respecto a los CTE, los resultados mostraron concentraciones entre 9,1 y 430.000 NMP/100 mL, encontrándose condiciones inadecuadas de calidad en las en la mayoría de las estaciones de la bahía de buenaventura debido a que se encontraron por encima del criterio de calidad para el uso de agua por contacto primario (<200 NMP/100 mL; Figura 6.2.7), donde los residuos domésticos de la población llegan directamente a los ríos y por consiguiente a la bahía, afectando la calidad del agua y aumentando la vulnerabilidad de los recursos biológicos y de la población ([INVEMAR, 2014c](#)).

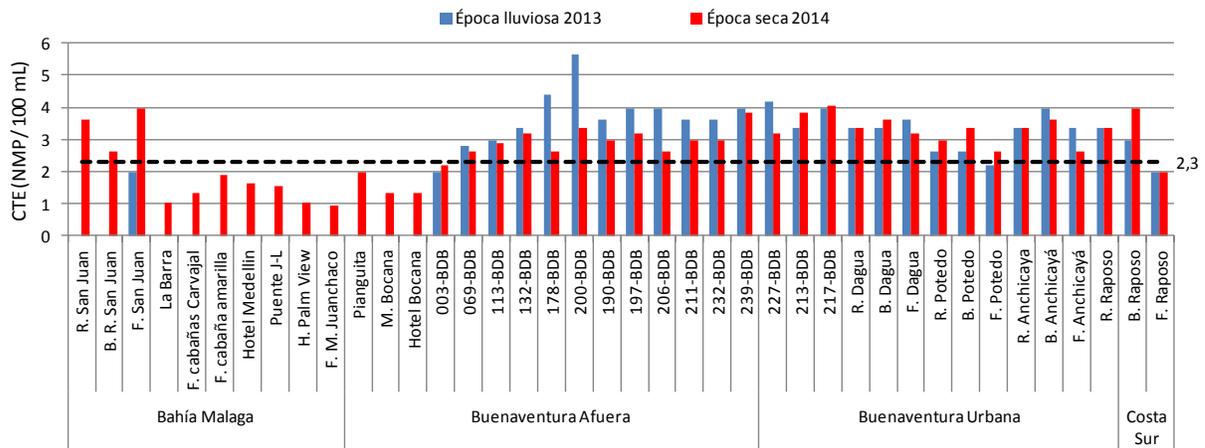


Figura 6.2.7 Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Valle del Cauca para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. La línea discontinua de 2,3 corresponde al Log 200 NMP/100 mL del límite permisible para contacto primario según MinSalud (1984).

La calidad microbiológica de las playas del departamento presentaron condiciones adecuadas para su uso por bañistas con respecto a los valores de CTE (<200 NMP/100 mL; MinSalud, 1984). A partir del análisis histórico de los casos de incumplimiento, los mayores casos de incumplimiento se han registrado durante las épocas secas, en donde los porcentajes varían entre el 36 y 73 %, mientras en épocas lluviosas los porcentajes oscilan entre 42 y 67 % (Tabla 6.2.2).

Tabla 6.2.2. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las playas del departamento de Valle del Cauca. Los valores de referencia están establecidos según la norma nacional para coliformes termotolerantes (CTE: <200 NMP/100 mL).

Zona	Estación	Época Lluviosa - 2013	Época seca - 2014	Época Lluviosa (2001-2013)		Época Seca (2001-2014)	
		CTE (NMP.100 mL ⁻¹)	CTE (NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n	% casos*	n
Bahía Málaga	La Barra	ND	11	42	12	36	11
	F. cabañas Carvajal	ND	21	50	12	73	11
	F. cabaña amarilla	ND	75	50	12	55	11
	Hotel Medellín	ND	43	50	12	64	11
	Puente J-L	ND	36	50	12	55	11
	H. Palm View	ND	11	67	12	64	11
Buenaventura Afuera	Pianguita	ND	93	50	12	60	10
	M. Bocana	ND	21	67	12	64	11
	Hotel Bocana	ND	21	58	12	50	10

ND= No hay datos para este sitio durante el último periodo evaluado.

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2001-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario, coliformes termotolerantes <200 NMP/100 mL (MinSalud, 1984).

6.2.1.3 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

El índice de calidad de aguas en época lluviosa de 2013 mostró condiciones adecuadas y aceptables en la mayoría de las estaciones a excepción de los frentes de los ríos Anchicayá y Dagua donde se encontraron calidad inadecuada debido a la contaminación microbiológica por CTE, con valores entre 2.300 y 4.300 NMP/100 mL, los cuales están por encima del criterio de calidad de la normatividad colombiana (<200 NMP/100 mL CTE; Figura 6.2.8). En época seca de 2014 el resultado del índice evidenció una mejora de la calidad del agua en los frentes de los ríos en la bahía de Buenaventura, mientras que en Bahía Málaga la estación frente al río San Juan obtuvo una calificación inadecuada por las altas concentraciones de CTE (9.300 NMP/100 mL) y Nitratos (276 µg/L) provenientes de las poblaciones ribereñas de la bahía.

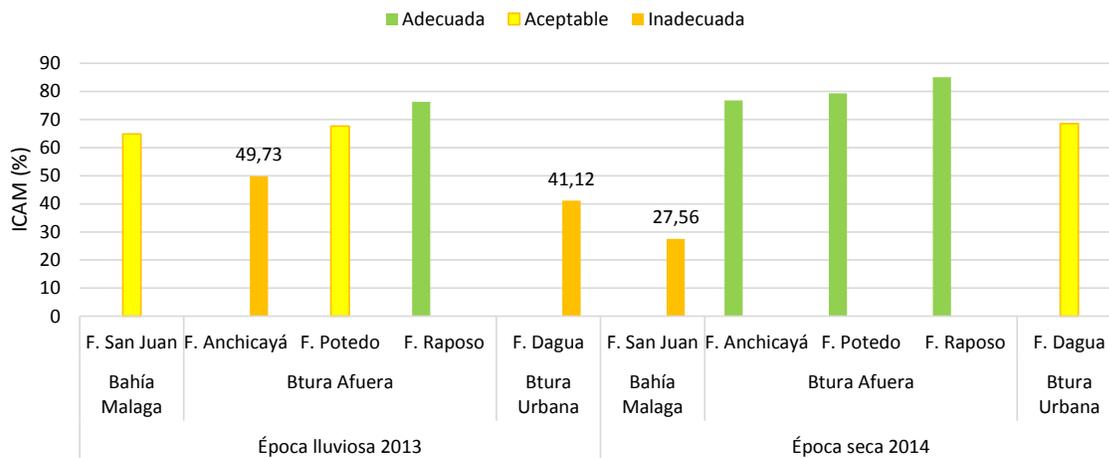


Figura 6.2.8. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PF}), para la época lluviosa año 2013 y época seca 2014, en las estaciones en el departamento de Valle del Cauca.

6.2.2 CONCLUSIONES

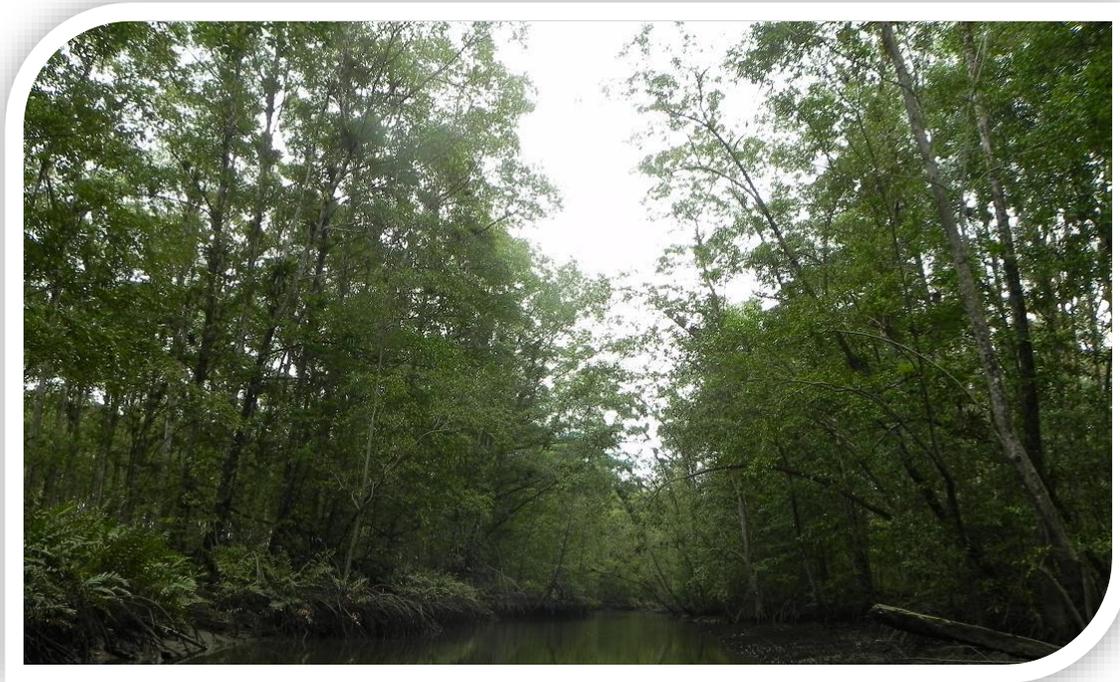
La calidad de las aguas del departamento del Valle del Cauca en la época lluviosa 2013 y seca 2014 mostró condiciones adecuadas en términos de las variables fisicoquímicas analizadas debido a que se encontraron dentro de los parámetros normales exigidos por la legislación colombiana para preservación de flora y fauna como es el caso del pH y el oxígeno disuelto, así como en los rangos históricos de la REDCAM.

Los nutrientes inorgánicos evaluados en el Valle del Cauca mostraron comportamientos muy variables, desde valores en los Nitratos que se acercan a las concentraciones de alerta consideradas en otros países (río Dagua), hasta valores por debajo del límite de detección en la mayor parte de las estaciones de muestreo donde los niveles disminuyeron drásticamente para algunas estaciones monitoreadas a nivel histórico.

La calidad microbiológica de las aguas en el departamento del Valle, en su mayoría no es adecuada puesto que no cumplen con los criterios de calidad para el uso del recurso hídrico por contacto primario y secundario, principalmente en las zonas de la bahía de Buenaventura.

En la época de estudio, el índice de calidad de aguas estuvo entre condiciones adecuadas e inadecuadas para la preservación de fauna y flora.

Cauca



Estero El Cuerval río Timbiquí. Foto: Max Martínez

EQUIPO TÉCNICO CRC

*Luz Marina Prieto Bayer – Profesional Especializado
Julio César Rodríguez – Asesor de la Dirección*

6.3 CAUCA

El departamento del Cauca está situado en el sur 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 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 este departamento la REDCAM cuenta con 21 estaciones, distribuidas en tres zonas: López-Timbiquí, Guapi e Isla Gorgona (Figura 6.3.1).

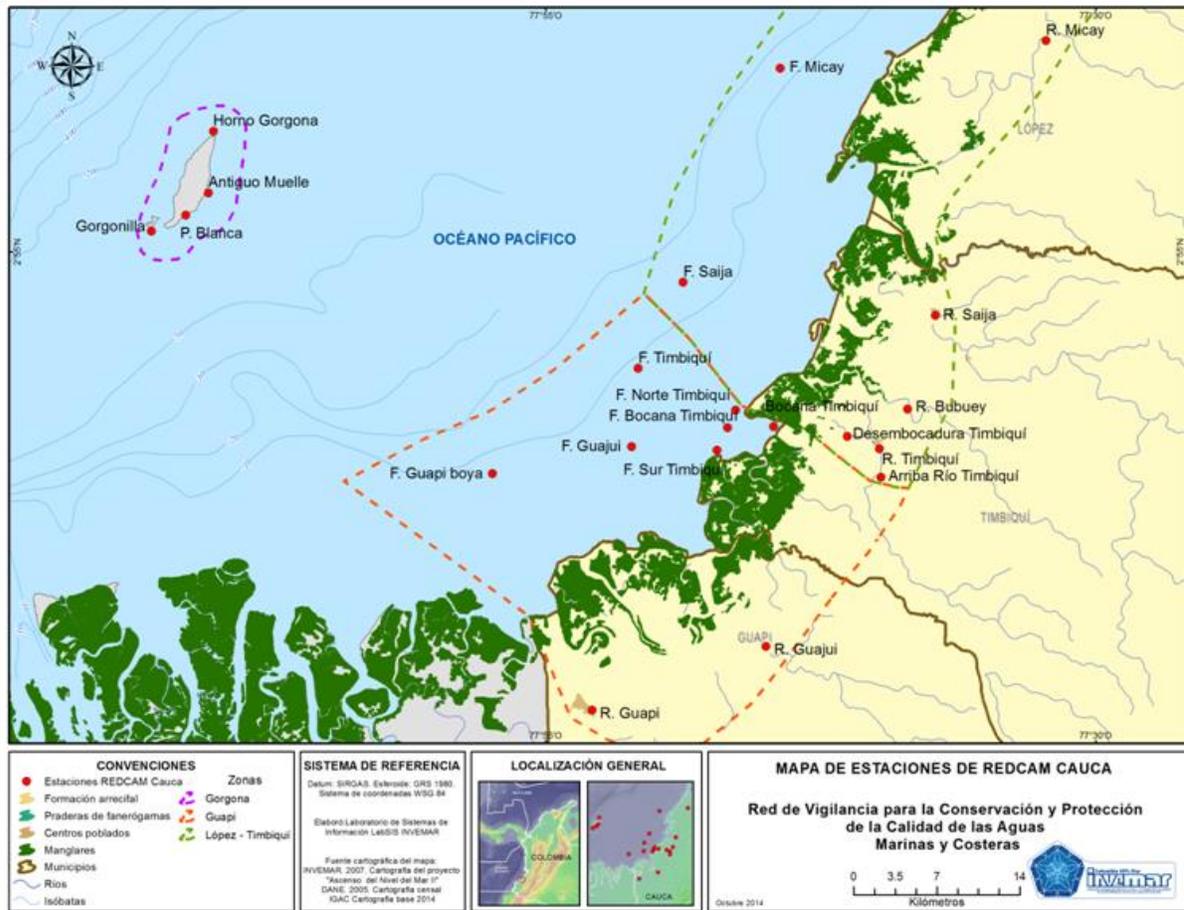


Figura 6.3.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Cauca.

En el departamento del Cauca las condiciones climáticas están determinadas fundamentalmente por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que genera precipitación durante el año que responde a una distribución de tipo bimodal, que se caracteriza por la presencia alternada de dos temporadas muy lluviosas y las “relativamente” 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, incluye el periodo de septiembre -noviembre, en las zonas norte y Central; y octubre–diciembre en la zona Sur, con máximas intensidades en octubre y noviembre. La temporada menos lluviosa, en general tiene lugar en el lapso comprendido 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 Isla Gorgona está a 30 km del continente (Costa Pacífica Colombiana), localizada en la zona intertropical ecuatorial, por lo que influye grandemente en su clima y vegetación. Declarada Parque Natural Nacional en 1980 por su carácter insular, la presencia de asociaciones vegetales particulares y la alta diversidad biológica marina, convirtiéndose en la única área protegida en el Pacífico colombiano que está constituida principalmente por ambiente marino, (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). El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos realizados entre el 22 y 23 de octubre del 2013 (época de alta precipitación) y del 7 al 12 de abril de 2014 (época de baja precipitación).

6.3.1 CALIDAD DE AGUAS

Las mediciones de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados muestran el estado de la calidad del agua marina y costera del departamento del Cauca para la preservación de la fauna y flora en los ecosistemas asociados, así como su aptitud para el uso del recurso hídrico con fines recreativos, entre otros. A continuación se presentan los resultados de los muestreos realizados en la época de altas precipitaciones de 2013 (en adelante época lluviosa 2013) y de bajas precipitaciones del 2014 (en adelante época seca 2014; Tabla 6.3.1) contrastados con los datos históricos del monitoreo REDCAM del 2001 al 2013.

Tabla 6.3.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento del Cauca.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	27,20	1,14	29,30	25,00	27,57	1,25	29,30	25,40
SST (mg/L)	53,57	26,09	115,20	18,57	52,94	47,73	217,10	11,70
Salinidad	15,05	13,50	29,50	0,00	14,01	13,23	32,60	0,00
pH			8,60	6,78			8,21	6,50
OD (mg/L)	6,03	0,50	7,54	5,39	7,17	0,79	8,52	5,12
NO ₃ (µg/L)	13,02	11,36	32,73	1,08	20,32	16,94	45,40	0,60
NO ₂ (µg/L)	2,07	1,06	5,56	1,20	2,83	1,95	6,70	1,60
NH ₄ (µg/L)	11,19	7,37	27,38	2,71	24,72	6,80	36,00	17,90
PO ₄ (µg/L)	4,13	1,94	7,33	1,69	3,28	3,55	9,70	0,40
CTT (NMP/100 mL)			1,60E+04	1,80E+00			6,60E+04	2,60E+02
CTE (NMP/100 mL)			5,40E+03	4,10E+03			1,80E+00	1,90E+01
TUR (NTU)	12,71	20,65	86,10	0,53	19,64	26,13	81,40	0,48
DBO (mg/L)	0,63	0,50	1,21	0,34	0,41	0,01	0,42	0,40
Cu (µg/L)	1,98	0,73	3,54	1,42	1,98	1,02	3,50	1,40

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Zn (µg/L)	10,72	2,17	12,25	9,19	23,23	14,93	44,90	12,60
Ni (µg/L)	3,46	2,02	5,87	1,48	1,47	0,55	2,10	1,10
Fe (µg/L)	325,93	423,34	1609,61	10,30	108,43	105,27	329,60	5,60
HAT (µg/L)	1,06	2,17	9,36	0,20	1,29	2,40	7,53	0,16

6.3.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendidos totales

Las estaciones de monitoreo de calidad de aguas en la zona costera del departamento del Cauca durante la época lluviosa de 2013 y época seca 2014 mostraron cambios con relación a las variables de temperatura, sólidos suspendidos totales (STT), turbidez, conductividad eléctrica y salinidad. Con el análisis de conglomerado se logró separar las estaciones en tres grupos según el tipo de agua, las dulceacuícolas (ríos), estuarinas (bocas y frentes de los ríos) y marinas (Figura 6.3.2). Sin embargo, los valores de salinidad en los frentes de los ríos mostraron mayor afinidad con las estaciones marinas.

La salinidad en las estaciones marinas mostró oscilaciones entre 27,7 y 32,6 siendo las aguas ligeramente más saladas en la época seca ($31,7 \pm 0,7$) en comparación con la época lluviosa ($28,9 \pm 0,7$); caso contrario ocurre en las estaciones de carácter estuarino en donde las variaciones estuvieron entre 9,2 y 26,4 siendo las aguas más saladas en época lluviosa ($20,3 \pm 6,3$) y menos salada época seca ($18 \pm 6,2$); por último, en las estaciones de los ríos la salinidad máxima fue de 2,3 en época seca. La conductividad presentó un comportamiento similar a la salinidad porque estas variables están directamente relacionadas, sus valores en las estaciones estuarinas fueron más altas en época lluviosa debido al incremento de partículas de material orgánico e inorgánicos que son arrastrados de las partes altas de la cuenca y de los manglares cuando los ríos aumentan sus caudales.

Los SST fluctuaron en un rango de 11,7 a 217,1 mg/L presentando los valores más altos en las estaciones río Timbiquí (217,1 mg/L), bocana río Timbiquí (118,7 mg/L) y río Timbiquí arriba (113,3 mg/L) en la época seca de 2014, debido a las actividades de minería que se desarrollan en la cuenca del río Timbiquí (Valencia, 2012; González *et al.*, 2013), mientras los valores más bajos se presentaron en las estaciones del río Saija (18,6 mg/L) en época lluviosa de 2013 y del río Micay (11,7 mg/L) en época seca 2014. En las estaciones marinas se registraron valores entre 47,2 y 60,2 mg/L siendo el antiguo Muelle y playa Blanca los sitios con mayores concentraciones de 60,24 y 54,2 mg/L respectivamente, en época de lluvias; valores que sobrepasaron la referencia de 50 mg/L que representa un tensor que incide en la penetración de la luz y puede afectar los procesos fotosintéticos de las algas asociadas a los corales (Fabricius, 2005).

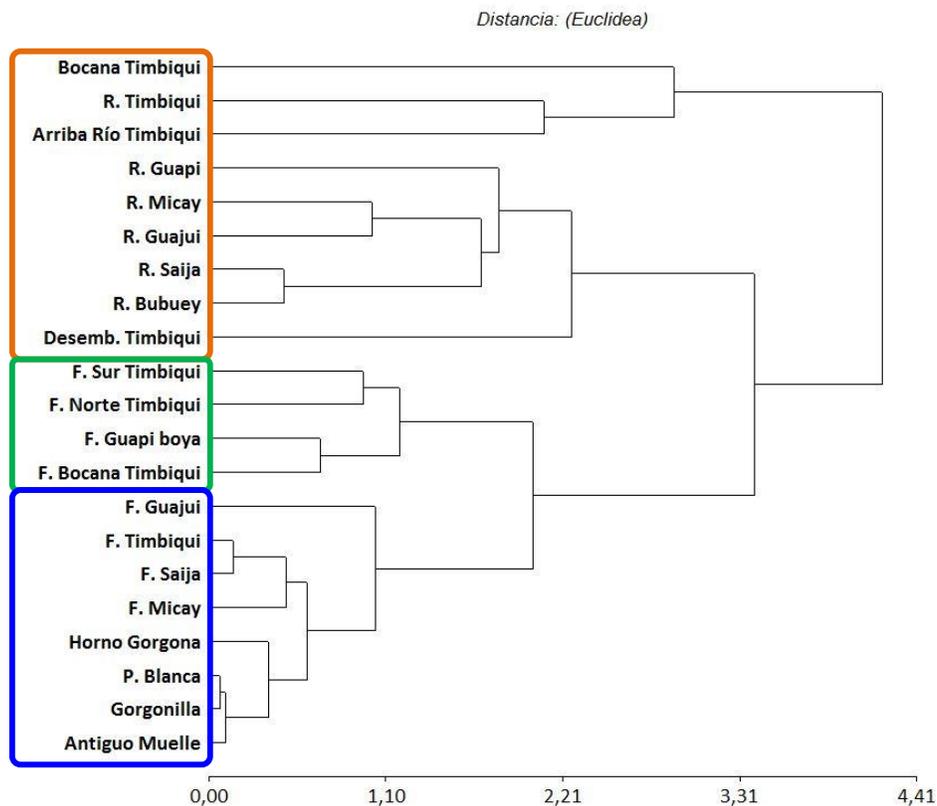


Figura 6.3.2. Dendrograma de clasificación de las variables In situ medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM de la zona costera del departamento de Cauca para la época lluviosa 2013 y seca 2014. El recuadro naranja indica las estaciones de carácter dulceacuícola, el verde las estaciones de carácter estuarino y el azul las de carácter marino

Los valores de pH en las estaciones marinas y estuarinas estuvieron entre 7,3 y 8,4 y las de carácter dulceacuícolas estuvieron entre 6,5 y 8,6, en ambos tipos de aguas los niveles de pH se encontraron dentro de los límites de calidad permisibles para la conservación de flora y fauna según la legislación colombiana (para aguas marinas y estuarinas el rango de pH es de 6,5 a 8,5 y para aguas dulces es de 4,5 a 9,0; [Minsalud, 1984](#)). La temperatura del agua superficial fluctuó entre 25,0 y 29,3 °C, siendo ligeramente más cálidas en época seca en comparación con la época lluviosa.

El oxígeno disuelto (OD) en las estaciones marinas y estuarinas varió entre 5,1 y 8,5 mg/L presentando los valores más altos en la época de lluvias en las estaciones marinas (7,9 -8,5 mg/L), mientras que los valores más bajos estuvieron en las estaciones de los ríos (5,1 – 7,8 mg/L) en la misma época; es importante señalar que la calidad del agua en el departamento del Cauca con relación a las concentraciones de OD fue buena, pues en todas las estaciones se encontraron valores por encima de 4,0 mg/L, valor mínimo de calidad indicado en la legislación colombiana ([Minsalud, 1984](#)).

Nutrientes

Se evaluaron las concentraciones de tres especies nitrogenadas y el fósforo como fosfato (P-PO₄). Los nitritos oscilaron en un rango entre 5,6 µg/L y 1,2 µg/L en la época lluviosa de 2013 y entre 8,3 µg/L a por debajo del límite de detección (0,7 µg/L) en la época seca de 2014 sin mayores variaciones entre épocas, excepto en los frentes de los ríos Guajui y Guapi boyá. Los nitratos fluctuaron entre 76,1 µg/L (río Timbiquí) y menor al límite de detección del método (2,1 µg/L), mostrando los nitratos más bajos durante la época lluviosa de 2013 contrastado con la seca de 2014 (Figura 6.3.3), especialmente en las estaciones de los ríos Guajui y Micay (67,2 µg/L y 76,1 µg/L, respectivamente). Estos resultados no presentan riesgos ecológicos según la referencia de México de 500 µg/L (SEDUE, 1989).

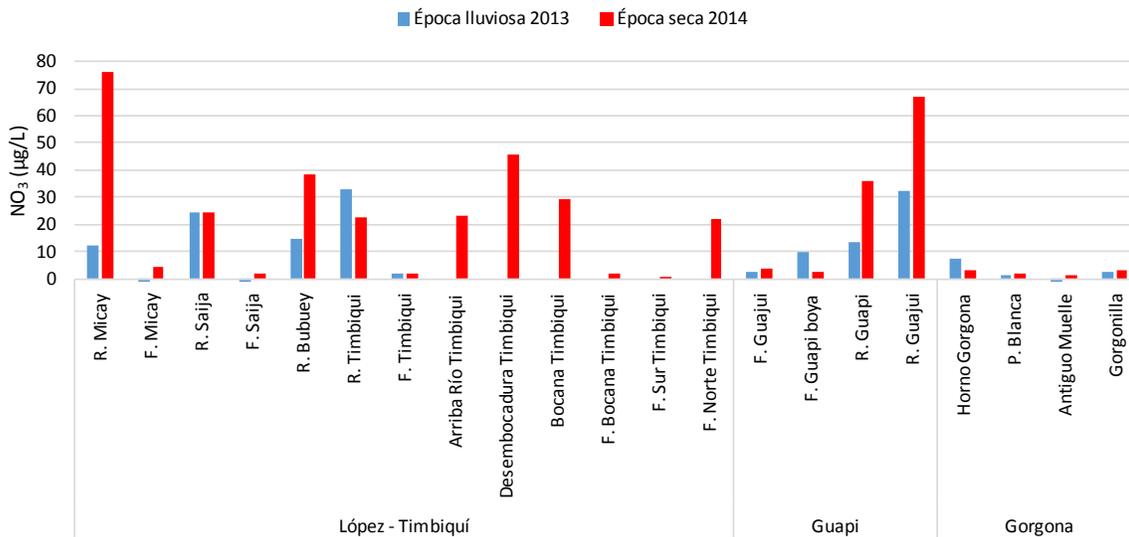


Figura 6.3.3. Concentraciones de Nitrato (NO₃⁻) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Cauca para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El amonio osciló entre 63,1 µg/L (río Bubuey) y menor al límite de detección del método utilizado (2,57 µg/L; Figura 6.3.4), con valores que se encontraron dentro del rango histórico del monitoreo REDCAM (Figura 6.3.5). Las concentraciones en la época seca fueron considerablemente más altas que en la época de lluvias, especialmente los ríos Bubuey y Guajui, lo cual puede atribuirse a los aportes de fertilizantes y las descargas de aguas residuales domésticas en las cuencas de estos ríos.

Los resultados de los fosfatos no mostraron una marcada diferencia entre épocas climáticas. En la época de lluvias (2013) la mayor concentración se presentó en el río Saija (7,33 µg/L), mientras que en la época seca (2014) la estación frente al norte de la bocana de Timbiquí (9,7 µg/L) obtuvo los fosfatos más altos; concentraciones que pueden estar asociadas a las descargas de aguas servidas provenientes de las poblaciones ubicadas en cercanías de los ríos.

Comparando los resultados de estos nutrientes con el monitoreo de la REDCAM mostraron que permanecen dentro de los rangos históricos 2001 a 2013, y los valores altos están relacionados con las precipitaciones en épocas de lluvias, escorrentías agrícolas y los aportes de aguas residuales de la población.

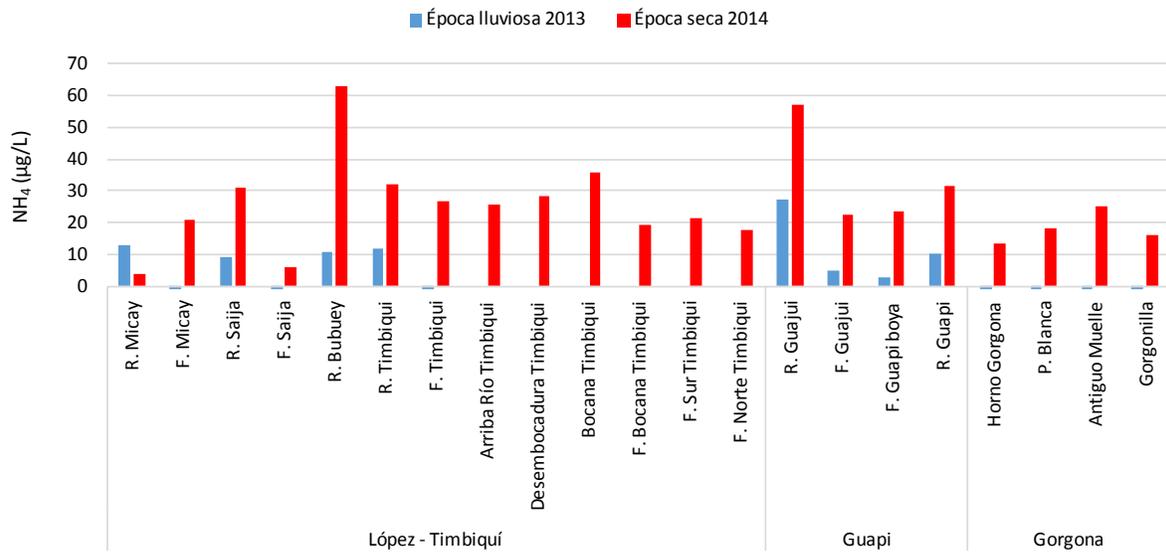


Figura 6.3.4. Concentraciones de Amonio (NH_4^+) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Cauca para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

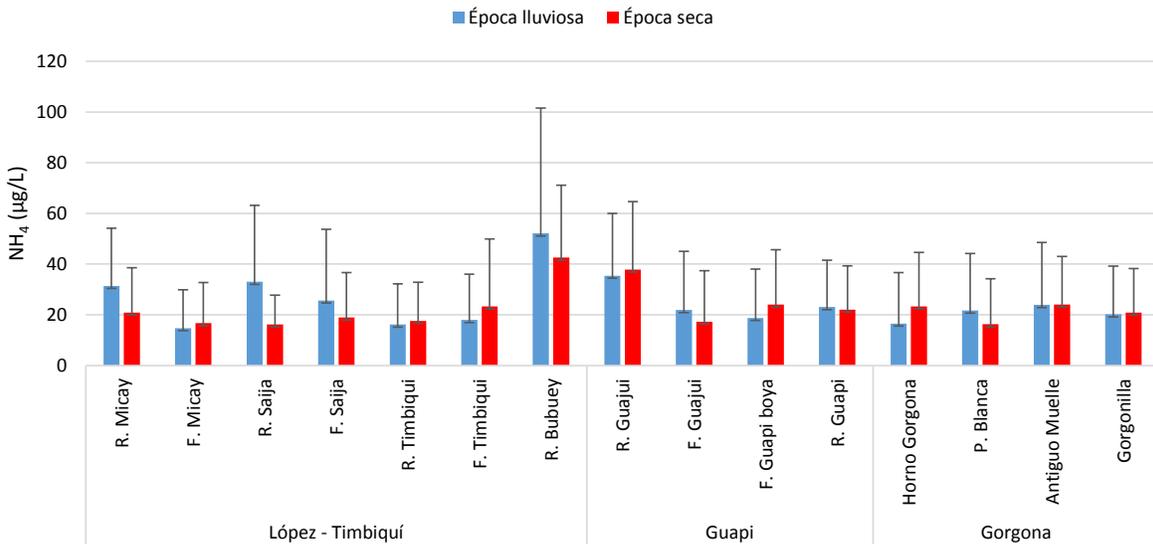


Figura 6.3.5. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Amonio (NH_4^+) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Cauca. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

6.3.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

La calidad microbiológica se determinó a través de las mediciones de los indicadores de contaminación fecal, como lo son los Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE). Con respecto a los CTT, se registraron valores entre 1,8 y 66.000 NMP/ 100 mL, encontrándose concentraciones por encima del criterio de calidad para el uso del recurso hídrico por contacto primario (1.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)) en la mayoría de las estaciones principalmente en época seca (Figura 6.3.6), siendo las estaciones de los ríos los que presentaron los valores más altos, sobrepasando el criterio de calidad para contacto secundario (5.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)) como en el caso de los ríos Bubuey (14.000 NMP/100 mL), Timbiquí (66.000 NMP/100 mL) y Guapi (64.000 NMP/100 mL), donde se localizan asentamientos humanos en sus riberas, los cuales vierten sus residuos líquidos domésticos directamente a estos cuerpos de agua.

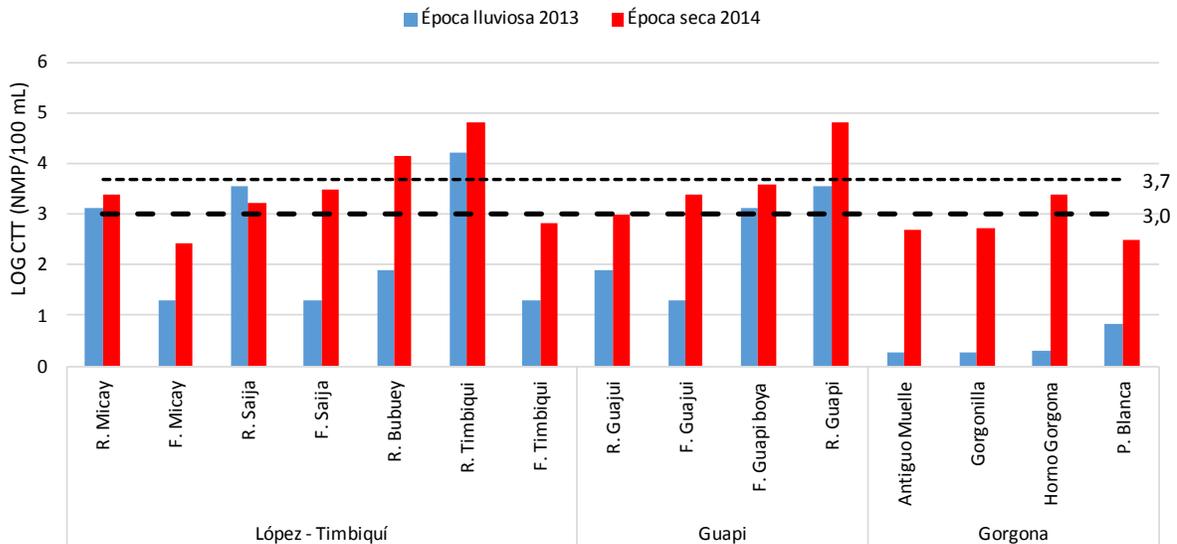


Figura 6.3.6 Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Cauca para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Históricamente las concentraciones de CTT han sido muy elevadas en los principales ríos del departamento, donde se han registrado valores que sobrepasan los criterios de calidad para el uso del agua por contacto secundario y primario (Figura 6.3.7; [MinSalud, 1984](#)). La prevalencia de incumplimiento ha variado entre el 35 y 70 % durante las épocas secas desde el 2001 al 2014, encontrándose los mayores porcentajes en los ríos Timbiquí (70 %), Saija (64 %), Micay (64 %), Guapi (55 %), Bubuey (50 %) y Guajui (36 %). Durante las épocas lluviosas la prevalencia de incumplimiento es muy baja, conservándose valores por encima del criterio calidad para el contacto primario, con porcentajes de incumpliendo muy altos en los ríos Saija (100 %), Micay (92 %), Timbiquí (92 %), Guapi (92 %), Bubuey (78 %) y Guajui (77 %).

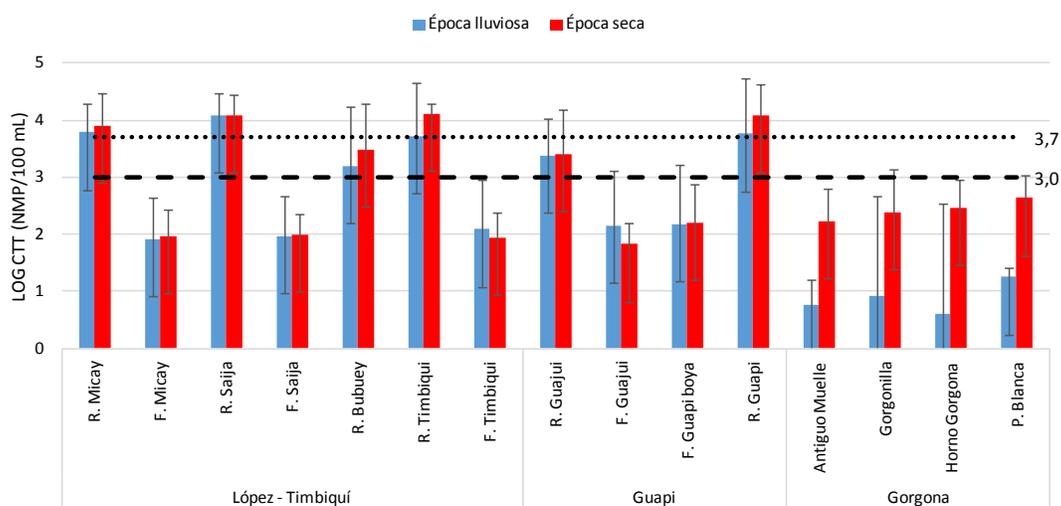


Figura 6.3.7 Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Cauca. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Los CTE se encontraron en concentraciones que oscilaron entre 1,8 y 5.400 NMP/100 mL, y al igual que los CTT los valores más elevados se registraron en los principales ríos, los cuales se encontraron por encima del criterio de calidad para el uso del agua por contacto primario (<200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)), destacándose los ríos Timbiquí, Guapi y Micay donde las concentraciones se mantuvieron altas en ambas épocas climáticas (Figura 6.3.8).

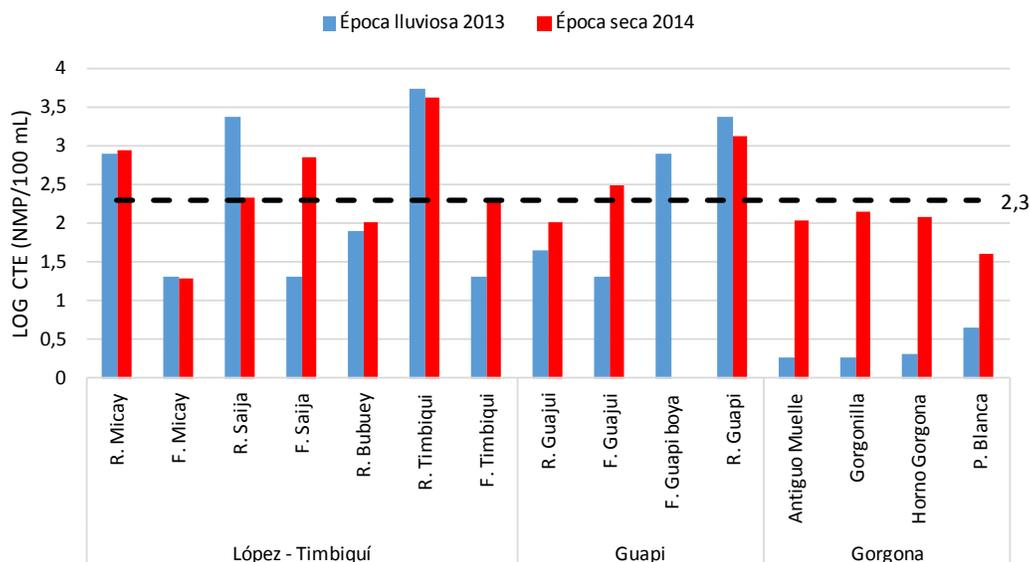


Figura 6.3.8 Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) en las estaciones medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Cauca para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. La línea discontinua de 2,3 corresponde al Log 200 NMP/ 100 mL del límite permisible para contacto primario según [MinSalud \(1984\)](#).

Con respecto a la calidad microbiológica de las playas turísticas del departamento, puntualmente en las islas Gorgona y Gorgonilla, durante el periodo de lluvias 2013 y seca 2014 se encontraron buenas condiciones de calidad, debido a que las estaciones no superaron el criterio de calidad para uso recreativo con contacto primario en termino de las concentraciones de CTE (Tabla 6.3.2; [MinSalud, 1984](#)), por lo que son lugares aptos para desarrollar actividades recreativas como la práctica de buceo y natación. Los EFE en las playas se encontraron valores menores que 2,0 UFC/100 mL, lo que indicaría porcentajes muy bajos de riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales (<1 %) y respiratoria febril aguda (<0,3%) clasificando en la categoría A según los valores guía de la Organización Mundial de la Salud ([OMS, 2003](#)). Los casos de incumplimientos solo se han presentado en la estación Gorgonilla con un porcentaje del 20 %.

Tabla 6.3.2 Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en los sitios de muestreo de la Isla Gorgona, en la época lluviosa de 2013 y seca de 2014. Los valores de referencia utilizados para el análisis son el Decreto 1594 de 1984 para coliformes termotolerantes (<200 NMP/100 mL) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para Enterococos (<40 UFC/100 mL).

Zona	Estación	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)						Enterococos (UFC/100 mL)					
		Época lluviosa			Época seca			Época lluviosa			Época seca		
		2013	% casos*	n	2014	% casos*	n	2013	% casos**	n	2014	% casos**	n
Gorgona	Antiguo Muelle	1,8	0	6	110	0	5	<LD	0	5	<LD	14	7
	Gorgonilla	1,8	0	5	140	0	5	<LD	20	5	<LD	0	7
	Horno Gorgona	2	0	5	120	20	5	<LD	0	5	<LD	0	7
	P. Blanca	4,5	17	6	39	0	5	<LD	0	5	<LD	0	7

<LD= Valor por debajo del Límite de Detección (<1 UFC/100 mL).

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2001-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario <200 NMP/100 mL ([MinSalud, 1984](#)).

**Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2006-2014) en donde se presentaron valores por encima de la guía internacional según la Organización Mundial para la Salud para aguas de uso recreativo de contacto primario ([OMS, 2003](#)).

6.3.1.3 HIDROCARBUROS

Las concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos y Totales – HAT, en el período 2013 lluvias y 2014 seca no superaron el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la [Unesco \(1984\)](#) para aguas no contaminadas. Los valores oscilaron en un rango entre menores al límite de detección de la técnica aplicada (0,07 µg/L) y 9,36 µg/L, y no se presentó una tendencia temporal o espacial clara (Figura 6.3.9).

Durante la época lluviosa de 2013 se encontraron las mayores concentraciones de HAT, en las estaciones ubicadas en el río Timbiquí (9,36 µg/L) y frente al río Guajui (3,09 µg/L), mientras que en la época seca de 2014, los valores más altos se registraron en las estaciones frente al río Saija (7,53 µg/L) y horno Gorgona (7,50 µg/L; Figura 6.3.9), aunque estas concentraciones no superen la referencia, deben prestarse atención por los efectos adversos que puede generar en la biota acuática. Estas concentraciones detectadas en el agua posiblemente están asociadas a la venta inadecuada de combustibles en las zonas ribereñas, transporte marítimo, turismo, descarga directa de aguas residuales domésticas, aguas de sentina y residuos oleosos de aceites de motor, actividades que cotidianamente se realizan en estas zonas.

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 $\mu\text{g/L}$) y Guajui (19,10 $\mu\text{g/L}$), y frente a los mismos (Guajui: 19,60 $\mu\text{g/L}$; Guapi: 10,30 $\mu\text{g/L}$). Así mismo, el análisis de los registros históricos del período 2001 - 2014, mostró que los promedios más altos se han presentado en la época seca, en estas mismas estaciones (Figura 6.3.10).

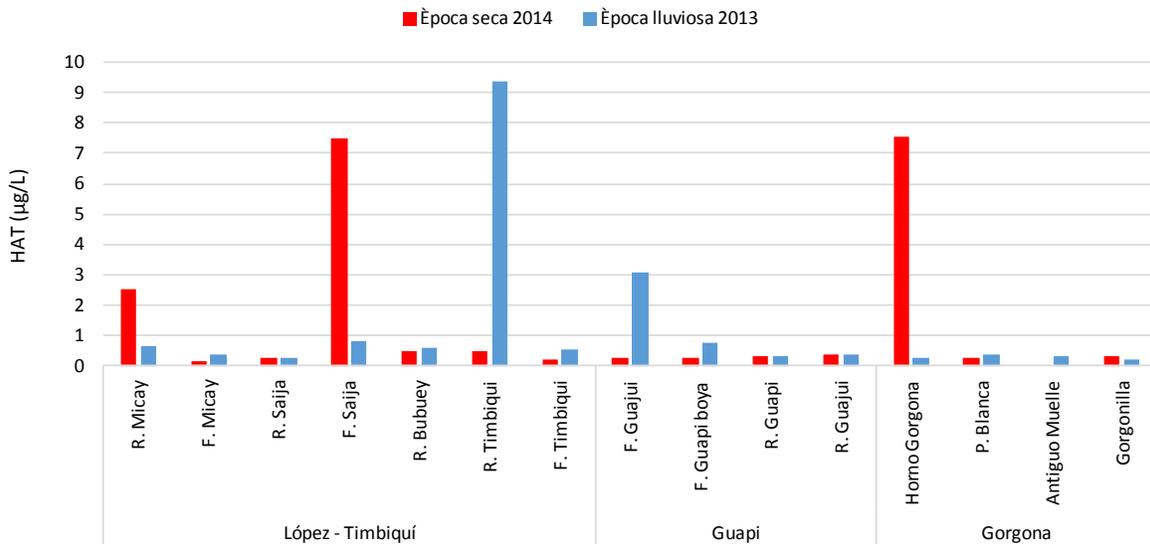


Figura 6.3.9. Concentraciones de Hidrocarburos Aromático Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Cauca para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

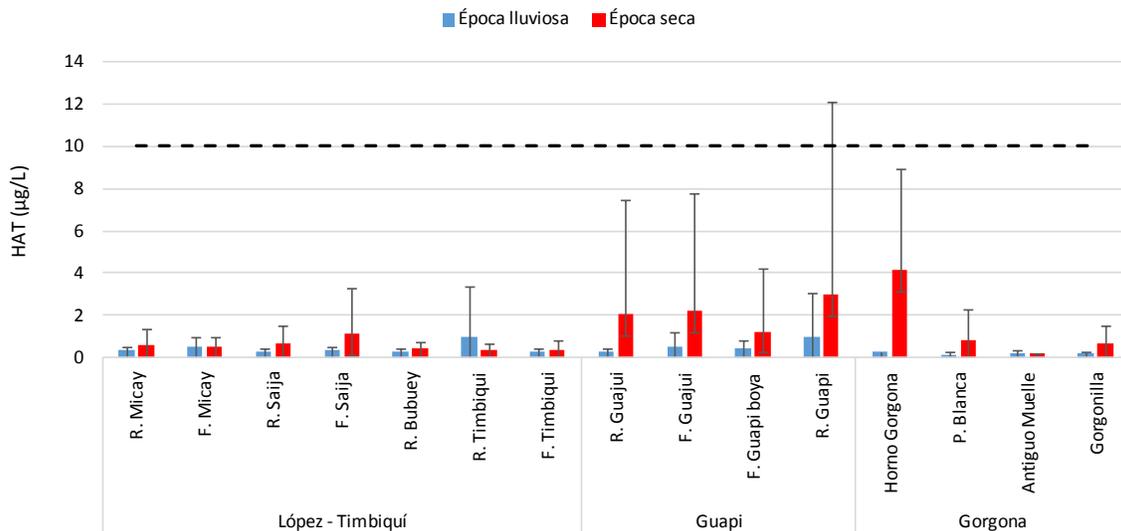


Figura 6.3.10 Promedio histórico (2001 - 2014) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Atlántico. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea discontinua de 10 $\mu\text{g/L}$ corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según [Unesco \(1984\)](#).

6.3.1.4 PLAGUICIDAS

Los registros históricos de las concentraciones de compuestos Organoclorados (OC) han mostrado variaciones que se relacionan con los cambios de 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 2014), que permitió determinar nuevos analitos a partir del 2010. En el 2001 y el 2008 se registró presencia de OC, encontrándose el valor más alto en la zona costera de Guapi (94 ng/L) en el año 2001, sobrepasando el valor de referencia para plaguicidas (30 ng/L; EPA, 1999; Figura 6.3.11a); valor que podrían considerarse elevados si se tiene en cuenta el bajo desarrollo agrícola y los pocos habitantes en esta zona costera del departamento (Vivas-Aguas *et al.*, 2010).

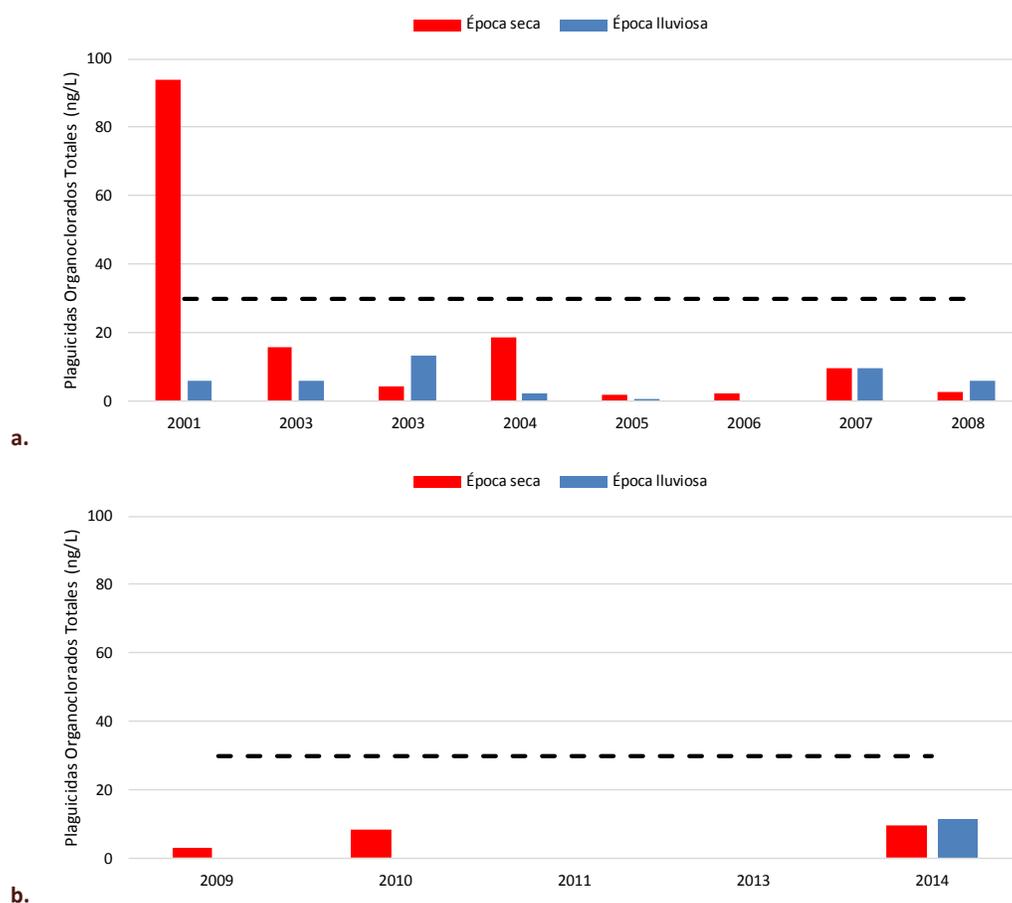


Figura 6.3.11. Concentración de plaguicidas en aguas superficiales del departamento del Cauca; a) valores registrados antes de la implementación de nuevos equipos y técnicas analíticas (2001-2008); b) valores registrados después de la implementación de nuevas técnicas analíticas (2008-2014). La línea discontinua de 30 ng/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según EPA (2009).

En el 2009 y el 2010 se continuó registrando presencia de OC en bajas concentraciones en el río Guapi (3,1 ng/L) en el 2009, playa Blanca (8,08 ng/L) y frente al río Micay (6,07 ng/L) en el 2010. En los años 2011 y 2013 no se registró presencia de OC debido a que los resultados estuvieron por debajo del límite de detección (6,0 ng/L; Figura 6.3.11b). Durante el último periodo de evaluación nuevamente se detectó la presencia de dichos residuos en los ríos Guapi (11,2 ng/L) y Timbiquí (9,4 ng/L); así como en sus frentes (Guapi 9,5 ng/L) y (Timbiquí 10,0 ng/L). Dichas concentraciones de OC son causadas

posiblemente por sustancias que entraron al agua producto actividades diferentes a la agricultura como las campañas para el control de vectores transmisores de enfermedades infecciosas, la inmunización de la madera, o la implantación de cultivos ilícitos. Las variaciones espaciales y temporales en la presencia de trazas de OC permiten suponer que se están drenando sustancias aplicadas tiempo atrás y que aún están en el medio acuático debido a su persistencia.

El monitoreo de plaguicidas de uso actual, entre las cuales están el diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenamifos, Cis y Trans-permetrina ha mostrado que de estas nuevas moléculas, sólo se ha detectado en el agua la permetrina en el 2010 en la estación playa Blanca (19 ng/L) ubicada en la isla Gorgona, probablemente debido a su amplio uso como insecticida doméstico, valor que superó el nivel de referencia determinado por la NOAA de 1 ng/L para efectos crónicos en agua marina ([Buchman, 2008](#)), por lo cual es necesario mantener la vigilancia sobre estas sustancias que son de uso más generalizado.

6.3.1.5 METALES PESADOS

Teniendo en cuenta la importante influencia de las actividades de explotación minera (extracción de oro) llevadas a cabo en las cuencas de los ríos Timbiquí, Bubuey, Saija y Micay, además del inadecuado manejo de las aguas servidas de los municipios aledaños a las cuencas de los ríos principales y la disposición de los residuos sólidos, que puede estar relacionado con aporte de metales pesados a las aguas marinas del departamento ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)), se presentan los resultados del análisis de Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Hierro (Fe) en aguas superficiales marinas y costeras del departamento del Cauca. Entre el período lluvioso de 2013 y seco de 2014, los niveles de Plomo, Cadmio y Cromo estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (3,1 µg/L, 0,42 µg/L y 0,97 µg/L, respectivamente).

El Cobre en ambas épocas presentó una concentración máxima de 3,5 µg/L en el río Timbiquí, valor que no superó el nivel de riesgo para efectos agudos en aguas marinas reportado en la guía de la NOAA (4,8 µg/L, [Buchman, 2008](#)). El Zinc y el Níquel registraron concentraciones máximas de 12,2 µg/L y 5,4 µg/L en época lluviosa de 2013 y valores máximos de 44,9 µg/L y 2,1 µg/L en época seca de 2014, respectivamente. En todos los casos, los niveles de esos metales estuvieron por debajo del valor máximo permisible para efectos agudos en aguas marinas (Zn: 90,0 µg/L; Ni: 74 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

El Hierro fue el metal con mayor presencia en los sitios de muestreo, con rangos que oscilaron entre 10,3 y 1.609,6 µg/L en época lluviosa de 2013 y entre 5,6 y 329,6 µg/L en época seca de 2014, pero estas concentraciones de Hierro en aguas costeras no superaron el valor de riesgo para efectos agudos establecido en la guía internacional de la NOAA (300 µg/L, [Buchman, 2008](#)). En el caso del Plomo la tendencia desde el año 2001 hasta la fecha ha sido decreciente, registrando concentraciones por debajo del límite de detección en los últimos dos monitoreos.

La zona con menor influencia por metales pesados es la Isla Gorgona, la cual presentó niveles de Pb, Cd, Cr, Cu Zn y Ni por debajo del límite de detección de la técnica en el período actual de monitoreo, al igual que en el monitoreo de época lluviosa de 2012 y seca de 2013, probablemente por su distancia de la zona continental y por ser un área protegida, es impactada en menor proporción por las actividades antropogénicas.

6.3.1.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

Los resultados del índice de calidad de aguas, mostraron condiciones adecuadas del agua para la preservación de flora y fauna en la época lluviosa de 2013 en todas las estaciones (Figura 6.3.12), mientras que en la época seca de 2014 las características variaron un poco, como la estación de Guapi Boya que presentó una condición óptima del agua y el frente del río Saija, que obtuvo calidad aceptable, ocasionado por las concentraciones de CTE (720 NMP/100 mL) mayor a la normatividad colombiana, y de hidrocarburos (7,20 µg/L; Figura 6.3.12).

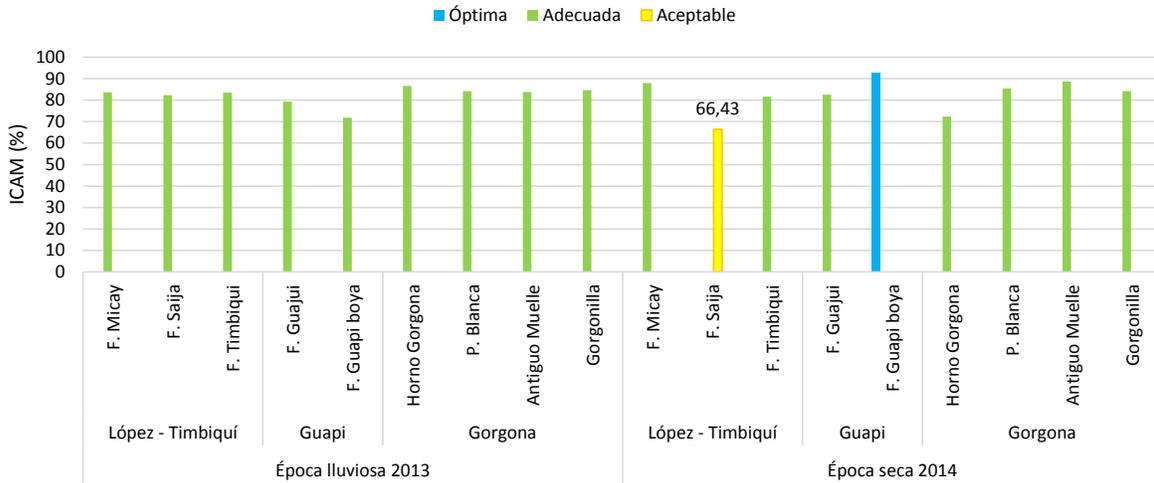


Figura 6.3.12. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), para la época lluviosa año 2013 y época seca 2014, en las estaciones en el departamento de Cauca.

6.3.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

6.3.2.1 METALES PESADOS

La amplia actividad minera que se desarrolla en la cuenca media del río Timbiquí, genera un riesgo potencial para la vida acuática no sólo por el aporte de Mercurio (Hg), sino también por otros metales pesados, que son liberados por procesos erosivos propios de esta actividad. En el presente informe se analizó la concentración de los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Níquel (Ni) en los sedimentos tomados en la desembocadura del río Timbiquí durante la época seca y lluviosa de 2014.

Las concentraciones de Pb, Cu y Ni registraron valores mayores en la época seca (Figura 6.3.13), mientras que en la época lluviosa los metales Cr y el Zn se destacaron por presentar los valores más altos. Los metales Pb, Cr, Cu y Zn estuvieron por debajo del valor crítico estipulado por la NOAA para el cual es muy probable que ocurran efectos negativos en la vida acuática (PEL: Probable Effect Level; Pb=112 µg/g; Cr=160 µg/g; Cu=108 µg/g; Zn=271 µg/g). Sin embargo, el Ni en ambas épocas del año sobrepasó el valor guía para aguas marinas (Ni=42,8 µg/g; [Buchman, 2008](#)). Por otro lado, el Cd estuvo por debajo de límite de detección de la técnica analítica (0,5 µg/g) en ambas épocas climática, mientras que las concentraciones de Fe no presentaron diferencias significativas entre épocas (p>0,05).

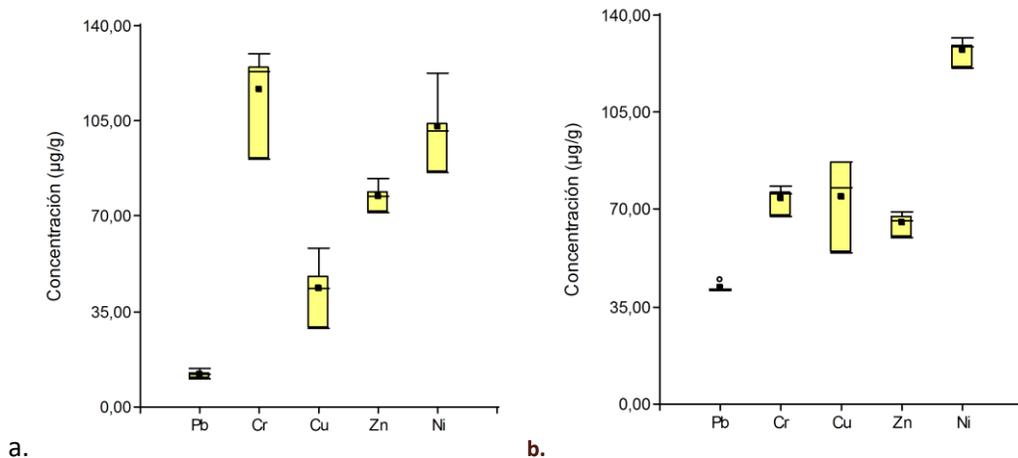


Figura 6.3.13. Variación de la concentración de metales Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Cinc (Zn) y Níquel (Ni) en la a) época seca y b) época lluviosa del año 2014 en la desembocadura del río Timbiquí.

6.3.3 MONITOREO DE MERCURIO Y CIANURO EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO TIMBIQUÍ, DEPARTAMENTO DEL CAUCA

La cuenca baja del río Timbiquí así como la mayoría de las cuencas bajas de los ríos del país, se encuentra sometida a un sinnúmero de impactos de origen antropogénico, entre ellas las descargas de desechos líquidos y sólidos transportadas por los ríos y las escorrentías, quema de los combustibles fósiles y residuos, desarrollo industrial y urbano, disposición inadecuada de desechos, ganadería, agricultura y minería, entre otras actividades económicas, que ocasionan cambios en el litoral y en los ecosistemas.

Unas de las actividades socioeconómicas que en los últimos años ha despertado mayor interés en el departamento del Cauca, se encuentra relacionada con la explotación aurífera en la cual se utiliza mercurio, considerado uno de los metales con mayor efecto adverso en los ecosistemas acuáticos debido a su potencial de acumulación en los organismos ([Lacerda y Solomons, 1998](#)) y en los sedimentos ([Shi et al., 2005](#)) y su potencial de magnificación en la cadena alimenticia acuática, afectando la integridad de los ecosistemas y la salud del hombre ([Falandysz, 2002](#); [Tarras-Wahlberg et al., 2001](#); [Sato, 2000](#); [Shenker et al., 1998](#)).

Además del uso de mercurio para extraer oro, se ha venido empleando como método alternativo compuestos de cianuro, debido a la capacidad de estos compuestos para formar una doble sal estable soluble en agua ($\text{KAu}(\text{CN})_2$), el proceso se lleva a cabo por una reacción entre el oro y el cianuro de potasio en presencia de oxígeno. Este método genera impactos en los ecosistemas, ya que los compuestos de cianuro son altamente tóxicos ([Logsdon et al., 2001](#); [Fernández, 2007](#)).

Con el propósito de establecer el posible impacto de las actividades de explotación aurífera sobre la zona costera del departamento del Cauca, en las cuales se utiliza mercurio o compuestos de cianuro, se llevó a cabo un monitoreo de aguas, sedimentos y moluscos. Los sedimentos son excelentes indicadores del grado de contaminación para un área, teniendo en cuenta que los contaminantes

orgánicos persistentes (incluyendo el mercurio que tiene la capacidad de transformarse en formas orgánicas) se absorben sobre el material en suspensión, que tienden a sedimentarse y finalmente se depositan en los sedimentos superficiales ([Pascoe et al., 2002](#); [Casanova et al., 2006](#); [Kadiri et al., 2011](#); [Pazi, 2011](#)). Los moluscos se utilizaron debido a que tienen la capacidad de acumular contaminantes y transferirlos a la cadena alimenticia, incluyendo a la población humana, lo que puede ocasionar en algunos casos enfermedades por la ingesta de estos organismos.

Para el presente estudio, se trabajó con ejemplares de pateburro (*Melongena patula*), piacuil (*Littorina sp*) y piangua (*Anadara sp*), esta última es un bivalvo que se encuentra ligada al consumo tradicional de las comunidades afrodescendientes que se asientan en las márgenes de los manglares y como recurso es la base de la pesquería de moluscos, constituyéndose en una importante especie comercial en la costa Pacífica colombiana ([Squires et al., 1975](#); [Betancourt y Cantera 1978](#); [Cantera y Contreras 1978](#); [Espinosa et al., 2010](#); [Gil-Agudelo et al., 2011](#)). Teniendo en cuenta la importancia pesquera, comercial y social del recurso ([Cruz y Borda, 2003](#)) es trascendental conocer el impacto de las actividades auríferas en la calidad de las pianguas que se consumen y se comercializan en el departamento del Cauca. En cuanto a la especie *Melongena*, existen pocos estudios sobre su biología, así como de su biología pesquera y dinámica poblacional, debido a que es una especie no comercial. Aunque es poco explotada, se analizó en este estudio debido a que es empleada por las comunidades para autoconsumo.

6.3.3.1 OBJETIVO

Evaluar los niveles de cianuro en agua y de mercurio en sedimentos y en moluscos (*Anadara sp* y *Melongena patula*) y determinar si los niveles de cianuro son tóxicos para los organismos que allí habitan y si los organismos analizados acumulan mercurio en niveles que representen un riesgo para sus consumidores.

6.3.3.2 METODOLOGÍA

Salida de campo

Se realizaron dos salidas de campo correspondientes a las épocas seca (10 de abril) y lluviosa (2 de octubre) de 2014, para realizar la toma de las muestras de agua, sedimento y organismos en estaciones ubicadas en la cuenca baja del río Timbiquí (Figura 6.3.14). Cabe destacar que en el segundo muestreo se adicionaron dos estaciones subiendo la cuenca, para tomar muestras de sedimento, considerando que en el primer muestreo se obtuvieron concentraciones relativamente bajas de mercurio, y para corroborar la presencia y relación de mercurio con la escorrentía de la cuenca alta del río Timbiquí (Tabla 6.3.3).

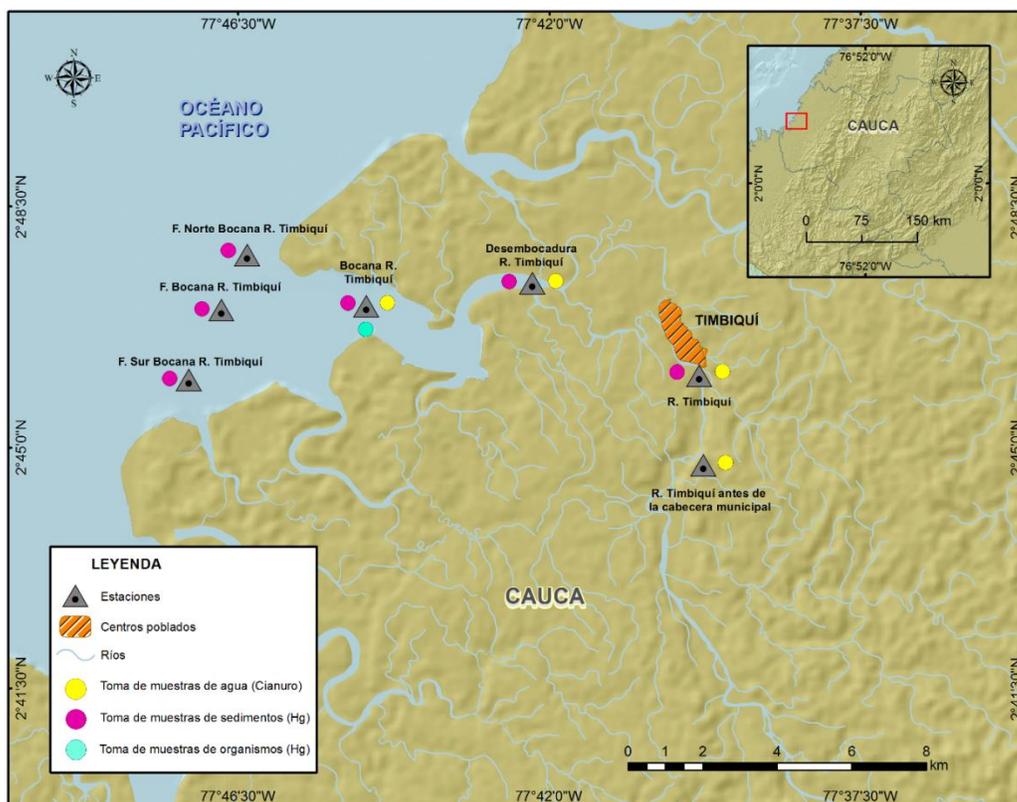


Figura 6.3.14. Estaciones del monitoreo de mercurio y cianuro en la cuenca baja del río Timbiquí, departamento del Cauca. Los círculos amarillos representan estaciones donde se colectaron muestras de agua para análisis de cianuro, en los círculos fucsia se colectaron muestras de sedimento para análisis de mercurio y en el círculo azul se colectaron muestras de organismos para análisis de mercurio.

Tabla 6.3.3. Variables monitoreadas en aguas, sedimentos y organismos, en las estaciones de muestreo en la cuenca baja del río Timbiquí.

Estaciones	Agua	Mercurio	
	Cianuro	Sedimento	Organismo
Río Timbiquí antes de la cabecera municipal	X		
Río Timbiquí	X	X*	
Desembocadura Río Timbiquí	X	X*	
Bocana Río Timbiquí	X	X	X
Frente Bocana Río Timbiquí		X	
Frente sur Bocana Río Timbiquí		X	
Frente norte Bocana Río. Timbiquí		X	

*Estaciones adicionales de las comprometidas en el convenio

Las colectas de los especímenes de piangua (*Anadara sp*), pateburro (*Melongena patula*) y piacuil (*Littorina sp*) fueron realizadas por piangueras mediante la técnica manual tradicional durante la marea baja. En la Tabla 6.3.4 se describe la cantidad de individuos por especie colectados en cada una de las salidas de campo. Las muestras de agua fueron colectadas en recipientes plásticos, mientras que las muestras de sedimento y organismos fueron almacenados en bolsas plásticas de sello hermético. Tanto los frascos como las bolsas fueron rotulados y refrigerados en neveras para el transporte al Laboratorio de Calidad Ambiental - LABCAM del INVEMAR.

Tabla 6.3.4. Número de individuos de cada especie colectados en la bocana del río Timbiquí, departamento de Cauca durante la época seca y lluviosa de 2014.

Especie	Época seca	Época lluviosa
<i>Anadara sp</i>	90	90
<i>Melongena patula</i>	28	15
<i>Littorina sp</i>	58	-

Análisis de laboratorio

Para el procedimiento de análisis de Mercurio (Hg) en sedimentos y organismos se tuvo en cuenta el método EPA-7473 (EPA, 2007). Las muestras de sedimentos fueron secadas separadamente en un horno a 60°C y posteriormente homogenizadas hasta obtener un polvo fino.

Los organismos (piangua y pateburro), se midieron con un calibrador Stainless Hardened de 0,01 mm de precisión, se pesaron en una balanza analítica Mettler PJ 3600 de $\pm 0,01$ g de precisión y se clasificaron por tallas. La extracción de los metales se realizó en la masa visceral, previamente cortados en pequeñas porciones y homogenizadas sin necesidad de ser secadas.

Las muestras (sedimentos y organismos) fueron medidas en un Analizador Directo de Mercurio (Milestone, DMA-80) a una longitud de onda de 253,7 nm como una función de la concentración de Hg.

La determinación de Cianuro total (CN), fue subcontratada con el Laboratorio SGS de Barranquilla, quienes usaron el método ASTM D7511-09. El análisis se realizó por inyección en flujo segmentado, digestión ultravioleta en línea y detección amperométrica.

Análisis de la información

Para el análisis de los datos se aplicó estadística descriptiva, usando tablas y gráficos para la interpretación de los resultados. Los resultados fueron comparados con los valores de referencia propuestos por la NOAA para efectos biológicos adversos TEL (por sus siglas en inglés, Threshold Effect Limit) que es el valor por encima del cual se pueden observar efectos negativos en organismos evaluados mediante bioensayos (Buchman, 2008).

Se realizó un análisis de varianza de las concentraciones obtenidas de mercurio en sedimentos para las épocas seca y lluviosa de 2014, con el fin de evaluar la existencia de diferencias temporales.

6.3.3.3 RESULTADOS

Contenido de Mercurio en sedimentos

Las concentraciones de Hg en los sedimentos colectados en ambas épocas (seca y lluviosa de 2014), estuvieron por debajo del valor de referencia TEL (130 ng.g⁻¹) reportado por la NOAA (Buchman, 2008; Figura 6.3.15). Si bien los niveles de Hg encontrados en esta parte de la cuenca fueron bajos y no representan un riesgo alto de contaminación, es recomendable adicionar nuevos puntos más arriba en la cuenca, dada la presencia de este metal en el medio.

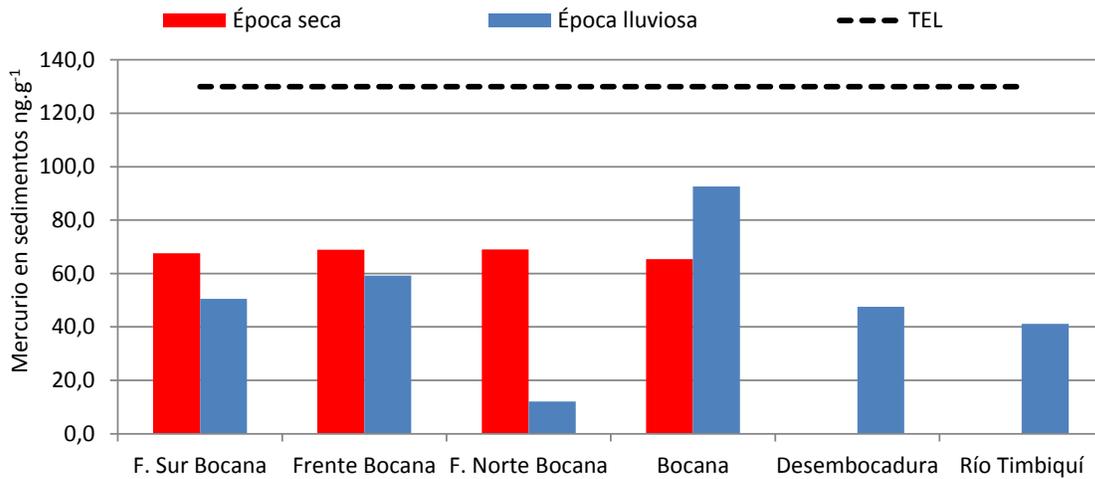


Figura 6.3.15. Concentraciones de mercurio medidas en sedimentos en las estaciones de la cuenca baja del río Timbiquí, durante la época seca y lluviosa de 2014. La línea punteada representa el valor de referencia TEL (130,0 ng.g⁻¹; Buchman, 2008).

Como se mencionó previamente, en la época seca no estaba contemplada la toma de muestras en las estaciones del río Timbiquí y su desembocadura, por tanto solo hay resultados de estos sitios en la época de lluvias.

Los resultados de mercurio entre las épocas seca y lluviosa de 2014 no presentaron diferencias ($p > 0,05$), lo cual permite suponer que los cambios de temporalidad no influyeron en la variación de las concentraciones de este metal en los sedimentos colectados, ya que oscilaron entre 12,0 y 92,6 ng.g⁻¹ (Figura 6.3.15).

Cabe resaltar que en la época lluviosa, se registró la mayor concentración (92,6 ng.g⁻¹) en la bocana del río Timbiquí, lo cual indica que la bocana del río, posiblemente actúa como un reservorio de este metal, y probablemente sea un punto crítico para los organismos bentónicos como poliquetos o crustáceos que habitan en esta zona. En este caso se podría recomendar en un futuro muestreo incluir organismos del bentos que sirvan como bioacumuladores y confirmen la presencia de mercurio en sus tejidos.

Contenido de Mercurio en organismos

En total se evaluaron 180 individuos de piangua (*Anadara sp.*). En la época seca se colectaron organismos desde los 10 mm en adelante, las tallas más representativas estuvieron entre los 31-40 mm y entre los 51-60 mm de longitud total (Figura 6.3.16). En la época lluviosa se colectaron individuos de mayor tamaño en comparación con la época seca (a partir de los 30 mm de longitud total), las tallas más representativas estuvieron entre los 41 y 50 mm de longitud total (Figura 6.3.16). Cabe destacar que aunque no es objeto del presente estudio, en las épocas seca y lluviosa de 2014 los organismos colectados estuvieron por debajo de la Talla Media de Captura establecida (TMC= 50 mm).

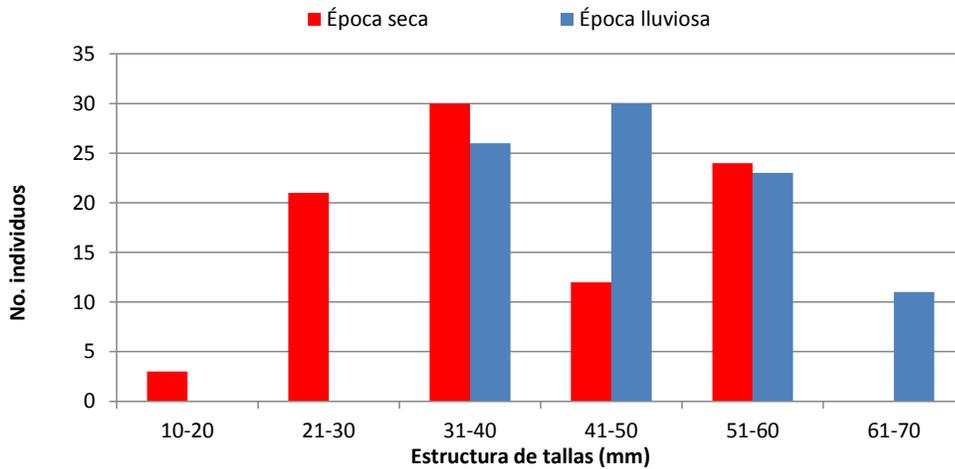


Figura 6.3.16. Frecuencia de tallas de *Anadara sp* colectadas en la Bocana del río Timbiquí, departamento del Cauca, durante la época seca y lluviosa de 2014.

Para el pateburro (*Melongena patula*) se analizaron 43 individuos. De esta especie se colectaron organismos desde los 70 mm en adelante en la época seca, las tallas más representativas estuvieron entre los 91-100 mm de longitud total. En la época lluviosa se colectaron organismos de mayor tamaño (a partir de los 80 mm de longitud total), las tallas más representativas estuvieron entre 101-110 y 111-120 mm de longitud total (Figura 6.3.17).

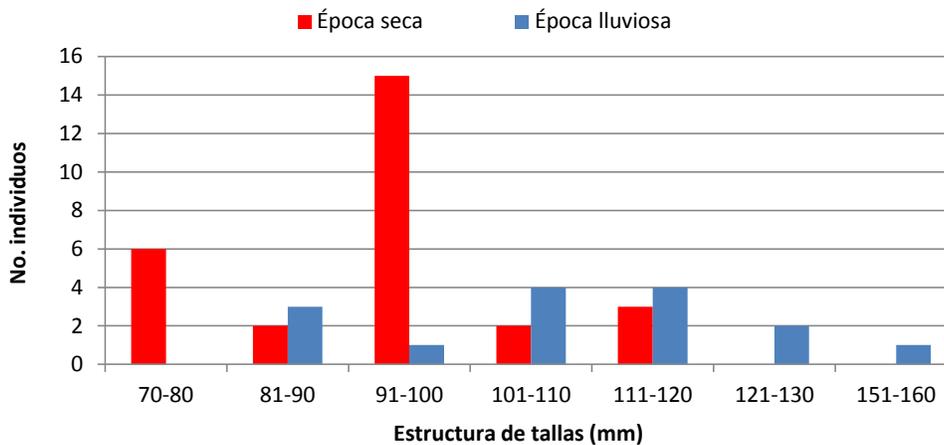


Figura 6.3.17. Frecuencia de tallas de *Melongena patula* colectadas en la Bocana del río Timbiquí, departamento de Cauca durante la época seca y lluviosa de 2014.

En el caso del piacuil (*Littorina sp*) solamente se colectaron 58 individuos en la época seca con tallas que oscilaron entre 15 y 25 mm de longitud total, por esto se consideró manejarlo como una sola muestra.

La separación por tallas en los organismos tenía como objetivo evaluar si había diferencias de bioacumulación del mercurio dependiendo de su tamaño (y en consecuencia de su edad). A cada clase de talla se les asignó un código numérico, siendo la talla 1 los organismos de mayor tamaño y las tallas 4 y 6 las de menor tamaño (Tabla 6.5 y Tabla 6.6) para realizar el análisis de mercurio en cada clase de talla.

Tabla 6.5. Clases de tallas para *Anadara sp* colectadas en la Bocana del río Timbiquí, departamento del Cauca durante la época seca y lluviosa de 2014.

Clase de talla	Época seca	Época lluviosa
1	50-60,9 mm	60-69,9 mm
2	30-49,9 mm	50-59,9 mm
3	10-29,9 mm	40-49,9 mm
4		30-39,9 mm

Tabla 6.6. Clases de tallas para *Melongena patula* colectadas en la Bocana del río Timbiquí, departamento del Cauca durante la época seca y lluviosa de 2014.

Clase de talla	Época seca	Época lluviosa
1	100- 109,9 mm	150-159,9 mm
2	90-99,9 mm	120-129,9 mm
3	70-89,9 mm	110-119,9 mm
4		100-109,9 mm
5		90-99,9 mm
6		80- 89,9 mm

Los resultados obtenidos de mercurio en los organismos mostraron que en el caso de *Anadara sp*, las mayores concentraciones se presentaron en las tallas más grandes (clases de tallas 1 y 2) tanto en la época seca (91,7 ng.g⁻¹ y 140,4 ng.g⁻¹), como en la época lluviosa (43,7 ng.g⁻¹ y 120,7 ng.g⁻¹), siendo mayores en la época seca (Figura 6.3.18), sin embargo, los las concentraciones no excedieron el nivel máximo establecido para el consumo humano (500 ng.g⁻¹ peso fresco; [Minsalud, 2012](#)).

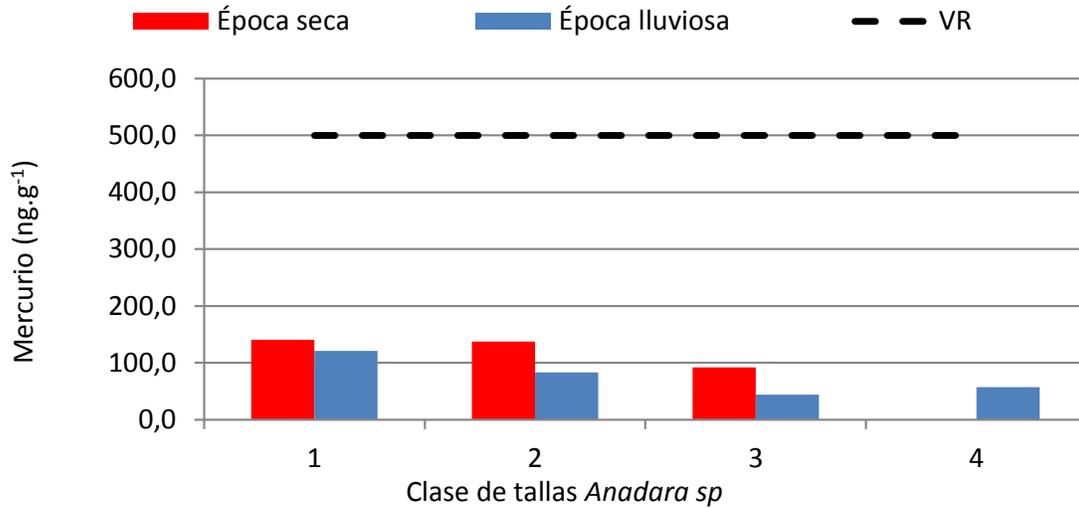


Figura 6.3.18. Acumulación de mercurio en tejidos de *Anadara sp* colectadas en la Bocana del río Timbiquí durante la época seca y lluviosa de 2014. La línea punteada representa el valor máximo de mercurio establecido para productos de la pesca para consumo humano (Minsalud, 2012). Las tallas se presentan en la Tabla 6.5.

En el caso de *Melongena patula*, igualmente las mayores concentraciones se encontraron en las clases de mayores tallas (organismos de la clase 1), tanto en la época seca (72,9 ng.g⁻¹ hasta 113,9 ng.g⁻¹), como en la lluviosa (19,0 ng.g⁻¹ - 27,9 ng.g⁻¹), siendo mayores en la época seca (Figura 6.3.19).

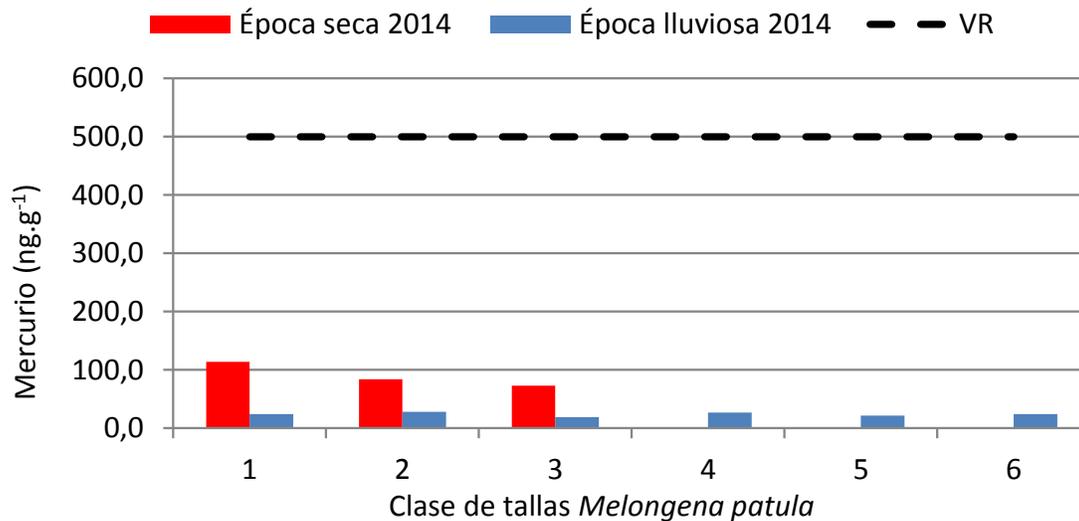


Figura 6.3.19. Acumulación de mercurio en tejidos de *Melongena patula* colectados en la Bocana del río Timbiquí durante la época seca y lluviosa de 2014. La línea punteada representa el valor máximo de mercurio establecido para productos de la pesca (Minsalud, 2012). Las tallas se presentan en la Tabla 6.6.

Estos resultados indican que para ambas especies el potencial de bioacumulación lo tienen los organismos de tallas superiores (clases de tallas 1 y 2). Cabe destacar que en el caso de *Anadara sp* para estas clases de tallas, las concentraciones de mercurio fueron más altas que en las muestras de sedimentos (65.4 ng.g^{-1} y 92.6 ng.g^{-1}) tanto en la época seca como en la de lluvia, lo cual indica que estos organismos tienen potencial de bioacumular este metal desde el sedimento. Sin embargo, los organismos analizados no excedieron el nivel máximo establecido para el consumo humano (500 ng.g^{-1} peso fresco; [Minsalud, 2012](#)).

Estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca ([Mora y Baena, 2013a](#); [Mora y Baena, 2013b](#)) confirman la bioacumulación en *Anadara sp* en la bahía de Buenaventura en la desembocadura de los ríos Dagua, Anchicayá, Potedó y Raposo, donde más del 50 % de los especímenes analizados excedieron el límite establecido por la legislación nacional para productos de la pesca de consumo humano.

Finalmente, la concentración de mercurio en los especímenes de la especie *Littorina sp* fue de $94,0 \text{ ng.g}^{-1}$, valor que no excede el nivel máximo establecido para el consumo humano (500 ng.g^{-1} peso fresco; [Minsalud, 2012](#)).

Los resultados indican que no existe riesgo de intoxicación por consumo de organismos en la zona de estudio, ya que ninguna de las especies analizadas superó el valor establecido para el consumo humano.

Contenido de Cianuro en aguas

En todas las muestras de agua recolectadas en estaciones ubicadas en la cuenca del río Timbiquí tanto en época seca como en época lluviosa, las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada ($<0,007 \text{ mg CN/L}$). Los valores de referencia propuesto por la NOAA para efectos agudos ($22,0 \text{ mg CN/L}$) y crónicos ($5,2 \text{ mg CN/L}$, [Buchman, 2008](#)), son muy superiores, por lo cual se considera que no hay riesgo de intoxicación para los organismos del área de estudio.

6.3.4 CONCLUSIONES

La calidad de las aguas del departamento del Cauca en la época lluviosa 2013 y seca 2014 mostró condiciones adecuadas en término de las variables fisicoquímicas pH y oxígeno disuelto ya que se encontraron dentro de los parámetros normales exigidos por la legislación colombiana, al igual que la temperatura, conductividad, turbidez y salinidad que registraron valores dentro de los rangos históricos de la REDCAM. En las estaciones de la isla Gorgona se presentaron valores de sólidos suspendidos totales por encima del valor de referencia reportado sobre impactos a la fisiología de corales, aspecto que a largo plazo puede afectar la salud y bienestar de este ecosistema marino.

Los nutrientes presentaron valores muy similares a los reportados anteriormente para la zona, siendo el sector Gorgona donde se encuentran los valores más bajos de las concentraciones para los analitos determinados, mientras que los ríos Guajui y Timbiquí presentaron las concentraciones más altas de nutrientes, sin embargo no representan riesgo para los ecosistemas marinos, pues no indican eutrofización.

Los niveles de contaminación microbiológica encontrados en los ríos del departamento del Cauca representan un riesgo sanitario alto para la población (principalmente niños y adultos mayores), que utiliza el agua para actividades domésticas, debido a la constante exposición directa e indirecta, dado el uso frecuente para lavado de ropas, pesca y baño. Por otro lado, la calidad microbiológica en los frentes de los ríos y la Isla Gorgona no representan mayor riesgo para las actividades que ahí se realizan de contacto primario o secundario; aspecto que se ve favorecido por las características propias de las aguas marinas, las cuales tienen la capacidad de disminuir de manera considerable las concentraciones de los microorganismos.

Respecto a los hidrocarburos, las concentraciones medidas en el departamento fueron inferiores a la referencia para aguas contaminadas. Sin embargo, históricamente se han presentado valores relativamente altos, principalmente en época seca en las zonas de Guapi y Gorgona, ocasionados por el manejo de combustible y sus derivados en las riberas de los diferentes ríos que descargan sus aguas en la zona costera.

Las concentraciones para la mayoría de los plaguicidas analizados se encontraron por debajo del límite de detección de los métodos aplicados. Aunque, en la época seca de 2014, luego de varios periodos de no ser detectados, se encontraron metabolitos de DDT's en los ríos Guapi y Timbiquí, así como en sus frentes, pero no sobrepasaron los niveles de referencia. De igual forma, la variabilidad espacial y temporal de los resultados demuestra la presencia y persistencia de estos contaminantes de alto riesgo para el medio marino, lo cual hace necesario mantener su vigilancia.

Las concentraciones de los metales medidos en aguas del departamento, no superaron los valores de referencia reportados por la NOAA y CONAMA, las cuales sugieren que no existen problemas potenciales de contaminación en la zona costera de este departamento por metales pesados. En cuanto a los metales medidos en sedimento, se presentó una variación entre épocas climáticas para los metales Pb, Cr, Cu, Zn y Ni y el Cd estuvo en ambas épocas por debajo del límite de detección de la técnica. Solo el Nique registró valores por encima del nivel reportado en la NOAA, por lo que se recomienda continuar con el monitoreo de este metal para establecer su comportamiento.

Con relación a los análisis de mercurio y cianuro, no se evidenciaron niveles significativos de cianuro en el agua y de mercurio en sedimentos y organismos de la cuenca baja del río Timbiquí, que sobrepasen los valores de referencia propuestos por la NOAA y el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, sin embargo, es importante continuar el estudio que permita monitorear las concentraciones de cianuro y mercurio en el tiempo e incluir el monitoreo de estaciones en la cuenca alta del río, además de organismos bentónicos.

En los sedimentos se observó un leve aumento de concentración de mercurio aguas abajo del río, lo cual hace suponer que los organismos bentónicos que habitan en la desembocadura del río Timbiquí pueden presentar una mayor acumulación de este metal.

Las especies *Anadara sp* y *Melongena patula* registraron mayores concentraciones de mercurio en las tallas 1 y 2, demostrando una relación directa de acumulación por la talla, indicando además que estas especies son bioacumuladoras de mercurio.

Nariño



Arco El Morro. Foto: Ennel Navarro

EQUIPO TÉCNICO CORPONARIÑO

Marcela Caviedes C. – Profesional Universitario

Dario López G. – Profesional Universitario

6.4 NARIÑO

El Departamento de Nariño está situado al sur -occidente 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 este Departamento la REDCAM cuenta con 24 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 6.4.1). El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos entre los días 16 y 18 de septiembre del 2013 (época de alta precipitación) y del 01 al 03 de abril del 2014 (época de baja precipitación), en consecuencia los gráficos y el análisis de la información se muestran como la época lluviosa 2013 y época seca de 2014 respectivamente, con el propósito de ser coherentes con el análisis nacional de todos los departamentos.

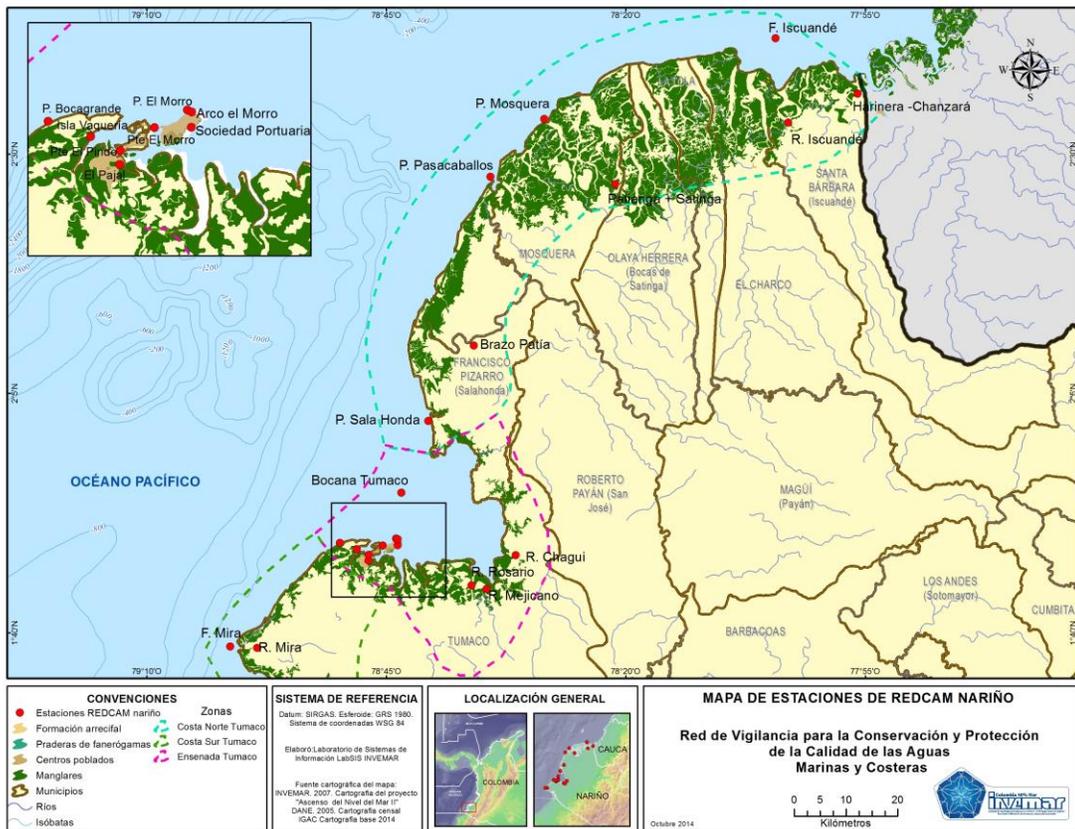


Figura 6.4.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Nariño.

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 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 la Zona Norte de la costa 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 Km², en esta zona se sitúan los municipios costeros de Francisco Pizarro (Salahonda), Mosquera, Olaya Herrera, La Tola, El charco e Iscuandé.

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 Km². En esta zona se ubica el mayor número de habitantes y de actividades económicas, en el municipio de Túmaco con aproximadamente 166.000 habitantes ([Gobernación de Nariño, 2012](#)), que giran alrededor de actividades como la agricultura (palma), la ganadería, la minería, la pesca, el comercio, el turismo y las actividades del puerto. 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 km², y las actividades económicas que se desarrollan en estas cuencas están asociadas básicamente al cultivo de palma africana ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)).

6.4.1 CALIDAD DE AGUAS

Las mediciones de las variables fisicoquímicas, microbiológicas, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados muestran el estado de la calidad del agua marina y costera del departamento de Nariño para la preservación de la fauna y flora en los ecosistemas asociados, así como su aptitud para el uso del recurso hídrico con fines recreativos, entre otros. A continuación se presentan los resultados de los muestreos realizados en la época de altas precipitaciones de 2013 (en adelante época lluviosa 2013) y de bajas precipitaciones del 2014 (en adelante época seca 2014; Tabla 4.3.1) contrastados con los datos históricos del monitoreo REDCAM entre el 2001 y el 2013.

Tabla 6.4.1. Estadística descriptiva (promedio, desviación estándar (SD), máximo y mínimo) de variables de calidad del agua superficial en las estaciones del departamento de Nariño.

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
Temp. Agua (°C)	27,82	0,90	30,20	26,00	27,50	0,96	30,10	25,40
SST (mg/L)	72,99	27,42	167,50	29,25	60,49	36,12	160,50	17,30
Salinidad	22,05	10,89	31,00	0,00	18,72	12,88	32,20	0,20
pH			8,81	6,44			8,24	6,71
OD (mg/L)	6,25	1,61	7,84	2,18	5,63	1,21	7,48	3,65
NO ₃ µg/L)	23,95	26,88	79,73	0,22	59,24	87,06	294,10	2,90
NO ₂ (µg/L)	5,87	11,93	51,81	1,20	2,78	2,68	11,60	0,70

Variables	Época Lluviosa 2013				Época seca 2014			
	Prom.	SD	Máx	Mín	Prom.	SD	Máx	Mín
NH ₄ (µg/L)	19,77	20,81	82,90	1,90	29,99	23,25	69,30	3,20
PO ₄ (µg/L)	12,34	4,40	21,06	4,66	8,07	3,74	15,00	3,10
CTT (NMP/100 mL)			5,40E+03	2,00E+01			1,60E+05	2,00E+01
CTE (NMP/100 mL)			5,40E+03	2,00E+01			1,60E+05	2,00E+01
TUR (NTU)	18,05	22,68	74,60	2,23	33,97	49,91	161,00	2,68
DBO (mg/L)	0,89	0,39	1,41	0,56	0,50	0,00	0,50	0,50
Cu (µg/L)	2,55	1,63	3,70	1,40	2,18	1,42	4,90	1,10
Zn (µg/L)	5,18	5,49	11,60	0,27	14,40	0,28	14,60	14,20
Ni (µg/L)	0,85	0,07	0,90	0,80	1,20	0,00	1,20	1,20
Fe (µg/L)	0,34	0,28	0,90	0,06	216,71	234,02	786,60	12,80
HAT (µg/L)	0,39	0,37	1,79	0,06	0,54	0,60	2,16	0,11

6.4.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICAS

In situ y Sólidos Suspendidos totales

Los resultados de las variables fisicoquímicas medidas (oxígeno disuelto (OD), salinidad, temperatura, pH, sólidos suspendidos totales (SST), conductividad eléctrica y turbidez) en la zona costera del departamento de Nariño para la época lluviosa de 2013 y seca 2014 mostraron diferencias entre las estaciones. El análisis estadístico de las variables fisicoquímicas mostró que la salinidad fue la variable determinante de la agrupación, encontrando que las estaciones de los ríos Rosario, Chagüí, Iscuandé, Harinera-Chanzará, Mira y Patianga + Satinga por sus características dulceacuícolas formaron un primer grupo, seguido de las estaciones estuarinas, por su parte la estación Bocana Túmaco, se separó en un tercer grupo por tener mayor influencia marino costera en el área de estudio (Figura 6.4.2).

El OD en la mayoría de las estaciones se encontró por encima del valor de referencia sugerido por la normatividad nacional para preservación de flora y fauna (>4,0 mg/L; [Minsalud, 1984](#)), excepto en algunas estaciones ubicadas en la ensenada de Túmaco como río Chagüí (OD= 3,27 mg/L) y río Mejicano (OD= 3,3 mg/L) para la época lluviosa 2013 y en El Pajal (OD= 3,94 mg/L), río Rosario (OD= 3,65 mg/L) y río Mejicano (OD= 3,84 mg/L) para la época seca 2014, aspecto que se ha venido presentando en los registros históricos ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)), posiblemente a un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno generada por las descargas de aguas residuales y sedimentos ricos en materia orgánica ([Cantera, 1991](#)).

Respecto a la salinidad, las aguas costeras del departamento se comportaron como sistemas estuarinos; presentando valores cercanos a 0 en los ríos y valores alrededor de 30 para las playas siendo condiciones normales para esta área, sin embargo esta variable presenta una dependencia directa con las mareas, estaciones oceánicas y estaciones cercanas a los ríos ([Garay et al., 2006](#)). Los valores de temperatura del agua superficial se mantuvieron constantes entre épocas en las diferentes

estaciones los cuales estuvieron entre 23,9 °C y 30,1 °C siendo condiciones normales para estos tipos de agua.

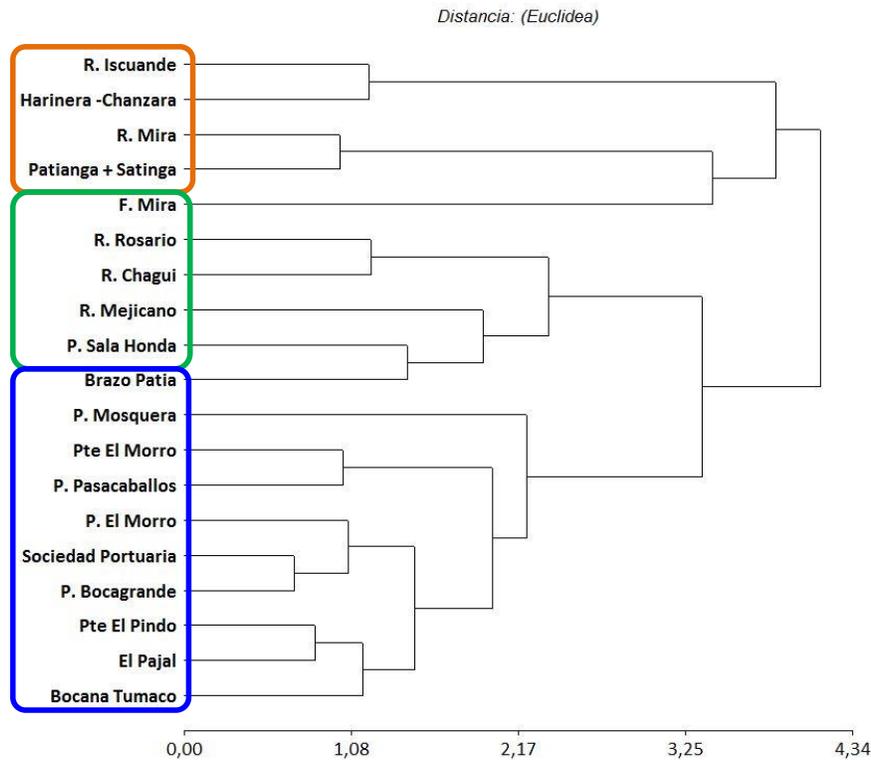


Figura 6.4.2. Dendrograma de clasificación de las variables fisicoquímicas medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM de la zona costera del departamento de Nariño para la época lluviosa 2013 y época seca 2014. El recuadro naranja indica estaciones de carácter dulceacuícola, el verde las estaciones de carácter estuarino y el azul las estaciones de carácter marino costera.

El pH por su parte presentó diferencias significativas entre las épocas (Prueba Kruskal Wallis, $p < 0,05$); en la época lluviosa de 2013 estuvo entre 7,5- 8,9 y para la época seca de 2014 fue menor, de 6,7- 8,2, aspecto relacionado con la tendencia histórica general de la variable a disminuir en la época seca, debido a la influencia de descarga de aguas residuales con un elevado consumo de materia orgánica y la consecuente producción de CO_2 que tiene características ácidas (Cognetti *et al.*, 2001). Estos registros se encuentran dentro del rango permisible según la legislación colombiana para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas ($\text{pH} = 6,5- 8,5$; Minsalud, 1984).

Los valores de SST se encontraron entre 17,3 y 160,5 mg/L siendo el valor más alto presentado en la estación río Rosario seguido de río Chagüí (SST= 133,0 mg/L) en la época seca 2014, y el brazo del río Patía (SST= 114,0 mg/L) en la época seca 2014, lo que confirman los mayores aportes de los 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 (Garay *et al.*, 2006).

Nutrientes

En cuanto a los nutrientes, se realizó el análisis de Nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-), Amonio (NH_4^+) y Fosfatos (PO_4^{3-}). Las concentraciones de Nitritos presentaron oscilaciones entre el límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,7) y 78,4 $\mu\text{g/L}$, encontrándose los valores más altos durante la época lluviosa de 2013, principalmente en los ríos Rosario (78,4 $\mu\text{g/L}$), Mejicano (68,2 $\mu\text{g/L}$), y Chagüi (29,5 $\mu\text{g/L}$; Figura 6.4.3), valores que se atribuyen principalmente al arrastre de nutrientes provenientes de la descomposición de la materia orgánica de los manglares y de las actividades agrícolas y vertimiento de aguas residuales de las poblaciones ribereñas.

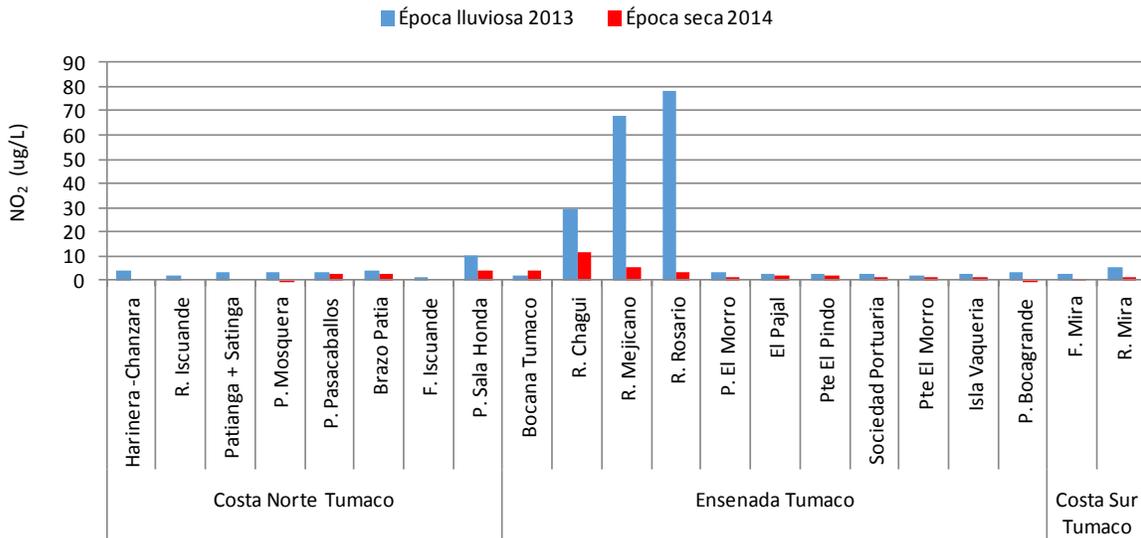


Figura 6.4.3. Concentraciones de Nitrato (NO_2^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los valores de Nitratos fluctuaron en un rango entre el límite de detección de la técnica (2,1 $\mu\text{g/L}$) y 294,1 $\mu\text{g/L}$, encontrándose los valores más altos en el río Chagüi (172,47 $\mu\text{g/L}$) en época lluviosa de 2013 y en los ríos Rosario (294,1 $\mu\text{g/L}$), Mexicano (184,3 $\mu\text{g/L}$) y Mira (149,5 $\mu\text{g/L}$; Figura 6.4.4), 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).

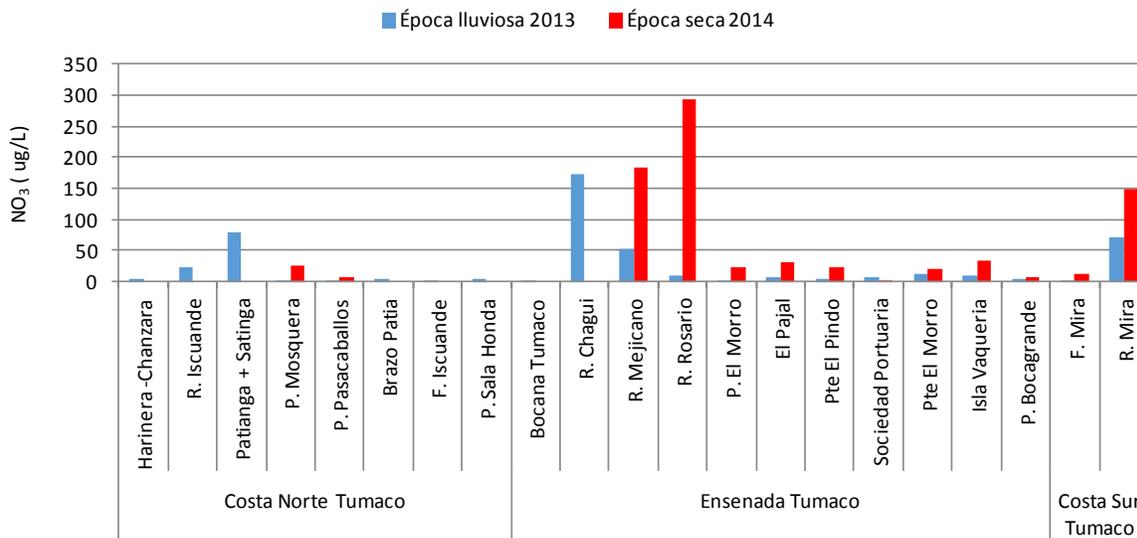


Figura 6.4.4 Concentraciones de Nitrato (NO_3^-) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Las concentraciones de Amonio variaron entre el límite de detección (2,57 $\mu\text{g/L}$ en época lluviosa) y 70,8 $\mu\text{g/L}$, presentándose los valores más altos en los tributarios de la zona costera, principalmente en las estaciones río Mira (70,9 $\mu\text{g/L}$) en la época de lluvias y en los ríos Mejicano (69,3 $\mu\text{g/L}$) y Patía (61,3 $\mu\text{g/L}$) en la época seca, mostrando una mayor presencia en la época lluviosa de 2013 en comparación con la época seca debido a los procesos de arrastre de nutrientes de los suelo (Figura 6.4.5).

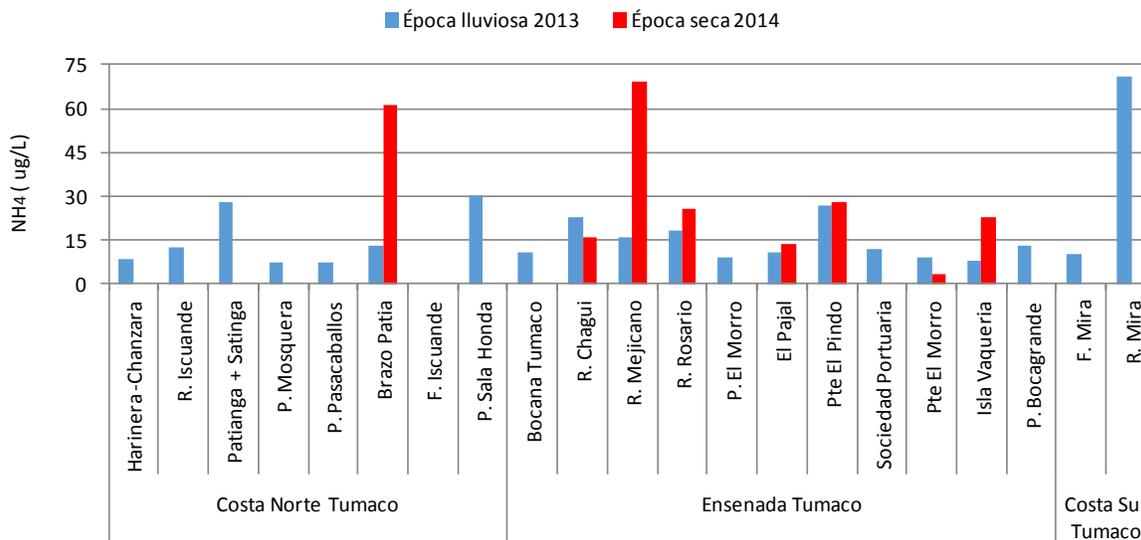


Figura 6.4.5 Concentraciones de Amonio (NH_4^+) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

Los Fosfatos presentaron las mayores concentraciones durante la época lluviosa de 2013 en comparación con la época seca de 2014, encontrándose los valores más altos en las estaciones de los ríos Chagüí (45,1 µg/L), Mira (28,8 µg/L), Rosario (25,8 µg/L), Mejicano (20,17 µg/L) y en la bocana de Túmaco (31,4 µg/L; Figura 6.4.6), valores que se relacionan con los aportes de aguas residuales domésticas que contienen detergentes entre otras sustancias que aportan a la concentración de estos nutrientes en estos cuerpos de agua.

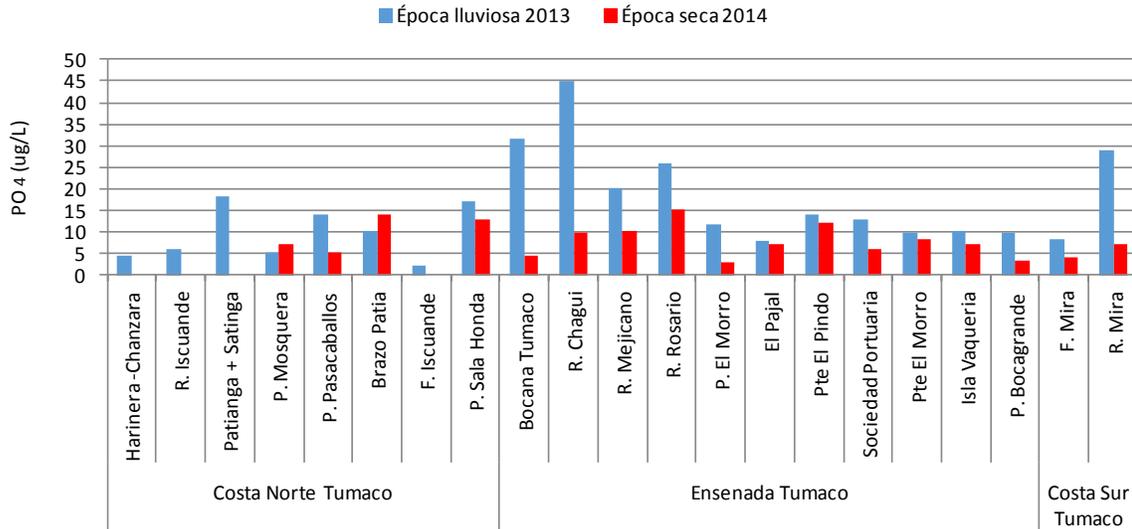


Figura 6.4.6 Concentraciones de Fosfatos (PO_4^{3-}) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

6.4.1.2 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

La calidad microbiológica de las aguas marino costeras y fluviales de la zona costera del departamento de Nariño se determinó mediante las concentraciones de Coliformes Totales (CTT), Coliformes Termotolerantes (CTE) y Enterococos Fecales (EFE). Las concentraciones de CTT se encontraron en un rango entre 2,0 y 160.000 NMP/100 mL, encontrándose en época lluviosa de 2013 valores por encima del criterio de calidad para el uso del recurso hídrico por contacto primario (<1.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)) en las estaciones de los ríos Iscuandé (3.300 NMP/100 mL), Mejicano (2.400 NMP/100 mL), Rosario (1.100 NMP/100 mL) y Mira (2.400 NMP/100 mL), además de Patianga + Satinga (2.300 NMP/100 mL) y playa Sala Honda (2.400 NMP/100 mL), mientras que el río Changüí (16.000 NMP/100 mL) y puente El Pindo (14.000 NMP/100 mL) alcanzaron valores que superaron el criterio para el uso del agua por contacto secundario (<5.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#); Figura 6.4.7). En época seca de 2014 aumentaron las estaciones que presentaron altas concentraciones de CTE estando por encima del criterio de calidad para el uso del agua por contacto secundario, como en el caso de playa Pasacaballos, brazo Patía, sociedad portuaria y los ríos Chagüí y Rosario.

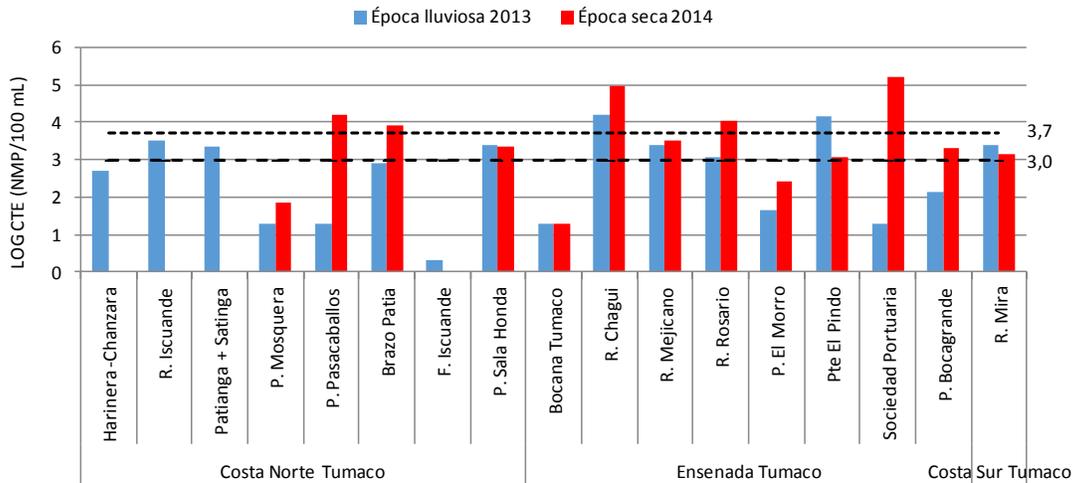


Figura 6.4.7 Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

Dentro del análisis histórico de las concentraciones de CTT, los ríos han sido los que mayor concentración de CTT han presentado, con valores que superan los criterios de calidad para el uso del recurso hídrico por contacto primario y secundario (Figura 6.4.8; [MinSalud, 1984](#)). Los ríos con mayores casos de incumplimientos han sido Patianga, Mira y Patía con porcentajes de 86, 64 y 60 %, respectivamente durante las épocas secas. En la estación Puente El Pindo se ha presentado históricamente un incumplimiento del límite para uso agrícola y pesca tanto en las épocas lluviosa (63 %) y seca (50 %; [MinSalud, 1984](#)); debido a descargas de aguas residuales domésticas del municipio de Túmaco y a las propiedades de estos cuerpos, como el pH neutro y altas temperaturas, que favoren la proliferación de estos microorganismos ([Chigbu et al., 2004](#); [Hughes, 2003](#)).

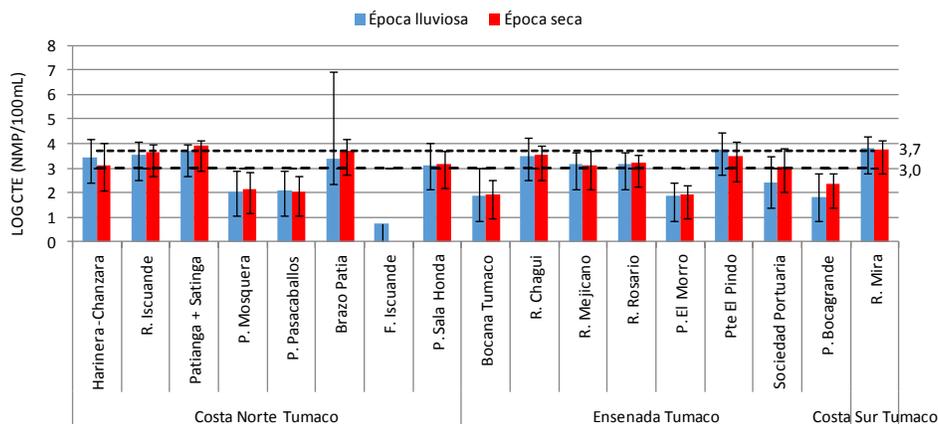


Figura 6.4.8. Promedio histórico (2001-2014) de las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño. Las líneas discontinuas de 3,7 y 3,0 corresponden al Log 5.000 y Log 1.000 NMP/ 100 mL de los límites permisibles para contacto secundario y primario, respectivamente según [MinSalud \(1984\)](#).

El uso de los EFE y CTT como grupo indicadores de la calidad de las aguas en las playas infiere la presencia de agentes patógenos que tras contacto o ingestión pueden causar variedad de afecciones tales como gastroenteritis, patologías respiratorias, dermatológicas e infecciones en oídos, nariz y garganta (Henrickson *et al.*, 2001). En este sentido, es importante notar que durante el presente periodo las estaciones Playa Pasacaballos, Playa Sala Honda, Playa El Morro y Playa Bocagrande, no presentaron condiciones óptimas de calidad para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario (Tabla 6.4.2; MinSalud, 1984). Históricamente la playa de Sala Honda ha registrado el mayor número de casos en donde las condiciones microbiológicas son insuficientes para la realización de actividades de baño y natación, debido a la descarga de aguas servidas de los municipios de Túmaco y Francisco Pizarro y de la influencia del río Patía, que recibe los residuales domésticos de las poblaciones ribereñas y los transporta a la zona costera (Garay *et al.*, 2006; OMS, 2003).

Tabla 6.4.2. Concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en los sitios de muestreo de las costas del departamento de Nariño, entre la época lluviosa de 2013 y seca de 2014. Los valores de referencia están establecidos según la norma nacional para coliformes termotolerantes (<200 NMP/100 mL) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para Enterococos (<40 UFC/100 mL).

Zona	Estación	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)						Enterococos (UFC/100 mL)					
		Época Lluviosa			Época seca			Época Lluviosa			Época seca		
		2013	% casos*	n	2014	% casos*	n	2013	% casos**	n	2014	% casos**	n
Costa Norte Túmaco	P. Mosquera	20	10	10	50	25	12	11	0	6	ND	13	8
	P. Pasacaballos	2	30	10	16000	17	12	0	0	6	ND	0	8
	P. Sala Honda	1300	83	12	2200	77	13	47	33	6	ND	50	8
Ensenada Túmaco	P. El Morro	45	17	12	270	31	13	14	0	5	ND	25	8
	P. Bocagrande	78	10	10	2000	40	10	0	0	6	ND	0	8

ND=No hay datos para la época seca durante el presente año.

*Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2001-2014) en donde se presentaron valores por encima de la norma nacional para aguas de uso recreativo con contacto primario <200 NMP/100 mL (MinSalud, 1984).

**Porcentaje (%) de casos a partir de los históricos (2006-2014) en donde se presentaron valores por encima de la guía internacional según la Organización Mundial para la Salud para aguas de uso recreativo de contacto primario <40 UFC/100 mL (OMS, 2003).

6.4.1.3 HIDROCARBUROS

Para el período de lluvia 2013 y seca 2014, las concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) determinadas en agua superficial no superaron el valor de referencia de 10,0 µg/L considerado de alto riesgo para la biota acuática (Unesco, 1984). Los HAT oscilaron entre 0,1 µg/L y 4,2 µg/L; y se obtuvieron las mayores concentraciones en la zona de la costa sur de Túmaco, en la estación ubicada en el río Mira, tanto para la época lluviosa de 2013 (4,2 µg/L), como en la época seca 2014 (2,2 µg/L) (Figura 6.4.9), evidenciando la presencia de estos residuos debido al transporte diario de hidrocarburos a través del río, así como a vertimientos derivados de válvulas ilegales para la extracción de combustible del oleoducto Transandino, cuyos residuos posiblemente alcanzan el cauce por escorrentía (ECOFONDO, 2003).

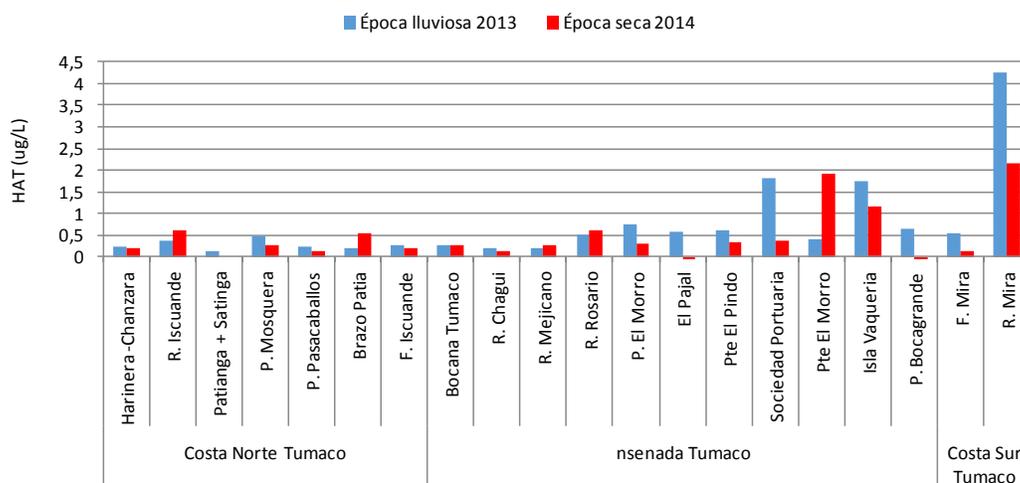


Figura 6.4.9. Concentraciones de Hidrocarburos Aromático Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño para los muestreos realizados en las épocas lluviosa de 2013 y seca 2014.

El análisis histórico entre 2001 y 2014 mostró que, de manera general las concentraciones más altas de HAT se registraron en épocas de lluvia respecto a la seca (Figura 6.4.10), sin embargo, en algunas estaciones no se ha observado una tendencia histórica similar ($p > 0,05$), especialmente en la zona costa norte de Túmaco, en el río Iscuandé ($1,9 \pm 1,2 \mu\text{g/L}$), y su frente ($3,3 \pm 7, 3 \mu\text{g/L}$), que en ciertas ocasiones ha presentado valores por encima de la referencia, lo cual puede afectar a las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estas aguas. Estas concentraciones pueden ser ocasionadas principalmente por los vertimientos de residuos oleosos de la actividad marítima y portuaria, el tráfico de buques y lanchas así como el transporte de petróleo y sus derivados en el río (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

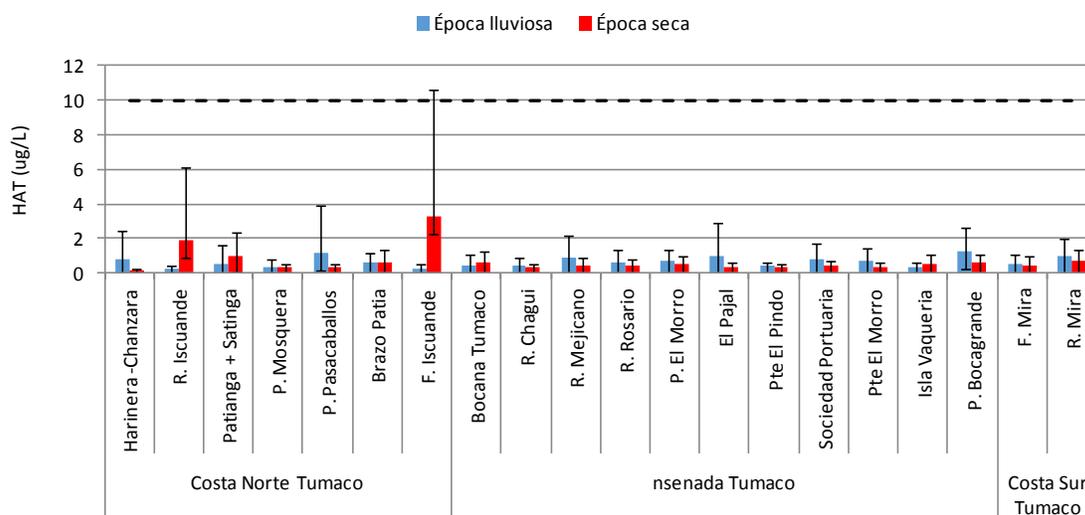


Figura 6.4.10. Promedio histórico (2001 - 2014) de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento de Nariño. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea discontinua de $10 \mu\text{g/L}$ corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según Unesco (1984).

6.4.1.4 PLAGUICIDAS

La presencia de residuos de plaguicidas en las aguas costeras de este departamento está asociada principalmente a las escorrentías de los ríos que atraviesan zonas de cultivo o poblaciones, especialmente los ríos 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 compuestos Organoclorados (OC) 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 2014), que permitió determinar nuevos analitos a partir del 2010. Durante los primeros cuatro años del monitoreo de la REDCAM (2001-2004), se registraron concentraciones de compuestos organoclorados (OC) que en algunos casos, como en el 2002 en la estación Salahonda brazo Patía (70,3 ng/L) y en 2004 en la bocana Túmaco (78,7 ng/L), superaron la referencia de 30,0 ng/L (EPA, 2009; Figura 6.3.11a).

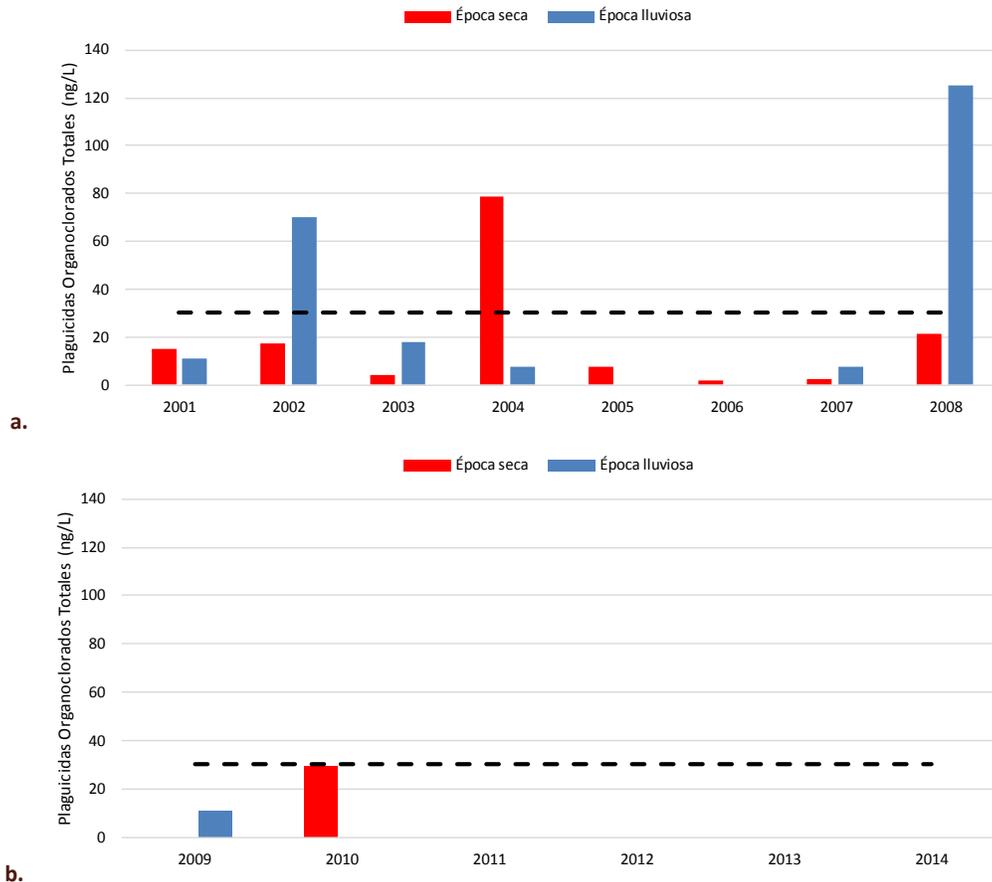


Figura 6.4.11. Concentración de plaguicidas en aguas superficiales del departamento de Nariño; a) valores registrados antes de la implementación de nuevos equipos y técnicas analíticas (2001-2008); b) valores registrados después de la implementación de nuevas técnicas analíticas (2009-2014). La línea discontinua de 30 ng/L corresponde al valor de referencia considerado de alto riesgo para la biota acuática según EPA (2009).

Entre el 2005 y el 2007 continuó registrándose presencia de OC en bajas concentraciones, sin embargo en el 2008 se registró un valor muy alto de OC en la estación puente El Morro (124,0 ng/L) que superó el valor de referencia (Figura 6.3.11a). En el periodo 2009 – 2014, a pesar de que aumentaron los analistas detectados por el método y equipo utilizado, sólo se registró presencia de OC en los años 2009 en época de lluvias y 2010 en época seca, en los años posteriores hasta el 2014 las concentraciones de OC estuvieron por debajo del límite de detección del método analítico (Figura 6.3.11b).

La evaluación de plaguicidas de uso actual iniciada a partir de 2009, mostró la presencia de residuos de metil paration durante la época lluviosa de 2010 en la ensenada de Túmaco en las estaciones del Río Mejicano (17,4 ng/L), frente a ríos (19,1 ng/L) y boca ensenada de Túmaco (17,6 ng/L). Este compuesto ha sido ampliamente usado en diferentes clases de cultivos y es sumamente tóxico para los invertebrados acuáticos.

6.4.1.5 METALES PESADOS

La concentración de los metales Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), en aguas superficiales del departamento de Nariño estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica (0,4 µg/L y 0,9 µg/L, respectivamente). De igual forma, el Níquel (Ni) estuvo en ambas épocas por debajo del límite de detección, excepto en la estación Harinera –Chanzara que en época seca de 2014 registró una concentración de 1,2 µg/L, sin embargo este valor no superó el nivel de riesgo referenciado en guías internacionales como la NOAA (74,0 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

Los niveles de Cobre (Cu) presentaron una concentración promedio de $1,7 \pm 0,3$ µg/L con máximo de 2,1 µg/L en el río Iscuandé durante la época lluviosa de 2013, mientras que en época seca de 2014 la concentración promedio registrada fue de $2,2 \pm 1,4$ µg/L con máximo en 4,9 µg/L en brazo del río Patía. En general, los sitios monitoreados en aguas marinas no superaron el valor de guía reportado por la NOAA (4,8 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

Solo dos estaciones presentaron niveles detectables de Zinc (Zn) durante la época seca de 2014, que fueron Harinera –Chanzara (14,6 µg/L) y el río Iscuandé (14,2 µg/L). En cuanto al Hierro (Fe), los sitios monitoreados registraron valores altos, típicos de aguas influenciadas por ríos. Generalmente, la época lluviosa registró mayores concentraciones de Fe que la época seca, situación relacionada con el aumento del caudal que favorece la mineralización. Los sitios monitoreados con concentraciones altas de Fe fueron playa Mosquera (380,0 µg/L), playa Pasacaballos (779,9 µg/L) y frente al río Mira (1.021,5 µg/L), todos por encima del valor de referencia reportado en la guía internacional de la NOAA (300,0 µg/L; [Buchman, 2008](#)), no obstante, para la época seca de 2014 estos sitios presentaron concentraciones muy por debajo del valor de referencia, sugiriendo la alta influencia que generan los ríos en las zonas costeras del departamento de Nariño.

6.4.1.6 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUAS

Los resultados del índice de calidad de aguas durante la época lluviosa de 2013 mostraron condiciones de calidad óptima y aceptable en la mayoría de las estaciones, excepto la estación Puente el Pindo donde se presentó condiciones de calidad inadecuadas por las altas concentraciones de CTE (11.000 NMP/100 mL) que superó el criterio de calidad para el uso del agua por contacto primario y secundario descrito en la legislación colombiana (Figura 6.3.12). En época seca de 2014, los resultados del ICAM_{PFF} evidenciaron la pérdida de la calidad del agua en estaciones playa Pasacaballos y sociedad portuaria, las cuales pasaron de calidad adecuada a inadecuada debido al aumento de las concentraciones de CTE las cuales presentaron valores de 16.000 NMP/100 mL y 160.000 NMP/100 mL respectivamente, lo cual se puede atribuir a la influencia de las descargas y vertimientos de las poblaciones aledañas a las estaciones.

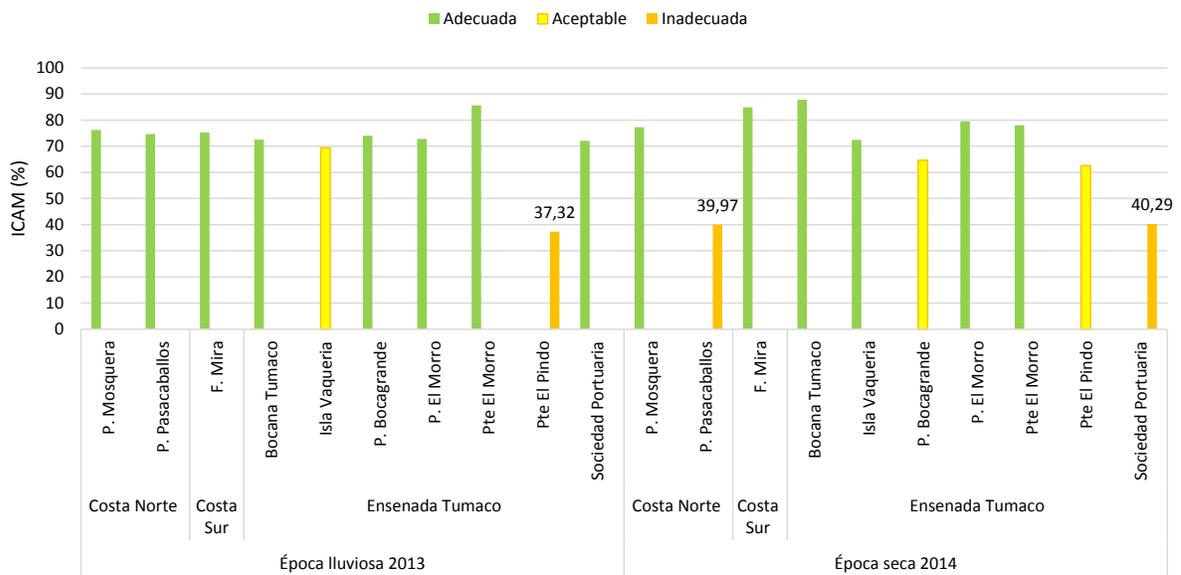


Figura 6.4.12. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), para la época lluviosa año 2013 y época seca 2014, en las estaciones en el departamento de Nariño.

6.4.2 CALIDAD DE SEDIMENTOS

6.4.2.1 HIDROCARBUROS

El sedimento puede proporcionar información importante sobre la calidad del medio ambiente acuático dada su estabilidad en comparación con la columna de agua, y la capacidad de ser reservorio para sustancias tóxicas (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).

Los sedimentos provenientes de la estación frente a ríos, ubicada en la ensenada de Túmaco presentaron concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) que no superaron el valor de referencia, tanto en la época de lluvias de 2013 (1,7 µg/g), como en la época seca de 2014 (0,5 µg/g) (Tabla 6.4.3). El análisis espacial y temporal demostró que los HAT que ingresan al sistema no se acumulan y pueden no acumularse en grandes cantidades en los sedimentos, posiblemente por la hidrodinámica de la región que facilita la resuspensión y arrastre de estas sustancias.

Tabla 6.4.3. Concentraciones de Hidrocarburos aromáticos totales medidos en sedimentos del departamento de Nariño, durante la época lluviosa de 2013 y seca de 2014.

Estación	Época Lluviosa 2013	Época seca 2014
	HAT (µg/g)	HAT (µg/g)
Frente a ríos	1,71	0,5
Valor de referencia	3,9 *	3,9 *

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

6.4.2.2 PLAGUICIDAS

La evaluación de plaguicidas en sedimentos entre 2013 y 2014 mostró la presencia de metabolitos de DDT's en la ensenada de Túmaco durante la época seca 2014 (Tabla 6.4.4), sin embargo, el valor reportado no superó los límites de referencia sugeridos por la NOAA (Buchman, 2008). A pesar de que el uso de estos compuestos ha sido restringido, se siguen encontrando en el medio acuático debido a su naturaleza hidrofóbica que les permite asociarse fuertemente a las partículas del sedimento y a la materia orgánica (Romano *et al.*, 2004). Por otra parte, en la época lluviosa de 2014 no se registró presencia de ninguno de los analitos evaluados, esta variabilidad en los resultados entre épocas puede explicarse porque los contaminantes no quedan permanentemente retenidos y pueden ser liberados a la columna de agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de materia orgánica (Said, 2007).

Tabla 6.4.4. Concentraciones de plaguicidas en sedimentos en estaciones del departamento de Nariño, durante la época lluviosa 2013 y seca 2014.

Estación	Época Lluviosa 2013	Época seca 2014
	DDT's (ng/g)	DDT's (ng/g)
Frente a ríos	-	2,9
Valor de referencia	10 *	10 *

*Valor de referencia para sedimentos no contaminados (Buchman, 2008).

6.4.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHÍA DE TÚMACO USANDO EL ICAM

Dada la importancia turística, ambiental y pesquera de las playas en la bahía de Túmaco, se evaluaron los cambios de la calidad del agua en las playas El Morro y El Bajito teniendo en cuenta las dos épocas climáticas (altas y bajas precipitaciones) y las mareas (alta y baja), utilizando el Índice de Calidad Ambiental Marina –ICAM. Se realizaron muestreos en nueve estaciones (Figura 6.4.13) durante la época de altas precipitaciones (del 01 al 03 de abril de 2014) y en época de bajas precipitaciones (del 10 al 14 de noviembre de 2014) en marea alta y baja.



Figura 6.4.13. Estaciones de muestreo para evaluar calidad de aguas en playas del municipio de Túmaco – Nariño.

Los resultados del ICAM mostraron que la calidad del agua en las playas El Morro y El Bajito durante las épocas de altas y bajas precipitaciones y en las mareas baja y alta del 2014 estuvieron entre las condiciones adecuadas y pésima para el desarrollo de actividades recreativas, con valores que fluctuaron entre 12 y 84, demostrando así la versatilidad de las características del recurso hídrico de estas playas.

Durante la época de bajas precipitaciones, la calidad del agua mostró mejor estado durante la marea alta (Figura 6.4.14a) en comparación con el estado del agua en marea baja (Figura 6.4.14b) donde se encontró una calidad pésima en la estación Arco por presentar altas concentraciones de Nitrato (15,7 $\mu\text{g/L}$) y de CTE (3.260 NMP/100 mL) que superó el criterio de calidad de la legislación colombiana para el uso del agua por contacto primario (CTE < 200 NMP/100 mL; [Minsalud1984](#)), lo cual indica la entrada de aguas residuales al sistema.

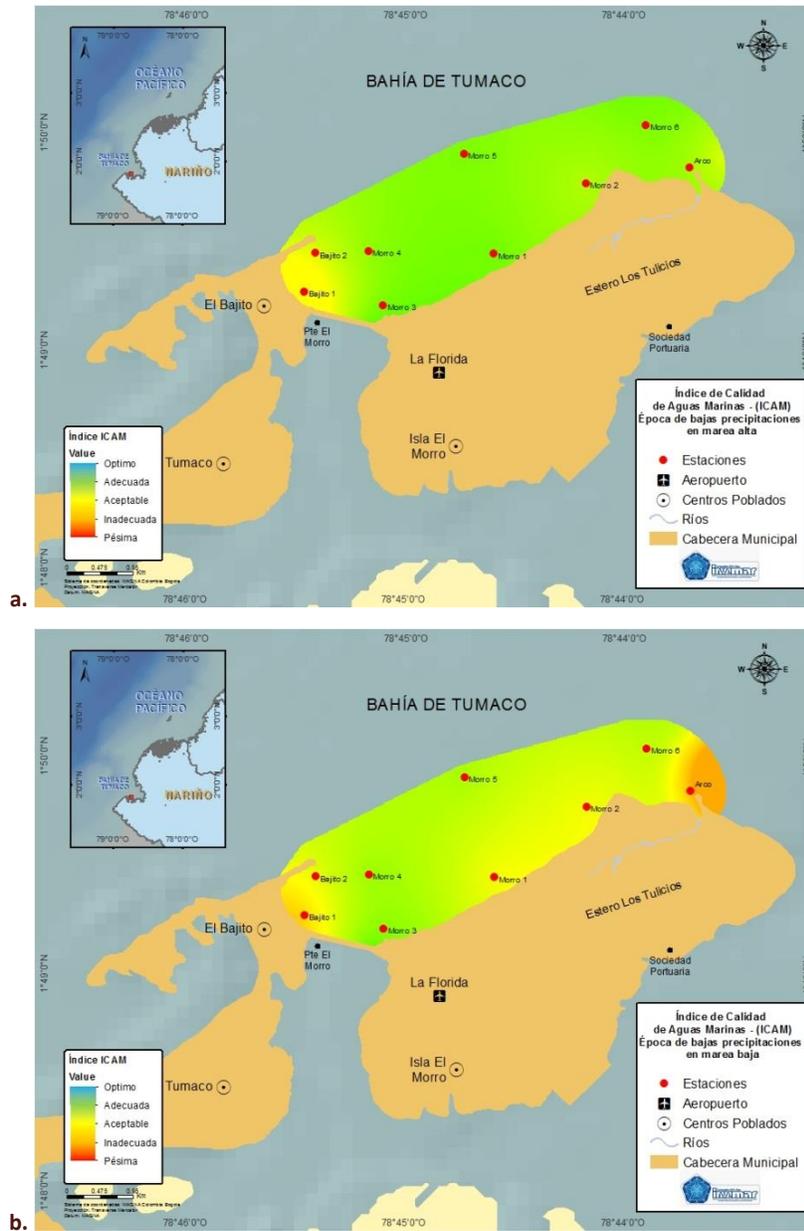


Figura 6.4.14. Calidad del agua en las estaciones de las playas El Morro y El Bajito en la época de bajas precipitaciones 2014 en Marea Alta (a) y Marea Baja (b).

En la época de altas precipitaciones, el 22 % en marea alta (Figura 6.4.15a) y el 56 % de las estaciones en marea baja (Figura 6.4.15b) presentaron calidad *adecuada*, sin embargo las estaciones Morro 4 y Morro 5 presentaron una calidad *inadecuada* en marea baja y alta, debido a las altas concentraciones CTE que superan el valor máximo permisible de la legislación colombiana, lo cual se podría atribuir a las descargas de aguas servidas de la poblaciones cercanas. La estación Arco al igual que en la época de bajas precipitaciones, presentó calidad *pésima* en marea baja presentando altas concentraciones de CTE.

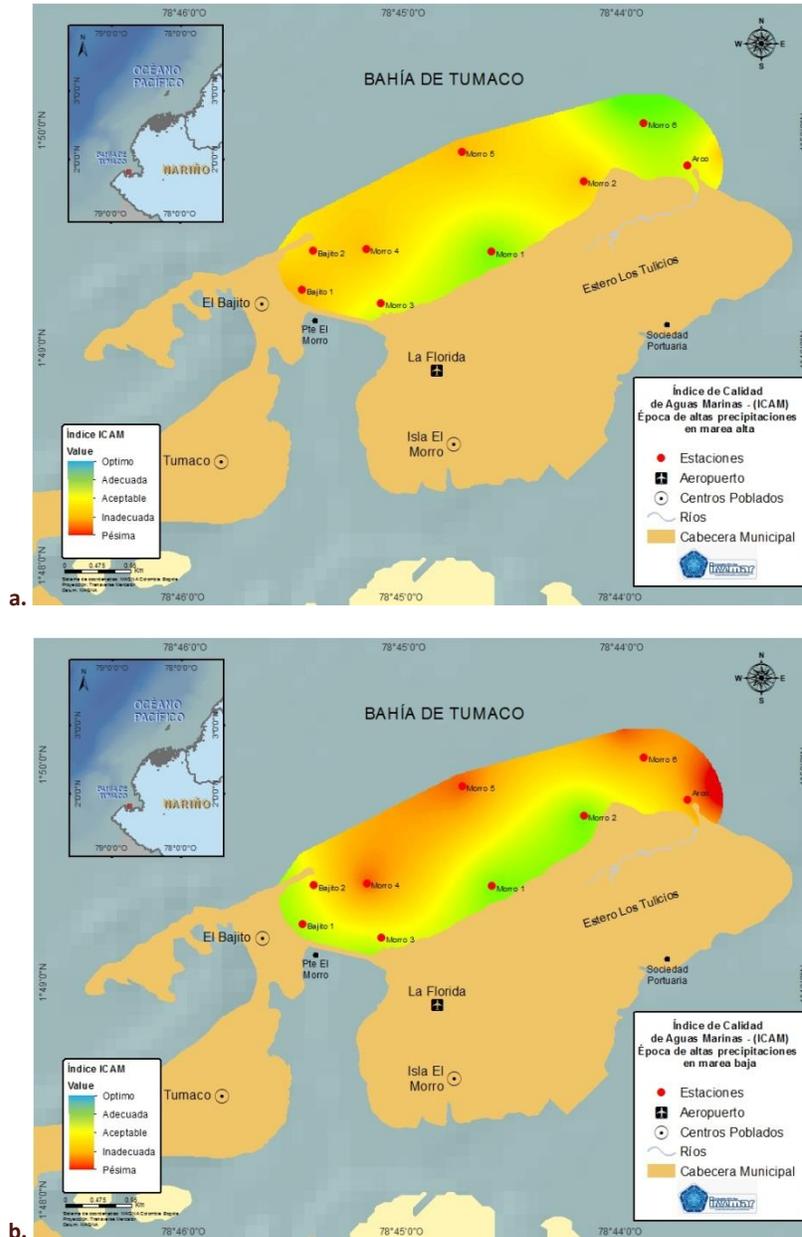


Figura 6.4.15. Calidad del agua en las estaciones de las playas El Morro y El Bajito en la época de altas precipitaciones 2014 en Marea Alta (a) y Marea Baja (b).

6.4.4 CONCLUSIONES

La calidad de las aguas del departamento de Nariño en la época lluviosa 2013 y seca 2014 mostró condiciones adecuadas en término de las variables fisicoquímicas pH y oxígeno disuelto en la mayoría de las estaciones ya que se encontraron dentro de los criterios de calidad de la legislación colombiana, excepto las estaciones ríos Chagüí, Mejicano y Rosario en la ensenada de Túmaco que presentaron concentraciones de oxígeno disuelto por debajo del límite permisible. En lo que respecta a las

variables de temperatura, conductividad, turbidez y salinidad los valores se encuentran dentro de históricos de la REDCAM.

Los ríos que desembocan en la zona costera del departamento son las principales fuentes de nutrientes debido al vertimiento de aguas servidas sin ningún tipo de tratamiento y arrastre de fertilizantes químicos en las zonas agrícolas. La variabilidad en las concentraciones de nutrientes se debe a la influencia mareal propia de la zona, lo cual permite el recambio constante entre aguas oligotróficas provenientes de la masa oceánica y aguas ricas en nutrientes provenientes de las vertientes de los ríos.

A nivel microbiológico, como ocurre en otros departamentos de la región del Pacífico colombiano, los mayores aportes de coliformes a las aguas marino-costeras provienen de los ríos, especialmente del Patía, Rosario y Chagüí, por otro lado la estaciones ubicadas en las playas de Pasacaballos, Sala Honda y Bocagrande, no son aptas para la realización de actividades de contacto primario como natación y buceo durante la época seca de 2014.

Las concentraciones de hidrocarburos medidas en las aguas costeras y en los sedimentos del departamento fueron inferiores a los valores de referencia. La costa sur de Túmaco presentó los valores más altos en aguas, específicamente el río Mira, ocasionados por manejo de crudo y sus derivados, operaciones de transporte y actividades propias de la zona ribereña.

Los plaguicidas analizados en aguas presentaron concentraciones por debajo del límite de detección de los métodos aplicados. Así mismo, en sedimentos se determinaron metabolitos de DDT's por debajo de los niveles de referencia propuestos por la NOAA. Sin embargo, debido a la presencia ocasional que han mostrado estos compuestos en las aguas costeras del departamento, se hace necesario mantener la supervisión puesto que son altamente persistentes y pueden afectar el medio marino.

Las aguas marino-costeras del departamento de Nariño, no superaron el valor guía reportado en las tablas de la NOAA y CONAMA, sugiriendo que no existen problemas potenciales de contaminación por metales pesados en la zona costera de este departamento. Solo el hierro superó el valor guía en las estaciones playa Mosquera (380 µg/L), playa Pasacaballos (779,9 µg/L) y frente a río Mira (1.021,5 µg/L) durante la época lluviosa de 2013, sin embargo en época seca de 2014 estos valores estuvieron muy por debajo de este valor guía. En cuanto a los metales en sedimento, todos estuvieron por debajo del valor de referencia de la NOAA indicando que no existe riesgo de contaminación por metales en el sitio monitoreado.

La evaluación de la calidad del agua en la bahía de Túmaco implementando el ICAM, reflejo la variabilidad del estado del recurso a nivel intermareal; pues se obtuvieron ICAM que van de una calidad *adecuada* a *pésima*.

En el caso de las playas El Morro y El Bajito, las estaciones donde el ICAM presentó calidad *inadecuada* y *pésima*, se debe a la calidad microbiológica, pues las concentraciones superaron el valor máximo permisible de la legislación colombiana.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, E. 1979. Interacción suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas. Bol. Tec., Facultad Agronómica de la Universidad de Chile, (44): 17-25.
- Alcaldía de Juan de Acosta. 2001. Esquema de ordenamiento territorial. 224 p.
- Alcaldía de Soledad. 2008. Plan de desarrollo económico, social y urbano 2008-2011 "Vamos a construir ciudad". 195 p.
- Alcaldía de Tubará. 2012. Plan de Desarrollo 2012-2015 "Por el bienestar de Tubará, compromiso de todos". 156 p.
- Alcaldía de Barranquilla. 2011. Análisis de la situación de Salud. En: Plan de Salud Territorial Distrito de Barranquilla 2012 – 2015. Secretaría Distrital de Salud Pública, Barranquilla. 31-351.
- Alcaldía Distrital de Barranquilla. 2014a. Boletín estadístico 2014. Secretaria de Educación Distrital. Barranquilla. 26 p.
- Alcaldía Distrital de Barranquilla. 2014b. Información general. Disponible en: <http://www.barranquilla.gov.co/conoce-a-barranquilla/informacion-general>. Fecha de consulta: 10/12/14.
- Alcaldía Municipal de Puerto Colombia. 2004. Plan de fomento para las actividades turísticas y microempresariales en la zona especial de desarrollo del sector del departamento del Atlántico 2004-2007 (Puerto Colombia, Tubará, Juan de Acosta, Piojó y Usiacuri). 172 p.
- 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.
- 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.
- ASOCARS-UNIMAG. 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 Tomás y Palmar de Vérela. Fase Diagnóstico. 1687 p.
- ASOPORTUARIA – Asociación Portuaria de Barranquilla. 2011. Presentación ASOPORTUARIA. Disponible en: http://asoportuaria.com/descargas/asoportuaria_2011.pdf. 08/12/2014.
- Awad, M. 1966. Las plantas en los suelos salinos y alcalinos. En: Simposio sobre salinidad. 1996. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Lima, Perú. 61-66.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.08.032>

- 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. *Revista Gestión y Ambiente*, 8(1):123-135.
- Betancourt, J. y J. Cantera. 1978. Estudio ecológico y económico de la piangua. *Memorias Primer Seminario sobre el Océano Pacífico sudamericano*, Cali, 6 p.
- Bonert, C. y R. Estrada. 1996. Identificación y cuantificación de hidrocarburos clorados en sedimentos entre canal Baker y canal Señoret, Pto Natales, XVI Congreso de Ciencias del Mar, Iquique, Chile. 42 p.
- Bonilla, J.P., J.E. Pinado, M. Urdaneta y E. Carrascal. 2000. Informe Nacional sobre el uso y manejo de plaguicidas en Colombia, tendiente a identificar y proponer alternativas para reducir el escurrimiento de plaguicidas al mar Caribe. Minambiente, PNUMA y EARTH, Bogotá. 163 p.
- Bonilla, L. 2010. El sector industrial de Barranquilla en el siglo XXI: ¿Cambian finalmente las tendencias? Documento de trabajo sobre economía regional. Banco de la república, N 136, Barranquilla. 68 p.
- Borda, C.A. y R. Cruz. 2004. Reproducción y reclutamiento del molusco *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) en el Pacífico colombiano. *Revista de Investigaciones Marinas* 25 (3): 185-195.
- Borde A.B., L.K. O'Rourke, R.M. Thom y G.W. Williams. 2004. National Review of Innovative and Successful Coastal Habitat Restoration. Battelle Memorial Institute, Washington. 12-13.
- Boletín Museo de Oro, 1990. "El chocó, una región negra" Publicación digital en la página web de la Biblioteca Luis Ángel Arango del Banco de la República. <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/publicacionesbanrep/bolmuseo/1990/ocdi29/ocdi06a.htm>. 20/12/2014.
- Brownell, M.J., V.J. Harwood, R.C. Kurz, S.M. McQuaig, J. Lukasik y T.M. Scott. 2007. Confirmation of putative stormwater impact on water quality at a Florida beach by microbial source tracking methods and structure of indicator organism populations. *Water Research*, 41: 3747-3757.
- 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.
- Calamari, D., P.Tremolada y V. Notarianni. 1995. Relationships between chlorinated hydrocarbons in soil, vegetation and socioeconomic indices on a global scale *Environ Sci. Technol.* 29- 2267.
- Cantera, J. R. y R. Contreras. 1978. Informe preliminar sobre el potencial malacológico aprovechable en el Pacífico colombiano. *Mem. I. Sem. Ocean. Pac. Sudamer.*, 2: 440-474.
- 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.

- 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.
- CARSUCRE- Corporación Autónoma Regional del Sucre. 2012. Información suministrada por la corporación.
- Casanova, R., M. M. Zambrano y C. Castrillón (Eds.). 2006. Evaluación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales de los esteros el Pajal y Candamo de la bahía de Tumaco. *Bol. Cient. CCCP*, 13: 85-96.
- Castellanos Martínez, M. 2009. Tensores edafológicos que condicionan la disponibilidad de nutrientes para mangle en ambientes semiáridos. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, 219 p.
- Cedeño, C.J.; J. Gonzales y S. Guiza. 2001. Compilación y análisis de datos geoquímicos de metales traza en algunas zonas del río Magdalena (Colombia). Ingeominas. 59 p.
- Cedeño Delgado, I.F., y I.A. Vargas López. 2011. Caracterización hidrológica, de erosión y arrastre de nutrientes en suelos agrícolas bajo condiciones de simulación de lluvias, Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panameña, Zamorano, Honduras. 25 p.
- 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 Lemus, J.L., M. Torres García y M. Frías Mondragón. 1997. El océano y sus recursos IV. Las ciencias del mar: oceanografía biológica. Fondo de Cultura Económica, México. 109 p.
- Cintrón-Molero, G. y Y. Schaeffer-Novelli. 1983. Introducción a la ecología del manglar. ROSTLAC / UNESCO, Montevideo, Uruguay. 109 p.
- Cognetti, G., M. Sara y G. Magazzu. 2001. Los factores físicos y químicos. 37 – 74. En: Cognetti, G. (Ed.). *Biología Marina*. Editorial Ariel S.A, Barcelona. 617 p.
- CONAMA - Conselho Nacional Do Meio Ambiente. 2005. Resolución No. 357 de 2005. Dispone sobre la clasificación de los cuerpos de agua y los parámetros de lanzamiento de efluentes. Brasil. 58-63.
- 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, Junio de 2008. 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, 12 de abril de 2012. 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: Consejo Municipal de San Antero, Departamento de Córdoba. 211 p.
- Contraloría municipal de Soledad. 2012. Informe de los recursos naturales y el medio ambiente vigencia 2012. 10 p.
- CORALINA-INVEMAR. 2012. Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower: Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. INVEMAR y CORALINA, Serie de Publicaciones Especiales del INVEMAR No. 28, Santa Marta. 180 p.
- Córdoba, S., J. Zea, W. Murillo. 2006: Estimación de la precipitación media, evaluación de la red pluviométrica y cuantificación del balance hídrico en la cuenca del río Quito en el departamento del Chocó, Colombia. *Meteorología Colombia* (10): 100-110.
- 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. 2011. Atlas Ambiental del Departamento de La Guajira. Riohacha. 189 p.
- CORPOGUAJIRA- Corporación Autónoma Regional de La Guajira. 2012. Información suministrada por la corporación.
- CORPOGUAJIRA e INVEMAR. 2012. Atlas marino costero de La Guajira. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR No.27. Santa Marta, Colombia. 188 p.
- Corporación ECOFONDO. 2003 Plan de Manejo Integral y Ambiental del Consejo Comunitario del Río Alto Mira y Frontera. Túmaco, Nariño. 45p.
- CORPOURABÁ- Corporación para el desarrollo sostenible del Urabá. 2012. Información suministrada por la corporación.
- CORPOURABÁ. 2014. Resolución No. 200-03-20-99-1341-2014, por la cual se declara en ordenación la cuenca del río León. Republica de Colombia, Apartadó. 6 p.
- CRA - Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 2005. Plan de Acción Trienal 2004-2006.
- CRA - Corporación Autónoma Regional del Atlántico y Fundación Herencia Ambiental Caribe. 2010. Formulación Plan de Ordenamiento de la Cuenca Caribe en el departamento del Atlántico. “Aprestamiento, Caracterización y Diagnóstico”. Barranquilla. 416 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.

- 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. 2012. Plan de acción 2012-2015-Desarrollo con sostenibilidad ambiental. Barranquilla. 246 p.
- CRA - Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 2013a. Consulta de usuarios de establecimientos o instalaciones generadores de RESPEL.
- CRA - Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 2013b. Listado de empresas autorizadas para el manejo de residuos peligrosos.
- CRA - Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 2013c. Cantidad anual de residuos o desechos peligrosos generados por los municipios del Atlántico. Base de Datos.
- CRA - Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 2013d. Seguimiento a municipios costeros de la disposición de residuos sólidos. Corte a diciembre 2013.
- CRA - Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 2013e. Seguimiento a empresas que vierten residuos en la zona costera del departamento del Atlántico. Corte a diciembre 2013.
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2002. Plan de Gestión Ambiental Regional del Departamento del Cauca. CRC, Popayán. 209 p.
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2009. Diagnóstico de áreas forestales en el Pacífico Caucaño. <http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/PortafolioProyectos/Sintesis/.pdf>. 1/01/2015.
- Cruz, R. y C.A. Borda. 2003. Estado de explotación y pronóstico de la pesquería de *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) en el Pacífico colombiano. *Revista de investigaciones marinas* 24 (3): 221-230.
- CVS – Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. 2012. Información suministrada por la corporación.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2005a. Boletín Censo General – Perfil Barranquilla, Atlántico. Bogotá. 4 p.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2005b. Boletín Censo General – Perfil Puerto Colombia, Atlántico. Bogotá. 4 p.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2005c. Boletín Censo General – Perfil Soledad, Atlántico. Bogotá. 4 p.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2005d. Boletín Censo General – Perfil Tubará, Atlántico. Bogotá. 4 p.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2005e. Boletín Censo General – Perfil Juan de Acosta, Atlántico. Bogotá. 4 p.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2012. Informe de Coyuntura

- Económica Regional (ICER), Departamento del Atlántico 2011. Convenio interadministrativo No. 111 de abril de 2000 DANE – Banco de la Republica. Bogotá. 126 p.
- DANE- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2009. Proyecciones nacional y departamentales de población 2005- 2020. Estudios postcensales No. 7, Bogotá. 300 p.
- DANE, 2012. Clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas. Revisión adaptada para Colombia CIUU Rev. 4 A.C.
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. 2014. Colombia. Estimación y Proyección de población nacional, departamental y municipal por área 1985-2020. <http://www.dane.gov.co/index.php/es/poblacion-y-registros-vitales/proyecciones-y-series-depoblacion/proyecciones-de-poblacion>. 29/12/2014.
- DAPD - Departamento Administrativo de Planeación Distrital. 2000. Plan de Ordenamiento territorial del Distrito de Barranquilla. Distrito Especial, Industrial y Portuario DEIS. Alcaldía Mayor del Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla. Decreto 154 del 6 de Septiembre de 2000.
- Davies, R., R. Bell y A. Donnison. 1994. Sunlight inactivation of enterococci and fecal coliforms in sewage effluent diluted in seawater. *Applied and Environmental Microbiology*, 60 (6): 2049-2058.
- De Luque, M., F. García y C. Palacio. 2011. Determinación del T90 en la bahía de Santa Marta (Col.). *DYNA*, 78(167): 122-131.
- DIRPEN -Dirección de Regulación, Planeación, Estandarización y Normalización. 2011. Encuesta Ambiental Industrial 2009. Bogotá. 317 p.
- Domènech, X. y J. Peral. 2006. *Química Ambiental de Sistemas Terrestres*. Editorial Reverté S.A., Barcelona. 247 p.
- 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.
- Emerson, S.R. y J.I. Hedges, 2008. *Chemical oceanography and the marine carbon cycle*. Cambridge University Press, Nueva York. 453 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.
- EPA - Environmental Protection Agency of US. 1999. National Recommended Water Quality Criteria-Correction. U.S. EPA, 401 M. Street, S.W., Washington, USA. 26 p.
- EPA Method 7473. 2007. Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry. Test methods for evaluating, solid waste physical/chemical methods, SW 846. Environmental Protection Agency, office of solid waste and emergency response, Washington, DC, U.S. 17 p. <http://www.caslab.com/EPA-Methods/>

- 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, S., M.F. Delgado, B. Orobio, L.M. Mejía-Ladino y D.L. Gil-Agudelo. 2010. Estado de la población y valoración de algunas estrategias de conservación del recurso piangua *Anadara tuberculosa* (Sowerby) en sectores de Bazán y Nerete, costa Pacífica nariñense de Colombia. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras 39: 161-176.
- 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.
- Falandysz, J. 2002. Mercury in mushrooms and soil of the Tarnobrzaska Plain, south-eastern Poland. *J. Environ. Sci. Health Part A Tox. Hazard Subst. Environ. Eng.* 37(3):343-352.
- Falla, L. 1992. Taller Seminario: Alternativas para el manejo de subproductos en el matadero. Frigorífico Guadalupe.
- Falla, L. 2008. Desechos de Matadero como Alimento Animal en Colombia. Capítulo 7: [En línea]. Disponible: <http://www.fao.org/AG/agA/AGAP/FRG/APH134/cap7.htm>. 20/01/2015.
- Fergusson J. E. 1990. *The Heavy Elements, Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press, Oxford, 614 p.
- Feria, J.J., J. L. Marrugo, H. González. 2010. Heavy metals in Sinú river, department of Córdoba, Colombia, South America. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. (55): 35-44.
- Fernández, B. 2007. Desarrollo de un nuevo método para la eliminación de cianuro de aguas residuales de mina. Tesis Doctoral, Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica., Univ. De Oviedo. España. 184 p.
- Fries, J., G. Characklis, R. Noble. 2008. Sediment water exchange of *Vibrio* sp and fecal indicator bacteria: implications for persistence and transport in the Neuse River Estuary, North Carolina, USA. *Water Research* (42): 941-950.
- Fundesarrollo. 2014. Boletín de Coyuntura Económica de Barranquilla. Cámara de Comercio de Barranquilla y Fundesarrollo, Barranquilla. 35 p.
- Fyhr, J. 2007. A study of mangroveforests in Departamento de Atlántico, Colombia. Fyhr, J. 2007. A study of mangroveforests in Departamento de Atlántico, Colombia. (Master's Degree Thesis) Evolutionary Biology Centre, Uppsala University, Sweden. 60 p.
- Garay, J., L.A. Castro, y C. Ospina. 1992. Contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo en el litoral Caribe colombiano, Cispata hacia Rioahacha. *Bol.Cient.CIOH*, No 10.

- 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.
- 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 Físicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta. 177 p.
- Garay, J.A. y A.M. Vélez. 2004. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar- PNICM. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”- INVEMAR, Santa Marta. 110 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 Túmaco, 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.
- García, E., L. Carrizales, L. Juárez, E. García, E. Hernández, E. Briones y O. Vázquez. 2011. Plomo y arsénico en la subcuenca del Alto Atoyac en Tlaxcala, México. Rev. Chap. Vol. 17 No 1: 7-17.
- García, F., C. Palacio y U. García, 2012. Distribución vertical de temperatura y salinidad en el área costera de Santa Marta. Dyna 171:232-238.
- 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.
- Gil-Agudelo, D.L., S. Espinosa, M.F. Delgado, W. Gualteros y C.H. Lucero. 2011. La pesquería tradicional de piangua el Pacífico colombiano, entre la subsistencia y el comercio. En: Díaz JM, C Vieira & G Melo (eds). Diagnóstico de las principales pesquerías del Pacífico 49-79. Fundación Marviva-Colombia, Bogotá.
- 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>. 04/10/2014.

- 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. 23/01/2015.
- 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 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. 12/12/2014.
- 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, 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 Barbaçoas. *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.
- Henrickson, S., T. Wong, P. Allen, T. Ford y P.R. Epstein. 2001. Marine Swimming-Related Illness: Implications for Monitoring and Environmental Policy. *Environmental Health Perspective* 109: 645-650.
- Hernández- Ayón, J., Zirino, A., Marinote, S., Camino-Herrera, R y Galindo- Beer, M. 2003. Relación pH-densidad en el agua. pH-density relationships in seawater. *Ciencias Marinas* 29 (4): 497- 508.
- Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine Freshwater Research*. 50: 839-66.
- Hose, G., G. Gordon, F.E. McCullough, N. Pulver y B.R. Murray. 2005. Spatial and rainfall related patterns of bacterial contamination in Sydney Harbour estuary. 3:349-358
- Hughes, K. 2003. Influence of seasonal environmental variables on the distribution of presumptive fecal coliforms around an Antarctic research station. *Applied and Environmental Microbiology*, 69 (8): 4884-4891.
- 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. 2005. Atlas Climatológico de Colombia: Part 2, Distribución espacio-temporal de las variables del clima. IDEAM, Bogotá. 74 p.
- IDEAM- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. 2013. Informe Técnico Diario N° 324, Bogotá. 4 p.

- IDEAM- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. 2014. Informe Técnico Diario N° 210, Bogotá. 4 p.
- IDEAM– Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010. Estudio Nacional del Agua 2010. Bogotá D.C. 409 p.
- IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2014. Publicación N° 230 de Abril de 2014.
- 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. 2014. Cartografía 2014.
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1996. Diccionario Geográfico de Colombia, 3ª ed. (revisada y aumentada). 1: 288- 294.
- INCODER - Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. 2005. Diagnóstico de la actividad pesquera artesanal en la zona costera del departamento del Atlántico. Barranquilla, Colombia. 44p.
- INVEMAR- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2007. Ordenamiento ambiental de la zona costera del departamento del Atlántico. Informe final. Editado por: A. López. INVEMAR- CRA. Santa Marta 588 p.
- INVEMAR y MADS -Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” – INVEMAR y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS. 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, Gobernación de Antioquia, CORPOURABA, CODECHOCO 2007. Formulación de los lineamientos y estrategias de manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera del Darien. Anexo 1-componente biofísico. 55 p.
- INVEMAR. 2002. 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. 2005. Actualización y ajuste del diagnóstico y zonificación de los manglares de la zona costera del departamento del Atlántico, Caribe colombiano. A. López y P. C. Sierra-Correa (Eds). Informe final, INVEMAR – CRA, Santa Marta, 191 p.
- INVEMAR. 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. 2014a. Concepto técnico sobre la mortandad de peces en las playas de Riohacha (sector río Ranchería – Boca Pancho) departamento de La Guajira. Santa Marta. 25 p.

- INVEMAR. 2014b. 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>. 31/07/2014.
- INVEMAR. 2014c. Análisis de vulnerabilidad por contaminación orgánica y microbiológica de la población y los ecosistemas en la bahía de Buenaventura, Caso estudio. Invemar, Santa Marta. 94 p.
- INVEMAR. 2014d. Laboratorio Servicios de Información – Recopilación de información Actividades socioeconómicas en la zona costera del Departamento del Atlántico.
- Jacome, L., y L. Llanos. 1990. Estudio de la Materia orgánica del río Jubones, en el área comprendida entre el puente de la Iberia hasta la desembocadura. Acta Oceanográfica del Pacífico. INOCAR. Ecuador (6) Vol. 1. 96-102.
- Javelaud, O. 1987. La Sedimentation du Plateau Continental de la Colombia Caraibe au Tours du Quaternaire Terminal. Tesis de doctorado. Institut de Géologie, L'Université de Bordeaux I. Bordeaux, Francia. 382 p.
- Kadiri, M., K. L. Spencer, C. M. Heppell y P. Fletcher. 2011. Sediment characteristics of a restored saltmarsh and mudflat in a managed realignment scheme in Southeast England. Hydrobiología. Doi 10.1007/s10750-011-0755-8.
- Kogo, M. y K. Tsuruda. 1997. Selección de Especies para la Plantación de Manglares. 218-230. En: Colin Field (Ed.). La restauración de ecosistemas de manglar. Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT) y la Sociedad Internacional para la restauración de ecosistemas de manglar (ISME). Managua, Nicaragua, 278 p.
- Kraemer, R., K. Choudhury y E. Kampa. 2001. Protecting water resources: pollution prevention. International conference on freshwater, Bonn. 30 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.
- Lacerda, L. D. y W. Solomons. 1998. Mercury from gold and silver mining: A chemical time bomb? Springer Verlag, New York, 146 p.
- 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.
- Logsdon, M., K. Hagelstein y T. Mudder. 2001. The Management of Cyanide in Gold Extraction. The International Council on Metals and the Environment. Ottawa, Ontario, 40 p.
- Ludwig, W y J. Probst. 1998. River sediment discharge to the oceans: present controls and global budgets. American Journal of Science. 298, 265-295.
- Manjarrez, G., I. Castro y L. Utria. 2008. Bioacumulación de cadmio en ostras de la bahía de Cartagena. Revista Ingenierías Universidad de Medellín.7: 11 – 20 p.

- Martínez, G., J. Alvarado y W. Senior. 2001. Estudio físico-químico de las aguas superficiales de la cuenca baja y pluma del río Manzanares. *Interciencia*, 26(8): 342 – 351.
- Mazzeo, N., J. Clemente, F. García-Rodríguez, J. Gorja, C. Kruk, D. Larrea, M. Meerhoff, F. Quintans, L. Rodríguez-Gallego y F. Scasso. 2002. Eutrofización: Causas, consecuencias y manejo. 39 – 55. En: Rodríguez, A., R. Prieto y M. Achkar. *Perfil Ambiental de Uruguay*. Grupo de Ecología y Rehabilitación de sistemas acuáticos someros, Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Aigua. 148 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.
- 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.
- Minsalud- Ministerio de Salud y Protección Social. 2012. Resolución número 122 de 2012 por la cual se modifica parcialmente la Resolución número 776 de 2008. Artículo 6 acerca de los requisitos fisicoquímicos de los productos de la pesca, en particular pescados, moluscos y crustáceos frescos con destino al consumo humano. 8 p.
- MinTransporte. 2001. Situación actual de las empresas de servicio público de transporte de carga. Dirección General de Transporte Terrestre Automotor, Ministerio de Transporte de Colombia. Bogotá. 62 p.
- Mitch, A., K. Gasner, y W. Mitch. 2010. Fecal coliform accumulation within a river subject to seasonally-disinfected wastewater discharges. *Water Research*, 44: 4776-4782.
- Montalvo, J.F. 2006. Caracterización química de los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. Serie Oceanológica 2, Departamento de Oceanografía Física y Química, Instituto de Oceanología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. 23-33.
- Mora, Z. y Baena L.M. 2013a. Determinación de bioacumulación de metales en bivalvos (*Anadara tuberculosa*) en la bahía de Buenaventura. Corporación Autónoma del Valle del Cauca- CVC. Dirección técnica ambiental. Laboratorio ambiental. Santiago de Cali, 19 p.
- Mora, Z. y Baena L.M. 2013b. Determinación de bioacumulación de metales en bivalvos (*Anadara tuberculosa*) en la bahía de Buenaventura. Informe de avance monitoreo en 2013. Corporación Autónoma del Valle del Cauca- CVC. Dirección técnica ambiental. Laboratorio ambiental. Santiago de Cali, 10 p.
- Nebel, B.J y R.T. Wright. 1999. Sedimentos, nutrientes y eutrofización. 295-319. En: *Ciencias Ambientales: Ecología y desarrollo sostenible*. 6ta Ed. Pearson Educación, México. 698 p.

- 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.
- Noriega, C., K. Muniz; M. Flores; S. Macedo; M. Araujo; F. Feitosa y S. Lacerda. 2009. Series temporales de variables hidrobiológicas en un estuario tropical (Brasil). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44(1): 93-108.
- Olivero, J., K. Caballero y N. Torres. 2009. Assessment of mercury in muscle of fish from Cartagena Bay, a tropical estuary at the north of Colombia. *International Journal of Environmental Health Research*. 19: 343 – 355 p.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Coastal and fresh waters, vol. 1. Ginebra. 219 p.
- Palermo Sociedad Portuaria S.A. <http://palermosociedadportuaria.com/galeria.cfm>. 04/12/2014.
- Pascoe, G. A., P. McLaren y M. Soldate. 2002. Impact of offsite sediment transport and toxicity on remediation of a contaminated estuarine bay. *Marin. Pollut. Bull.*, 44: 1184-1193.
- Paparazzo, F., L. Farias y N. Santinelli. 2013. Incorporación de nitrato por fitoplancton en dos ambientes marinos diferentes de la provincia de Chubut (42°-46°S, Argentina). *Rev. biol. mar. Oceanogr.*, 48 (3): 591-600.
- Pazi, I. 2011. Assessment of heavy metal contamination in Candarli Gulf sediment, Eastern Aegean Sea. *Env. Mon. Ass.*, 174: 199-208.
- Peña, E. J., M. L. Palacios y N. Ospina-Álvarez. 2005. Contaminación Acuática. 51- 74. En: *Algas indicadoras de contaminación*. Universidad del Valle, Cali. 167 p.
- PGIR - Municipio Juan de Acosta. 2005. Plan de gestión integral de residuos sólidos Municipio de Juan de Acosta –atlántico 2.005 – 2.020. 245 p.
- Piaggese, A. 2004. Los microelementos en la nutrición vegetal. Instituto Experimental para la Nutrición de Plantas. Valagro Spa. Italia. 72 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. 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.
- 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.

- Posada, B.O., Henao, W. y Guzmán, G. 2009. Diagnóstico de la erosión y sedimentación en la zona costera del Pacífico colombiano. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 17, Santa Marta, 148 p.
- Posada, O. N. Rangel, S. Narváez, L.J., Vivas-Aguas, L.F., Espinosa y C. García. 2012. Aspectos físicos del paisaje en la zona marina y costera. 24 – 43. En: CORPOGUAJIRA-INVEMAR. 2012. Atlas marino-costero de La Guajira. Series de Publicaciones Especiales INVEMAR # 27. Santa Marta, 188 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.
- Puerto de Barranquilla. 2014. http://www.puertodebarranquilla.com/?page_id=2237. 19/12/2014.
- 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.
- Registraduría Nacional del Estado Civil. Lista de Hospitales Públicos de Colombia. http://www.registraduria.gov.co/descargar/clin_hosp.pdf. 02/12/2014.
- 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.
- Restrepo, J. D. Zapata, P. Díaz, J. Garzón- Ferreira, J. García, C. Restrepo, J. 2005. Aportes Fluviales al Mar Caribe y Evaluación Preliminar del Impacto sobre los Ecosistemas Costeros. 189-215. En: Restrepo J. D. Los Sedimentos del Río Magdalena: Reflejo de la crisis ambiental. Universidad de EAFIT. Medellín. 189-215.
- Rodríguez Barrio, A. 2012. Estudio de opinión pública sobre la problemática ambiental del río Manzanares en el barrio Las Malvinas. Tesis Comunicación Social y Periodismo, Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta. 79 p.
- Rodríguez Peláez, J.C; López Rodríguez, A.; Sierra-Correa, P.C.; Hernández Ortiz M.; Almario, G.; Prieto L.M.; Bolaños, J.; y H. Martínez. 2009. Ordenamiento ambiental de los manglares del municipio de Guapi, departamento del Cauca, Pacífico colombiano, 149 p.
- Roldán Pérez, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Universidad de Antioquia, Medellín. 176 p.
- Romano, E., A. Ausili, N. Zharova, M.C. Magno, B. Pavoni y M. Gabellini. 2004. Marine sediment contamination of an industrial site at Port of Bagnoli, Gulf of Naples, Southern Italy. Marine Pollution Bulletin. Milan, Italy. 49: 487-495.
- Rullkötter, J. 2000. Organic matter: The driving force for early diagenesis. En: H.D. Schulz & M. Zabel (ed.). Marine Geochemistry. Springer-Verlag. Berlin, pp 129-172.
- Said, T.O. 2007. Determination of persistent organic pollutants in sediment of the western coast of Alexandria, Egypt. Chem. Cairo, Egypt. 23 (4): 289–302.

- Samboni, N., Y. Carvajal y J. C. Escobar. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*. 27 (003): 172-181.
- Sánchez, D., J.P. Lis y J.P. Herrera. 2012. Estudio de Mercado: Estudio del sector de telecomunicaciones en Colombia. Grupo de Estudios Económicos, Superintendencia de Industria y Comercio. Bogotá. 93 p.
- Sánchez-Páez, H., G. Ulloa, R. Álvarez, W. Gil, A. Sánchez, O. Guevara, L. Patiño y F. Páez. 2000. Hacia la recuperación de los manglares del Caribe de Colombia. H. Sánchez-Páez, G. Ulloa-Delgado y R. Álvarez-León (eds.). Minambiente – Acofore – OIMT, Bogotá, 350 p.
- Santacruz LTDA. <http://www.frigorificosantacruz.com/>. 5/12/2014.
- Satoh, H. 2000. Occupational and environmental toxicology of mercury and its compounds. *Ind. Health*. 38:153-64.
- Schlesinger, W.H. 1997. *Biogeochemistry and Analysis of Global Change*. Academic Press, San Diego, California, 588 p.
- Secretaria de Salud de Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 2013. Análisis de situación de salud Municipio de Providencia. MinSalud, Gobernación de Archipiélago de Andrés, Providencia y Santa Catalina, Alcaldía de Providencia y Santa Catalina. 95 p.
- SEDUE. 1989. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación, 2 de diciembre de 1989. Tomo CDXXX. No. 9. México, D.F.
- Segovia, J.A., F. Delgadillo., M.L. Lares., M.A. Huerta., A. Muñoz y E.V. Torres. 2009. Aporte atmosférico y concentración de hierro disuelto en la capa superficial del Golfo de California. *Ciencias Marinas*. (35): 75-90.
- Shenker, B.J., T.L. Guo. y I.M. Shapiro. 1998. Low-level methylmercury exposure causes human T-cells to undergo apoptosis: evidence of mitochondrial dysfunction. *Environ. Res*. 77(2):149-159.
- Shi, J.B., L.N. Liang, C.G. Yuan, B. He. y G.B. Jiang. 2005. Methylmercury and total mercury in sediments collected from the east China Sea. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74 (5). 980-987.
- Sierra, F. 2003. Contenido de metales pesados (cobre, cadmio y cinc) en la lisa (*Mugil incilis*) en la ciénaga de Mallorquín, Atlántico. Trabajo de Grado (Biólogo). Universidad del Atlántico. Barranquilla. 77 p.
- Soares de Lima, T.C. y K. Gorch-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.
- Squires, H.G., M. Estevez, O. Barona y O. Mora. 1975. Mangrove cockles, *Anadara* spp. (Mollusca: Bivalvia) of the Pacific coast of Colombia. *Veliger* 18(1): 57-68.
- 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.
- SSPD-Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. 2013. Informe ejecutivo de gestión, sociedad de acueducto, alcantarillado y aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. Disponible en: <http://www.superservicios.gov.co/content/download/3090/32613/version/1/file/SOCIEDAD+Y+A CUEDUCTO+Y+ALCANTARILLADO+DE+BARRANQUILLA+ESP.pdf>. Bogotá.31 p. 27/10/2014.
- 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 de Servicios Públicos- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. http://reportes.sui.gov.co/reportes/SUI_ReporteAseo.htm. 05/12/2014.
- 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. 28/12/2014.
- Superintendencia de Puertos y Transporte. Listado de Puertos Marítimos Colombianos a agosto de 2009.<http://www.supertransporte.gov.co/documentos/2014/delegada%20puertos/caracterizacion%20puertos/CARACTERIZACION%20PUERTOS.html>. 03/12/2014.
- Tamayo Gutiérrez, S.D. 2012. Estructura Productiva y Comercio del departamento de La Guajira, y principales socios en el Caribe. Gobernación de La Guajira, Riohacha. 40 p.
- Tarras- Wahlberg, N.H., A. Flachier, S.N. Lane y O. Sangfors. 2001. Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: the Puyango River basin, southern Ecuador. *Sci. Total. Environ.* 278 (1-3): 239-261.
- Tejada, C., L. Otero, L. Castro, F. Afanador, A. Morales, J. Solano y A.L. Fonseca. 2003. Aportes al Entendimiento de la Bahía de Túmaco. Entorno Oceanográfico, Costero y de Riesgos. Ed. DIMAR, San Andrés de Túmaco. 168 p.
- Tirado, O., G. Manjarrez y C. Diaz. 2011. Caracterización ambiental de la ciénaga La Quintas localizada en Cartagena de Indias, Colombia, 2009-2010. *Rev. U.D.C.A Act. y Div. Cient.* 14(2): 131-139.
- 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.
- Tous, G., Castro, I., Cañón, M., Quintalia, D., Torres, R. 2007. Panorama de la Contaminación del Caribe Colombiano. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH. 2007. Cartagena de Indias. 120 p.
- Triple A S.A. E.S.P - Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. <http://www.aaa.com.co/>. 5/12/2014.
- 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.
- 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.
- 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.
- Universidad del Norte. 2005. Análisis sobre el manejo integrado del recurso hídrico en la Ciénaga de Mallorquín. Tomo 1 y 2. 623 p.
- Valencia, J. A. 2012. Contaminación del río Timbiquí por la explotación minera irresponsable. Observatorio de Territorios Étnicos: una apuesta por la defensa de los territorios, Universidad Pontificia Javeriana, Bogotá. 5 p. (Fecha de publicación: 08/11/2012).
- Vargas, G. 2004. Geología de la Isla San Andrés, Colombia. *Geología colombiana*, 29: 71-81.
- Vega-Sequeda, J., R. Navas-Camacho, K. Gómez-Campo, T. López-Londoño y D.L. Duque. 2011. Estado de los arrecifes coralinos en Colombia. En: INVEMAR. Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2010. Serie de publicaciones periódicas del INVEMAR No 8, Santa Marta.
- Villafañe, R., N. De León, F. Camacho, R. Ramírez y L. Sánchez. 2004. Acumulación y lavado de sales en columnas de suelos regadas con aguas salinas procedente de un pozo petrolero. *Agronomía Trop.*, 54(1): 93-120.
- Vivas-Aguas L.J. 2011. Formulación del índice de calidad de aguas costeras -ICAM para los países del Pacífico Sudeste. Documento Metodológico. Proyecto Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la Gestión Integrada del Área Costera -SPINCAM. INVEMAR. Santa Marta, 40 p.
- Vivas-Aguas, L., M. Tosić, 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.
- 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. 2014. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones del Invemar 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., L. Espinosa, J. Sánchez, B. Cadavid, P. Bautista, M. Quintero, J. Betancourt, J. P. Parra, L. G. Parra, I. Cuadrado, K. Ibarra. 2012. 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.J., M. Tosić, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, M. Carvajalino y L. Espinosa. 2012. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. –REDCAM. Informe técnico 2011. INVEMAR. Santa Marta, 229 p.

- WWF- World Wildlife Fund. 2005. Diagnóstico socioeconómico del sector piangüero y estado actual del recurso hidrobiológico piangua *Anadara tuberculosa* en la costa pacífica de Nariño. Fondo Mundial para la Naturaleza- WWF, Cali. 35 p.
- 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.
- Zapata-Hernández, R.D. 2004. Origen de la acidez en el suelo. 51-80. En: Química de la acidez del suelo. Univ. Nal. Col., Medellín, 208 p.