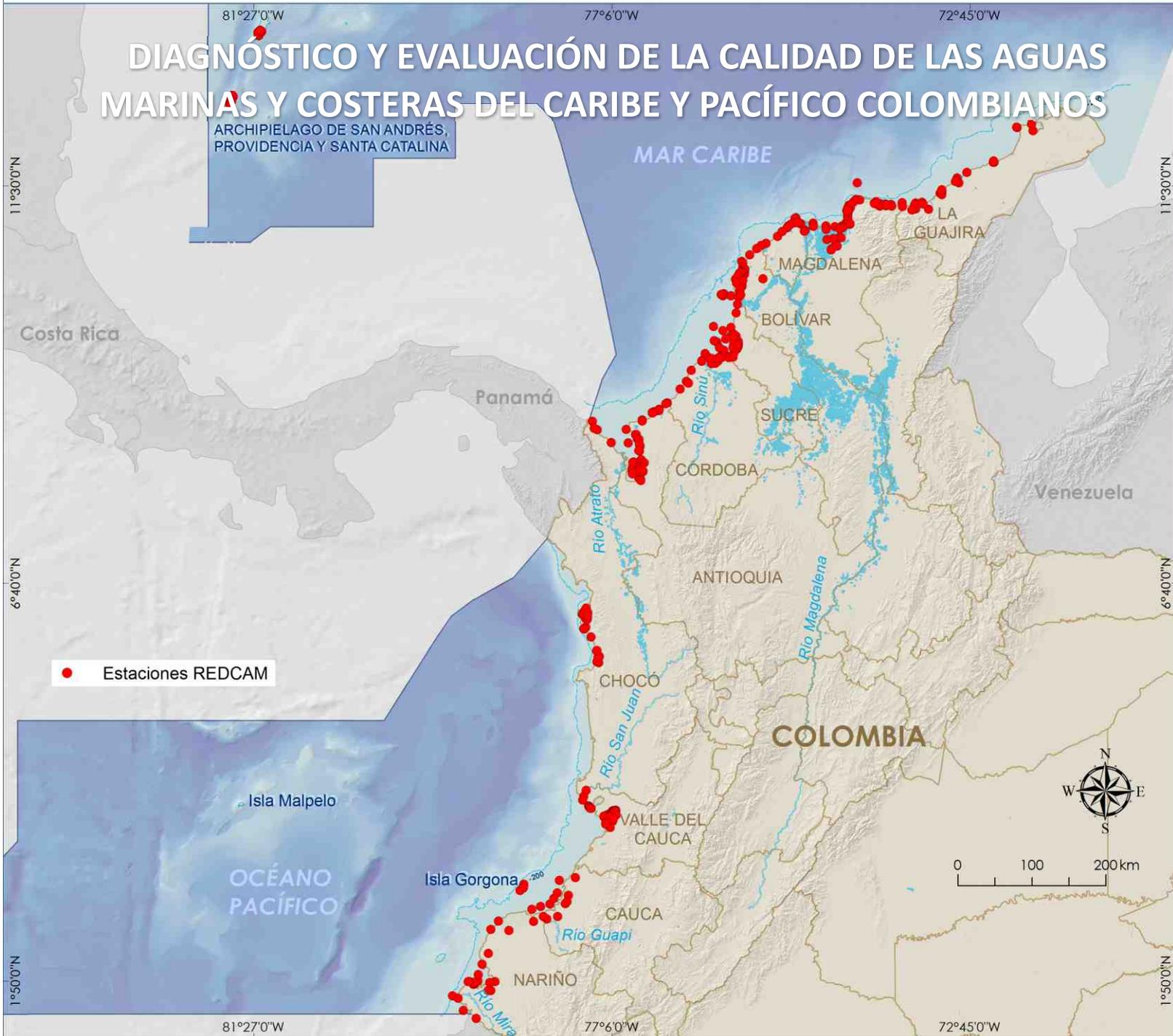




Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”

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

2016



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

Informe Técnico 2016



Santa Marta, mayo de 2017

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS EN EL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANOS

INFORME TÉCNICO 2016

RED DE VIGILANCIA PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS DE COLOMBIA – REDCAM



ENTIDADES NODOS QUE PARTICIPAN EN LA REDCAM

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS “*JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉS*” - INVEMAR
VINCULADO AL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

SANTA MARTA, MAYO DE 2017

DIRECTIVOS INVEMAR

Director General

Francisco A. Arias Isaza

Subdirector Coordinación Científica (SCI)

Jesús Antonio Garay Tinoco

Coordinador del Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)

David Alonso Carvajal

Coordinador del Programa Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos y Costeros (VAR)

Mario Rueda Hernández

Coordinadora del Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)

Luisa Fernanda Espinosa

Coordinadora del Programa de Geociencias Marinas y Costeras (GEO)

Constanza Ricaurte Villota

Coordinadora de la Coordinación de Investigación e Información para Gestión Marina y Costera (GEZ)

Paula Cristina Sierra Correa

Coordinador de la Coordinación de Servicios Científicos (CSC)

Julián Mauricio Betancourt

Subdirectora Administrativa (SRA)

Sandra Rincón Cabal

EQUIPO TÉCNICO INVEMAR

LUISA F. ESPINOSA DÍAZ

Coordinadora del Programa CAM y de la REDCAM

MÓNICA R. BAYONA ARENAS

Jefe de Línea Evaluación y seguimiento de la Calidad Ambiental (ESC) – Responsable de la REDCAM

LIZBETH J. VIVAS AGUAS

Jefe de Línea Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros (PEM)

CESAR A. BERNAL

Jefe de Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina

OSTIN GARCÉS-ORDÓÑEZ

Biólogo, Investigador científico de la Línea ESC

PAOLA S. OBANDO MADERA

Ingeniera Ambiental, Investigadora científica de la Línea ESC

MAX F. MARTÍNEZ CAMPO

Microbiólogo Industrial, Investigador científico de la Línea PEM

Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM):

Leydy Alarcón, Yoselin Nieto, Tania Córdoba, Alex Contreras, Johan Muñoz, Alba López, Karen Ibarra, Yadi Moreno, José Vega, Halbin Serrano, Gustavo Lara, Josimar Barranco, Paula Domínguez, Edinson Orozco, Yully Ruiz, César Herrera y Kelvin Varela.

Laboratorio de Servicios de Información (LABSIS):

Venus Rocha, Juan Rodríguez y Carlos Oliveros.

Estudiantes:

Fanny Molina y Vanesa Moreno.

NODOS, ENTIDADES PARTICIPANTES Y COLABORADORES

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - MADS

Andrea Ramírez y Martha Arteaga

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA – CORALINA

Erick Castro, Nacor Bolaños, Tomas Guerrero y Cindy Fortune

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA GUAJIRA – CORPOGUAJIRA

Jaiker Gómez y Lianis Charry

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL MAGDALENA – CORPAMAG

Alfredo Martínez y Eliana Álvarez

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO– C.R.A.

Emilio Zapata y Efraim Leal

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE – CARDIQUE

Mady García e Idelfonso Castro

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SUCRE - CARSUCRE

Tulio Ruíz Álvarez

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LOS VALLES DEL SINÚ Y SAN JORGE – CVS

Rafael Espinosa, Albeiro Arrieta y María Sánchez

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE URABÁ-CORPOURABÁ

Jairo Vásquez, Diana Cuervo y Kelis Maleidis

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CHOCÓ – CODECHOCÓ

Yoileth Ibarguen, Alexis Castro y Danny Palomeque

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA - CVC

Luisa Baena Álvarez

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA -CRC

Luz Prieto y Julio Rodríguez

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO – CORPONARIÑO

Marcela Caviedes y Franklin López

Citar informe completo como:

INVEMAR. 2017. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Garcés, O. y L. Espinosa (Eds.). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MADS y CAR costeras. Informe técnico 2016. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 (2017) del INVEMAR, Santa Marta. 260 p.

Citar capítulo como:

Autores. 2017. Título. Intervalo de páginas. En: INVEMAR. 2017. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Garcés, O. y L. Espinosa (Eds.). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MADS y CAR costeras. Informe técnico 2016. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 (2017) del INVEMAR, Santa Marta. 260 p.

ISSN versión impresa: 2357-6332

ISSN versión digital: 2389-8615

DOI: <https://doi.org/10.21239/V9HW3X>

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
ÁREA DE ESTUDIO.....	2
METODOLOGÍA	3
1. FUENTES DE CONTAMINACIÓN AL MAR	8
2. DIAGNÓSTICO NACIONAL Y REGIONAL DE CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS	30
3. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA	38
4. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA	50
5. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA	66
6. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO	84
7. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR.....	100
8. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE SUCRE	118
9. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.....	134
10. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.....	148
11. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE CHOCÓ.....	162
12. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA.....	176
13. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL CAUCA.....	190
14. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE NARIÑO	206
15. AVANCES EN EL PLAN DE ACCIÓN Y ESTRATEGIAS DE FORTALECIMIENTO DE LA REDCAM.....	226
BIBLIOGRAFÍA.....	240
ANEXOS.....	256



INTRODUCCIÓN

En las costas y mares de Colombia existen diversos ecosistemas estratégicos que proveen bienes y servicios ambientales a las poblaciones costeras del país ([Andrade, 2011](#)). Adicionalmente se desarrollan actividades productivas y se generan residuos contaminantes que deterioran la calidad ambiental y ponen en riesgo la biodiversidad, disponibilidad de recursos y la economía de las comunidades ([INVEMAR, 2016a](#)).

Colombia, atendiendo a la necesidad de proteger los recursos naturales marinos y costeros para garantizar la calidad de vida de la población, ha apoyado y fortalecido iniciativas como la Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (REDCAM), que surgió en el año 2000 del proyecto “*Diagnostico y evaluación de la calidad ambiental marina del Caribe y Pacífico colombiano*”, cuyo propósito es contribuir con las bases científicas sobre la calidad ambiental marina y costera para la formulación de planes y programas de ordenamiento de los ecosistemas, de manera que posibilite el manejo integrado y el aprovechamiento sostenible de las aguas y sus recursos naturales asociados.

La REDCAM es coordinada por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) y está integrada por las entidades encargadas del manejo y control de los recursos y ambientes marinos y costeros, tales como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) con jurisdicción costera e insular, entre otras instituciones, las cuales participan como nodos del sistema.

La REDCAM lleva 16 años de funcionamiento, tiempo en el cual se ha fortalecido técnicamente y ha aportado constantemente información de la línea base ambiental, avanzando en la investigación de la calidad ambiental marina y costeras del país. La Red nacional de monitoreo REDCAM, ha logrado consolidarse como un instrumento que soporta la gestión de las autoridades ambientales, dando apoyo para cumplir con los planes, programas y políticas nacionales e internacionales.

En el presente informe diagnóstico 2016 se muestran los resultados de la evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y el Pacífico colombianos, durante el segundo semestre de 2015 y primer semestre de 2016, con base a las condiciones fisicoquímicas, microbiológicas, y las concentraciones de contaminantes orgánicos (plaguicidas e hidrocarburos del petróleo) e inorgánicos (metales pesados) en sitios de interés ambiental, presentados en un contexto nacional, regional y departamental. Además, se muestran los resultados de contaminantes en sedimentos marinos en algunas estaciones, como complemento al monitoreo.

El informe incluye además el inventario nacional de Fuentes de Contaminación al Mar Caribe y al Océano Pacífico colombianos, con el caso estudio del departamento de Sucre, y las actividades de fortalecimiento técnico y del sistema de información de la REDCAM.

ÁREA DE ESTUDIO

Durante el segundo semestre de 2015 y primer semestre de 2016, se monitorearon en total 339 estaciones de agua superficial, en 36 de las cuales se tomaron muestras de sedimento para complementar el diagnóstico (Figura 1-1). Estas estaciones se encuentran en sitios de importancia económica y ambiental, como golfos, bahías, lagunas costeras, ciénagas, playas, los frentes y 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 de contaminación. En el Caribe se tienen 219 estaciones distribuidas en la zona costera de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. En el Pacífico 120 estaciones distribuidas entre los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño (Figura 1-1).



Figura 1-1. Mapa donde se muestra la red de estaciones de monitoreo (puntos de color rojo) de la REDCAM en las costas del Caribe y Pacífico colombianos.

METODOLOGÍA

FASE DE CAMPO

Los muestreos se realizaron entre junio y noviembre de 2015 y entre febrero y julio de 2016. En los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño, con excepción de los departamentos de San Andrés y Providencia, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca, los muestreos fueron realizados por el personal del INVEMAR, con el apoyo de funcionarios de la Corporación. En La Guajira, el personal técnico de CORPOGUAJIRA se encargó de tomar los datos *in situ*. Los muestreos en San Andrés, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca fueron realizados por los laboratorios de CORALINA, CARDIQUE, CORPOURABÁ y CVC respectivamente, quienes cuentan con la capacidad técnica para hacer el monitoreo de manera autónoma.

En todas las estaciones de muestreo se midieron *in situ* temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH usando equipos portátiles previamente calibrados (Figura 1-2a) y se recolectaron muestras de agua (Figura 1-2b) para analizar en el laboratorio las variables fisicoquímicas, microbiológicas, contaminantes orgánicos (hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno, y plaguicidas organoclorados y organofosforados) e inorgánicos (metales pesados disueltos). Adicionalmente, se tomaron muestras de sedimentos en algunas estaciones para medir materia orgánica, hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno, plaguicidas organoclorados y organofosforados, y metales pesados totales.



Figura 1-2. Salida de campo REDCAM. Medición de parámetros *in situ* (a), foto: Programa CAM; recolección de muestras de agua (b), fotos: CVC.

FASE DE LABORATORIO

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

En la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR se analizaron las muestras de agua y sedimento recolectadas en los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Córdoba, Chocó, Cauca y Nariño siguiendo diferentes

metodologías nacionales e internacionales estandarizadas, las cuales se describen en la Tabla 1-1 y Anexo 1.

Tabla 1-1. Parámetros y metodologías utilizadas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR para las muestras de la REDCAM.

Parámetro	Métodos de Análisis
Matriz agua	
Salinidad (Unidad)	Medición electrométrica de la conductividad con electrodo acoplado a sonda (Standard Methods 2520-B, APHA et al., 2012).
Temperatura (°C)	Medición electrométrica con termocupla acoplada a sonda portátil (Standard Methods 4500-HB, APHA et al., 2012).
pH (Unidades)	Medición potenciométrica con sonda portátil (Standard Methods 4500-H B; APHA et al., 2012).
Oxígeno disuelto (mg/L)	Medición en campo con electrodo de membrana (Standard Methods 4500-O G; APHA et al., 2012).
Demanda bioquímica de O ₂ (mg/L)	Incubación sin dilución durante 5 días a 20 °C (Standard Methods N° 5210 B; APHA et al., 2012).
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Filtración en membrana de fibra de vidrio, secado 103-105°C y gravimetría (Standard Methods N° 2540-D, APHA et al., 2012).
N-NO ₃ ⁻ (µg/L)	Método colorimétrico de la sulfanilamida (Garay et al., 2003).
N-NO ₂ ⁻ (µg/L)	Método colorimétrico basado en la reducción con cadmio y reacción por sulfanilamida (Garay et al., 2003).
N-NH ₄ ⁺ (µg/L)	Método colorimétrico del azul de indofenol (Garay et al., 2003).
P-PO ₄ ⁻³ (µg/L)	Método colorimétrico del ácido ascórbico (Garay et al., 2003).
Coliformes totales (NMP/100mL)	Fermentación en tubos múltiples método de números más probable (Standard Methods 9221-B; APHA et al., 2012).
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Fermentación en tubos múltiples método de número más probable (Standard Methods 9221-E, APHA et al., 2012).
Enterococos fecales (UFC/100mL)	Filtración por membrana (Standard Methods N° 9230 C, APHA et al., 2012).
Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (µg/L)	Extracción líquido-líquido con diclorometano y cuantificación fluorométrica (UNESCO, 1984 ; Garay et al., 2003).
Aldrin, dieldrin, endrin, endrin aldehído, endrin cetona, ppDDT, ppDDD, ppDDE, α, β, γ y δ HCH, heptacloro, heptacloro epóxido, α y γ Clordano, endosulfán I y II, metoxicloro, diazinon, clorotalonil, metilparation, Bromacil, clorpirifós, cis y trans-permetrina (ng/L)	Extracción líquido – líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM (PNUMA, 2008).
Metales disueltos: plomo, cadmio, cromo, cobre, zinc, níquel y hierro (µg/L)	Extracción APDC-MIBK-HNO ₃ 1N y cuantificación por absorción atómica con llama (Standard Methods N° 3111-C, APHA et al., 2012 , Garay et al., 2003).
Matriz sedimentos	
Materia Orgánica (mg/g) en p.s.	Digestión en frío con dicromato de potasio, método de Walkley y Black (IGAC, 1990).
Hidrocarburos del petróleo equivalente de criseno (µg/g) en	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona y cuantificación fluorométrica (Garay et al., 2003).

Parámetro	Métodos de Análisis
p.s.	
Diazinon, clorotalonil, metil paration, Bromacil, clorpirifós, fenamifos, cis-permetrina, α – HCH, Heptacloro, aldrin, α -clordano, endosulfán I, endrin aldehído, endosulfán sulfato, ppDDT, endrin cetona, metoxicloro (ng/g) en p.s.	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica-alúmina y cuantificación por GC-MSD modo SIM (UNEP et al., 1992).
Metales totales: plomo, cadmio, cromo, cobre, zinc, níquel, hierro y mercurio ($\mu\text{g/L}$) en p.s.	Digestión asistida por microondas (Método EPA 3052, 1996) y cuantificación por espectrometría de absorción atómica con llama (Standard Methods N° 3500, APHA et al., 2012) y Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica (EPA, 2007).

BASE DE DATOS DEL SISTEMA

La información de calidad de aguas y sedimentos marino-costeros de los 12 departamentos se estandarizó e ingresó al sistema de información de la REDCAM para su custodia. Los datos cargados al sistema REDCAM pueden ser consultados por el público en general y por los funcionarios de las entidades que hacen parte del programa, a través de <http://siam.invemar.org.co/siam/index.jsp> o desde la página principal del Invemar. Además pueden utilizar los módulos estadística, variables monitoreadas, indicadores y geovisor disponibles permanentemente de forma online (Figura 1-3).

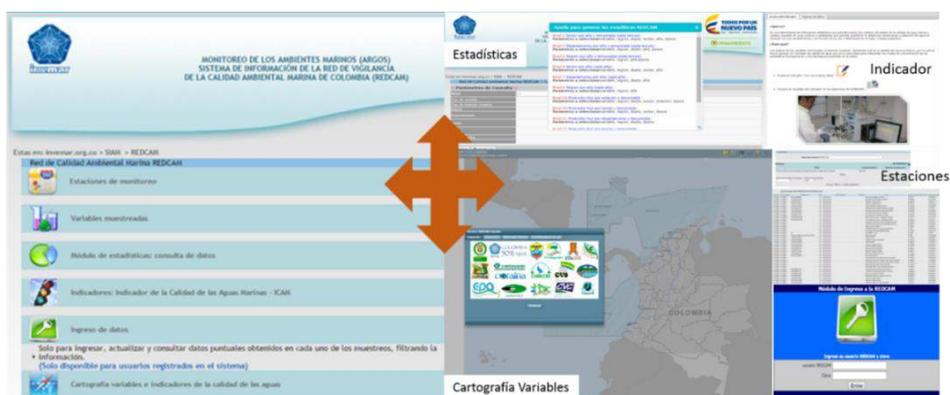


Figura 1-3. Servicios de la plataforma online de la REDCAM.

ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados de las mediciones se analizaron con estadística básica y se compararon con los criterios de calidad descritos en el Decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)) para las variables que están reglamentadas y con valores de referencias descritos en guías internacionales y en la bibliografía científica que se muestran en el Anexo 1.

Aplicación del índice de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna- ICAM_{PPF}

El Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras para la preservación de flora y fauna (ICAM_{PPF}), es un indicador de estado que facilita la interpretación de las condiciones naturales y el impacto antropogénico sobre el recurso hídrico marino. Este indicador, permite integrar la información de ocho variables (oxígeno disuelto, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos, hidrocarburos disueltos y dispersos equivalentes de criseno, y coliformes termotolerantes) que representan según sus valores de aceptación o rechazo una calidad o condición del agua para la preservación de la flora y fauna (Tabla 1-2). La información se integra en una ecuación de promedio geométrico ponderado, categorizando la información en cinco escalas de calidad definidas entre 0 y 100, en función de los valores de referencias o criterios de calidad nacionales o internacionales (Vivas-Aguas *et al* 2015a).

Como alternativas de manejo de la calidad del agua identificada por el ICAM_{PPF}, se propone adoptar las medidas de seguimiento e investigación que se describen en la Tabla 1-2, para identificar la causa y la fuente o fuentes del deterioro del agua, de manera que sirva para diseñar las medidas de reducción o mitigación del impacto sobre el ecosistema que esté siendo afectado. Para mayor información consultar la hoja metodológica del indicador en: <http://indicadores.invemar.org.co/icam> y <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/indicadores-ambientales-iaii>.

Tabla 1-2. Escalas de valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM_{PPF}), y opciones de medidas que se pueden optar según la valoración del indicador ICAM_{PPF} (Modificado de Marín, 2001).

Escala de calidad	Categorías	Descripción	Opciones de medidas a optar
Óptima	100-90	Calidad excelente del agua	Continuar con el monitoreo
Adecuada	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática	Caracterización, diagnóstico y verificación
Aceptable	70-50	Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso	Monitoreo y evaluación fisicoquímicos y tóxicos semestral
Inadecuada	50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso	Monitoreo/bioensayos/medidas de control y vigilancia. Evaluación: fisicoquímicos y tóxicos, plan de contingencia trimestral
Pésima	25-0	Aguas con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado	Monitoreo y seguimiento /bioensayos/ evaluación: fisicoquímicos y tóxicos /plan de contingencia/ aplicación de medidas de choques trimestral

FUENTES TERRESTRES Y MARITIMAS DE CONTAMINACIÓN AL MAR CARIBE Y OCÉANO PACÍFICO COLOMBIANO

Ostin Garcés-Ordóñez, Mónica Bayona-Arenas y Janet Vivas-Aguas



Embarcaciones en puerto de la Sociedad Portuaria de la Península S.A. (PENSOPORT S.A), Bahía Portete, La Guajira. Foto: Ostin Garcés.

1. FUENTES DE CONTAMINACIÓN AL MAR

En las zonas costeras de Colombia se ubican asentamientos humanos con una alta densidad poblacional, donde se realizan una serie de actividades que contribuyen al desarrollo socioeconómico como la actividad portuaria, agrícola, ganadera, minera, industrial, turismo, entre otras que producen múltiples residuos líquidos y sólidos con cargas de materia orgánica, nutrientes inorgánicos, microorganismos de origen fecal, contaminantes orgánicos persistentes, metales pesados, así como plásticos y microplásticos que no siempre son manejados de manera adecuada y que pueden llegar al ambiente marino-costero, deteriorando la calidad de los ecosistemas, el recurso hídrico y la biota asociada ([Garay y Vélez, 2004](#); [CCCCP, 2012](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#); [Garcés-Ordóñez, 2016](#)). De igual forma, los ríos aunque no se consideran una fuente de contaminación propiamente dicha, son un medio que facilita el transporte de las sustancias contaminantes desde las cuencas altas hasta el mar y sus descargas son de gran importancia en el sistema marino y costero ([Escobar, 2002](#)).

Dentro del programa de monitoreo de la REDCAM, se ha venido realizando de manera detallada el inventario nacional de Fuentes Terrestres y Marítimas de Contaminación al mar (FTCM), mediante visitas de campo, revisión de información secundaria, cálculo de cargas contaminantes y la producción de residuos sólidos y vertimientos, para contar con información que le permita a los tomadores de decisiones enfrentar la problemática de la contaminación marina en el país y su impacto sobre los ecosistemas marinos. Dentro de las actividades y fuentes identificadas se consideran de mayor importancia y alto impacto, los residuos que genera la población costera, las descargas de los ríos, las escorrentías agrícolas y urbanas, minería y turismo (Tabla 1-1, Figura 1-1 y Figura 1-2).

Tabla 1-1. Inventario Nacional de Población costera, actividades productivas, fuentes de contaminación y principales contaminantes que afectan la calidad del agua marina y costera en Colombia. Fuentes de información: CAR costeras, INVEMAR y Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, DANE.

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	Dos municipios costeros (San Andrés y Providencia). Aguas residuales domésticas, emisario submarino en San Andrés, pozos sépticos, residuos sólidos, rellenos sanitarios, actividad hotelera y turística intensiva, escorrentías, transporte y tráfico marítimo, puertos y muelles, manejo de hidrocarburos, estaciones de servicio, actividad pecuaria de pequeña escala, pequeños arroyos en las microcuencas de McBean, Baley y Fresh water, los cuales aumentan sus caudales durante la temporada de lluvias.	Aguas residuales domésticas, materia orgánica, nutrientes, grasas y aceites, hidrocarburos, residuos sólidos, detergentes, sólidos disueltos y suspendidos, lixiviados, y microorganismos.
La Guajira	Cuatro municipios costeros (Riohacha, Dibulla, Manaure y Uribia). Aguas residuales domésticas, residuos sólidos, botadero a cielo abierto, rellenos sanitarios, minería intensiva, explotación y transporte de carbón, puerto carbonero (Puerto Bolívar), transporte marítimo, estaciones de servicio, agricultura, termoeléctrica, matadero de vacunos, descarga de ocho	Aguas residuales domésticas, materia orgánica, nutrientes, grasas y aceites, hidrocarburos, residuos sólidos, residuos de carbón, agroquímicos, aguas térmicas, aguas de sentinas, sólidos disueltos y suspendidos, y

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

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
	principales ríos (Ranchería, Camarones, Tapia, Jerez , Caña, Ancho, Negro y Palomino).	microorganismos.
Magdalena	Cuatro municipios costeros (Santa Marta, Ciénaga, Sitionuevo, Pueblo Viejo). Aguas residuales domésticas, emisario submarino, residuos sólidos, rellenos sanitarios, botadero a cielo abierto, actividad marítima y portuaria, transporte terrestre de carbón, cargue y transporte marítimo de carbón en el corredor Ciénaga - Santa Marta, transporte y manejo de hidrocarburos, agricultura (banano, palma de aceite, entre otros), actividad turística y hotelera, nueve ríos principales (Don Diego, Buritaca, Guachaca, Piedras, Mendihuaca, Manzanares, Gaira, Toribio y Córdoba).	Aguas residuales domésticas, materia orgánica, nutrientes, residuos sólidos, residuos de carbón, hidrocarburos, grasas y aceites, aguas de sentinas, agroquímicos, lixiviados, sólidos disueltos y suspendidos, y microorganismos.
Atlántico	Cinco municipios costeros (Barranquilla, Puerto Colombia, Juan de Acosta, Soledad y Tubará). Aguas residuales, residuos sólidos, rellenos sanitarios, puertos fluviales y marítimos multipropósito y de carbón, industrias metalúrgicas, químicas, farmacéuticas, cementeras, curtiembres, agroquímicos, procesadoras de alimentos y bebidas y textiles; agricultura y descargas del río Magdalena.	Aguas residuales domésticas e industrial, materia orgánica, nutrientes, residuos sólidos e industrial, lixiviados, residuos de carbón, hidrocarburos, grasas y aceites, agroquímicos, sólidos disueltos y suspendidos, y microorganismos.
Bolívar	Dos municipios costeros (Cartagena y Santa Catalina). Aguas residuales domésticas, emisarios de emergencia, residuos sólidos, rellenos sanitarios, sector industrial de Mamonal y zona comercial de El Bosque, actividad marítima y portuaria, manejo de hidrocarburos, refinería y descarga del Canal del Dique.	Aguas residuales domésticas e industrial, materia orgánica, residuos sólidos, lixiviados, hidrocarburos, aceites y grasas, metales pesados, desechos industriales y microorganismos.
Sucre	Tres municipios costeros (Tolú, Coveñas y San Onofre). Aguas residuales, rellenos sanitarios, actividad agropecuaria (arroz; pastos, coco y ganadería), madereras, industrias pesqueras, camarónicas y zocriaderos, actividad portuaria, terminal marítimo de Ecopetrol, zona de cargue de cemento y klinker, manejo y transporte de hidrocarburos, mataderos, estaciones de servicio y aportes por corrientes naturales (Arroyos Pechelín, Villeros, Ciénaga la Caimanera, Caño Guainí, Zaragocilla, Guacamaya, Alegría).	Agua residual, materia orgánica, sólidos en suspensión, agroquímicos, residuos sólidos, lixiviados, microorganismos, aguas de sentina, hidrocarburos, aceites y residuos oleosos, residuos de carbón, Klinker y metales pesados.
Córdoba	Cinco municipios costeros (Los Córdoba, Moñitos San Antero, San Bernardo del Viento y Puerto Escondido). Aguas residuales, pozos sépticos, rellenos sanitarios, agricultura (arroz) y ganadería intensiva, turismo, residuos sólidos y aportes de seis ríos (Sinú, Broqueles, Cedro, Mangle, Canaletes y Córdoba).	Aguas residuales, materia orgánica, nutrientes, residuos sólidos, lixiviados, agroquímicos, sólidos disueltos y suspendidos, y microorganismos.
Antioquia	Cuatro municipios costeros (Arboletes, San Juan de Urabá, Turbo y Necoclí). Aguas residuales domésticas, residuos sólidos, relleno sanitario, actividad portuaria en	Aguas residuales, materia orgánica, nutrientes, residuos sólidos, lixiviados, agroquímicos,

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

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

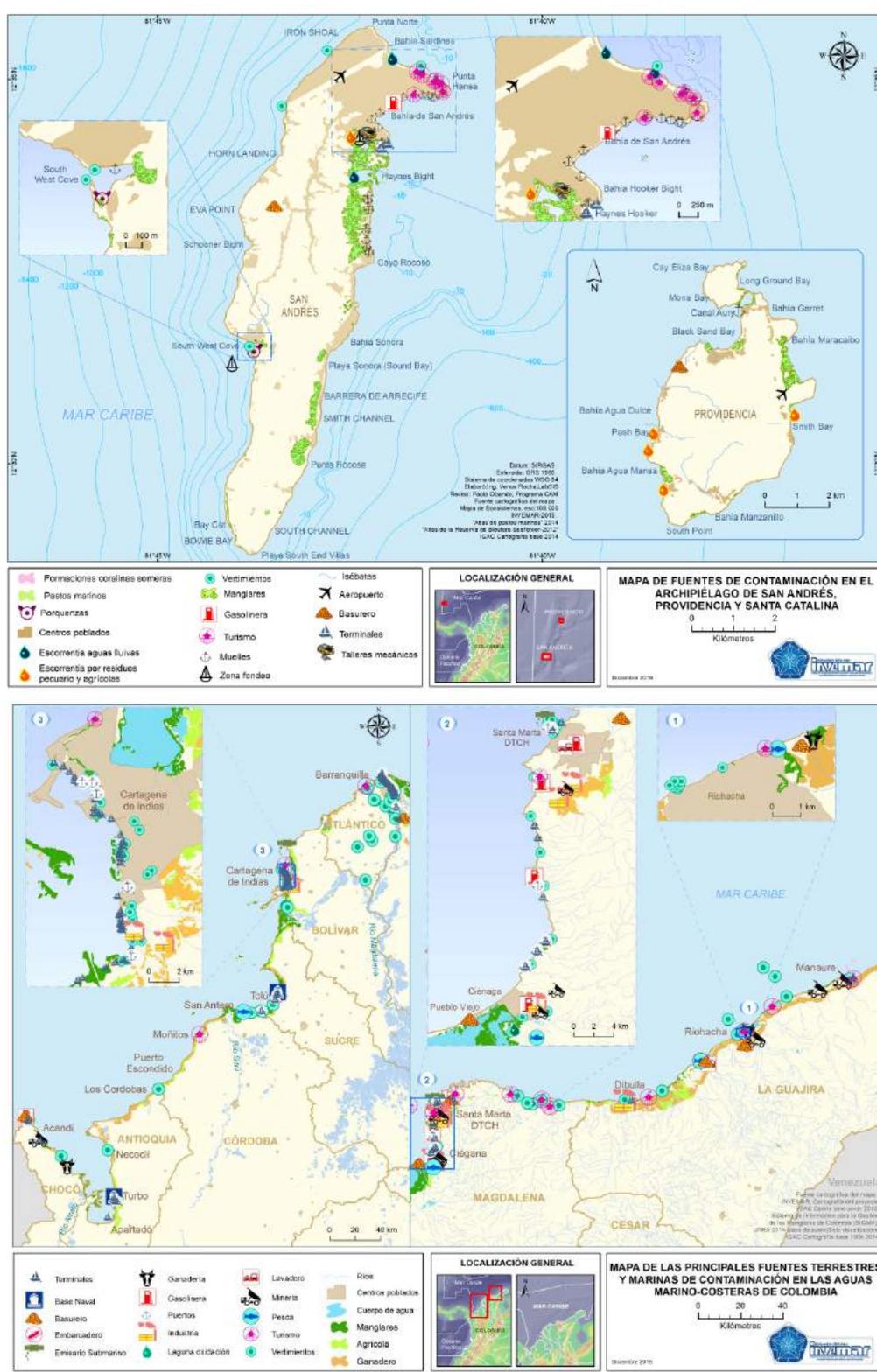


Figura 1-1. Ubicación de las principales actividades y fuentes de contaminación en la costa Caribe Colombiana.

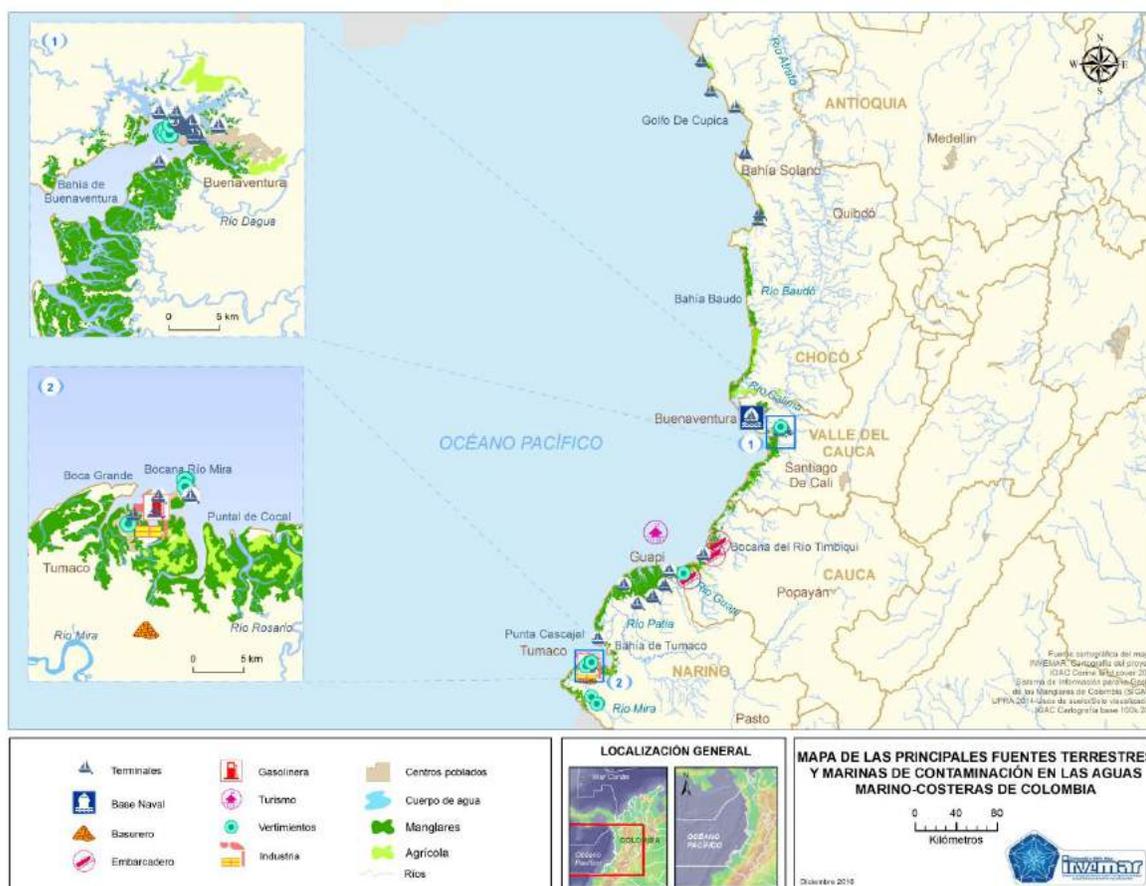


Figura 1-2. Ubicación de las principales actividades y fuentes de contaminación en la costa Pacífico Colombiana.

1.1 RESIDUOS DE LA POBLACIÓN COSTERA

La producción de residuos en los asentamientos costeros de Colombia, se asocia con el tamaño de la población y sus actividades domiciliarias, industriales y comerciales. El impacto de los residuos sobre la calidad ambiental marina depende de los sistemas de tratamiento y de la disposición final que estén implementados en cada ciudad ([Garay y Vélez, 2004](#); [Superservicios, 2016](#); [Noguera y Oliveros, 2010](#)). Para el año 2016 se estimó una población de ~5'700.000 habitantes, de los cuales el 85 % se distribuye en 31 municipios de la costa Caribe y el 15 % restante en 16 municipios de la costa del Pacífico (Figura 1-3; [DANE, 2017](#)), destacándose por su producción de residuos los municipios más poblados e industrializados o las ciudades capitales de departamento como Barranquilla, Cartagena, Soledad, Santa Marta, Riohacha, Turbo, Buenaventura y Tumaco (Figura 1-3; Figura 1-4). Si bien la recolección de residuos sólidos muestra cifras aceptables de cobertura, el servicio de alcantarillado todavía presenta deficiencias en la mayoría de los municipios costeros, permitiendo que haya una inadecuada disposición y se afecte el ambiente y en particular los sistemas acuáticos (Figura 1-3).

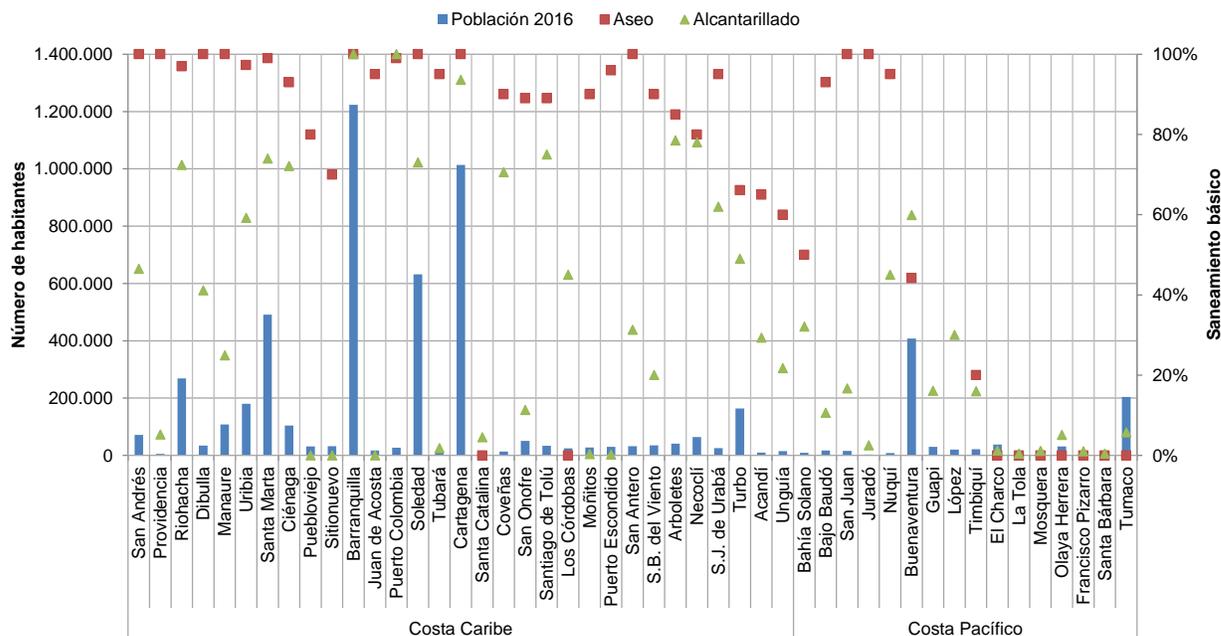


Figura 1-3. Población y cobertura del saneamiento básico de los municipios costeros del Caribe y Pacífico colombiano. Fuente: Fuente: Superservicios (2014a, b; 2016); Proactiva S.A. (2015), MinTrabajo y PNUD (2013); Gobernación de Antioquia (2012); Alcaldía Moñitos (2012); DANE (2017).

1.1.1 Residuos sólidos

Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios ([Superservicios, 2014a; 2016](#)) la producción de residuos sólidos en los municipios costeros para los años 2013 y 2014 se estimó en 3.361 y 3.676 t/día respectivamente, siendo las ciudades de la costa Caribe las que mayor cantidad de residuos generaron (Figura 1-4), aportando cerca del 92 % del total, lo cual coincide con el tamaño de la población y la cobertura del servicio de aseo (Figura 1-3). El 55 % de los municipios disponen sus residuos en rellenos sanitarios, el 8 % en celdas transitorias y de contingencia, el 26 % en botaderos a cielo abierto y un 11 % vierten los residuos directamente en cuerpos de agua naturales ([Superservicios, 2014a](#)) los cuales finalmente llegan a las zonas costeras y marinas y se acumula en playas, manglares y fondos marinos, afectando estos ecosistemas y su belleza paisajística ([Garcés-Ordóñez, 2016](#)).

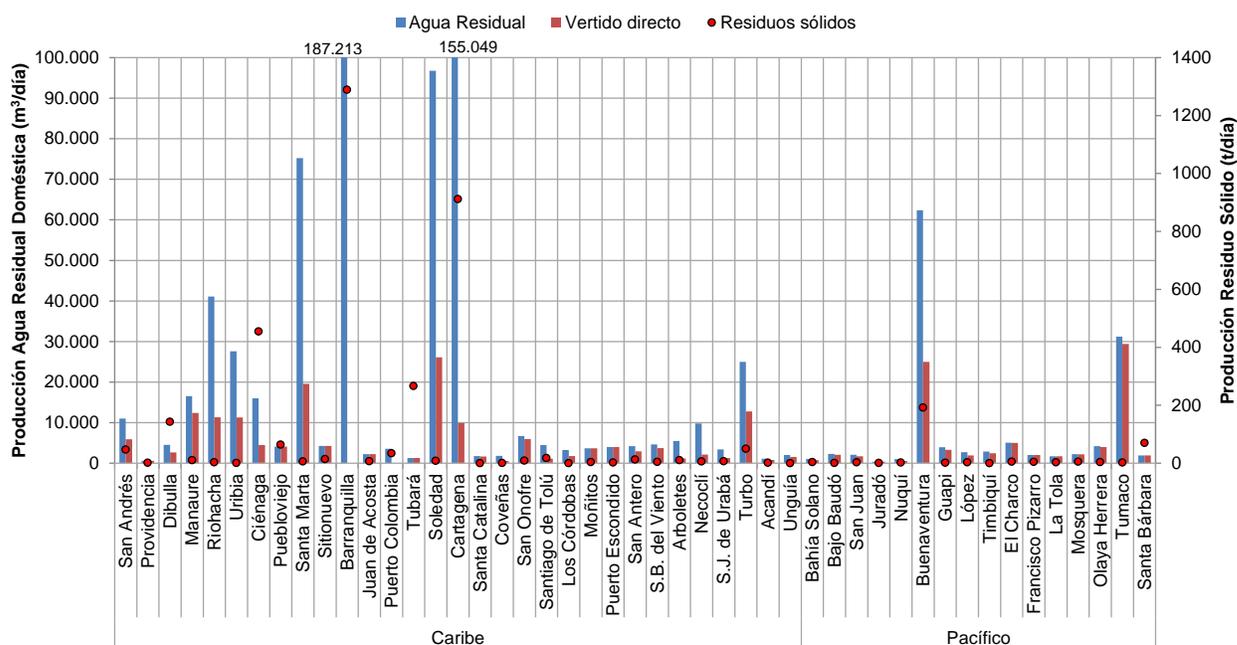


Figura 1-4. Producción estimada de agua residual doméstica según metodología UNEP-RCU/CEP (2010) y residuos sólidos según Superservicios (2014a), 2016, en los municipios costeros del Caribe y Pacífico Colombiano.

1.1.2 Aguas residuales domésticas

Con respecto a la producción de agua residual doméstica (ARD), para el año 2016 se estimó un caudal de 855.740 m³/día, con la metodología de [UNEP-RCU/CEP \(2010\)](#), la cual considera el tamaño de la población, la dotación neta de agua, cobertura de alcantarillado y un coeficiente de retorno de 0,85 para poblaciones con niveles de complejidad medio, medio-alto y alto ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)). Del total de ARD producida, se presume que el 29 % fue vertido directamente a los cuerpos de agua naturales sin ningún tipo de tratamiento previo, debido a la baja cobertura de alcantarillado en los municipios costeros (Figura 1-3). Los mayores aportes de ARD provienen de los asentamientos costeros del Caribe (161.238 m³/día), en comparación con los del Pacífico (84.464 m³/día; Figura 1-4). Este caudal de agua residual que sería vertido, tendría una carga contaminante presuntiva de 30.765 t/año de materia orgánica, representada en DBO₅; 61.531 t/año de DQO, 7.984 t/año de nitrógeno inorgánico total, 492 t/año de fósforo inorgánico total, 30.765 t/año de sólidos suspendidos totales y 1,23*10²⁰ NMP/año de microorganismos representado en coliformes totales. En términos de la carga contaminante estimada, fue evidente que los municipios con mayor población hicieron el mayor aporte (Figura 1-5).

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

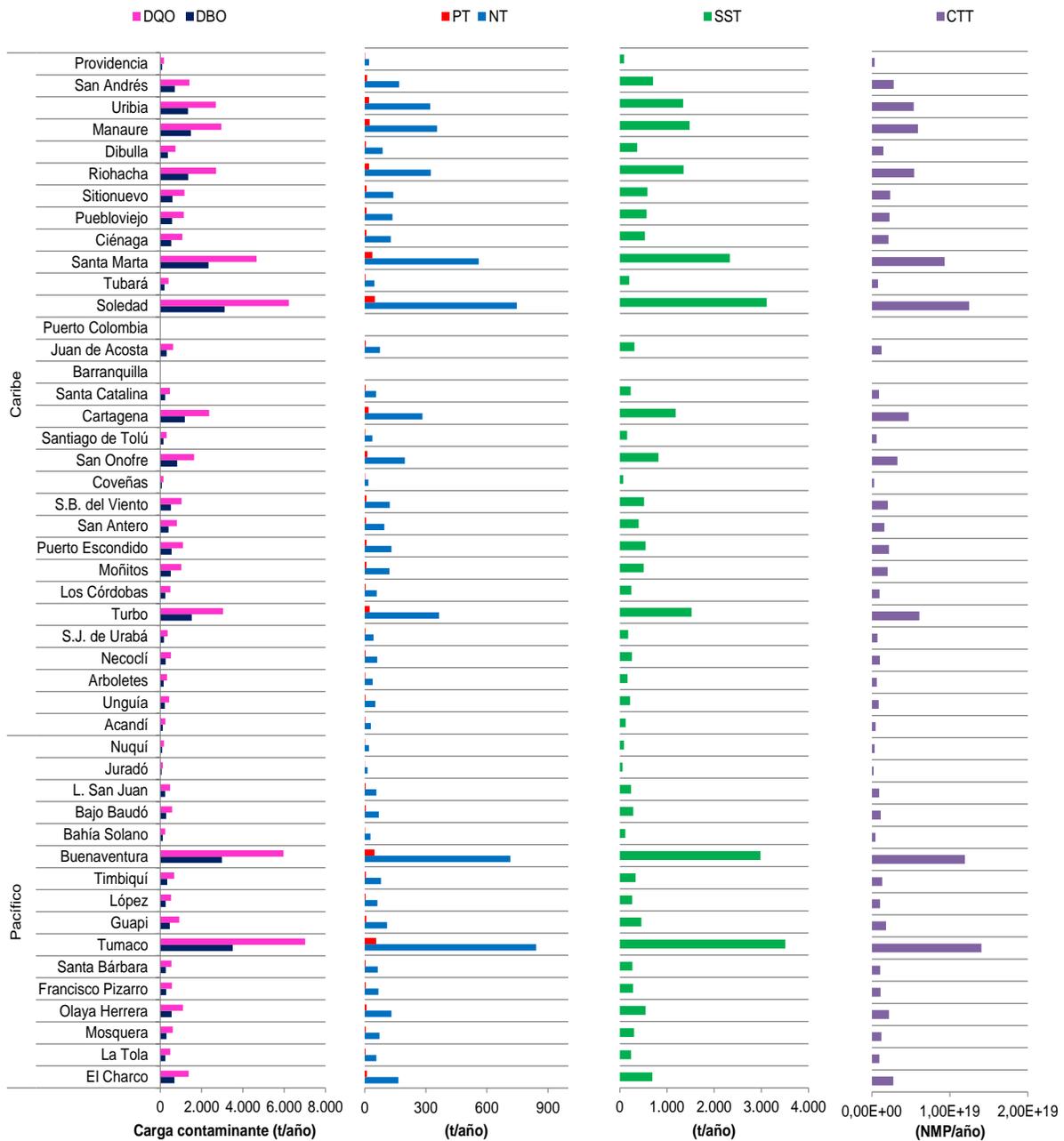


Figura 1-5. Carga contaminante estimada que vierte la población costera del Caribe y Pacífico colombianos en el año 2016, calculada en términos de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda bioquímica de oxígeno (DQO), nitrógeno inorgánico (NIT), fósforo inorgánico (PT), sólido suspendido total (SST) y coliformes totales (CTT) y en función de la deficiencia de alcantarillado sistemas de tratamiento.

Con la información del monitoreo nacional de calidad de aguas REDCAM se ha establecido que uno de los tensores que viene generando mayor impacto sobre el recurso hídrico marino costero en diferentes zonas del país, es la deficiencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)). El 62 % de los municipios costeros de

Colombia, en la gran mayoría ubicados en el Pacífico, no cuentan con ningún tipo de sistema de tratamiento de ARD; el 21 % utilizan lagunas de oxidación, 10 % lagunas de estabilización y el 7 % usan como mecanismo de disposición final emisarios submarinos, como Santa Marta, San Andrés y Cartagena ([Superservicios, 2014b](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)). Con este panorama, se evidencia la necesidad de hacer mayor inversión e implementar acciones técnicas para reducir la contaminación en el país.

1.2 DESCARGAS DE LOS RÍOS

Los ríos son considerados las vías de entrada de los contaminantes que se generan por las diversas actividades productivas y de las poblaciones asentadas en las cuencas altas que los utilizan como cuerpo receptor de toda clase de vertimientos ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016b](#)), llegando finalmente a la zona costera y al mar ([Escobar, 2002](#)).

Para conocer el comportamiento de los aportes de los ríos a la zona costera, se calcularon las cargas presuntivas de contaminantes en 38 tributarios principales que desembocan al mar, teniendo en cuenta el caudal medio histórico ([IDEAM, 2016a](#); [Restrepo, 2006](#); [Garay et al., 2006](#)) y las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), ortofosfatos (PO_4^{3-}), sólidos suspendidos totales (SST), hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) y coliformes termotolerantes (CTE), medidas en el monitoreo de la REDCAM en el año 2015.

Los resultados mostraron que la carga total que aportaron estos ríos a la zona costera (Tabla 1-2) fue de 63.333 t/año de NID, 34.588 t/año de PO_4^{3-} , 28.175.501 t/año de SST, 404 t/año de HPDD y $1,24 \times 10^{11}$ NMP/año de CTE. En la región Caribe, se reportaron cargas de NID, PO_4^{3-} y CTE hasta diez veces más altas que las del Pacífico, debido a la influencia de los ríos Magdalena, Atrato y el Canal del Dique. Cabe resaltar que sólo el río Magdalena aportó el 54 % de NID, 93 % de PO_4^{3-} y el 99 % de CTE de la carga nacional. En la región del Pacífico la mayor carga de NID, PO_4^{3-} y CTE se vio reflejada en los ríos Mira, Micay y Saija (Tabla 1-2), donde solo el río Mira aportó el 18 % en NID, el 21 % de PO_4^{3-} y 47 % de CTE, seguido del río Micay con el 29 % en NID, 27 % de PO_4^{3-} y 18 % de CTE.

En términos generales, la carga de SST y de HPDD a nivel nacional fue aportada en un 66 % y un 75 % por el río Magdalena, respectivamente; le siguieron el río Mira con un 7 % de STT y un 11 % de HPDD, el Canal de Dique en un 6 % de SST y el río Sinú con un 4 % de HPDD. Las cargas contaminantes no sólo se ven reflejadas en el caudal del tributario, si no en la influencia de la intervención antrópica (vertimientos de aguas residuales, escorrentías agrícolas y urbanas, residuos de actividades portuarias, tráfico de embarcaciones, aprovechamiento forestal de la ronda hídrica que favorecen los procesos de erosión, entre otros), a la que están sometidos estos afluentes y que se evidencia en las altas concentraciones reportadas a lo largo del monitoreo REDCAM ([INVEMAR, 2016b](#)).

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

Tabla 1-2. Carga estimada de contaminantes aportados por los principales tributarios que desembocan al Caribe y Pacífico colombianos en el 2015. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID), fósforo inorgánico disuelto (PO₄⁻³), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de crisoeno (HPDD) y coliformes termotolerantes (CTE). Fuente Caudal: serie de tiempo 1959- 2015 (IDEAM, 2016); Restrepo (2006); Garay *et al.* (2006); Fuente concentraciones: Base de datos REDCAM (INVEMAR, 2016b).

Departamento	Tributario	Caudal	NID	PO ₄ ⁻³	SST	HPDD	CTE
		(L/seg)	(t/año)	(t/año)	(t/año)	(t/año)	(NMP/año)
La Guajira	Cañas	0,01	26,50	10,19		0,03	5,0E+05
	Jerez	0,02	46,36	16,49		0,08	2,1E+05
	Palomino	0,03	92,62	25,95		0,32	1,8E+06
	Ranchería	0,01	93,24	52,47	3,3E+03	1,51	8,6E+05
Magdalena	Buritaca	0,06	493,05	89,67	4,6E+03	0,65	7,7E+06
	Córdoba	0,01	18,57	29,33	3,2E+03	0,31	1,4E+06
	Don Diego	0,05	109,53	46,47	9,7E+03	0,97	4,9E+06
	Gaira	0,00	5,89	8,24	1,9E+03	0,18	5,0E+06
	Guachaca	0,02	12,11	37,76	1,7E+03	0,20	1,3E+06
	Manzanares	0,00	11,50	9,01	5,3E+03	0,09	1,5E+07
	Piedras	0,00	2,16	11,89	3,1E+02	0,04	2,1E+06
	Toribio	0,01	14,55	17,79	2,1E+03	0,17	1,4E+06
Atlántico	Clarín	0,02	97,88	109,92	1,2E+05	0,53	2,4E+05
	Magdalena	7,23	33.883,28	32.299,63	1,9E+07	304,20	1,2E+11
Bolívar	Caño Correa	0,13	142,06	121,42	3,3E+05		1,6E+04
	Canal del Dique	0,36	4.080,53	686,48	1,7E+06	2,97	1,9E+08
Sucre	Pechelín	0,001	18,51	16,67	1,1E+03	0,02	0,0E+00
Córdoba	Sinú	0,39	2.040,32	121,30	2,6E+05	14,74	5,4E+07
Antioquia	Atrato	1,87	13.015,52	20,69	1,4E+06		9,8E+06
	Guadualito	0,00	31,72	4,51	1,4E+05		1,4E+07
	Mulatos	0,02	52,10	52,10	1,7E+04		3,5E+06
	Necoclí	0,00	194,92	2,85	8,8E+02		9,3E+04
	Currulao	0,01	33,31	34,31			9,9E+07
	León	0,08	911,50	0,95	3,5E+05		6,4E+08
	Turbo	0,00	76,69	17,03	8,5E+03		1,5E+07
Total Caribe		10,34	55.504	33.843	2,3E+07	327,03	1,2E+11
Valle del cauca	Anchicayá	0,07	37,04		9,5E+04		4,6E+04
	Dagua	0,13	201,48		9,9E+04		3,7E+06
	Potodó	0,06			7,2E+04		1,4E+05
Cauca	Guapi	0,36	840,55	31,53	1,5E+05	1,69	2,3E+05
	Micay	0,65	2.302,92	200,57	6,9E+05	9,36	6,7E+07

Departamento	Tributario	Caudal	NID	PO ₄ ⁻³	SST	HPDD	CTE
		(L/seg)	(t/año)	(t/año)	(t/año)	(t/año)	(NMP/año)
	Saija	0,17	558,30	107,21	3,4E+05	2,09	1,1E+07
	Timbiquí	0,15	299,04	41,06	5,2E+05	5,01	6,1E+06
Nariño	Brazo Patía	0,37	628,86	56,74	3,5E+05	8,69	7,8E+07
	Chagüi	0,13	462,26	52,63	4,4E+05	0,97	1,6E+07
	Iscuandé	0,21	394,21	48,31	2,1E+05	1,54	1,7E+06
	Mejicano	0,05	275,52	9,22	2,8E+04	0,86	4,2E+06
	Mira	0,87	1.415,33	153,30	2,1E+06	44,90	1,7E+08
	Rosario	0,15	413,23	44,66	2,0E+05	2,85	9,7E+06
Total Pacífico		3,36	7.829	745	5,2E+06	78	3,7E+08
Total Nacional		13,70	63.333	34.588	2,8E+07	405	1,2E+11

1.3 CASO ESTUDIO: FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DE SUCRE

El departamento de Sucre se encuentra en la Unidad Ambiental Costera Estuarina del Río Sinú y el Golfo de Morrosquillo. Cuenta con 112 km de costa en la que hay manglares, lagunas costeras, praderas de fanerógamas marinas, playas de arena y arrecifes coralinos ([Posada et al., 2008](#); [INVEMAR et al., 2002](#)). Estos ecosistemas brindan servicios ecosistémicos de provisión, soporte y estéticos a los pobladores de la región y a la población flotante de turistas que visitan las playas de Berrugas, Rincón del Mar, Coveñas y Tolú, favoreciendo el desarrollo económico del departamento. Sin embargo, el inadecuado manejo de los residuos generados ocasiona deterioro de la calidad ambiental marina y costera ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)).

El inventario de FTCM del departamento de Sucre se elaboró a partir del análisis de información secundaria disponible en la web y proporcionada por la Gobernación, las alcaldías de San Onofre y Coveñas, y la Corporación Autónoma Regional de Sucre - CARSUCRE sobre actividades socioeconómicas, saneamiento básico, población costera, inventario de vertimientos, producción de residuos sólidos entre otros. Adicionalmente, se realizó una salida de campo del 17 al 22 de abril de 2016, para hacer una inspección visual, obtener información primaria, identificar y georreferenciar los sitios donde se realizan actividades económicas como el turismo, pesca, transporte marítimo, las desembocaduras de los tributarios, los botaderos a cielo abierto y satélites, y los sistemas de tratamiento de aguas servidas, entre otros (Figura 1-6).

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



Figura 1-6. Actividades de a) turismo, b) pesca artesanal y c) transporte marítimo en Coveñas y d) disposición de aguas servidas en Caño Guainí. Fotos: Paola Obando y Ostin Garcés.

El ejercicio de campo y la revisión bibliográfica permitió establecer que las actividades económicas de mayor importancia en la franja costera del departamento son la agricultura, la pesca, el transporte marítimo y el turismo, con mayor énfasis en las playas de Santiago de Tolú y Coveñas ([Gobernación de Sucre, 2012](#); [Alcaldía de Coveñas, 2016](#); [Concejo Municipal de San Onofre, 2012](#), [Alcaldía de Santiago de Tolú, 2012](#)). Estas actividades, en conjunto con la inadecuada disposición de aguas servidas y de residuos sólidos observados en campo, son las principales fuentes de contaminación al mar que generan alteraciones en la calidad de las aguas marinas y costeras porque aportan altas concentraciones de materia orgánica, nutrientes, residuos de hidrocarburos del petróleo y basura marina como plásticos y microplásticos (Tabla 1-3; Figura 1-7).

Tabla 1-3. Actividades productivas, fuentes y residuos contaminantes que afectan la calidad ambiental marina y costera en el departamento de Sucre. Fuentes de información: Alcaldía de Coveñas (2016); Concejo Municipal de San Onofre (2012); Consejo Municipal de Santiago de Tolú (2016).

Actividad / Fuente Contaminante		Sustancias contaminantes	Receptor
Residuos de la población	Disposición de residuos sólidos en cuerpos de agua.	Materia orgánica, residuos de hidrocarburos, aceites, metales pesados, microorganismos patógenos, detergentes, sólidos sedimentables y en suspensión, plásticos.	Caños, Arroyos, Ciénaga La Caimanera, Acuíferos, Mar Caribe.
	Vertimientos de aguas residuales a cuerpos de agua con y sin tratamiento previo.		
Descargas de tributarios	Caños Guacamayal, Alegría, El Francés, Guainí, Arroyo Cascajo, Boca de Ciénaga La Caimanera, entre otros.	Materia orgánica, detergentes, metales pesados, agroquímicos, nutrientes, sólidos, microorganismos patógenos, plásticos.	Mar Caribe
Actividades	Agropecuaria (Ganadería, Pesca	Nutrientes, agroquímicos, materia	Caños, Arroyos, Mar

Actividad / Fuente Contaminante		Sustancias contaminantes	Receptor
productivas y socioeconómicas	y cultivos)	orgánica, metales pesados, plásticos.	Caribe
	Turismo (hoteles, restaurantes, actividades recreativas)	Materia orgánica, residuos de hidrocarburos, aceites, microorganismos, detergentes, plásticos.	Caños, Arroyos, Mar Caribe.
	Industria (Almacenamiento de Crudo y Planta de cemento y cal)	Residuos de hidrocarburos, sólidos en suspensión.	Mar Caribe
Actividades Marítimas	Transporte de pasajeros, mercancía, cargue y descargue de productos.	Aguas de lastre, residuos de hidrocarburos, otros residuos oleosos, plásticos.	Mar Caribe

Las problemáticas ambientales se centran en la zona sur del departamento donde hay una alta demanda turística, se encuentran los terminales portuarios y se concentran las descargas por tributarios, vías de entrada de contaminantes al mar, entre los cuales se menciona al caño Guainí, receptor de los vertimientos del municipio de Santiago de Tolú (Figura 1-7).

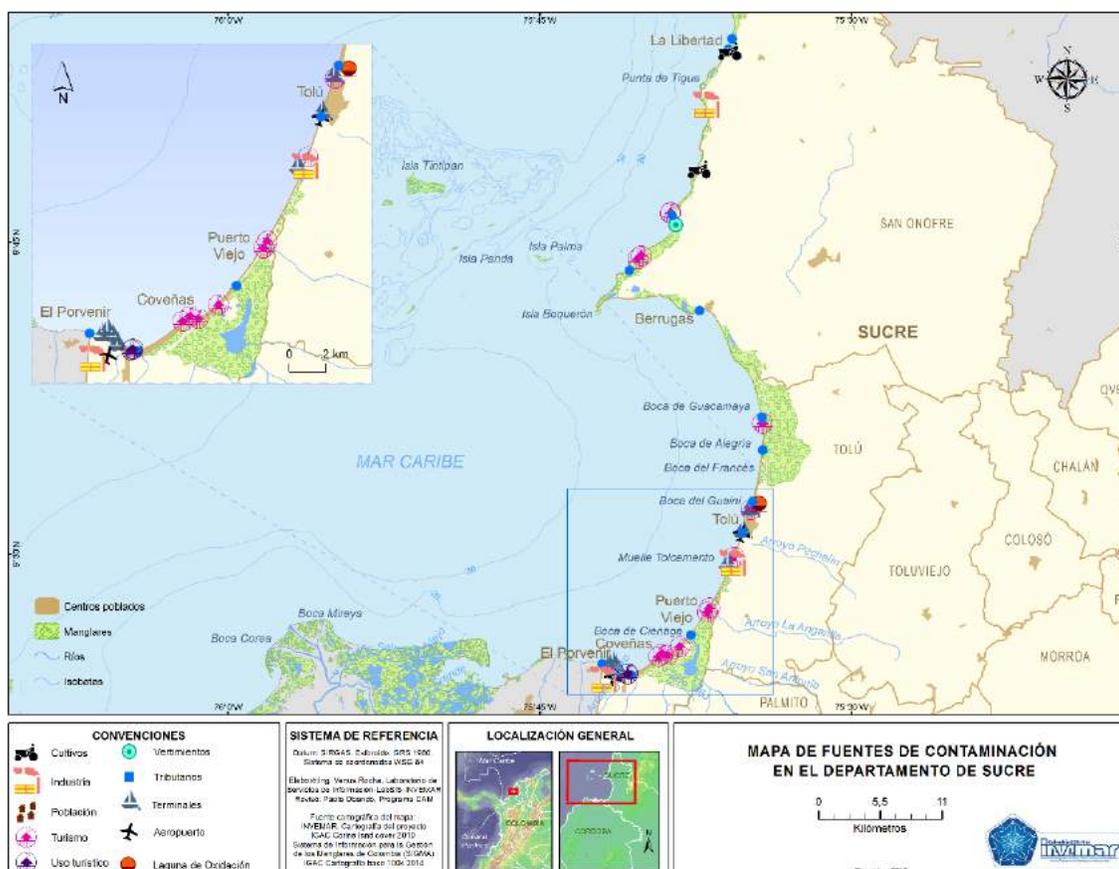


Figura 1-7. Mapa de fuentes terrestres de contaminación al mar en el Departamento de Sucre. Fuente: DANE (2017), INVENMAR (2016b), Ruíz (2011).

1.3.1 Asentamientos humanos y residuos

La población costera del departamento de Sucre está conformada por los municipios San Onofre, Santiago de Tolú y Coveñas (Figura 1-8). Según el [DANE \(2017\)](#) en estos municipios se asienta el 11 % de la población sucreña, distribuida en 50.647 habitantes en San Onofre, 33.871 en Tolú y 13.779 en Coveñas (Figura 1-8). En el casco urbano se asienta la mayor parte de la población de San Onofre (50 %), y Santiago de Tolú (82 %), mientras que en Coveñas la población del sector urbano no alcanza el 30 % (Figura 1-8).

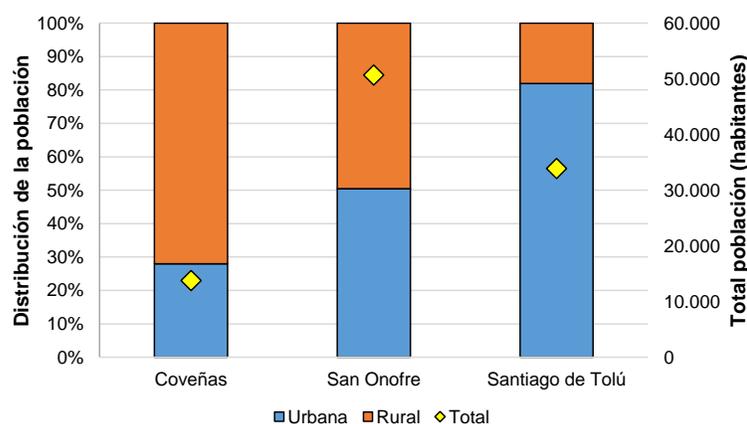


Figura 1-8. Distribución de la población en las zonas urbana y rural en los municipios costeros del departamento de Sucre. Fuente: Alcaldía de Coveñas, 2016; Alcaldía de San Onofre, 2012, Consejo municipal de Santiago de Tolú, 2016.

El abastecimiento de agua potable proviene en su mayoría de fuentes subterráneas, con un porcentaje de cobertura del 90 % en San Onofre, 75 % en Tolú y 95 % en Coveñas en el sector urbano, no obstante, estos porcentajes pueden verse reducidos a la mitad considerando que se brinda el servicio por pocas horas en el día y cada dos días ([Alcaldía de Coveñas, 2016](#); [Concejo Municipal de San Onofre, 2012](#), [Consejo Municipal de Santiago de Tolú, 2016](#)). Así mismo, la calidad del agua es deficiente, el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano -IRCA alcanzó puntajes de 60 %, calificando el recurso como inviable para consumo ([Alcaldía de Coveñas, 2016](#)).

En relación al saneamiento básico, se estima que los 98.297 habitantes de estos municipios producen cerca de 20.652 m³/día de aguas residuales, de los cuales el 36% son vertidos de manera directa sobre aguas superficiales y subterráneas ([Concejo Municipal de San Onofre, 2012](#); [Consejo Municipal de Santiago de Tolú, 2016](#); [Alcaldía de Coveñas, 2016](#); Figura 1-9), generando impactos en la calidad del agua para diferentes usos, como por ejemplo el consumo por parte de la población. La carga contaminante estimada en los tres municipios fue de 886 t/año de demanda bioquímica de oxígeno, 1772 t/año de demanda química de oxígeno, 213 t/año de nitrógeno total, 14 t/año de fósforo total, 886 t/año de sólidos suspendidos totales y 3,54 x 10¹⁸ NMP/año de coliformes totales (Figura 1-10), siendo el municipio de San Onofre el mayor aportante del departamento (Figura 1-10).

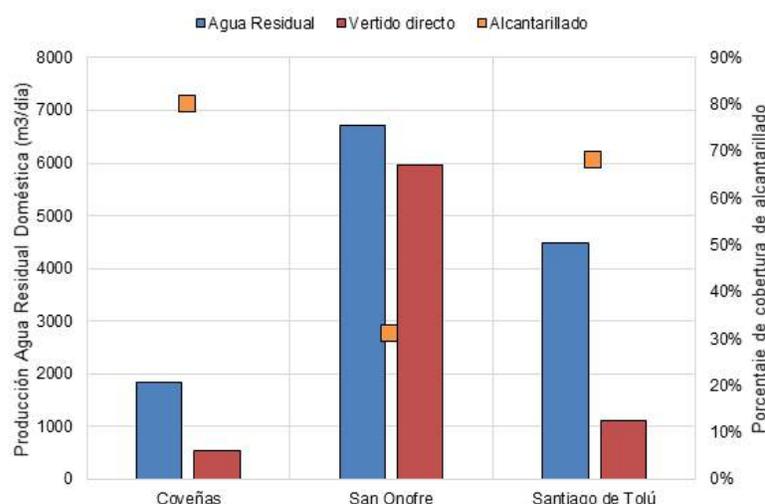


Figura 1-9. Producción de agua residual doméstica, vertido directo y porcentaje de cobertura de alcantarillado en los municipios costeros del departamento de Sucre. Fuentes: DANE (2017), Alcaldía de San Onofre (2012); Consejo municipal de Santiago de Tolú (2016), Alcaldía de Coveñas (2016), Metodología UNEP-RCU/CEP (2010).

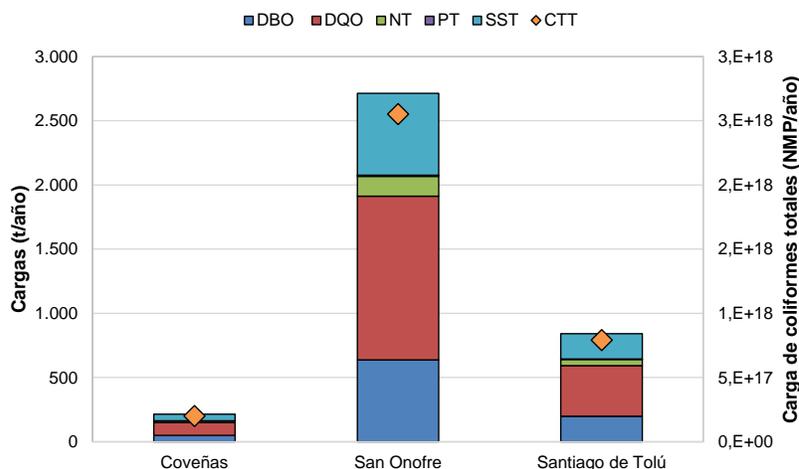


Figura 1-10. Carga anual estimada de contaminantes domésticos aportados por la población. Metodología UNEP-RCU/CEP (2010).

El servicio de alcantarillado en San Onofre cuenta con una cobertura del 31 % en la zona urbana, mientras que en la zona rural la cobertura es nula y se calcula que el 39 % de las viviendas rurales manejan sus aguas residuales a través de pozos sépticos, 21 % lo hace mediante letrinas, el 10 % lo dispone en bajamar y el 25 % sobre el terreno ([Concejo Municipal de San Onofre, 2012](#)). Las aguas que son recolectadas en el casco urbano son direccionadas a lagunas de estabilización localizadas en las afueras del mismo, en las que se realiza tratamiento primario y después son vertidas al arroyo Torobé, afluente del arroyo Cascajo ([Ruiz, 2011](#)). Según lo evidenciado en campo, las lagunas se encuentran en estado de deterioro, son accesibles a ganado vacuno, presentan olores desagradables, y residuos sólidos como plásticos y huesos de animales a su alrededor (Figura 1-11).



Figura 1-11. Lagunas de Oxidación en San Onofre con a) presencia de residuos sólidos y b) ganado vacuno en sus alrededores. Fotos: Ostin Garcés.

La cobertura del alcantarillado en Tolú no supera el 68 % de los predios censados en la zona urbana, en la zona rural los habitantes hacen uso de letrinas, o disponen sus aguas servidas directamente a cuerpos de agua o en el suelo, generando focos de insalubridad en la población y aportes considerables de material orgánico a los cuerpos de agua ([Consejo Municipal de Santiago de Tolú, 2016](#)). Las aguas recolectadas en las redes de alcantarillado son tratadas en cuatro lagunas de oxidación (2 primarias y 2 secundarias) y después vertidas al Caño Guainí, que desemboca al mar ([Ruiz, 2011](#)). En la visita a campo se evidenciaron viviendas localizadas en la ronda de este caño, aportando sus aguas servidas sin previo tratamiento, lo que minimiza la eficiencia en la reducción de la contaminación (Figura 1-12).



Figura 1-12. Caño Guainí municipio de Santiago de Tolú. Fotos: Ostin Garcés y Paola Obando.

En Coveñas el 80 % de la población urbana tiene servicio deficiente de alcantarillado, el cual se rebosa en sectores como La Coquerita, Isla Gallinazo y Guayabal, generando olores ofensivos y acumulación de aguas residuales, que por efectos de escorrentía urbana, llegan al mar Caribe ([Alcaldía de Coveñas, 2016](#)). Es importante señalar que la mayor parte de la población de este municipio habita en la zona rural, la cual no presenta cobertura alguna. El sistema de tratamiento de aguas consiste en una laguna facultativa y dos de estabilización, que desembocan en el ecosistema de manglar de La Caimanera, con un porcentaje de remoción del 35 % de la DBO₅, el más bajo de los municipios costeros del departamento ([Ruiz, 2011](#)).

En cuanto al servicio de aseo, mediante la metodología de [UNEP-RCU/CEP \(2010\)](#), se estimó que la producción de residuos sólidos en los municipios costeros de Sucre fluctúa entre 0,5 t/día en Coveñas y 17,9 t/día en Santiago de Tolú (Tabla 1-4). La cobertura en el servicio de aseo es del 100 % de la población urbana en San Onofre y Coveñas, y 89 % en Santiago de Tolú. Los sólidos recolectados mediante el servicio de aseo son depositados en dos rellenos sanitarios localizados en Corozal y en Tolú Viejo. La falta de cobertura en la zona rural de los municipios, el aumento en la producción de residuos en temporadas de turismo y la falta de conciencia ambiental, favorecen la acumulación de sólidos en cuerpos de agua intermitentes, permanentes, en playas y en vías principales (Figura 1-13). Esta situación le proporciona una apariencia de desaseo a los municipios y tapona los canales de desagüe, ocasionando inundaciones y rebosamientos de los colectores de alcantarillado. Adicionalmente, los lixiviados producidos por la acumulación de basuras generan contaminación por entrada de materia orgánica, metales pesados, plaguicidas y residuos de hidrocarburos al mar Caribe.

Tabla 1-4. Producción y cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos en la franja costera del departamento de Sucre. Fuente: UNEP-RCU/CEP, 2010; Superservicios, 2014; Concejo Municipal de San Onofre, 2012; Alcaldía de Santiago de Tolú, 2012; Alcaldía de Coveñas, 2016.

Municipio	Producción de residuos Sólidos (t/día)	Cobertura Servicio de Aseo (%)		Disposición Final
		Urbana	Rural	
San Onofre	8,8	100	0	Relleno Sanitario “Oasis”, municipio de Corozal.
Santiago de Tolú	17,9	89	0	Relleno Sanitario “Los Cerros”, municipio de Tolú Viejo
Coveñas	0,5	100	60	Relleno Sanitario “Oasis”, municipio de Corozal.



Figura 1-13. Inadecuada disposición de residuos sólidos en cuerpos de agua y vías de los municipios de Sucre. Fotos: Ostín Garcés y Paola Obando.

1.3.2 *Actividades productivas y socioeconómicas*

1.3.2.1 ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

La agricultura es la actividad predominante en los municipios costeros de Sucre. En relación a área cosechada, los cultivos más representativos son el maíz, la yuca, el ñame, y el arroz (Figura 1-14; MADR, 2016). Según el reporte realizado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR, en el año 2014, el municipio con mayor producción agrícola fue San Onofre, con más de 4.000 ha cultivadas y 8 productos registrados, le siguió en orden de importancia Santiago de Tolú con 870 ha cultivadas y Coveñas con 704 ha. Análisis de vocación del suelo y estudios de perfiles productivos en los municipios costeros indican que hay una fertilidad media en los suelos y que están siendo sub-explotados por modelos de tenencia de tierras basados en ganadería extensiva, falta de recursos para la apropiación de tecnología, una débil infraestructura vial y escasa capacitación de los agricultores (Jaimes-Amorocho *et al.*, 2013; Concejo Municipal de San Onofre, 2012; Alcaldía de Santiago de Tolú, 2012; Alcaldía de Coveñas, 2016; Gobernación de Sucre, 2012). Estas debilidades tienen como consecuencia malas prácticas en el ejercicio de la agricultura que traen consigo afectaciones a ecosistemas terrestres y acuáticos.

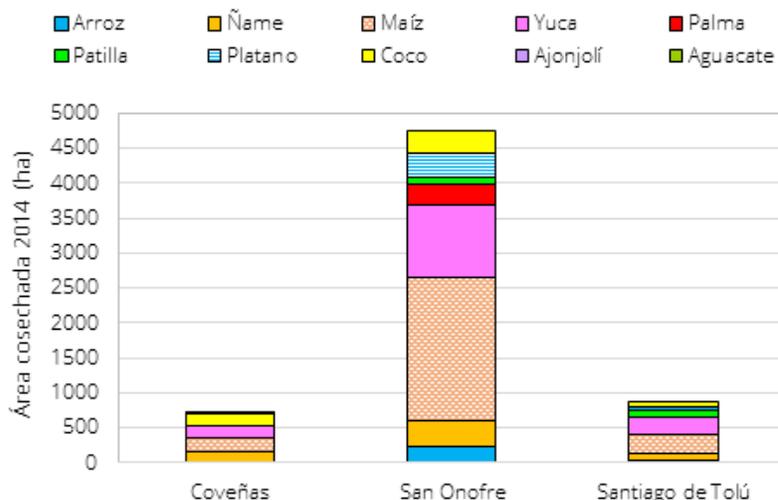


Figura 1-14. Relación de área cosechada por producto en la franja costera de Sucre en el año 2014. Fuente: MADR, 2016.

En relación a la actividad pecuaria, la ganadería bovina de doble propósito es el principal recurso de explotación (Jaimes-Amorocho *et al.*, 2013; Concejo Municipal de San Onofre, 2012; Alcaldía de Santiago de Tolú, 2012; Alcaldía de Coveñas, 2016). La raza predominante es la cebú y su aprovechamiento se realiza en lugares improvisados en el caso de San Onofre y Santiago de Tolú, lo cual genera afectaciones tanto sanitarias como ecológicas por los residuos orgánicos que la actividad genera y que son aportados a cuerpos de aguas circundantes. En Coveñas, tampoco existe un establecimiento de aprovechamiento de carne, sin embargo, según la alcaldía, esta actividad se realiza en otros municipios aledaños (Alcaldía de Coveñas, 2016).

Otras actividades pecuarias como la ganadería porcina y la producción avícola son desarrolladas a baja escala, principalmente de manera artesanal, sin un correcto manejo de los residuos producidos.

1.3.2.2 TURISMO

El turismo es un renglón económico de alta importancia en la franja costera del departamento, no obstante, se ha desarrollado sin una correcta planificación y sin medidas de manejo a los impactos que ocasionan en los ecosistemas continentales y marinos ([Gobernación de Sucre, 2012](#)). En el municipio de San Onofre, las playas de Berrugas, Rincón del mar, Sabanetica, Chichimán y su cercanía a las islas del Archipiélago de San Bernardo, hay un potencial turístico importante, en el cual se han construido dos complejos de cabañas que pueden alojar hasta 1.300 turistas ([Concejo Municipal de San Onofre, 2012](#)), sin contar con los hoteles y restaurantes no registrados que son propiedad de pobladores locales y extranjeros.

Santiago de Tolú, es un municipio altamente conocido por los servicios turísticos que ofrece y sus atractivos naturales como La ciénaga de la Leche, playa el Francés, Palo Blanco, Puerto Viejo y el archipiélago de San Bernardo. Según la secretaría de hacienda municipal, existen 500 establecimientos legalmente constituidos, sin embargo, la coordinación de turismo asegura que existen más de 1.000 establecimientos ilegales repartidos entre hotelería, alimentos y comercio ([Consejo Municipal de Santiago de Tolú, 2016](#)).

En Coveñas, se presenta una infraestructura hotelera de mayor escala, con edificios superiores a cuatro pisos localizados en frente de la playa, lo cual favorece una mayor afluencia de turistas a este municipio, sin embargo, genera afectaciones al paisaje natural de las playas y costas ([Alcaldía de Coveñas, 2016](#)). Los mayores atractivos turísticos de este municipio son sus playas de la primera y segunda ensenada y la ciénaga La Caimanera.

La informalidad, la ausencia de planes estratégicos de desarrollo del sector turístico y la falta de articulación institucional en relación a la prestación de servicios domiciliarios son un gran obstáculo para el ejercicio sostenible del turismo en las playas de Sucre. Las consecuencias de esta debilidad institucional son la presencia de basuras en sitios turísticos, exceso en la capacidad de carga de las playas, vertimientos clandestinos al mar que generan alteraciones y deterioro en los ecosistemas marino costeros, poniendo en riesgo la actividad a largo plazo ([Alcaldía de Coveñas, 2016](#); [Concejo Municipal de San Onofre, 2012](#); [Consejo Municipal de Santiago de Tolú, 2016](#)).

1.3.2.3 ACTIVIDADES MARÍTIMAS

La presencia y operación de terminales portuarios se encuentra concentrados en el golfo de Morrosquillo, municipios de Tolú y Coveñas. Se presentan tres sociedades portuarias (Tabla 1-5), Sociedad Portuaria Golfo del Morrosquillo, operada por COMPAS, de la cual se exporta cemento y Clinker, no obstante, actualmente se estudia la adecuación para exportación de hidrocarburos, carbón y movilización de cargas a granel y vehículos ([Consejo Municipal de Santiago de Tolú, 2016](#)); la Sociedad Portuaria Coveñas Oleoducto Central S.A, operada por OCENSA, de hidrocarburos y la Sociedad Portuaria de Palermo S.A Antiguo Muelle Esso

Colombiana, operada por OCENSA que exporta combustibles líquidos. Adicionalmente, se cuenta con un muelle de la empresa PESTOLÚ, en donde se manejan los productos obtenidos por embarcaciones pargueras y camaroneras, y finalmente se menciona el muelle de la empresa de Argos –Tolcemento ([Gobernación de Sucre, 2012](#)).

Tabla 1-5. Características de los Puertos en el departamento de Sucre. Fuente: Gobernación de Sucre, 2012.

Nombre	Ciudad	Tipo de Carga que moviliza	Otras características
Sociedad Portuaria Golfo del Morrosquillo	Santiago de Tolú	Cemento y Clinker	Muelle marginal Operación Normal
Sociedad Portuaria Coveñas Oleoducto Central S.A	Coveñas	Hidrocarburos de exportación	Utiliza una mono boya TLU-2 Operación normal
Sociedad Portuaria de Palermo S.A	Coveñas	Combustibles líquidos	Muelle tipo
Muelle Argos Tolcemento	Coveñas	Cemento	
Empresa Colombiana Pesquera de Tolú – PESTOLÚ	Santiago de Tolú	Productos de Pesca	

En el municipio de Tolú se dispone además de un muelle inconcluso con fines turísticos que actualmente está siendo utilizado como atracadero de pequeñas embarcaciones que cargan y descargan pasajeros con destino hacia las islas de San Bernardo y otras playas ([Alcaldía de Tolú, 2012](#)).

En síntesis, esta actividad permitió conocer la distribución geográfica y algunas características de las condiciones socioeconómicas de la población y las actividades productivas que se desarrollan en la zona costera del departamento de Sucre, para poder relacionarlo con los resultados de la evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras, que la REDCAM ha realizado desde el 2001. Dichas actividades y fuentes de contaminación (principalmente los vertimientos de aguas residuales por la ausencia de sistemas de tratamientos) ha tenido un impacto generalmente negativo sobre la calidad ambiental marina, lo cual se ha evidenciado con el monitoreo de la REDCAM ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)) y los resultados del capítulo de Sucre descrito en el presente informe.

DIAGNÓSTICO NACIONAL Y REGIONAL DE CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

Paola Obando Madera y Lizbeth Janet Vivas-Aguas



Isla Barú, Bolívar. Foto: Ostin Garcés.

2. DIAGNÓSTICO NACIONAL Y REGIONAL DE CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

Los departamentos costeros ubicados en la región Caribe y Pacífico de Colombia, se caracterizan por la gran diversidad marino-costera, constituida por ecosistemas como arrecifes coralinos, pastos marinos, estuarios, lagunas costeras, playas y litorales rocosos, entre otros; en donde las aguas marino-costeras son el eje transversal para su conservación, sin embargo, se encuentran sometidas a diversos factores ambientales naturales y antropogénicos, relacionados con las fuentes terrestres y marítimas de contaminación que afectan la calidad del recurso hídrico y ponen en riesgo la conservación y protección de los ecosistemas.

La **costa Caribe**, comprende los departamentos de Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia, siendo la región en donde se concentra el mayor número de actividades socioeconómicas y asentamientos humanos, lo que aumenta la producción de residuos que son vertidos en las aguas, generando un deterioro de su calidad y cambios en los entornos naturales ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)). La **costa Pacífico**, comprende los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño; caracterizados por presentar costa alta montañosa desde la frontera con Panamá, hasta el sur de Cabo Corrientes y costa baja con geofomas desde el sur de Cabo Corrientes hasta la frontera con Ecuador ([Martínez, 1992](#)).

Para el seguimiento y evaluación de las condiciones marinas, se han desarrollado herramientas como los índices de calidad del agua – ICA que permiten la interpretación de los cambios ambientales, a través de la integración de información fisicoquímica y biológica, representada en una simbología sencilla para los tomadores de decisiones. En el caso de Colombia, se desarrolló e implementó el índice de calidad de aguas marino-costeras para la preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), como una herramienta para interpretar la tendencia y variaciones de la calidad del agua a una escala nacional, regional y local, considerando la ocurrencia de fenómenos naturales y las actividades antrópicas. En este capítulo se presenta el análisis de calidad del agua a través de la aplicación del ICAM_{PFF}, usando la información colectada en los muestreos realizados entre el 2001 al 2015.

A escala nacional, la calidad del agua marino-costera evaluada con el ICAM_{PFF}, ha presentado variaciones interanuales marcadas y una tendencia histórica fluctuante entre 2001 y 2015 (Figura 2-1). Estas variaciones están relacionadas a manera general, con la dinámica costera y con eventos climáticos como La Niña y El Niño, así como el recurrente manejo inadecuado de residuos en algunos sitios, que han contribuido a los cambios en la calidad del agua.

Entre 2001 y 2005 (Figura 2-1) se observó una mejoría de la calidad del agua alcanzando en el 2005 calidad óptima en el 16 % de las estaciones. Durante el 2006, las condiciones cambiaron, aumentando hasta un 7 % los sitios de pésima calidad y disminuyendo las estaciones con calidad adecuada y óptima. Entre los años 2007 y 2012, se presentó un progresivo deterioro de la calidad del agua con variaciones influenciadas por las excesivas lluvias en las regiones Caribe y Pacífico, atribuidas a la ocurrencia del evento La Niña de intensidad fuerte, especialmente entre 2010 y 2011, época en la que ocurrió el evento La Niña más fuerte de los últimos años ([IDEAM, 2014](#)).

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

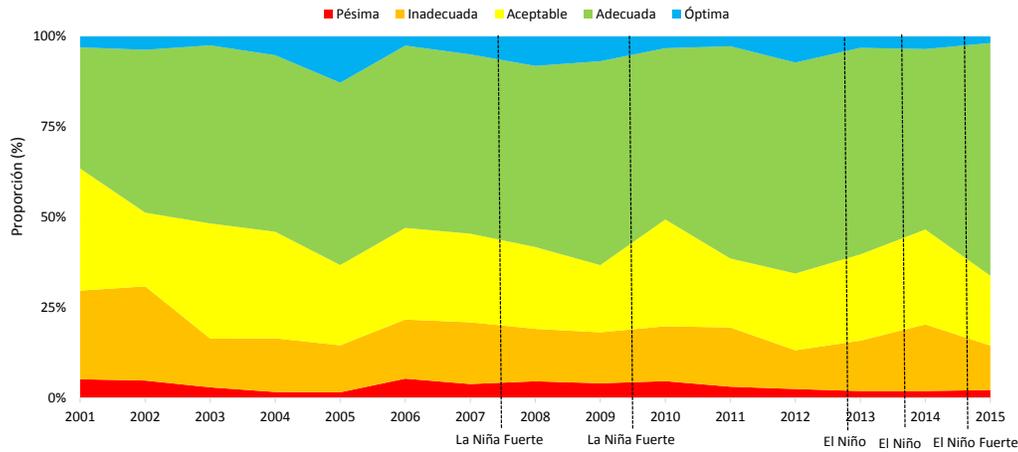
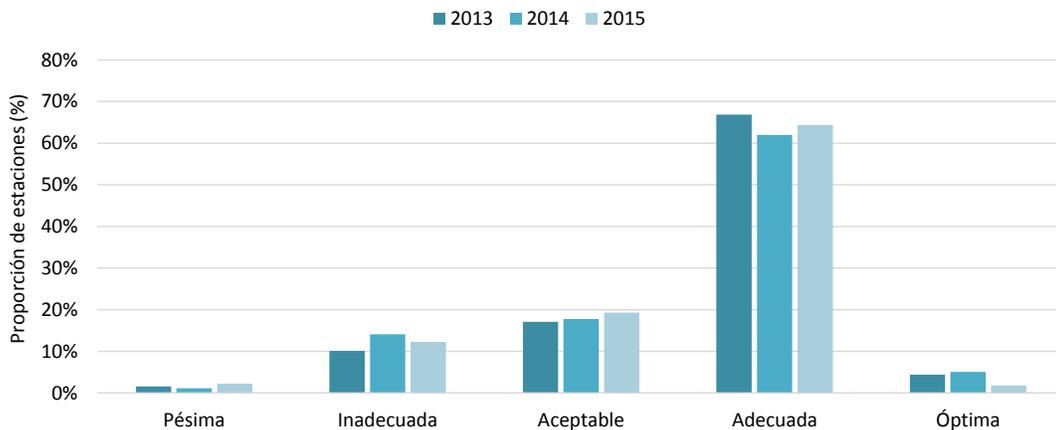


Figura 2-1. Evolución histórica de la calidad del agua marino-costera evaluada con el ICAM_{PFF} en el periodo 2001 a 2015.

Entre el 2013 y 2015 (Figura 2-2), la tendencia al deterioro de la calidad del agua se mantuvo, la calidad óptima bajó del 5 % al 2 %, lo cual favorece que se mantenga una tendencia creciente y recurrente de condiciones inadecuadas y pésimas en varios sitios, indicando aguas con restricciones para un uso adecuado de preservación de flora y fauna.



Año	2013	2014	2015	Tendencia	Situación	Leyenda
Pésima	2 %	1 %	2 %	↑	⊗	Situación actual desfavorable
Inadecuada	10 %	14 %	12 %	↓	☺	Situación actual favorable
Aceptable	17 %	18 %	19 %	↑	⊗	Situación actual desfavorable
Adecuada	67 %	62 %	64 %	↑	☺	Situación actual favorable
Óptima	4 %	5 %	2 %	↓	⊗	Situación actual desfavorable

Figura 2-2. Tendencia de los cambios en la calidad del agua marino – costera evaluada con el ICAM_{PFF} entre los años 2013 y 2015.

El análisis detallado para el año 2015 (Figura 2-3, Figura 2-4 y Tabla 2-1), mostró que la calidad del agua estuvo influenciada por el periodo de sequía más fuerte de los últimos 35 años, producido por la ocurrencia del evento “El Niño” de moderado a fuerte ([IDEAM, 2016a](#)). En la **costa Caribe** el ICAM_{PPF} osciló entre calidad pésima y óptima (Figura 2-3a, Tabla 2-1, Figura 2-4), con un 63 % de las estaciones en calidad adecuada y un 3 % en pésima presente en los departamentos de La Guajira (playa Camarones en el mes de abril), Magdalena (muelle de cabotaje-calle 10 en los meses de septiembre y noviembre) y Antioquia (playa Lechugal, desembocadura del río Volcán y las playas de Arboletes y Uveros; Tabla 2-1). Este resultado se debió a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, elevadas concentraciones de microorganismos de origen fecal, sólidos suspendidos totales, nitratos y ortofosfatos.

En el **Pacífico**, el ICAM_{PPF} osciló entre calidad inadecuada y óptima (Figura 2-3b, Figura 2-4). El mayor porcentaje de estaciones presentaron calidad adecuada (67 %). Las condiciones inadecuadas se presentaron en el Valle del Cauca (frente al muelle de Juanchaco en el mes de mayo), Cauca (en frente al río Guapi – boya en el mes de abril y en bocana Timbiquí, frente Micay y frente al río Guapi – boya en octubre) y en Nariño (en frente a ríos y las playas de Bocagrande, El Morro, Mosquera y Pasacaballos, en los meses de septiembre y noviembre), condiciones que se atribuyen a las elevadas concentraciones de Coliformes termotolerantes, ortofosfatos y sólidos suspendidos totales.

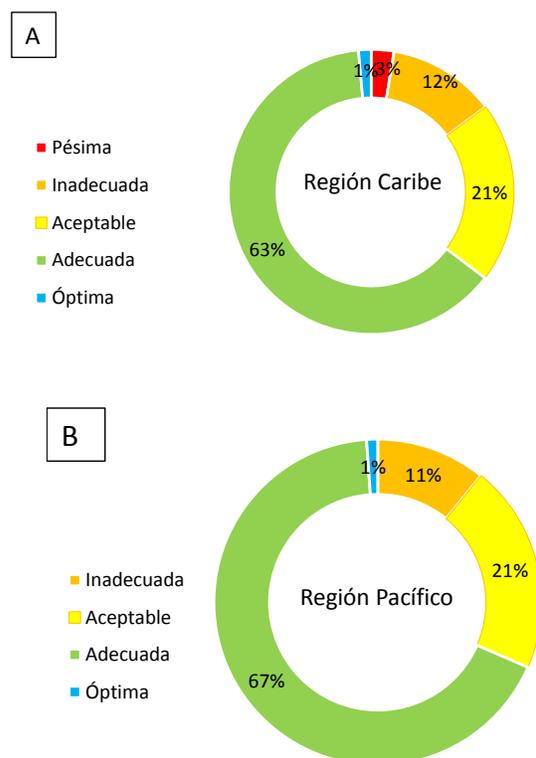


Figura 2-3. Distribución porcentual (%) de la calidad del agua marino-costera evaluada con el ICAM_{PPF} en los departamentos costeros de la región Caribe (a) y Pacífico (b) colombiano en el año 2015.

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

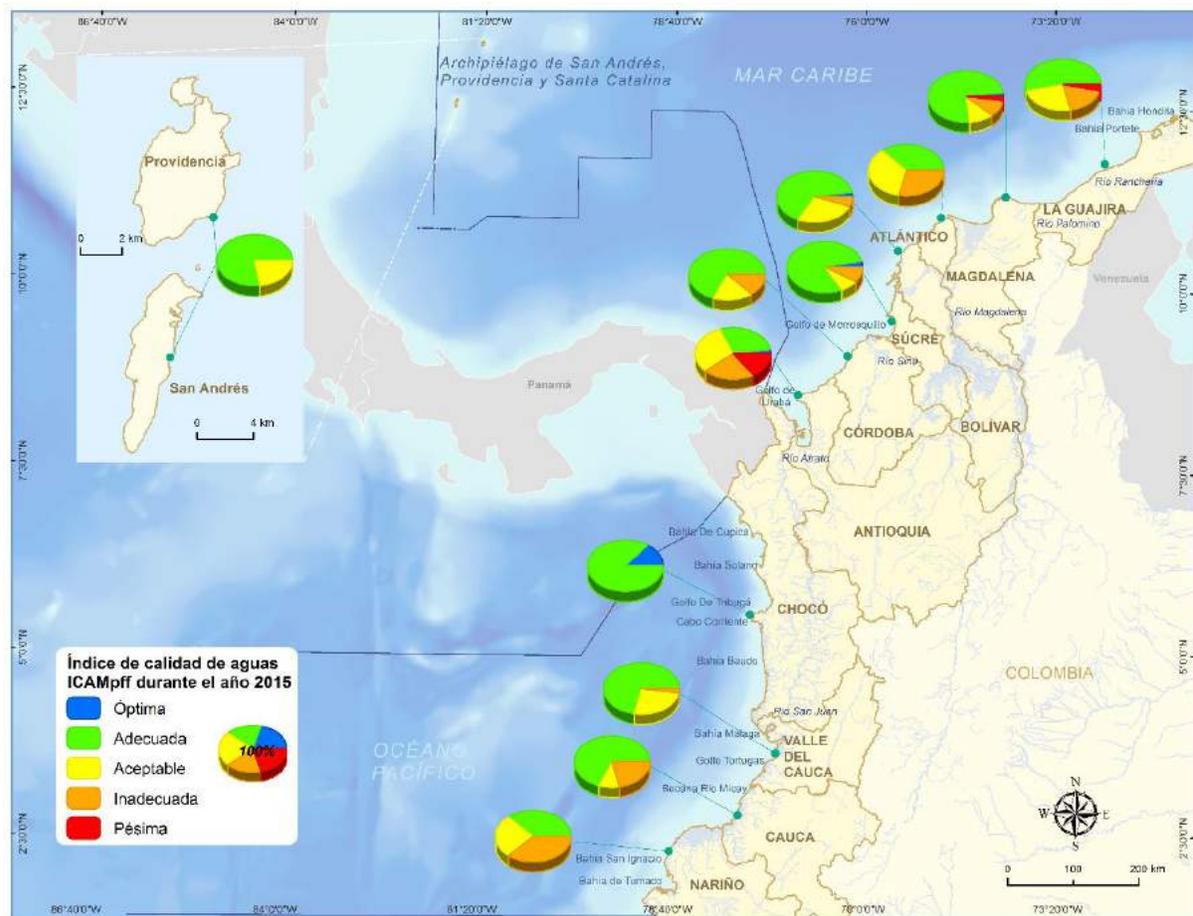


Figura 2-4. Estado de la calidad del agua marino-costera evaluada con el ICAM_{PFF} en los departamentos costeros de las regiones Caribe y Pacífico colombianos, durante el año 2015.

Tabla 2-1. Distribución porcentual (%) de las condiciones de calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en los 12 departamentos de costeros y sus zonas de monitoreo durante el año 2015. **San Andrés, Providencia y Santa Catalina, solo se realizó una campaña de monitoreo durante el 2015.

Región	Departamento	Zona de monitoreo	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima	
Caribe	San Andrés, Providencia y Santa Catalina	Providencia				100%		
		S. Andrés Norte			38%	63%		
		S. Andrés Sur			40%	60%		
	La Guajira	Guajira Alta		14%	21%	64%		
		Guajira Baja	8%	8%	42%	42%		
		Riohacha		38%	13%	50%		
	Magdalena	Buritaca				100%		
		Costa Sur				100%		
		Marina		18%	27%	55%		
		Parque Tayrona				78%	22%	
	Atlántico	Puerto Colombia		3%	13%	9%	75%	
					13%	38%	50%	

Región	Departamento	Zona de monitoreo	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
	Bolívar	Tubará – Acosta		30%	20%	50%	
		Bahía Afuera			42%	58%	
		Bahía de Cartagena		5%	20%	75%	
		Barbacoas		11%	22%	56%	11%
		Costa norte		14%	57%	29%	
		Islas			13%	88%	
	Sucre	Golfo Afuera				90%	10%
		San Onofre			25%	75%	
		Tolú - Coveñas		13%	8%	79%	
	Córdoba	Costa Occidental		25%	25%	50%	
		San Antero - Cispatá		8%	19%	73%	
	Antioquia	Bahía Colombia	13%	13%	38%	31%	
		Golfo Alto	17%	33%	17%	33%	
		Golfo Medio		22%	44%	33%	
San Juan Urabá		25%	42%	8%	25%		
Pacífico	Chocó	Bahía Solano				67%	33%
		Golfo Tribugá				100%	
	Valle del Cauca	Bahía Málaga		13%	75%	13%	
		Buenaventura Afuera			18%	82%	
	Cauca	Gorgona			10%	90%	
		Guapi		67%		33%	
		López - Timbiquí		33%	17%	50%	
	Nariño	Costa Norte Tumaco		67%	33%		
Ensenada Tumaco			30%	20%	50%		

En síntesis, la serie histórica del ICAM_{PFF} mostró fluctuaciones en la calidad del agua marino-costera no solo por la influencia antropogénica, sino que también a la ocurrencia de los eventos “El Niño” y “La Niña” que modifican las condiciones del recurso en la zona costera.

En el 2015 el ICAM_{PFF} mostró un aumento de estaciones en condición adecuada, sin embargo, se mantiene la recurrencia de pésimas condiciones, en algunos sitios, debido al inadecuado manejo de residuos, la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales y el crecimiento de las actividades antropogénicas en las zonas costeras del país que generan altas concentraciones de microorganismos de origen fecal (coliformes termotolerantes), de nutrientes inorgánicos disueltos (nitratos), sólidos en suspensión y la disminución de la disponibilidad de oxígeno disuelto.

A pesar de que las concentraciones de los hidrocarburos no fueron las determinantes principales en las condiciones de calidad encontradas durante el 2015, se detectaron trazas en todos los departamentos costeros y su presencia se debe al uso de combustibles o sus derivados en el desarrollo de actividades, como el tránsito de embarcaciones, turismo y vertimientos de aguas domésticas. Cabe destacar que estos contaminantes no fueron medidos en los departamentos Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, y Antioquia.

CAPÍTULOS DIAGNÓSTICOS DEPARTAMENTALES



Bahía de Buenaventura, Valle del Cauca. Foto: Ostin Garcés.

ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

Max Martínez Campo



Vista Islas Providencia y Santa Catalina desde Cayo Cangrejo. Foto: María Ontiveros.

EQUIPO TÉCNICO CORALINA

Erick Castro – Subdirector de Mares y Costa
Nacor Bolaños Cubillos - Coordinador Proyecto Áreas Marinas Protegidas y Proyecto Biodiversidad
Tomás Guerrero Jiménez – Coordinador Proyecto Recurso Hídrico
Cindy Fortune – Coordinador de laboratorio de Calidad Ambiental de Coralina
Gillean Taylor – Microbióloga laboratorio
Olga Queeman – Técnico de campo

3. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

El departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina se ubica en la zona Centro-Occidental del mar Caribe sobre el extremo jurisdiccional de Colombia, a 480 km de la costa más cercana y cuenta con un área terrestre aproximada de 57 km² ([Gavio et al., 2010](#); [Baine et al., 2007](#)). En las islas, cayos y plataformas que conforman el Archipiélago, existen ecosistemas como arrecifes coralinos, praderas de pastos marinos, manglares, playas, bosques secos tropicales y playas de arenas coralinas ([CORALINA-INVEMAR, 2012](#)). El complejo arrecifal que rodea la isla de San Andrés, dispuesto en sentido Norte-Noreste, tiene una longitud aproximada de 18 km y una anchura máxima de 10 km, y sumado al de Providencia y Santa Catalina, ocupan aproximadamente un 5% del mar Caribe y el 76% de los arrecifes de Colombia ([Díaz et al., 1996](#)).

Las islas San Andrés, Providencia y Santa Catalina albergan una población de 71.946 y 5.155 habitantes según las proyecciones del DANE para el 2016 ([DANE, 2017](#)). Las actividades económicas están basadas en el turismo, comercio, la pesca y la agricultura ([CORALINA-INVEMAR, 2012](#)). El desarrollo de estas actividades sumadas al aumento de la población y la poca o carencia de planificación territorial, ha generado una presión sobre los ecosistemas de la zona, por los vertimientos de aguas residuales, construcciones sobre la línea de costa, disposición de residuos sólidos, transporte marítimo, tala de manglar y sobreexplotación de organismos marinos ([Gavio et al., 2010](#); [INVEMAR, 2006](#)).

El manejo y disposición de las aguas residuales es uno de los factores que tiene mayor impacto sobre la calidad ambiental marina en este sistema insular. En la isla de San Andrés, parte de las aguas residuales son recolectadas por el sistema de alcantarillado sanitario y son vertidas al mar por medio de un emisario submarino ([Co-L1125, 2013](#)). En cuanto a la generación de residuos sólidos, la isla de San Andrés realiza la disposición final en el relleno sanitario “Magic Garden”; mientras que Providencia y Santa Catalina se hace en el relleno sanitario “Blue Lizard” operado como un botadero a cielo abierto ([Garcés-Ordoñez; et al., 2016a](#)).

Otro factor que modifica las condiciones de las aguas superficiales marinas son las escorrentías terrestres, sin embargo, en la isla de San Andrés no existen cursos permanentes de agua, sólo arroyos temporales asociados a la época de lluvias, mientras que en Providencia si existen quebradas ([Vivas-Aguas et al., 2010](#); [Garcés-Ordoñez; et al., 2016a](#)). Teniendo en cuenta la presencia de estas fuentes de contaminación y con el propósito de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina – CORALINA, desde el 2001 se ha venido realizando el monitoreo de la calidad de aguas con apoyo del INVEMAR. Este monitoreo permite la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas superficiales del departamento a partir de las variables fisicoquímicas y microbiológicas medidas semestralmente, el cual es insumo para la gestión del recurso hídrico por parte de los actores responsables. En el presente informe se exponen los resultados obtenidos durante los muestreos realizados entre junio y julio del 2015 y junio y julio del 2016.

3.1 ZONAS DE MONITOREO

La REDCAM cuenta con 25 estaciones de monitoreo distribuidas en tres zonas San Andrés Norte, San Andrés Sur y Providencia (Figura 3-1). La **zona San Andrés Norte** cuenta con diez (10) estaciones, las cuales se encuentran cercanas a la cabecera donde se concentra la mayor población y desarrollo turístico por las extensas playas y arrecifes de coral (Gavio et al., 2010; CORALINA-INVEMAR, 2012). En la **zona de San Andrés Sur** se tiene cinco (5) estaciones, en donde la ocupación es reducida, se encuentra ubicado el relleno sanitario “Magic Garden” y se realizan actividades de buceo y transporte marítimo (Garcés-Ordoñez et al., 2016a). La **zona de Providencia y Santa Catalina** cuentan con 10 estaciones y pese a que su extensión es mucho menor, existen múltiples fuentes que generan impacto ambiental como en el relleno sanitario “Blue Lizard” operado como botadero a cielo abierto, una quebrada natural que vierte sus aguas en el sector sur de Providencia, así como un muelle en la zona de unión con Santa Catalina (Garcés-Ordoñez et al., 2016a).

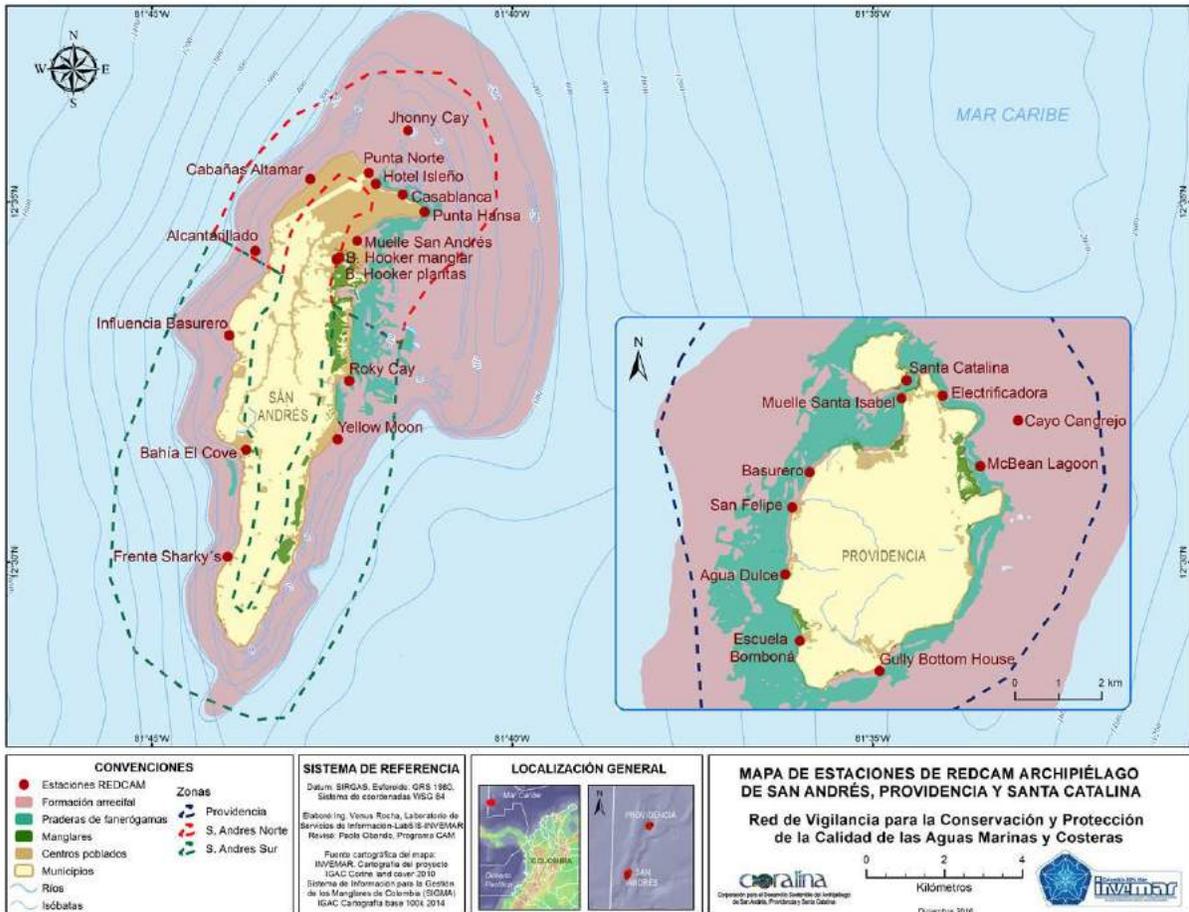


Figura 3-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

Los muestreos se efectuaron los días 09 de junio de 2015 y 01 de junio de 2016 en San Andrés, y los días 06 de julio de 2015 y 12 de julio del 2016 en Providencia y Santa Catalina. Ambos muestreos se llevaron a cabo durante la época de lluvias moderadas, no obstante las precipitaciones durante ambos años se encontraron moderadamente por debajo de lo normal (30-60%) según IDEAM ([IDEAM, 2016c](#); [Gavio et al., 2010](#)). En las estaciones se realizaron mediciones *in situ* de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, y se analizó en el agua superficial los nutrientes inorgánicos disueltos, sólidos suspendidos totales, coliformes totales y termotolerantes, y enterococos fecales. Cabe resaltar que para el monitoreo de 2015 no se midió la temperatura del agua superficial en las estaciones de San Andrés, y tampoco se muestrearon las estaciones Cabañas Altamar ni Punta Norte. En las estaciones de Providencia y Santa Catalina, durante el 2016, no se realizó medición del oxígeno disuelto.

3.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

En la isla de San Andrés se registraron salinidades entre 35,5 y 37,6 siendo los promedios más altos los registrados en el 2016, sin presentarse diferencias entre las zonas Norte y Sur. En cuanto a las salinidades de Providencia y Santa Catalina, fueron en promedio más altas que en San Andrés (36,3 y 37,0) durante los dos muestreos. En general, los valores obtenidos estuvieron sobre los máximos registrados en los históricos de la REDCAM ([INVEMAR; 2016b](#)) y corresponden a aguas marinas-polihalinas según la clasificación de [Knox \(2001\)](#), lo cual indica que no se presentó una introducción o influencia de aguas salobres ya sea por escorrentía de la quebrada natural o de las masas de aguas superficiales continentales.

La temperatura del agua superficial en las zonas Norte y Sur de la isla de San Andrés estuvo entre 28,8 y 31,5 °C, encontrándose dentro de los registros históricos en esta zona del mar Caribe ([Garay et al., 1988](#); [INVEMAR; 2016b](#)). Así mismo, las temperaturas en Providencia y Santa Catalina que oscilaron entre 27,7 y 29,3 °C. Es de resaltar que los valores más altos de salinidad (37,6) y temperatura (31,5°C) fueron obtenidos en bahía Hooker, lo cual se relaciona con la morfología de la bahía, la cual tiene intercambio reducido de las aguas ([Garay et al., 1988](#); [Gavio et al., 2010](#)).

El oxígeno disuelto es uno de los factores más importantes para el desarrollo y supervivencia de organismos en el medio acuático. La disponibilidad de este gas en el agua, depende de varias condiciones como la temperatura y salinidad, así como se puede ver influenciada por la productividad primaria (incremento) o por la oxidación de materia orgánica (disminución; [Roldán y Ramírez, 2008](#)). Como se observa en la Figura 3-2, en las Zonas de San Andrés y Providencia en general las estaciones cumplieron con el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (>4,0 mg O₂/L; [MinSalud, 1984](#)). No obstante la concentración de oxígeno disuelto en las estaciones en bahía Hooker, estuvo por debajo del criterio de calidad en los dos periodos de muestreo. En esta estación, históricamente se han presentados descensos de la concentración de oxígeno por debajo del mínimo permisible, debido a vertimientos ocasionales de aguas residuales y aportes de material orgánico por los manglares ([Garcés-Ordoñez et al., 2016a](#)), los cuales durante el proceso de descomposición por los microorganismos reducen los niveles de oxígeno superficial, sumada a la alta temperatura y salinidad que se ha registrado en estas estaciones.

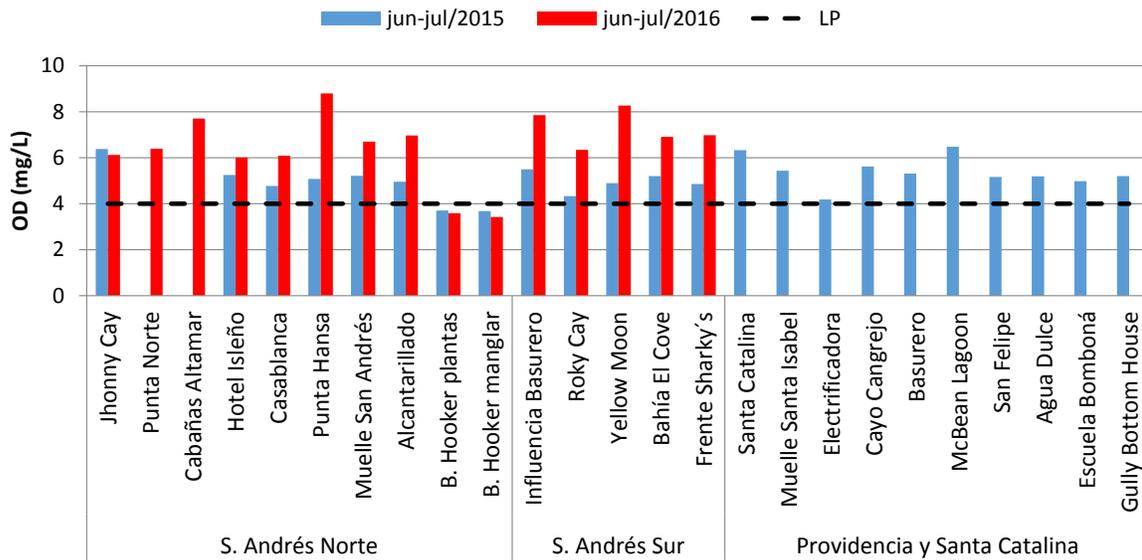


Figura 3-2. Oxígeno disuelto del agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en los muestreos de junio-julio de 2015 y junio-julio de 2016. La línea punteada indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

El pH condiciona los procesos químicos que se pueden dar en el sistema, como la solubilidad de los metales, además de afectar ciertos organismos que son sensibles a cambios de esta variable. Existen factores que pueden modificar el pH, como: floración de algas, actividad bacteriana, el vertimiento de aguas residuales, la escorrentía con contaminantes, entre otros (Orhel y Register, 2006). Los valores de pH en las aguas superficiales oscilaron entre 7,75 y 8,37 en las estaciones de la zona Norte y entre 8,11 y 8,32 en zona Sur (Figura 3-3). En bahía Hooker (zona Norte), se encontró el pH más bajo, lo cual puede estar relacionado con las descargas de aguas residuales y degradación de materia orgánica por microorganismos y saturación de CO₂, condición que produce un descenso del pH (Orhel y Register, 2006; Roldán y Ramírez, 2008). No obstante, se encontraron dentro del rango (6,5 – 8,5) del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas (MinSalud, 1984), y dentro de los rangos históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2016b). En Providencia y Santa Catalina, el pH fluctuó entre 8,09 y 8,33, encontrándose dentro de los registros históricos normales para aguas marinas y del criterio de calidad previamente descrito (Figura 3-3; MinSalud, 1984).

Los sólidos suspendidos totales (SST), son ampliamente empleados como indicador de calidad en aguas. El aumento de este parámetro incrementa la turbidez y disminuye la penetración de la luz, limitando la producción primaria (Weber-Scannell y Duffy, 2007), lo cual tiene un impacto en el desarrollo y supervivencia de organismos marinos, principalmente de los corales (Fabricius, 2005). Como se presenta en la Figura 3-4, las concentraciones de SST estuvieron por debajo de los 20 mg/L y no representaron un riesgo para el desarrollo de los corales ya que están por debajo del valor de referencia de 50 mg/L propuesto por Fabricius (2005), y de acuerdo con la escala de clasificación de calidad de aguas de CONAGUA (2015) clasifican como no contaminadas (<25 mg/L).

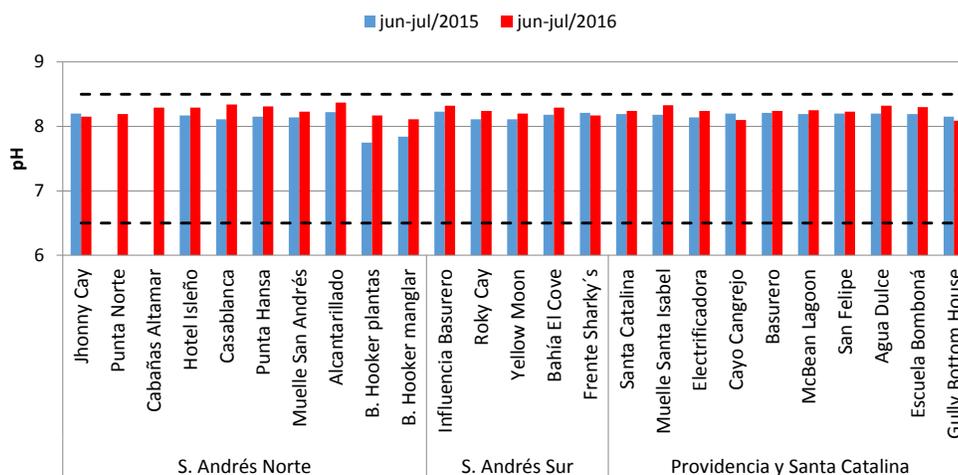


Figura 3-3. Valores de pH del agua superficial de las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en los muestreos de junio-julio de 2015 y junio-julio de 2016. Las líneas negras punteadas señalan el rango permisible para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas marinas y estuarinas (MinSalud, 1984).

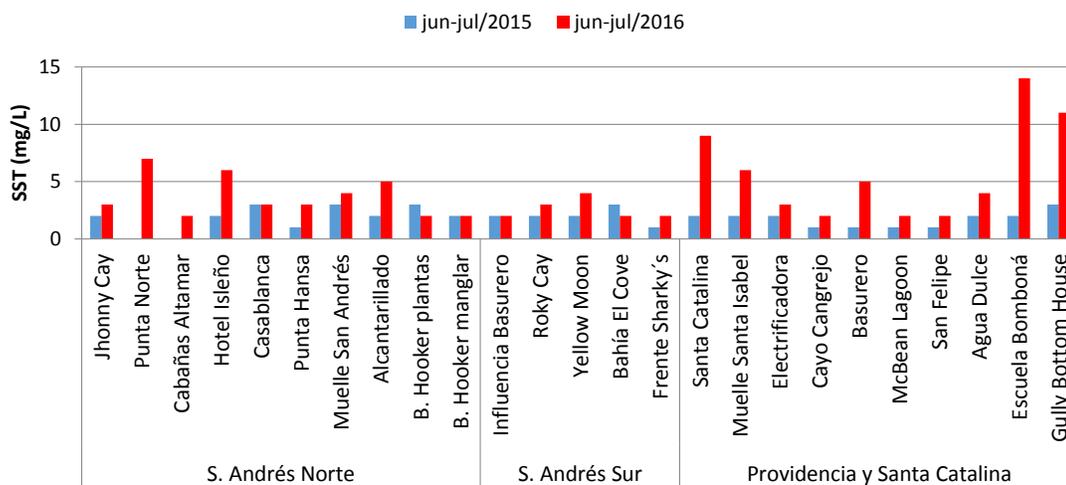


Figura 3-4. Sólidos suspendidos totales en el agua superficial en las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en los muestreos de junio-julio de 2015 y junio-julio de 2016.

Históricamente las concentraciones de SST (Figura 3-5) han estado por debajo del valor de referencia para la preservación de corales (50 mg/L; [Fabricius, 2005](#)), y entre el rango de aguas no contaminadas (<25 mg/L) y de buena calidad (>25≤75 mg/L; [CONAGUA, 2015](#)). Solamente en la estación Escuela Bomboná se registró una concentración que sobrepasó el valor de referencia de 50 mg/L (98 mg/L en 2009), y estuvo en el rango de aguas con indicios de contaminación (>75≤150 mg/L; [CONAGUA, 2015](#)) debido posiblemente a la escorrentía tras un episodio de lluvias como se ha registrado en otras ocasiones ([INVEMAR, 2016b](#)).

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

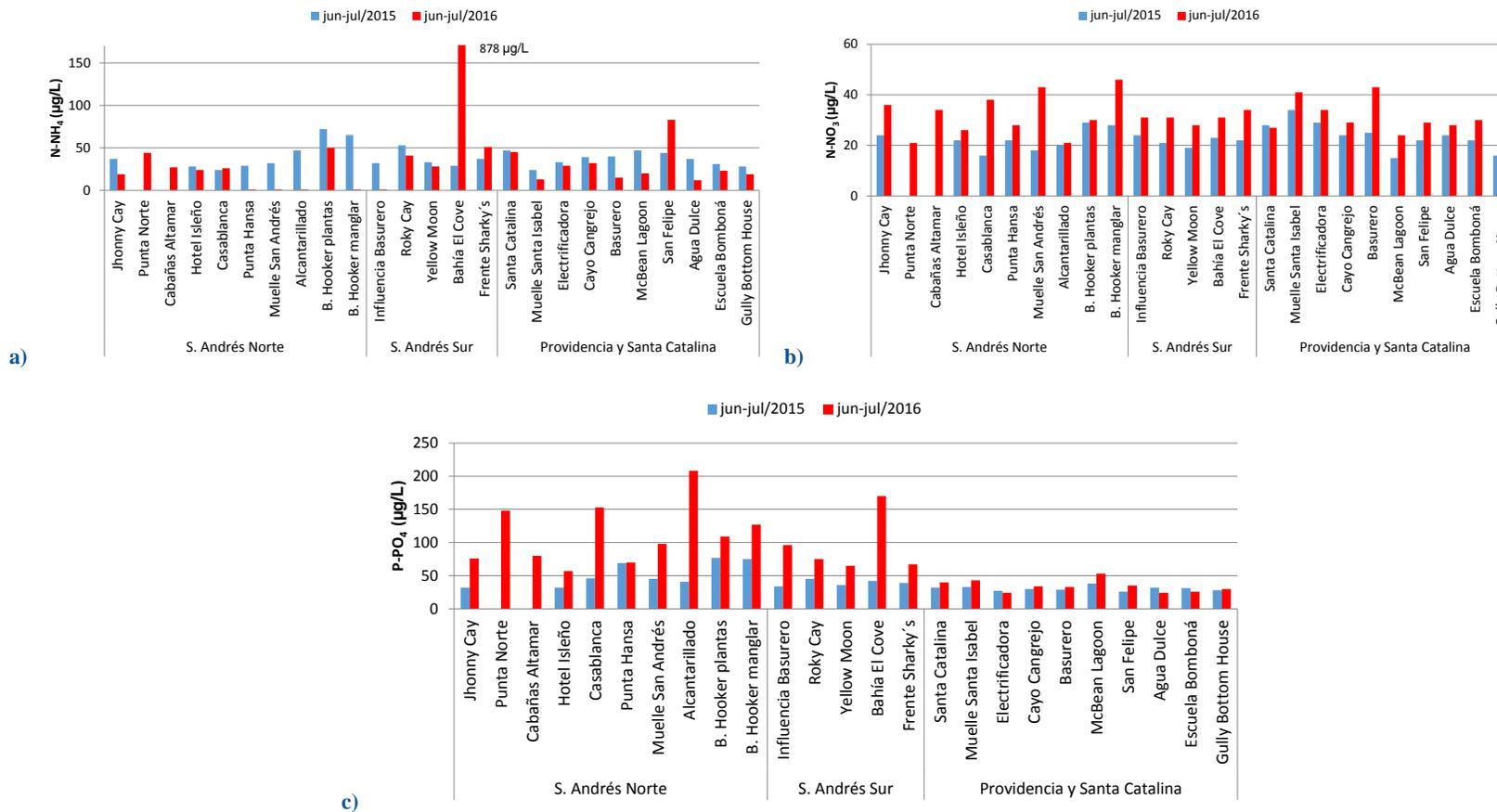


Figura 3-6. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitratos (N-NO₃⁻) y c) ortofosfatos (P-PO₄⁻³), medidos en junio-julio de 2015 y junio-julio de 2016 en las estaciones y zonas de muestreo REDCAM del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en los muestreos de junio-julio de 2015 y junio-julio de 2016.

En el caso del nitrito, no fue cuantificado en ninguna de las estaciones, encontrándose por debajo del límite de detección (<2,0 µg NO₂⁻/L). La concentración de nitratos en la mayoría de estaciones de la zona Norte y Sur de San Andrés, y de la zona de Providencia y Santa Catalina fue más alta en el monitoreo del 2016 (Figura 3-6b), sin embargo, en ninguna estación se registraron concentraciones que sobrepasaran los valores de referencia a nivel internacional para la protección de la vida marina (2.900 – 3.600 µg NO₃⁻/L; [CCME, 2003](#)).

El ortofosfato es liberado por la descomposición de material orgánico o es introducido por actividad agrícola y puede ser fácilmente asimilable por las macroalgas y cianobacterias ([Anderson et al., 2002](#)). En la zona Norte las concentraciones más altas fueron obtenidas en Punta Norte (148 µg P-PO₄⁻³/L), Casablanca (153 µg P-PO₄⁻³/L), Alcantarillado (208 µg P-PO₄⁻³/L) y bahía Hooker manglar (127 µg P-PO₄⁻³/L), en las tres últimas estaciones, principalmente durante el muestreo de 2016. En la zona Sur, en las estaciones bahía El Cove (170 µg PO₄⁻³/L) e Influencia Basurero (96 µg PO₄⁻³/L), se registraron las concentraciones más altas. Dada la ubicación de las estaciones, las altas concentraciones se pueden relacionar con la introducción de aguas residuales, lixiviados del basurero y escorrentía. En cuanto a Providencia y Santa Catalina, las concentraciones de ortofosfatos estuvieron por debajo de la isla de San Andrés en ambos muestreos (Figura 3-6c).

Los coliformes termotolerantes son un grupo de bacterias que se emplean como indicadores de calidad sanitaria de aguas, permitiendo evidenciar si hubo una introducción de aguas residuales, las cuales pueden traer consigo microorganismos patógenos como otras bacterias, virus y parásitos ([Griffith et al., 2010](#)). En la isla de San Andrés, en las dos épocas de muestreo, los coliformes en la mayoría de estaciones empleadas para uso por bañistas de la zona Norte, estuvieron por debajo del límite permisibles para realizar actividades de natación y buceo (Figura 3-7; 200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)). No obstante, en la estación Hotel Isleño en el 2016, se registró una concentración mayor a los registros históricos entre mayo y agosto (540 NMP/100 mL); y en las estaciones Alcantarillado y bahía Hooker, las concentraciones estuvieron sobre el máximo histórico registrado (1600 NMP/100 mL), debido a los aportes de aguas residuales de la poblaciones aledañas (Figura 3-7; [INVEMAR, 2016b](#); [Gavio et al., 2010](#)).

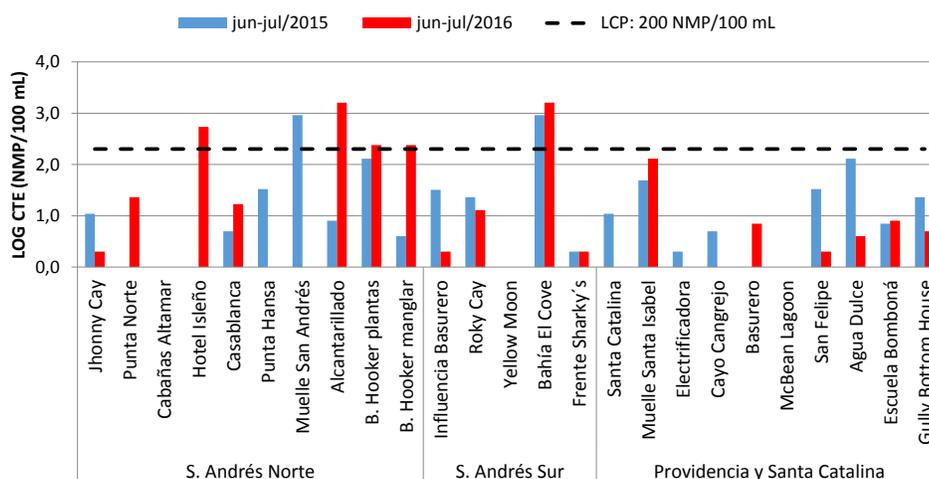


Figura 3-7. Concentraciones de Coliformes termotolerantes (CTE) en el agua superficial en las estaciones REDCAM en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en los muestreos de junio-julio de 2015 y junio-julio de 2016. La línea negra punteada indica el límite permisible para el uso recreativo por contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

En la Zona Sur, la estación de bahía El Cove, presentó las concentraciones más altas tanto para 2015 (920 NMP/100 mL) como 2016 (1.600 NMP/100 mL; Figura 3-7) debido a los vertimientos de aguas residuales domésticas (Gavio *et al.*, 2010; INVEMAR, 2016b). No obstante, en esta zona no se realizan actividades de baño. En las estaciones de Providencia y Santa Catalina, no se evidenciaron concentraciones que superaran el valor de permisible para contacto primario, indicando una calidad adecuada para el desarrollo de actividades turísticas (Figura 3-7).

3.3 RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

El resultado del ICAM_{PFF} para el último periodo evaluado demostró que en general las aguas de la isla de San Andrés presentan condiciones aceptables para la preservación de flora y fauna (MinSalud, 1984), con excepción de la estación Yellow Moon, en la zona Sur que presentó condición adecuada; y las estaciones Alcantarillado, Casablanca, Punta Note y Bahía El Cove que presentaron condiciones inadecuadas. Esta última condición se atribuye a las altas concentraciones de ortofosfatos y coliformes termotolerantes, principalmente en estaciones influenciadas por descargas de aguas residuales y por escorrentía urbana tras las precipitaciones (Figura 3-8).

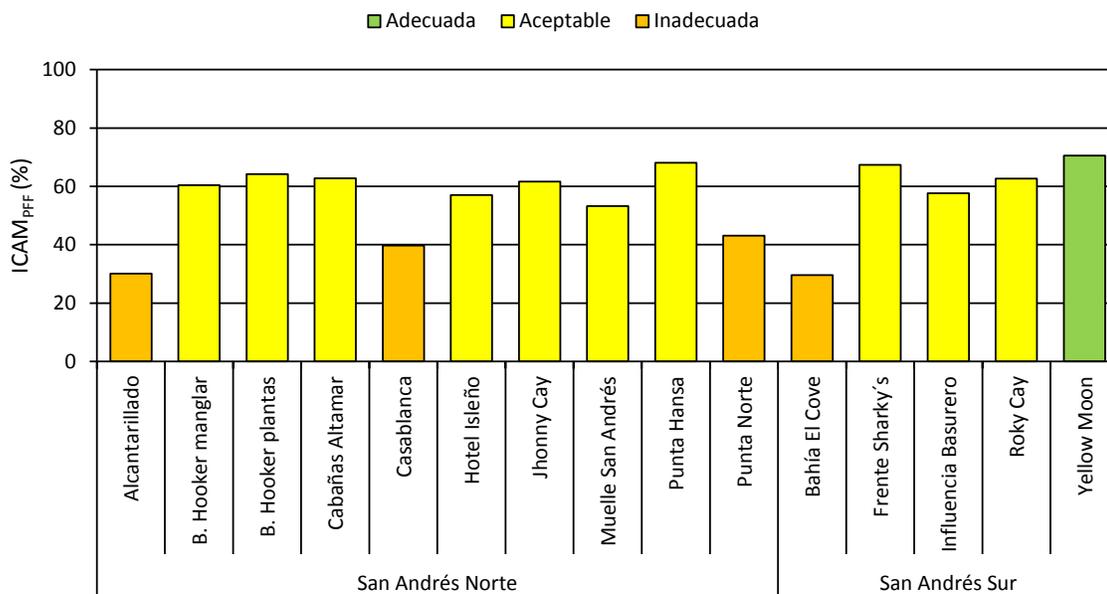


Figura 3-8. Calidad de las aguas marino-costeras en las estaciones REDCAM del departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el muestreo de junio-julio de 2016, evaluadas con el ICAM_{PFF}.

Como se muestra en la Tabla 3-1, en comparación con los últimos dos años (2014-2015) las condiciones de calidad de las aguas del Archipiélago han pasado de adecuadas a aceptables principalmente en las estaciones de las zonas Norte y Sur de San Andrés. Lo cual indica que factores como los nutrientes y coliformes han deteriorado la calidad de las aguas a nivel general.

Tabla 3-1. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PF} en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el periodo 2014-2016.

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2014	Providencia	21%	64%	14%	
	San Andrés Norte	35%	30%	35%	
	San Andrés Sur	50%	33%		17%
2015	Providencia			100%	
	San Andrés Norte		38%	63%	
	San Andrés Sur		40%	60%	
2016	Providencia*	No se estimó, por ausencia de 3 variables: Oxígeno disuelto, Hidrocarburos y Demanda Bioquímica de oxígeno			
	San Andrés Norte	30%	70%		
	San Andrés Sur	20%	60%	20%	

3.4 CONCLUSIONES

- ❖ En general, las condiciones fisicoquímicas de las aguas marinas del departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y santa Catalina presentaron condiciones aceptables en el monitoreo de junio-julio del 2015 y aceptables en los meses de junio y julio del 2016. No obstante, las estaciones Bahía El Cove, y Alcantarillado mostraron condiciones inadecuadas, principalmente por el incremento de las concentraciones de Coliformes y nutrientes, principalmente en el muestreo de junio-julio del 2016. Mientras que en la estaciones Punta Norte y Casablanca, las condiciones se encontraron inadecuadas por el incremento en los nutrientes. Si estas condiciones se mantienen, a largo plazo pueden llevar al aumento de floraciones de algas y arribazón de macroalgas y al deterioro de los ecosistemas de arrecifes de coral.
- ❖ Las condiciones sanitarias de las playas para uso turístico de las islas de San Andrés y Providencia, estuvieron en condiciones adecuadas para la realización de actividades de contacto primario como natación y buceo.

LA GUAJIRA

Max Martínez Campo y Mónica Bayona-Arenas



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

EQUIPO TÉCNICO CORPOGUAJIRA

Mayra Moscote – Analista

Manuel Pinto Brito – Analista

Karol García – Profesional Especializado

Lianis Charry – Responsable Calidad Laboratorio

Jaiker Gómez – Coordinador Laboratorio Ambiental

4. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA

El departamento de La Guajira se encuentra ubicado entre los 10° 20' y 12° 30' de latitud norte y 71° 01' y 73° 41' de longitud oeste, lo que corresponde a la parte septentrional de Colombia y del continente suramericano, con una superficie total de 20.848 km² y 789 km² de línea de costa desde el río Palomino hasta Punta Castilletes ([Posada y Henao, 2008](#)). En esta zona se presentan una alta variabilidad anual en la temperatura y salinidad superficial del mar, encontrándose bajas temperaturas y altas salinidades entre los meses de diciembre y marzo (época seca), debido a que la acción de los vientos alisios y la surgencia es más intensa en esta época ([Andrade et al., 2003](#)). En la época seca, el oleaje se dirige perpendicularmente a la línea de costa en dirección noroeste y en la época de lluvias se dirige de noreste a suroeste ([Javelaud, 1987](#)). Se caracteriza por un clima árido y semiárido, con temperatura promedio de 30,0 ± 2,0 °C y humedad relativa entre 80 y 90 % ([Posada y Henao, 2008](#)).

Dentro de los ecosistemas más representativos de la zona costera del departamento, se encuentran las áreas coralinas, manglares, praderas de pastos, playas de arena y lagunas costeras ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#); [Rojas, 2014](#)). Las formaciones coralinas, se ubican básicamente en la Alta Guajira, en tres zonas, bahía Portete, frente Manaure y ensenada de Puerto López ([Díaz et al., 1996](#)). Las praderas de pastos, se distribuyen en la localidad de Puerto López en la costa oriental, las bahías de Portete, Hondita y Honda, y finalmente a lo largo de los casi 150 km de línea de costa entre Cabo de la Vela y la ciudad de Riohacha ([Díaz et al., 2003](#)). Los manglares se encuentran bordeando bahías, lagunas costeras, barras de arena y deltas de río, variando en su desarrollo según la zona ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)). En cuanto a las playas de arena, la Guajira cuenta con la mayor extensión de playas de arena en Colombia, entre Punta Castilletes y Palomino (333,8 km aproximadamente; [INVEMAR, 2002](#)).

En la zona costera de La Guajira, se encuentra concentrada la mayor población del departamento, con un estimado de 570.723 habitantes ([DANE, 2017](#)), distribuidos en los municipios de Uribia, Manaure, Riohacha y Dibulla, siendo Riohacha la más poblada (259.492 habitantes). En esta zona se desarrollan diferentes actividades socioeconómicas como la explotación minera y de canteras, actividad portuaria, agricultura, ganadería, pesca, comercio y turismo ([ANH y PNUD, 2014](#)). La producción de residuos sólidos de los municipios costeros suma 156,02 t/día, dispuestos en celdas de contingencia, celdas transitorias, botaderos a cielo abierto y en el relleno sanitario de Manaure ([Superservicios, 2014a](#)). Se han identificado tres formas de disposición final de las aguas residuales, el sistema de alcantarillado, pozas sépticas y en el terreno. A la zona costera del departamento desembocan cuatro importantes ríos que son Cañas, Jerez, Palomino y Ranchería, los cuales circulan por áreas agrícolas, ganaderas y urbanas, constituyendo las principales vías de ingreso de contaminantes al mar Caribe en La Guajira.

La confluencia de las múltiples actividades económicas como explotación y transporte de carbón y derivados del petróleo, turismo, extracción de sal y transporte marítimo, sumado a la escasa cobertura de alcantarillado y de infraestructura para el tratamiento de aguas, ejercen un impacto sobre el recurso hídrico y ecosistemas marino-costeros del departamento de La Guajira. Con el propósito de contar con información para la conservación y protección del recurso hídrico marino-costero de La Guajira, la Corporación Autónoma Regional de La Guajira - CORPOGUAJIRA hace parte de la REDCAM, la cual desde el año 2001 realiza la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento,

teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente informe diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras, contiene el análisis de la información recolectada durante los muestreos realizados el segundo semestre del año 2015 y primer semestre del año 2016.

4.1 ZONAS DE MONITOREO

La REDCAM cuenta con 23 estaciones de muestreo distribuidas en tres zonas, Guajira Alta, Riohacha y Guajira Baja (Figura 4-1). En la zona **Guajira Alta** se presenta lluvias escasas con valores menores a 500 mm/año, donde se encuentra el Cabo de la Vela, sitio de importancia turístico, Bahía Portete, en donde se desarrollan actividades portuarias para la exportación de carbón y la importación mercancías en los puertos Bolívar y Nuevo, y el municipio de Manaure. La zona de **Riohacha** con la mayor influencia urbana, con estaciones de muestreo en el vertimiento de aguas residuales, el muelle, frente del río Ranchería y las playas Mayapo y Riohacha. La zona **Guajira Baja** 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), en esta zona se desarrolla la mayor actividad agrícola y ganadera, y se hallan los ríos Palomino, Cañas y Jerez; las playas de Dibulla y Camarones, así como el área de influencia de Termoguajira (Figura 4-1).

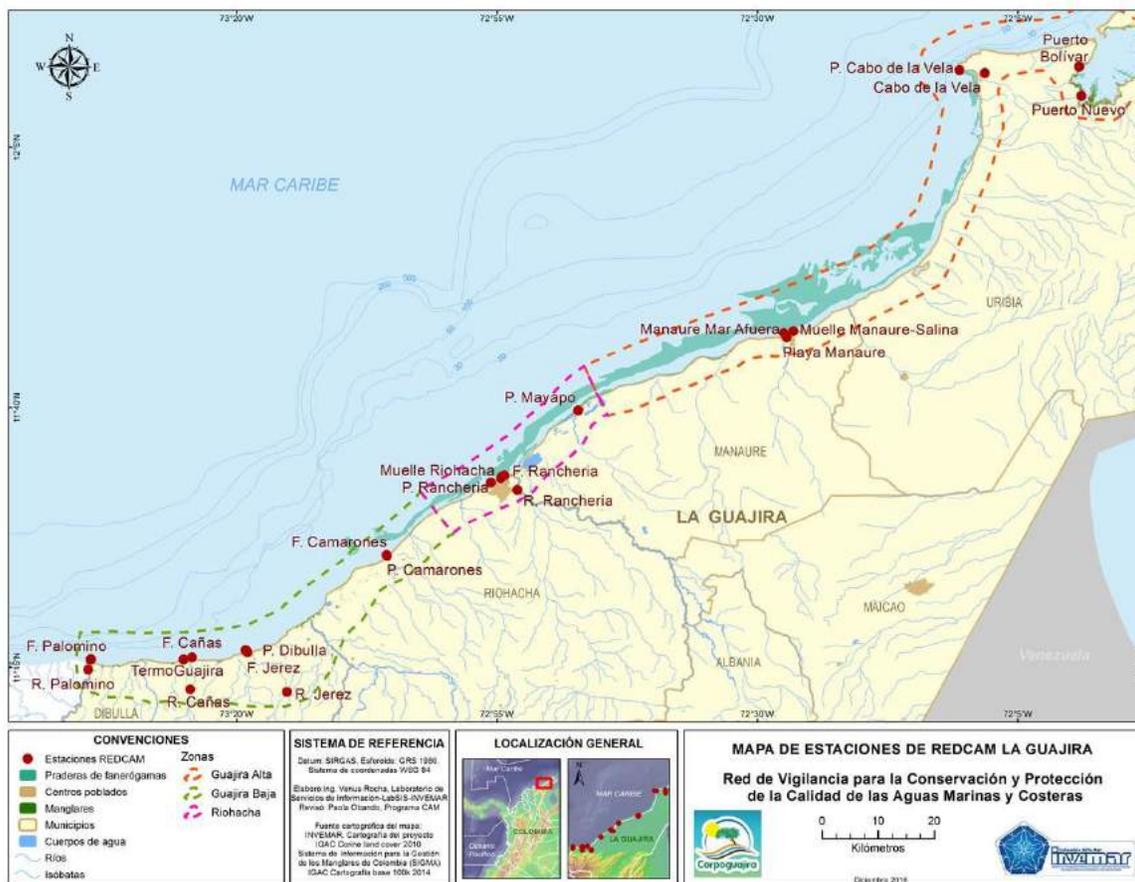


Figura 4-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el departamento de La Guajira.

Los muestreos fueron realizados por INVEMAR y CORPOGUAJIRA, entre el 10 y 12 de noviembre de 2015 (segundo semestre 2015) y del 05 al 07 de abril de 2016 (primer semestre 2016). En las estaciones se realizaron mediciones *in situ* de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, y se analizó en el agua superficial los nutrientes inorgánicos disueltos, sólidos suspendidos totales, coliformes totales y termotolerantes, enterococos fecales, hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de crisenos, plaguicidas organoclorados y organofosforados y metales pesados. En la estación Frente al río Ranchería, se tomó una muestra de sedimento para medir materia orgánica, hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados.

4.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

En la Figura 4-2, se muestran los valores de salinidad del agua superficial en las estaciones del departamento de La Guajira, durante los muestreos de noviembre de 2015 y abril de 2016. En las zonas de la Guajira Alta y Riohacha, la salinidad osciló entre 36,3 y 38,2 y entre 35,7 y 38,1, respectivamente, lo cual indica que son de tipo marinas polihalinas (34 - 38) según la clasificación de [Knox \(2001\)](#). En la zona Guajira Baja la salinidad en las estaciones marinas estuvo entre 23,4 y 37,4; las salinidades más bajas se registraron en las estaciones frente a los ríos Palomino y Cañas en el muestreo de noviembre de 2015. Las salinidades de las estaciones de los ríos Ranchería, Jerez, Cañas y Palomino estuvieron en 0, debido a que son aguas de tipo dulce fluvial.

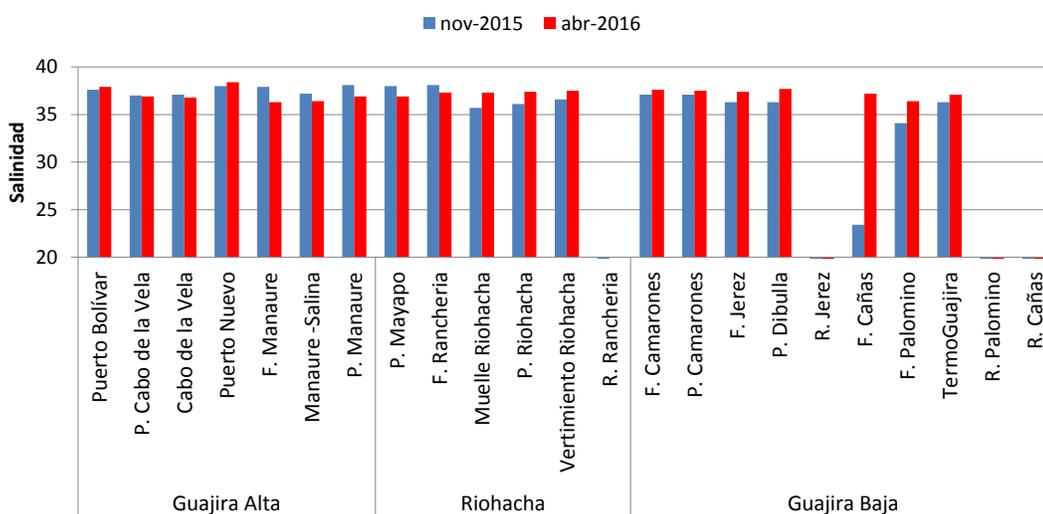


Figura 4-2. Salinidad medida en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en noviembre 2015 y abril 2016.

La temperatura del agua superficial de las estaciones marinas estuvo entre 27,8 y 32,7 °C en noviembre de 2015 y entre 27,3 y 29,3°C en abril de 2016, encontrándose un poco más bajas en abril de 2016, asociado al régimen de vientos y el fenómeno de surgencia durante esta época ([Andrade y Barton, 2005](#)), debido a que las aguas que surgen tienen menor temperatura que las aguas superficiales (<30 m). La temperatura de las aguas fluviales osciló entre 24,1 y 29,8 °C, siendo más altas en abril de 2016, lo cual se atribuye a la alta radiación solar y bajas precipitaciones durante esta época.

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

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en las aguas superficiales, osciló entre 4,6 y 8,6 mg O₂/L, valores por encima del mínimo para la preservación de flora y fauna, establecido en el Decreto 1594 de 1984 (Figura 4-3). Las concentraciones de oxígeno disuelto más altas se registraron en el muestreo de noviembre de 2015, principalmente en aquellas estaciones ubicadas en la zona de Riohacha y en los ríos Jerez, Palomino y Cañas en la zona Guajira Baja, asociadas al aumento de la corriente durante el mismo periodo.

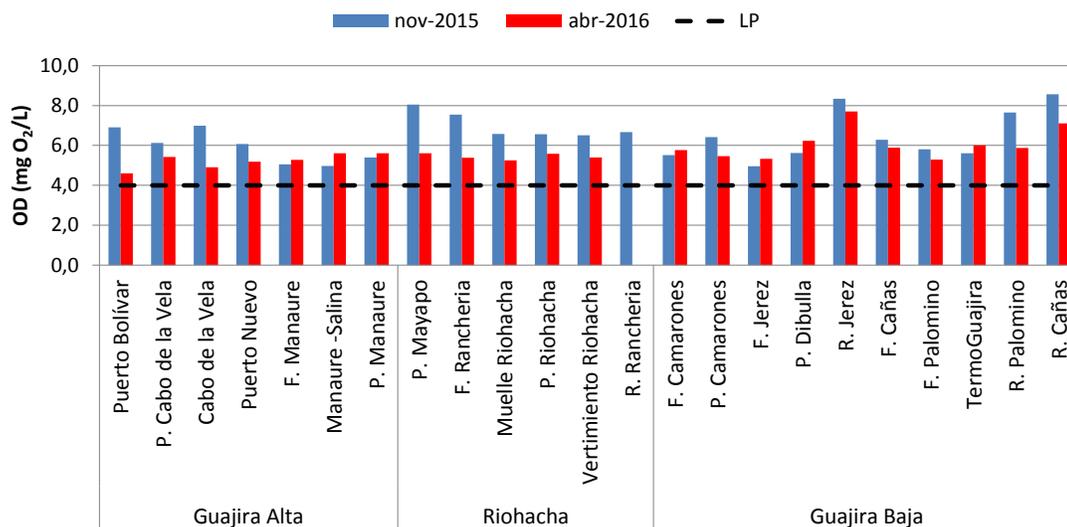


Figura 4-3. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en noviembre 2015 y abril 2016. La línea negra punteada muestra el valor mínimo permisible en aguas marinas y estuarinas (4 mg/L; [MinSalud, 1894](#)).

El pH osciló entre 7,27 y 9,02 (Figura 4-4), la mayoría de estaciones se encontraron dentro del rango permisible del Decreto 1594 de 1984, para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5-9,0) y marinas y estuarinas (6,5- 8,5 [MinSalud, 1984](#)), con excepción de las estaciones frente Manaure, Manaure-Salina y playa Manaure ubicadas en la Guajira Alta en el municipio de Manaure en noviembre de 2015, con valores de 8,62, 8,7 y 8,8, respectivamente, lo cual sugiere aportes de las salitrales ubicadas en esta zona. De igual manera, en el río Jerez, ubicado en La Guajira Baja se registró un valor de pH sobre el límite superior para aguas dulces (9,02) durante abril-2016, el cual ha sido el reporte más alto de esta estación hasta la fecha superando 8,92 en abril del 2003.

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) fluctuaron entre el límite de detección del método utilizado en el LABCAM (<4,2 mg/L) y 210 mg/L, presentándose las mayores concentraciones en el muestreo de noviembre 2015 (Figura 4-5). La mayor concentración de SST se registró en la zona Guajira Alta, en la estación Puerto Bolívar (210 mg/L). Teniendo en cuenta la escala de referencia de [CONAGUA \(2015\)](#), Puerto Bolívar junto con las estaciones de Riohacha, frente del río Jerez y playa Dibulla, clasifican como contaminadas, ya que las concentraciones de SST estuvieron por encima de 150 mg/L. La concentración alta de SST en la zona de Riohacha se puede atribuir a la entrada de aguas del río Ranchería; y las de estaciones playa Dibulla y frente del río Jerez, a los aportes del río Jerez. Las estación localizada en bahía Portete (Puerto Nuevo) presentó concentraciones menores a 50 mg/L, condiciones favorables para las formaciones coralinas ([Fabricius, 2005](#)), acorde con los registros históricos de la REDCAM (Figura 4-5).

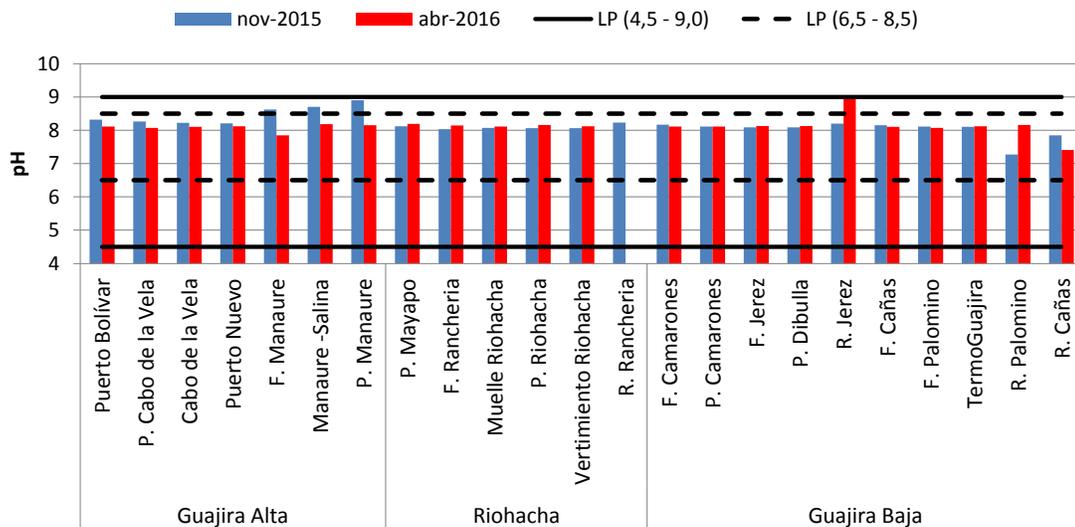


Figura 4-4. Valores de pH en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, registrados en noviembre 2015 y abril 2016. La línea negra continua indica el rango permisible para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0), y la línea negra punteada indica el rango permisible en aguas marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; [MinSalud, 1894](#)).

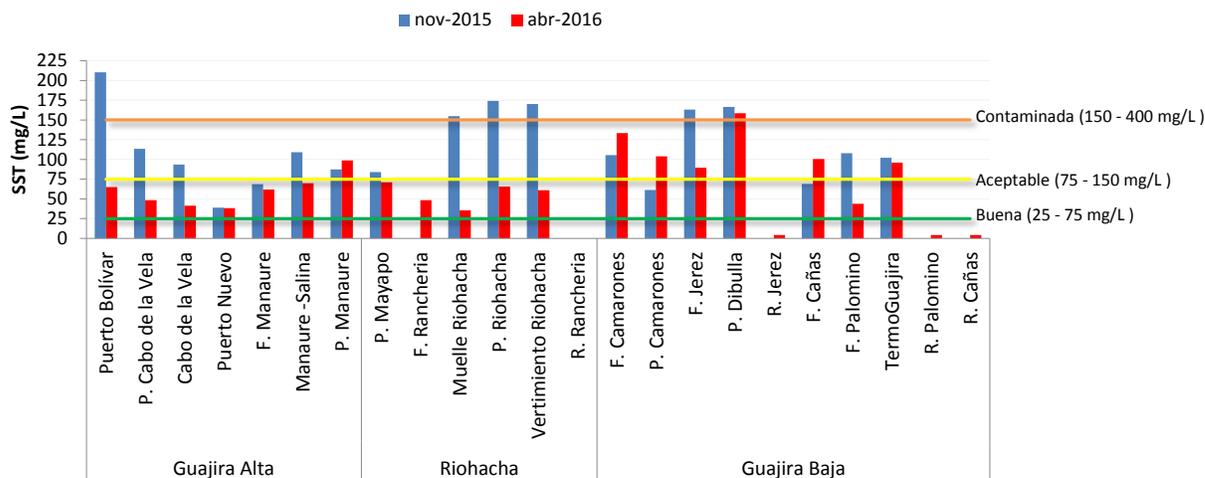


Figura 4-5. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en noviembre 2015 y abril 2016. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas para SST propuesto por [CONAGUA \(2015\)](#).

Los registros históricos de la REDCAM (2001 – 2015;) muestran que las concentraciones de SST en la mayoría de las estaciones aumentan en el segundo semestre del año, en donde ocurren las mayores precipitaciones y se generan los mayores aportes de tributarios al mar (Figura 4-6).

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

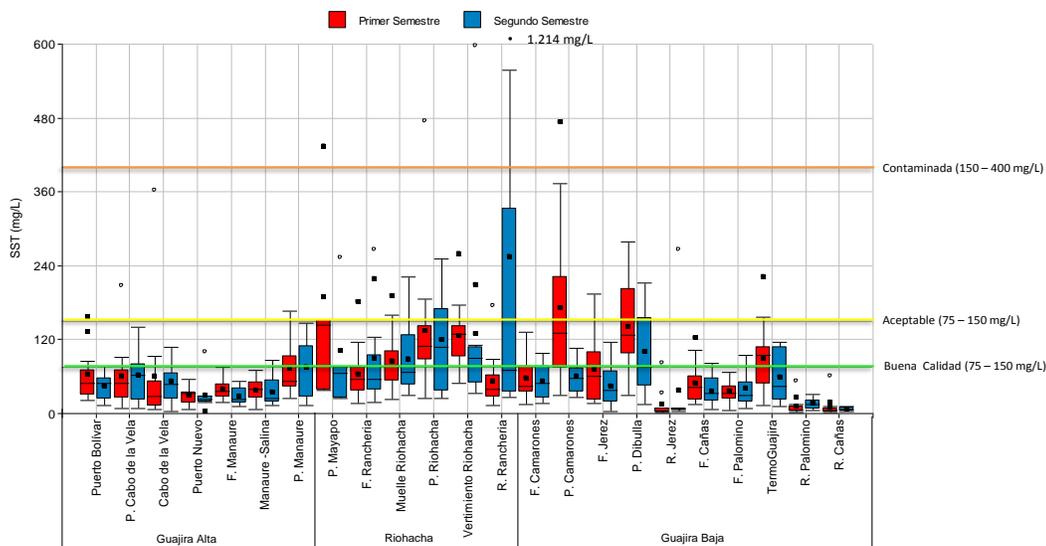


Figura 4-6. Registro histórico desde el 2001 al 2015 de SST en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en La Guajira. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a las concentraciones de SST, propuestos por [CONAGUA \(2015\)](#).

Las concentraciones de nutrientes inorgánico disueltos amonio (N-HN_4^+), nitritos (N-NO_2^-), nitratos (N-NO_3^-) y ortofosfatos (P-PO_4^{3-}), se muestran en la Figura 4-7. En la mayoría de las estaciones la concentración de amonio estuvo por debajo del límite de detección del método ($<3,1 \mu\text{g/L}$); las concentraciones más altas fueron determinadas en la zona Guajira Baja, en la estación de Camarones, asociado a la influencia de la laguna Navío Quebrado de la misma zona (Figura 4-7a). En la zona de Riohacha, estaciones del muelle, playa y vertimientos, se observó un aumento de concentración de amonio en la época de lluvias de 2015 (Figura 4-7a), lo que sugiere la introducción de aguas del río Ranchería y residuales a través del vertimiento de Riohacha.

El nitrito osciló entre menor al límite de detección del método ($<0,7 \mu\text{g/L}$) y $14,7 \mu\text{g/L}$, encontrándose las concentraciones más altas en la zona de Guajira Baja, en las estaciones playa Camarones ($11,5 \mu\text{g/L}$) y frente Camarones ($14,7 \mu\text{g/L}$) en abril de 2016 (Figura 4-7b). Cabe resaltar que según los registros históricos de la REDCAM ([INVEMAR, 2016b](#)), en las estaciones playa Camarones y frente Camarones, se han registrado las concentraciones más altas en aguas marinas, principalmente durante el primer semestre del año. Las concentraciones más altas se registraron en el año 2012 ($33,2$ y $25,3 \mu\text{g/L}$). No obstante estas concentraciones han estado por debajo del rango sugerido como criterios de calidad para proteger organismos acuáticos sensibles (entre 80 y $350 \mu\text{g/L}$; [Camargo y Alonso, 2006](#)).

Las concentraciones de nitratos, oscilaron entre menor al límite de detección ($<2,1 \mu\text{g/L}$) y $527 \mu\text{g/L}$ (Figura 4-7c). Las concentraciones más altas se registraron en la zona de Riohacha, en el río Ranchería ($527 \mu\text{g/L}$) y en estaciones cercanas como frente del río Ranchería ($57,7 \mu\text{g/L}$), muelle Riohacha ($64,4 \mu\text{g/L}$) y playa Riohacha ($98,6 \mu\text{g/L}$); y en algunas estaciones de la zona Guajira Baja, en los ríos Jerez ($62,5 \mu\text{g/L}$), Palomino ($104 \mu\text{g/L}$) y Cañas ($71,4 \mu\text{g/L}$; Figura 4-7c). Las concentraciones más bajas se registraron en la zona Guajira Alta, durante el muestreo de abril de 2016.

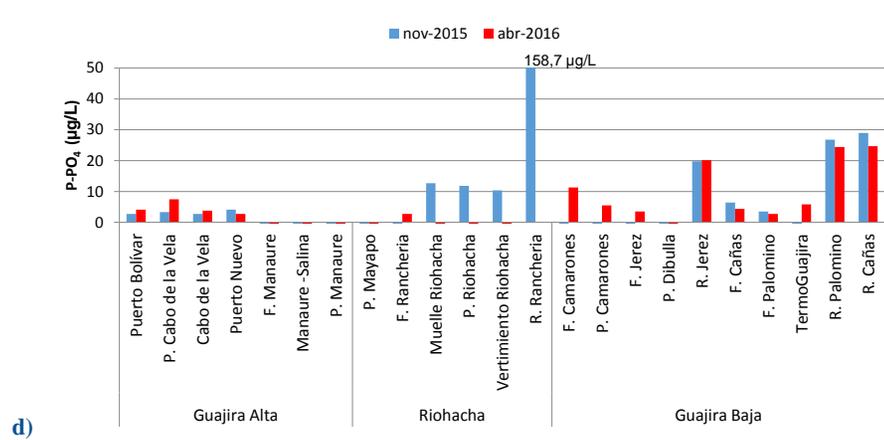
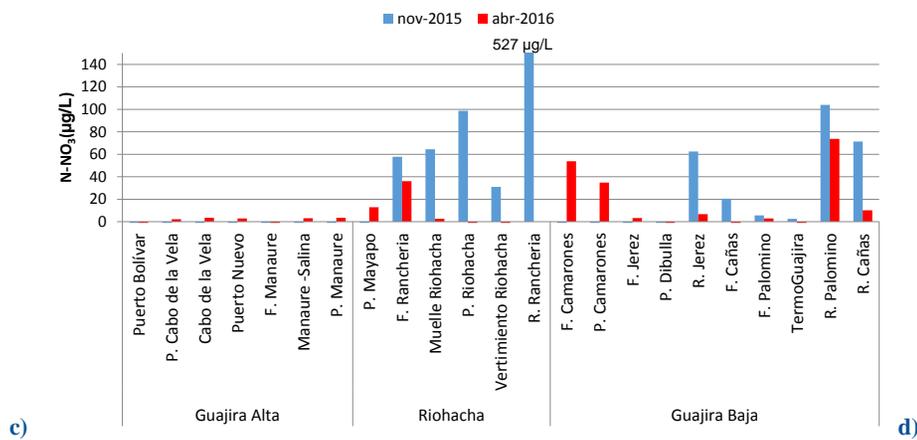
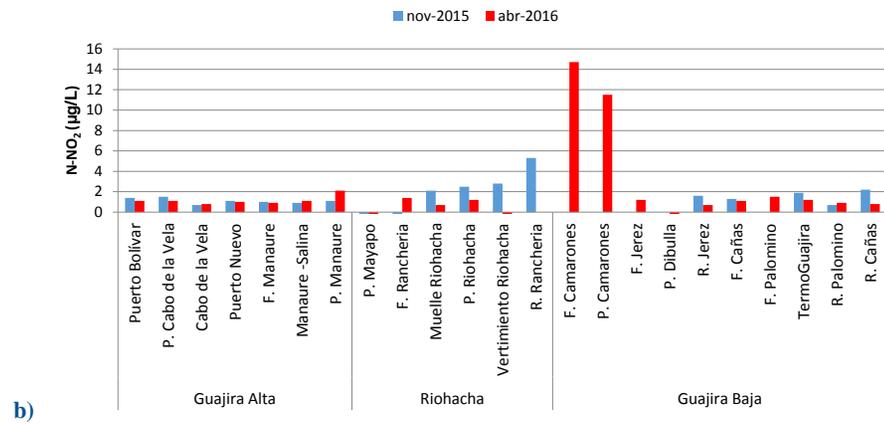
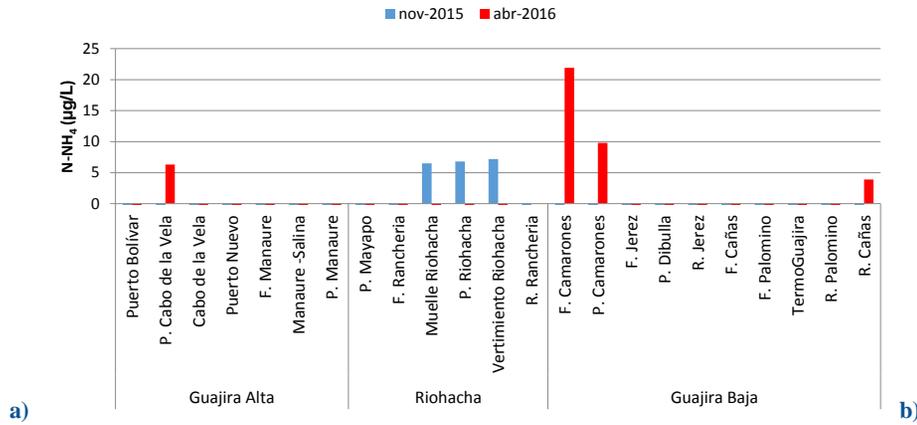


Figura 4-7. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio ($N-NH_4^+$), b) nitritos ($N-NO_2^-$), c) nitratos ($N-NO_3^-$) y ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$), medidos en noviembre de 2015 y abril de 2016 en las estaciones y zonas de muestreo REDCAM del departamento de La Guajira.

Las concentraciones de ortofosfatos estuvieron entre el límite de detección del método (<2,4 µg/L) y 159 µg/L (Figura 4-7d). Las concentraciones más altas se registraron en la zona Guajira Baja, en los ríos durante ambas épocas; y en la zona de Riohacha, en el río Ranchería (158,7 µg/L) y en las estaciones cercanas, durante el muestreo de noviembre de 2015. Lo anterior indica que el mayor aporte ortofosfatos a la zona marino costera del departamento, corresponde a los tributarios y a cuerpos de agua como la laguna costera en Camarones, los cuales reciben descargas de aguas residuales ya sea de la actividad pecuaria como doméstica que se desarrolla en la zona.

Para determinar la calidad sanitaria en las estaciones del departamento de La Guajira, se realizaron mediciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). Las concentraciones de CTT en las estaciones de la zona Guajira Alta, estuvieron por debajo del criterio de calidad para contacto primario (1.000 NMP/100 mL) y secundario (5.000 NMP/100 mL) según el decreto 1594 de 1984 (Figura 4-8). En las zonas de Riohacha y Guajira Baja, se registraron las concentraciones más altas de CTT, principalmente durante el muestreo de noviembre de 2015, el valor más alto se registró en playa Mayapo (5.400 NMP/100 mL) donde se sobrepasó el límite de contacto primario, seguido de las estaciones ubicadas en la costa de Riohacha (Figura 4-8). Esas estaciones están influenciadas por los aportes del río Ranchería, el cual puede arrastrar aguas residuales, lo cual se ve relacionado con la entrada de nutrientes como amonio y ortofosfato. En cuanto a las estaciones en la zona Guajira Baja, la concentración más alta se registró en la estación junto a Termoguajira en noviembre de 2015; lo que se atribuye a la influencia del río Cañas durante el cual aumenta el caudal durante el periodo de precipitaciones (Figura 4-8).

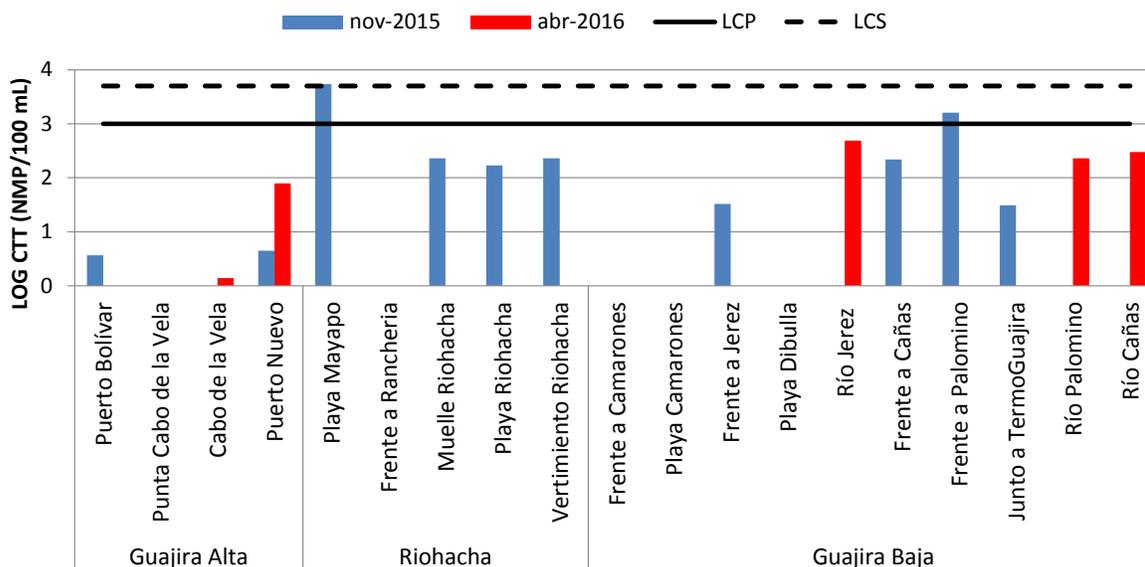


Figura 4-8. Concentraciones de Coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira en noviembre 2015 y abril 2016. La línea negra continua corresponde al límite permisible para el uso recreativo por contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (LOG=3,0), y la línea punteada es el límite permisible para el contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (LOG=3,7) según el dec. 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

El análisis de los datos históricos de CTT en el monitoreo REDCAM (2001-2015) muestra que en la mayoría de las estaciones se han presentado valores por encima de lo permitido por la normatividad colombiana para uso recreativo por contacto primario (1.000 NMP/100 mL), y secundario (5.000 NMP/100 mL) lo cual indica que si bien en el 2015-2016 fueron pocos los casos de incumplimiento, no es una constante en las aguas marino costeras del departamento (Figura 4-9).

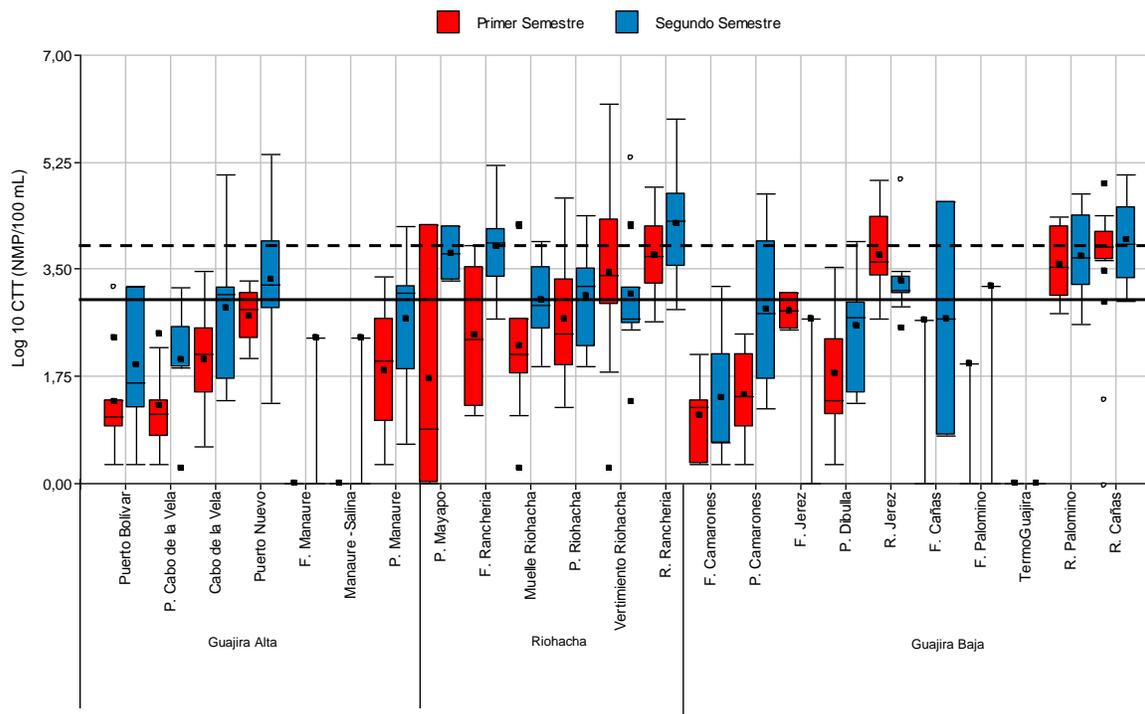


Figura 4-9. Registro histórico desde el 2001 al 2015 de CTT en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en La Guajira. La línea negra continua corresponde al límite permisible para el uso recreativo por contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (LOG=3,0), y la línea punteada es el límite permisible para el contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (LOG=3,7) según el dec. 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)).

En la Tabla 4-1 se muestran las concentraciones de CTE y EFE en aguas marinas del departamento de La Guajira. A nivel general, las concentraciones más altas se presentaron en el muestreo de noviembre de 2015. En la zona Guajira Alta, las estaciones empleadas para uso turístico mostraron condiciones adecuadas, mientras que en las estaciones Puerto Bolívar y Puerto Nuevo se detectaron concentraciones de EFE con 2.000 y 52 UFC/100 mL, respectivamente. En la zona de Riohacha, las playas presentaron condiciones adecuadas durante ambos periodos, con excepción de la estación Muelle Riohacha, durante el muestreo de noviembre de 2015. En la zona Guajira Baja, las concentraciones de CTE y EFE en las playas estuvieron por debajo de los valores de referencia, no obstante, la estación frente del río Palomino tuvo una elevada concentración en noviembre de 2015. En general se evidencia que la calidad microbiológica de las aguas se ve principalmente afectada por las precipitaciones las cuales aumentan el caudal y aporte de los ríos y favorece la escorrentía.

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

Tabla 4-1. Microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira en los muestreos de noviembre de 2015 y abril de 2016. *Criterio de calidad para el uso recreativo por contacto primario en base a coliformes termotolerantes (CTE; *Escherichia coli*) de MinSalud (1984), y **valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades Gastrointestinales y Respiratoria Febril Aguda respectivamente. (-) no medido.

Zona	Estación	CTE (NMP/100mL)		EFE (UFC/100 mL)	
		Nov. 2015	Abr. 2016	Nov. 2015	Abr. 2016
Guajira Alta	Puerto Bolívar	<1,8	<1,8	>2000	12
	Punta Cabo de la Vela	<1,8	ND	<1	ND
	Cabo de la Vela	<1,8	<1,8	<1	2
	Puerto Nuevo	<1,8	22	1	56
Riohacha	Playa Mayapo	20,0	ND	11,0	ND
	Frente a Ranchería	ND	<1,8	ND	12
	Muelle Riohacha	230,0	<1,8	82	6
	Playa Riohacha	130,0	<1,8	20	7
	Vertimiento Riohacha	45,0	<1,8	20	50
Guajira Baja	Frente a Camarones	<1,8	ND	<1	ND
	Playa Camarones	<1,8	ND	2,0	ND
	Frente a Jerez	13,0	ND	5	ND
	Playa Dibulla	<1,8	<1,8	8	2
	Río Jerez	ND	<1,8	ND	ND
	Frente a Cañas	170,0	ND	14	ND
	Frente a Palomino	>1600	ND	>2.000	ND
	Junto a TermoGuajira	11,0	ND	3,0	ND
	Río Palomino	ND	20	ND	ND
Río Cañas	ND	<1,8	ND	ND	
Valores de referencia		200*		40**	

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en el agua superficial oscilaron en un rango entre el límite de detección del método (<0,07 µg/L) y 8,45 µg/L (Figura 4-10). Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones de la zona Riohacha, río Ranchería (8,45 µg/L), frente del río Ranchería (5,09 µg/L), Muelle Riohacha (2,92 µg/L) y playa Riohacha (2,94 µg/L), asociado a la alta actividad de transporte y comercialización de estos compuestos así como la disposición de aguas residuales domésticas. No obstante, ningún valor sobrepasó el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas (UNESCO, 1984; Acuña-González *et al.*, 2004). En relación a los registros históricos de la REDCAM (Figura 4-11), las mayores concentraciones de HPDD se han reportado durante el segundo semestre, lo cual se ha atribuido a que en este periodo se presentan las mayores precipitaciones, especialmente en la zona Riohacha. En la zona Guajira Baja, se evidencian mayores aportes de los afluentes Palomino, Cañas y Jerez en el primer semestre, lo que puede estar asociado con incrementos en el tránsito de embarcaciones asociados a temporadas turísticas.

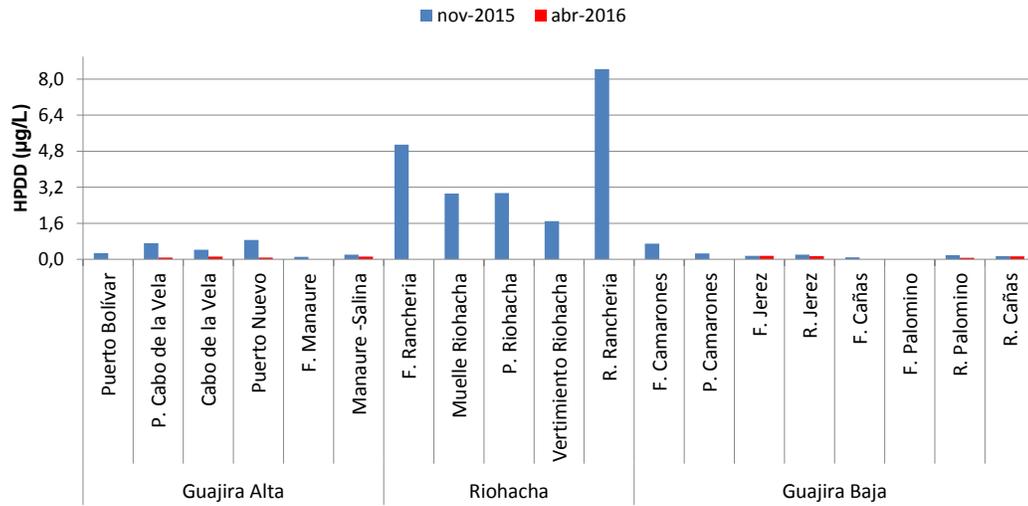


Figura 4-10. Concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira, en noviembre 2015 y abril 2016.

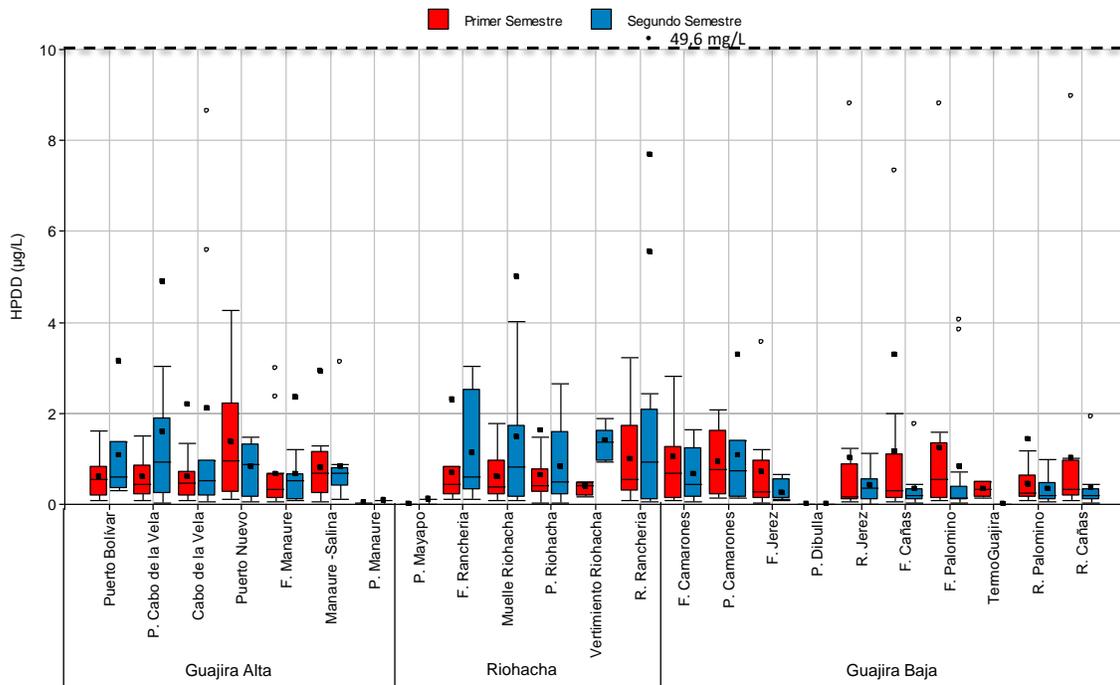


Figura 4-11. Registro histórico desde el 2001 al 2015 de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en La Guajira. La línea punteada muestra el valor establecido por la UNESCO (1984), para aguas contaminadas (10 µg/L).

El análisis de plaguicidas mostró que en las aguas superficiales del departamento de La Guajira, en el muestreo de abril de 2016, solo se detectó el plaguicida Bromacil, en la estación vertimiento Riohacha (21,9 ng/L). Este herbicida, es ampliamente usado para la erradicación de malezas y pese que no es considerado tóxico para la biota, si se ha encontrado que es altamente persistente en suelos y en el medio acuático ([Dube et al., 2009](#)). Debido a que en

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

Colombia no se cuentan con valores límites para este compuesto, se usó como referencia el valor propuesto por [Buchman \(2008\)](#) para efectos tóxicos en peces de agua dulce (5.000 ng/L), mostrando que no hay riesgo para biota debido a que la concentración registrada está por debajo del valor de referencia.

En la Tabla 4-2, se relacionan los metales pesados disueltos en las aguas superficiales de las estaciones REDCAM determinados en los muestreos de noviembre de 2015 y abril de 2016. En los dos muestreos, las concentraciones de cadmio (Cd), cromo (Cr) y cobre (Cu), estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado, mientras que el níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) fueron detectados únicamente en noviembre de 2015, encontrándose por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos. El hierro (Fe) fue detectado en los dos muestreos, encontrándose que las más altas concentraciones fueron en los ríos y en las estaciones ubicadas en los muelles de Riohacha y Manaure en el muestreo de noviembre de 2015 (Tabla 4-2).

Tabla 4-2. Metales disueltos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira en los muestreos de noviembre de 2015 y abril de 2016. Los valores de referencia corresponde a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) y el valor con asterisco (*) corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005). ND no determinadas. Valores con el símbolo < corresponde al límite de detección de la técnica analítica del LABCAM.

Zona	Estación	Metales en noviembre 2015 (µg/L)							Metales en abril 2016 (µg/L)						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Guajira Alta	P. Cabo de la Vela	<0,42	<0,97	<0,9	17,6	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	37,1	<1,0	<3,1	<6,9
	Cabo de la Vela	<0,42	<0,97	<0,9	18,4	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	16,2	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Manaure	<0,42	<0,97	<0,9	49,6	1,6	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	5,9	<1,0	<3,1	<6,9
	Manaure -Salina	<0,42	<0,97	<0,9	59,7	<1,0	4,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	6,3	<1,0	<3,1	<6,9
Riohacha	F. Ranchería	<0,42	<0,97	<0,9	9,3	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	19,4	<1,0	<3,1	<6,9
	Muelle Riohacha	<0,42	<0,97	<0,9	100	1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	10,7	<1,0	<3,1	<6,9
	P. Riohacha	<0,42	<0,97	<0,9	39,2	<1,0	4,2	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	10,6	<1,0	<3,1	<6,9
	Vertimiento Riohacha	<0,42	<0,97	<0,9	24,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	40,2	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Ranchería	<0,42	<0,97	<0,9	48	2,2	<3,1	<6,9	ND						
Guajira Baja	F. Camarones	<0,42	<0,97	<0,9	11,1	<1,0	<3,1	8,5	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	P. Camarones	<0,42	<0,97	<0,9	19,3	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Jerez	<0,42	<0,97	<0,9	15,6	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	5,4	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Jerez	<0,42	<0,97	<0,9	41,7	1,4	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	23,8	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Cañas	<0,42	<0,97	<0,9	26,6	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	10,8	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Palomino	<0,42	<0,97	<0,9	28,7	<1,0	<3,1	<6,9	ND						
	TermoGuajira	<0,42	<0,97	<0,9	27,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Palomino	<0,42	<0,97	<0,9	42	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	36,2	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Cañas	<0,42	<0,97	<0,9	54,4	<1,0	<3,1	<6,9	ND						
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,8	50*	1,3	-	8,2	8,1	81	8,8	50*	1,3	-	8,2	8,1	81
Referencia Efectos crónicos agua dulce		0,25	50*	9	350	52	2,5	120	0,25	50*	9	350	52	2,5	120

La Tabla 4-3 muestran los resultados de materia orgánica, hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HP) y plaguicidas en los sedimentos de estación frente del río Ranchería de los años 2014, 2015 y 2016. En el caso de la materia orgánica, los valores de 2015 y 2016 oscilaron entre 2 y 3,8 mg/g, encontrándose en los rangos obtenidos en años anteriores. Se resalta la baja concentración de material orgánico en comparación con otros frentes de ríos en el país ([INVEMAR, 2016b](#)), lo que puede tener incidencia en la retención de algunos contaminantes como plaguicidas ([Thatheyus y Gnana, 2013](#)).

Los plaguicidas analizados se encontraron por debajo del límite de detección del método durante los muestreos, y sólo en el 2015 se determinó el plaguicida Endrin cetona (Tabla 4-3). Finalmente, los hidrocarburos medidos fluctuaron entre 0,09 en noviembre de 2015 y 0,08 en abril de 2016, valores cercanos al límite de detección de la técnica, en concentraciones que no superan los históricos de la estación y que se encuentran en niveles naturales según [Mora et al \(2010\)](#).

Tabla 4-3. Concentraciones de materia orgánica, hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HP) y plaguicidas en sedimentos de la estación frente río Ranchería del departamento de La Guajira, desde el 2014. LD: Valor por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada en el LABCAM.

Estación	Fecha	MO	HP	PLAG OC-OP	
		mg/g	µg/g	ng/g	Nombre
Frente a río Ranchería	abr-14	0,7	0,1	LD	
	nov-14	2,5	0,36	LD	
	abr-15	3,7	<0,07	4,2	Endrin cetona
	nov-15	2	0,09	LD	
	abr-16	3,8	0,08	LD	

Para todos metales medidos en sedimentos, las concentraciones estuvieron por debajo del valor de referencia para efectos umbral (TEL) y efectos probables (PEL) sugeridos por la [Buchman \(2008\)](#), por lo cual se consideran sedimentos no contaminados (Tabla 4-4).

Tabla 4-4. Concentraciones de metales en sedimentos de la estación frente río Ranchería del departamento de La Guajira, en noviembre de 2015 y abril de 2016. ND: No Disponible. *Valor de referencia para sedimentos marinos (Buchman, 2008).

Metales	Unidad	Muestreo nov-2015	Muestreo abr-2016	Valor de Referencia TEL*	Valor de Referencia PEL*
Pb	µg/g	12	7,1	30	112
Cd	µg/g	<0,5	<0,5	0,68	4,2
Cr	µg/g	6,85	16,4	52,3	160
Cu	µg/g	<1,9	3,7	18,7	108
Zn	µg/g	12,59	12,4	124	271
Ni	µg/g	<2,0	<2,0	15,9	42,8
Fe	mg/g	3,58	2,6	-	-
Hg	ng/g	ND	3	130	700

4.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

El ICAM_{PFF} aplicado a los resultados del muestreo realizado en noviembre de 2015, mostró que la mayoría de las estaciones de las zonas Guajira Alta y Guajira Baja tuvieron aguas con calidad adecuada y aceptable. En las estaciones de la zona Riohacha, con excepción de la estación playa Mayapo, la mayoría de las estaciones tuvieron calidad inadecuadas (Figura 4-12a), debido a la contaminación microbiológica. En abril de 2016, la calidad de las aguas mejoró, encontrándose un 90 % de estaciones con una calidad adecuada, lo cual se puede atribuir a la disminución de precipitaciones durante este periodo y por ende al aporte de aguas continentales (Figura 4-12b).

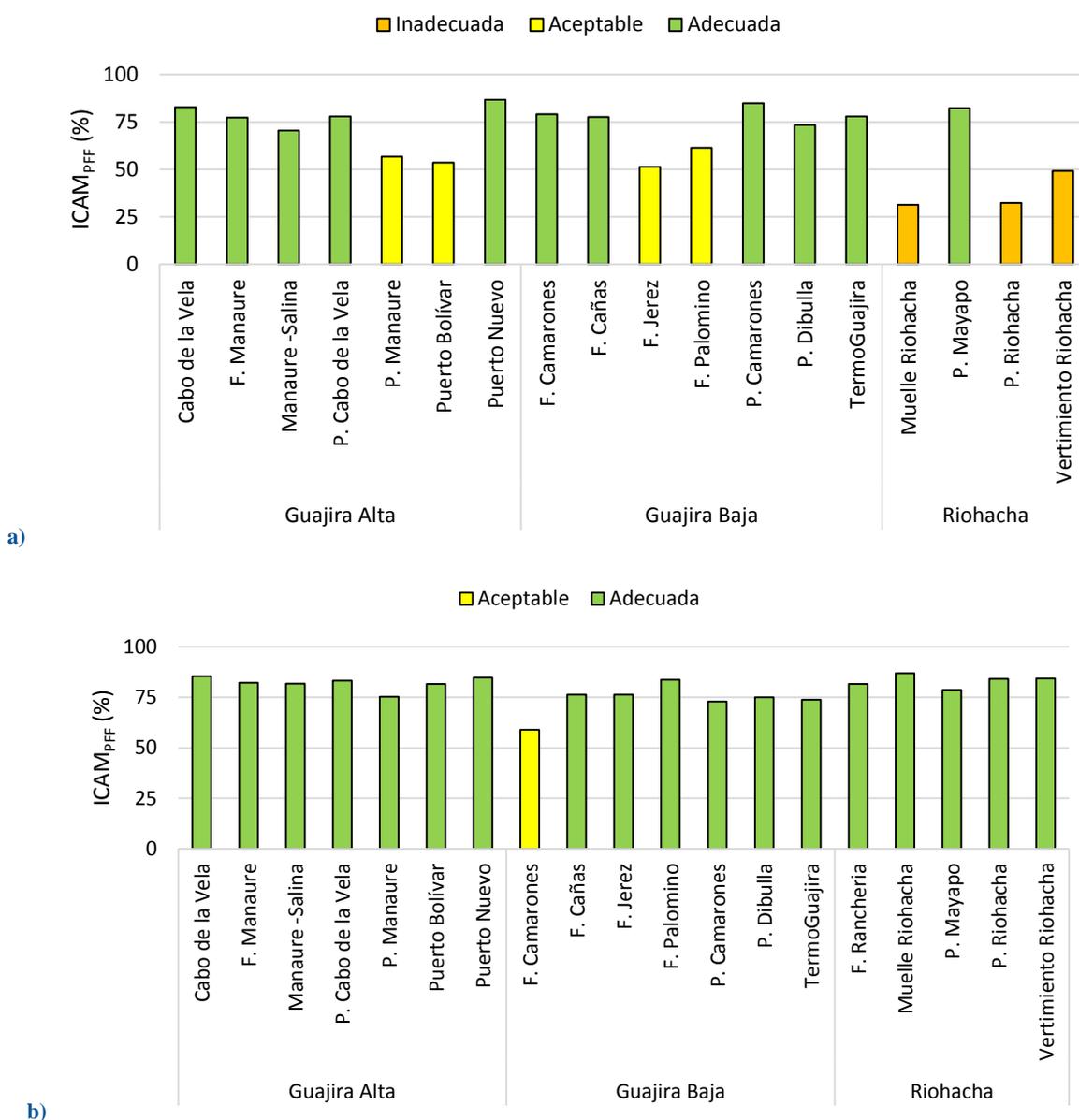


Figura 4-12. Calidad de las aguas marino costeras en las estaciones REDCAM del departamento de La Guajira en los muestreos de noviembre de 2015 (a) y abril de 2016 (b), evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

En los últimos tres años (2013-2015) una gran proporción de estaciones han presentado condiciones aceptables y adecuadas, principalmente aquellas ubicadas en las zonas Guajira Alta y Baja (Tabla 4-5). No obstante, en estos años el porcentaje de estaciones con condiciones inadecuadas ha persistido en la zona de Riohacha, en proporciones consideradas altas que van entre el 38 y 80% por la influencia del río Ranchería y los residuos de la ciudad de Riohacha (Tabla 4-5).

Tabla 4-5. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PF} en el las zonas del departamento de La Guajira en el periodo de 2013 a 2015.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada
2013	Guajira Alta		14%	29%	57%
	Guajira Baja		27%	9%	64%
	Riohacha		80%	20%	
2014	Guajira Alta	7%	7%	29%	57%
	Guajira Baja		23%	15%	62%
	Riohacha	13%	38%		50%
2015	Guajira Alta		14%	21%	64%
	Guajira Baja	8%	8%	42%	42%
	Riohacha		38%	13%	50%

4.4 CONCLUSIONES

- ❖ La calidad de las aguas en la mayoría de las estaciones marinas y costeras del departamento de La Guajira tuvo condiciones adecuadas durante los muestreos de noviembre de 2015 y abril de 2016. No obstante, se evidenció que en las estaciones más próximas a las desembocaduras de los ríos o a las lagunas costeras disminuye la calidad del agua por el aumento de las precipitaciones, debido a los aportes de aguas continentales.
- ❖ La calidad microbiológica de las playas de uso turístico fue apta para contacto primario, aunque se evidenció un leve deterioro de la calidad de las aguas durante la temporada de mayores precipitaciones (noviembre de 2015) principalmente por los aportes de los tributarios.
- ❖ La presencia de hidrocarburos del petróleo disuelto y disperso equivalente de criseno en las aguas marinas, principalmente las de la zona de Riohacha se vieron condicionadas por la temporada de precipitaciones que favorece la introducción por escorrentía y aportes del mismo río Ranchería.
- ❖ El agua superficial de la zona costera del departamento de La Guajira, no presentó contaminación por metales, no obstante es importante resaltar el aumento de metales como el hierro, durante la época de mayores precipitaciones (noviembre-2015).
- ❖ Los sedimentos de la estación Frente Río Ranchería, no presentaron indicios de contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo, plaguicidas, ni metales pesados.

MAGDALENA

Ostin Garcés-Ordóñez y Mónica Bayona-Arenas



Río Buritaca, Magdalena. Foto: Max Martínez

EQUIPO TÉCNICO CORPAMAG

Alfredo Martínez – Subdirector de Gestión Ambiental
Eliana Álvarez Pineda – Ing. Ambiental, Profesional Especializada

5. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

El departamento del Magdalena se sitúa al norte de Colombia, entre las coordenadas 08° 54' 59'' y 11° 20' 58'' latitud norte y 73° 32' 32'' y 74° 56' 51'' de longitud oeste. Las condiciones climáticas son muy variadas, con dos temporadas de lluvias; la primera entre abril y mayo y la segunda entre septiembre y noviembre y dos temporadas secas entre junio y agosto y otra entre diciembre y marzo. Se registran precipitaciones anuales más altas en la zona norte (2.000 – 2.500 mm/año; [IDEAM, 2005](#)), caracterizada por tener una costa expuesta al fuerte oleaje y un área de drenaje relativamente amplia (2.200 km²), dominado por una serie de ríos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta.

La población costera del departamento al año 2016 se estimó en 650.364 habitantes distribuidos en los municipios de Santa Marta, Ciénaga, Pueblo Viejo y Sitio Viejo ([DANE, 2017](#)). En Santa Marta y Ciénaga se concentra la mayor población y actividades socioeconómicas marítima portuaria, agrícolas, pecuarias, industriales, mineras, comerciales y turísticas que generan residuos contaminantes, considerados fuentes de contaminación ([Vivas-Aguas et al., 2014a](#)). La producción de residuos sólidos en los municipios costeros alcanza los 538,1 t/día, los cuales son dispuestos en botaderos a cielo abierto y en los rellenos sanitarios Palanganas y La María ([Superservicios, 2014a](#)).

Las aguas residuales de estos municipios son vertidas en lagunas de oxidación, pozas sépticas, sobre el terreno y cuerpos de agua, en Santa Marta es vertidas directamente al mar por medio de un emisario submarino. En las bahías de Taganga, Santa Marta y Rodadero, se han presentado diferentes emergencias ambientales que incluyen vertimientos directos de aguas residuales, florecimientos algales, derrame de hidrocarburos, vertimiento de carbón, entre otros eventos, que han afectado la calidad del recurso hídrico y provocado cambios en las condiciones ambientales ([Garcés-Ordóñez et al., 2016b](#)).

Con el propósito de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORPAMAG, para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM realiza desde el año 2001 la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras en base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2015 y primer semestre de 2016.

5.1 ZONAS DE MONITOREO

El departamento de Magdalena cuenta con una red de 42 estaciones de muestreo para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras, distribuidas en cinco zonas: Buritaca, Parque Tayrona, Santa Marta, Costa Sur y Marina (Figura 5-1). La **zona de Buritaca** abarca ríos como Don Diego, Buritaca, Guachaca y Mendihuaca, los cuales circulan por extensas áreas agrícolas, principalmente de banano. La **zona de Parque Tayrona** que incluye estaciones como el río Piedras, las playas Cristal y Neguanje, y las bahías Chengue y Concha, caracterizados por ser sitios naturales protegidos, en donde se desarrollan arrecifes coralinos, praderas de pastos marinos y manglares. **La zona de Santa Marta** donde se llevan a cabo actividades portuarias importantes para la economía de la región, turismo de sol y playa y

comercio, además en esta zona se realizan las mayores descargas de aguas residuales a través del emisario submarino, del río Manzanares y el rebosamiento de las alcantarillas. 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 o sobre el terreno (INVEMAR y MADS, 2011). La **zona Costa Sur** que cubre el área comprendida entre Pozos Colorados y Costa Verde, donde operan puertos carboníferos y se realizan actividades turísticas de sol y playa, y la **zona Marina** con la estación La Barra que tiene influencia de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Figura 5-1).

Adicionalmente, se cuenta con una red de 28 estaciones de monitoreo en el complejo lagunar **Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM)**, uno de los cuerpos de agua costeros más importantes del departamento y de la región Caribe, en donde se evalúa mensualmente la calidad del agua para la preservación de flora y fauna, y contaminantes en sedimentos y organismos (peces). El resultado de los muestreos realizados desde octubre de 2015 y septiembre de 2016 fueron publicados en el informe técnico del *Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta* (INVEMAR, 2017) y se resumen como apartado adicional en este capítulo.

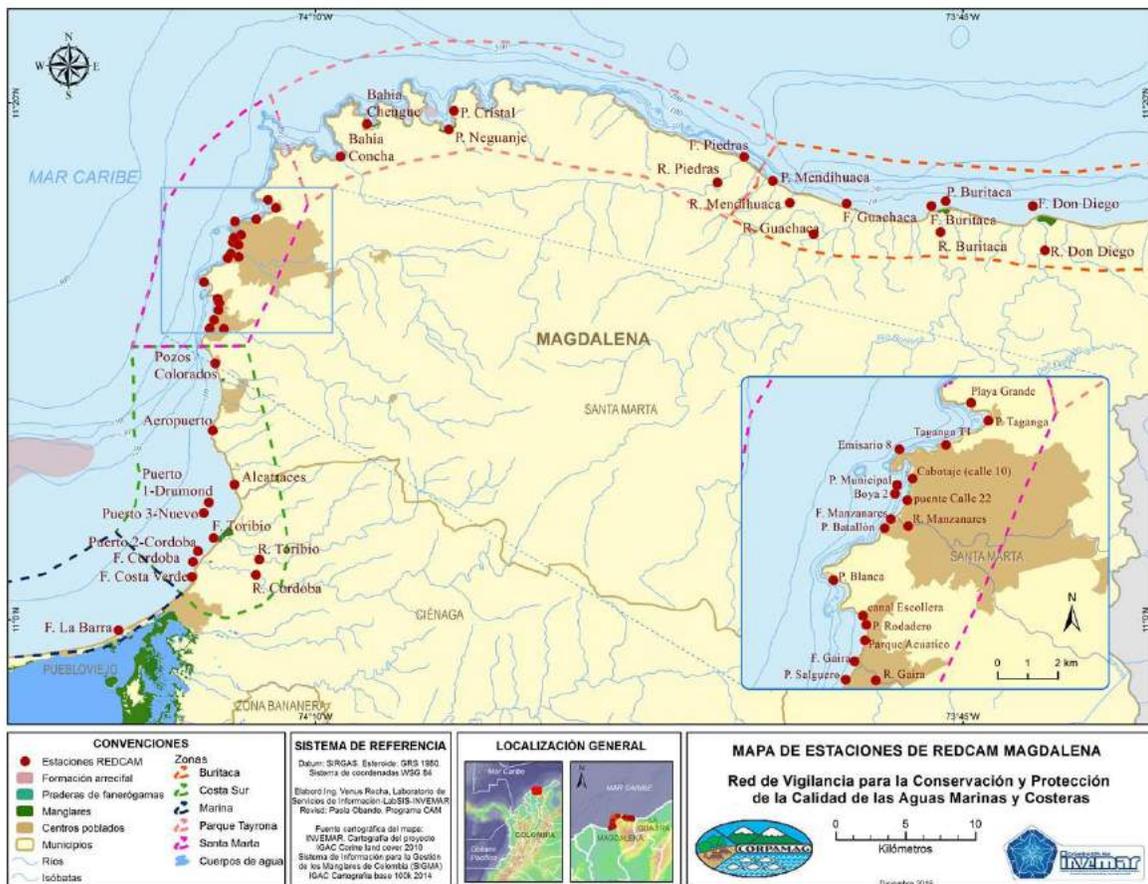


Figura 5-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el departamento del Magdalena.

Los muestreos fueron realizados por el INVEMAR, con el apoyo de CORPAMAG, entre los días 21 y 22 de septiembre de 2015 y en los días 8 y 9 de marzo, y 18 de abril de 2016. En las estaciones se realizaron mediciones *in situ* de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, y se analizó en el agua superficial los nutrientes inorgánicos disueltos, sólidos suspendidos totales, coliformes totales y termotolerantes, enterococos fecales, hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno, plaguicidas organoclorados y organofosforados y metales pesados. En las estaciones de los Frentes de los ríos Buritaca, Manzanares y Gaira se colectaron sedimento para medir materia orgánica, hidrocarburos del petróleo, plaguicidas y metales pesados.

5.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

La salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo en septiembre de 2015 y marzo y abril de 2016 se presenta en la Figura 5-2. De acuerdo a la clasificación de las aguas por la salinidad descrito en [Knox \(2001\)](#), la gran mayoría de los ríos en las zonas de monitoreo tuvieron condiciones de agua dulce por presentar una salinidad máxima de 0,3. En el río Gaira el agua fue de tipo estuarino mesohalino (3,0-10), al tener una salinidad de 4,2 en el muestreo de marzo-abril de 2016. En las playas y frentes de ríos de las zonas de muestreo el agua presentó características de agua marina polihalina (34-38) en el muestreo de marzo-abril de 2016 y características de agua marina oligohalina (17-30), mesohalino (30-34) y polihalina en el muestreo de septiembre de 2015 por la influencia de los ríos. La temperatura del agua osciló entre 24,4 y 31,6 °C, mediciones realizadas entre las 8:25 am y 2:44 pm.

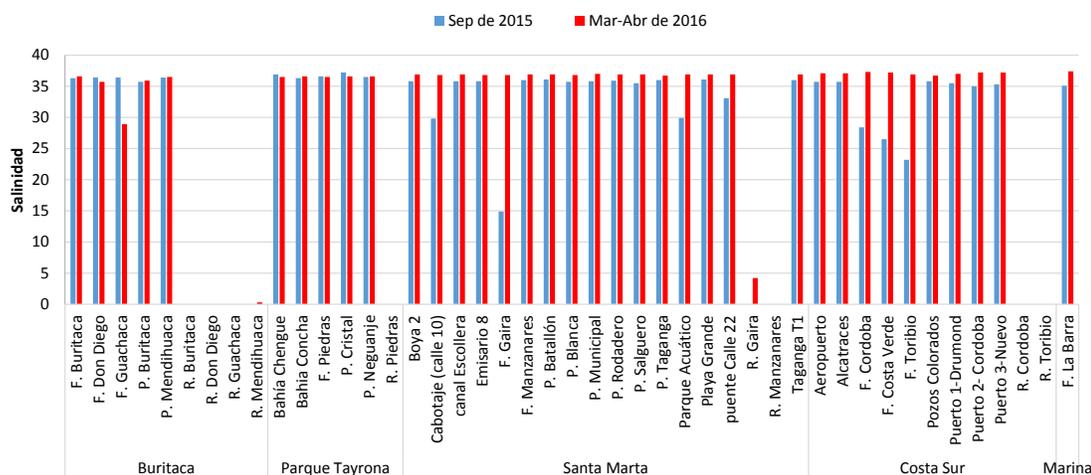


Figura 5-2. Valores de salinidad medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en los muestreos de septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016.

El oxígeno disuelto osciló entre 1,91 y 10,06 mg de O₂/L. En las estaciones muelle Cabotaje (1,91 mg de O₂/L) y puente Calle 22 (3,34 mg de O₂/L) en la zona de Santa Marta; y la estación Alcatraces (3,61 mg de O₂/L) en la zona Costa Sur en el muestreo de septiembre de 2015, se registraron valores por debajo del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas (>4,0 mg de O₂/L; [MinSalud, 1984](#)) (Figura 5-3), lo cual está directamente relacionado con un aumento de los aportes de materia orgánica en el período de

lluvias por el reboseamiento de aguas residuales en las alcantarillas ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#); [2016b](#)).

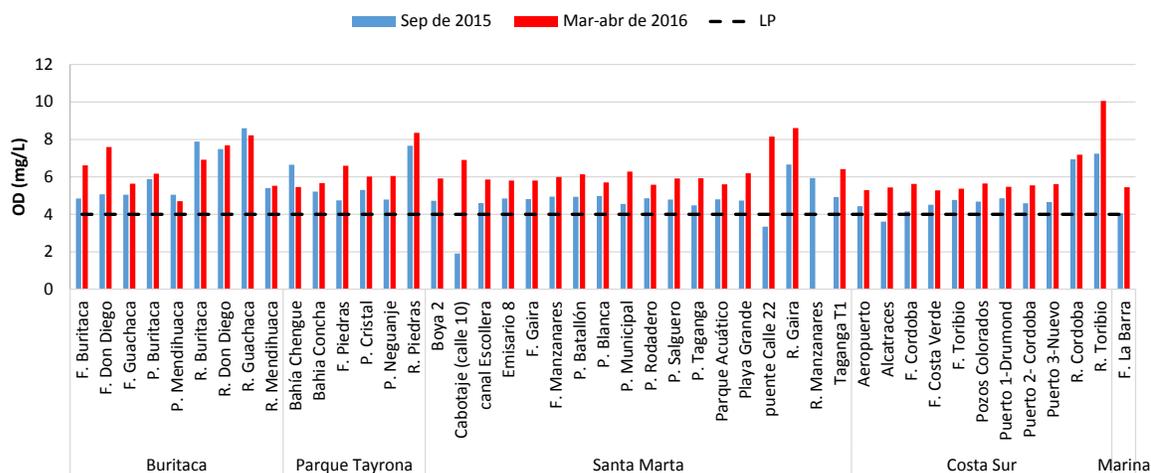


Figura 5-3. Oxígeno disuelto OD medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en los muestreos de septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016. La línea punteada indica el criterio de calidad ($>4,0$ mg de O_2/L) para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

El pH osciló entre 7,02 y 8,73 (Figura 5-4). En los ríos los valores de pH estuvieron en un rango entre 7,02 y 8,7, encontrándose dentro del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,5; [MinSalud, 1984](#); Figura 5-4). En las aguas de las playas se encontraron condiciones básicas con valores entre 8,0 y 8,1, y en los frentes de los ríos se registraron pH neutro y básico con valores entre 7,14 y 8,24, que en general se encontraron dentro del rango permisible para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; [MinSalud, 1984](#)).

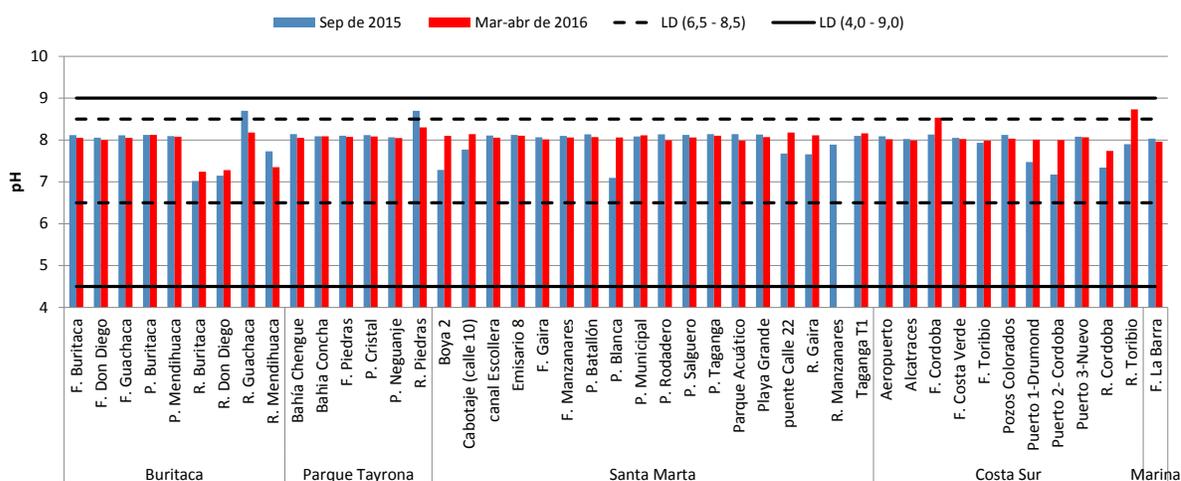


Figura 5-4. Valores de pH medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016. Las líneas negras continuas señalan el rango permisible para preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce y las líneas negras punteadas el rango permisible en aguas cálidas marinas y estuarinas (MinSalud, 1984).

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 0,8 y 119 mg/L, encontrándose las mayores concentraciones en el muestreo de septiembre de 2015 (Figura 5-5). En la zona del Parque Tayrona, en donde se desarrollan corales, las concentraciones de SST no superaron el valor de referencia de 50 mg de SST/L para la preservación de los corales ([Fabricius, 2005](#)) y según la clasificación de [CONAGUA \(2015\)](#) califican como aguas de buena calidad ($25 \leq 75$ mg/L) y no contaminadas (< 25 mg/L). En las estaciones de las playas Buritaca y Mendihuaca en la zona de Buritaca, frente al río Gaira en la zona de Santa Marta y frente a La Barra en la zona Marina, se registraron concentraciones superiores a 75 mg/L, clasificando como aguas con indicios de contaminación (Figura 5-5).

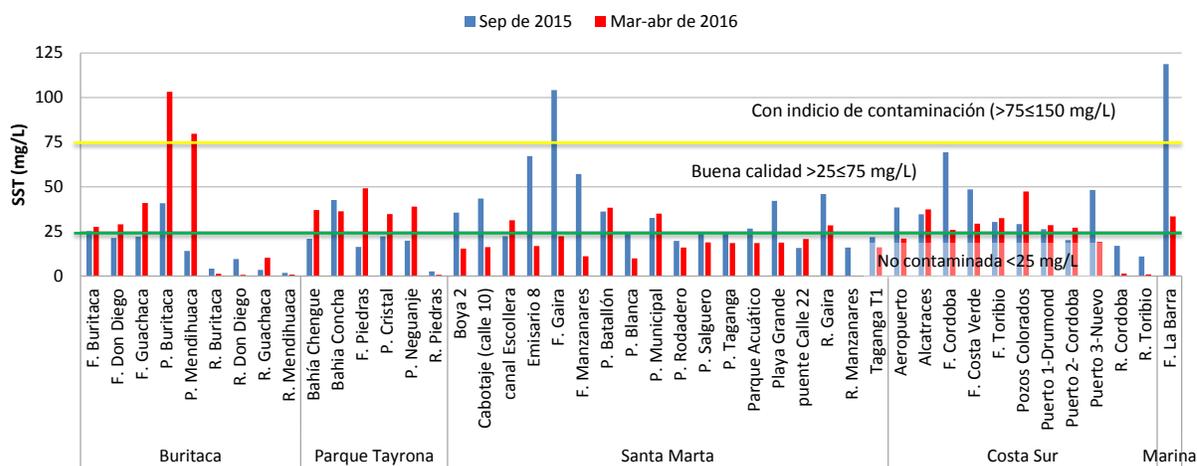


Figura 5-5 Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena en los muestreos de septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Históricamente los SST en las estaciones han presentado concentraciones que según la escala de clasificación de la calidad de las aguas propuesta por [CONAGUA \(2015\)](#) corresponden a aguas no contaminadas y de buena calidad en algunas estaciones del parque Tayrona y la Costa Sur, hasta aguas con indicio de contaminación y contaminadas por vertimientos de aguas residuales en la zona de Buritaca, Santa Marta y en la mayoría de las estaciones de la Costa Sur (Figura 5-6), condiciones que han sido registrados en monitoreos anteriores y en otros estudios ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a; 2016b](#)). En la zona del Parque Tayrona en algunos muestreos se han presentado concentraciones de SST por encima de la referencia de 50 mg/L para la preservación de corales ([Fabricius, 2005](#)).

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

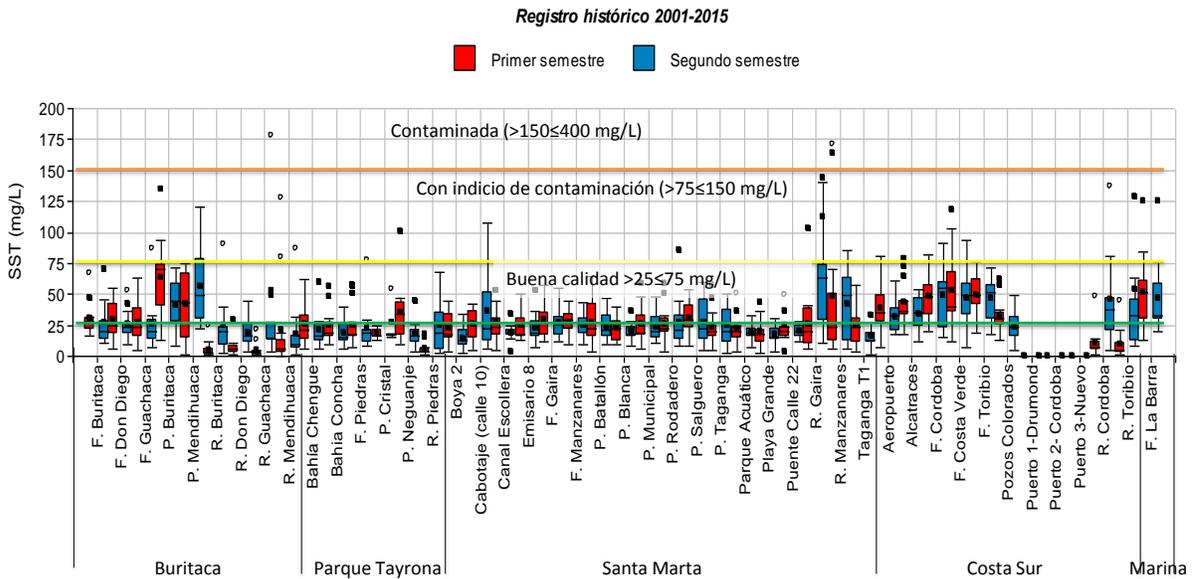
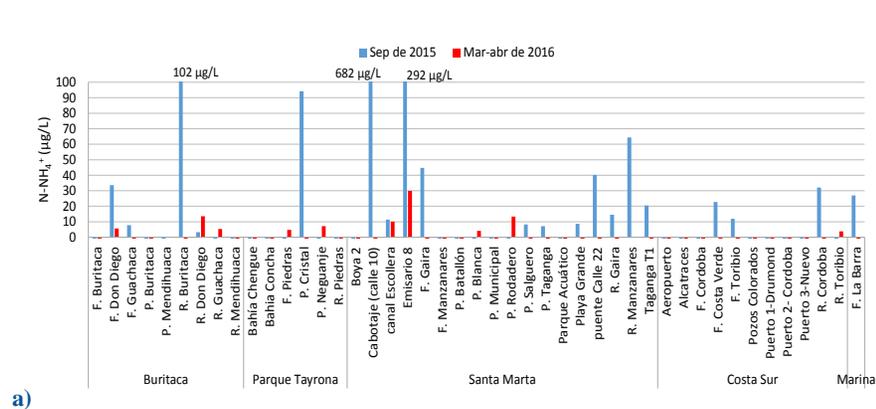
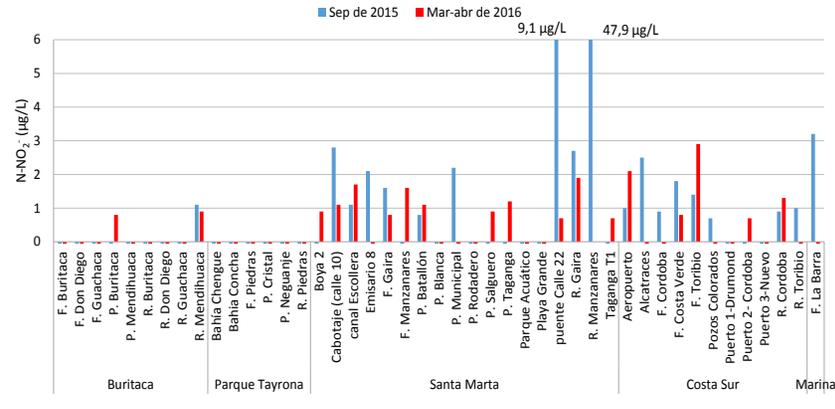


Figura 5-6. Registro histórico de Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Magdalena. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

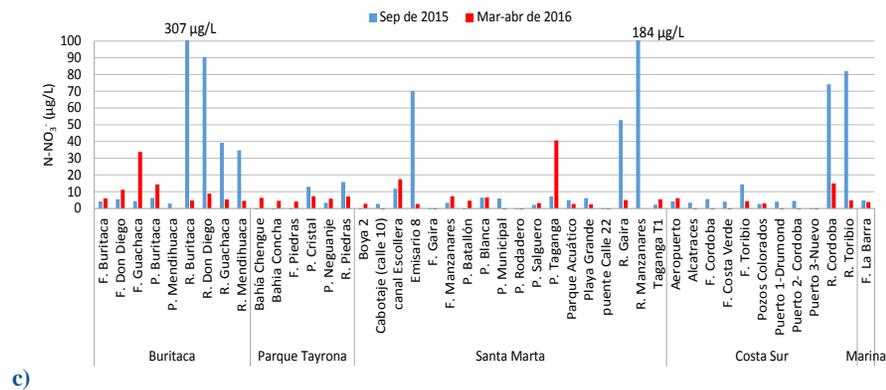
Las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos, nitritos ($N-NO_2^-$), nitratos ($N-NO_3^-$), amonio ($N-NH_4^+$) y ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$) se muestran en la Figura 5-7. Las mayores concentraciones de estos nutrientes se registraron en el muestreo de septiembre de 2015 en las estaciones muelle Cabotaje, Emisario 8, puente de la calle 22 y los ríos Manzanares y Gaira en la zona de Santa Marta, debido a los vertimientos de aguas residuales, rebosamiento del alcantarillado y escorrentías urbanas por las precipitaciones que se presentaron días antes de muestreo; y en los ríos Buritaca, Don Diego, Guachaca y Mendihuaca de la zona de Buritaca. Estos ríos recorren por extensas áreas agrícolas de banano, de donde podrían provenir estos nutrientes, sumado a vertimientos de aguas residuales y del uso de detergentes y jabones para el lavado de ropa y otros elementos del hogar en estos ríos. En la zona Costa Sur, también se encontraron altas concentraciones de nitratos y ortofosfatos en los ríos Córdoba y Toribio, estos valores se asocian a la actividad agrícola que se desarrolla en los márgenes de estos ríos y a residuos domésticos ([Vivas-Aguas et al., 2015b](#), [Garcés-Ordóñez et al., 2016b](#)).



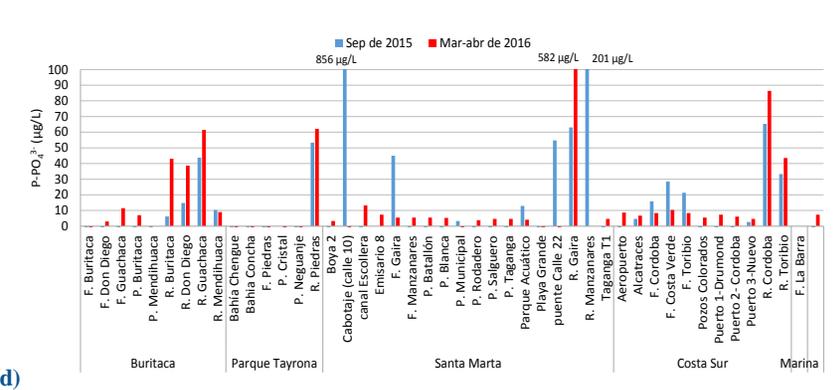
a)



b)



c)



d)

Figura 5-7. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) nitratos (N-NO₃⁻) y ortofosfatos (P-PO₄⁻³), medidos en zonas y estaciones de muestreo REDCAM del departamento de Magdalena, en septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016.

La calidad microbiológica de las aguas marinas y costeras del departamento de Magdalena, se evaluó a partir de las mediciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). En la mayoría de las playas monitoreadas los valores de CTT no excedieron el valor máximo permisible establecido por la normatividad colombiana para el uso recreativo por contacto primario (1.000 NMP/100mL) y secundario (5.000 NMP/100mL), a excepción de la playa El Rodadero en donde se encontró un valor superior al criterio de calidad para el contacto primario (1600 NMP/100mL) en septiembre de 2015 (Figura 5-8; [MinSalud, 1984](#)). En relación a los ríos, se evidencia contaminación microbiológica en las zonas Buritaca, Parque Tayrona, Santa Marta y Costa Sur por vertimientos de aguas residuales, ya que en la mayoría de los casos superan los límites permisibles para el uso recreativo por contacto primario y secundario (Figura 5-8; [MinSalud, 1984](#)).

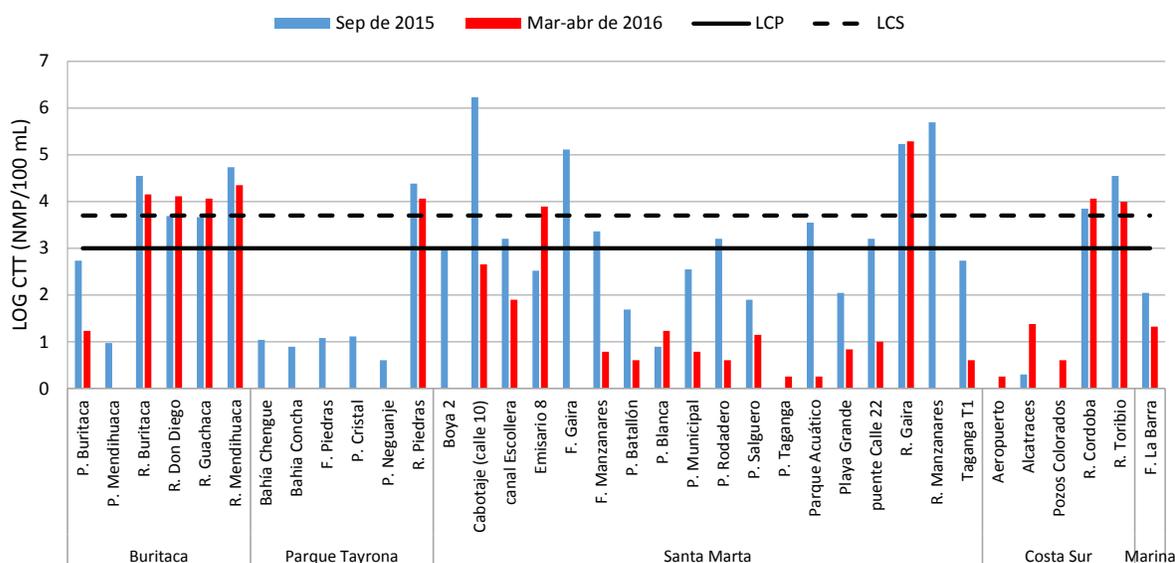


Figura 5-8. Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena, en septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016. La línea continua color negro corresponde al límite de contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (Log= 3,0), y la línea punteada es el límite de contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (Log=3,7; MinSalud, 1984).

Los valores de CTE oscilaron entre el límite de detección (1,0) y 1.700.000 NMP/100 mL (Figura 5-9), confirmando que el origen de la contaminación microbiológica por coliformes es fecal, lo cual representa un riesgo alto de salud pública por el inadecuado manejo de las aguas residuales ([Molina et al., 2014](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016a, 2016b](#)). En la zona Santa Marta se destaca la estación Cabotaje calle 10, la cual presentó concentraciones de hasta 1.700.000 NMP/100 mL que aunado con los nutrientes evaluados (Figura 5-7), corrobora que en esta estación hay vertimientos de aguas residuales que deterioran la calidad del agua. El río Manzanares en septiembre de 2015, también presentó contaminación microbiológica por vertimientos de aguas residuales. En la zona Parque Tayrona, se presentaron concentraciones bajas de estos microorganismos indicadores de contaminación fecal y por lo tanto, la calidad del agua para el muestreo de septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016 fue adecuada para el uso recreativo de acuerdo a la legislación nacional ([MinSalud, 1984](#)).

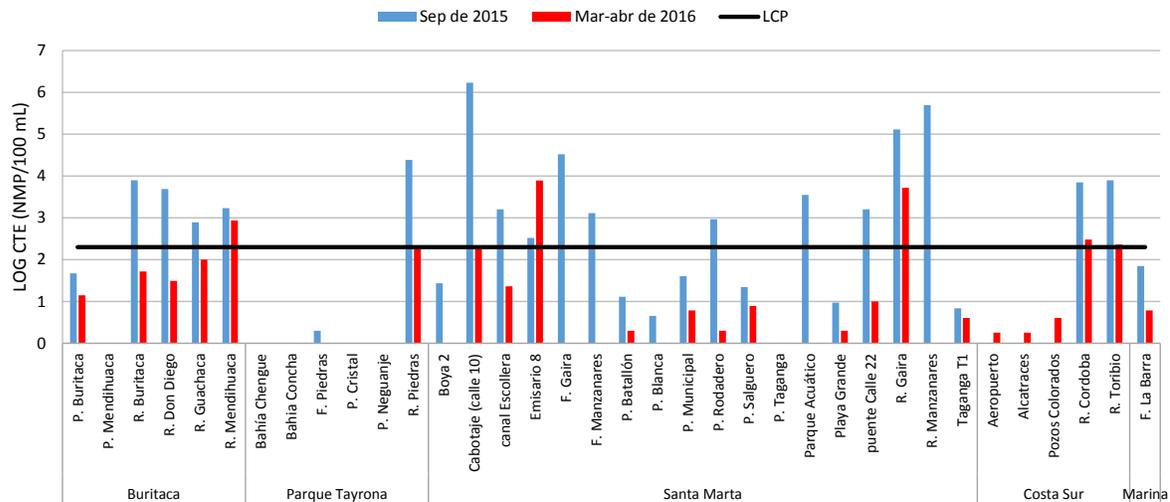


Figura 5-9. Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) medidas en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa 2014 y seca 2015. La línea punteada de color negro indica el límite permisible para uso recreativo por contacto primario (LCP): 200 NMP/100 mL (Log= 3,0) (MinSalud, 1984).

En cuanto a los EFE, en las zonas Buritaca, Parque Tayrona y Costa Sur, las concentraciones de estos microorganismos fueron muy bajas e indetectables en ambos muestreos, lo cual indica buenas condiciones microbiológicas y un riesgo bajo de contraer enfermedades gastrointestinales (EGI) y respiratoria febril aguda (ERFA; Tabla 5-1), mientras que en la zona Santa Marta, se determinaron los valores más altos de EFE en septiembre de 2015, en las estaciones muelle de Cabotaje (1.800 UFC/100 mL) y Parque Acuático (390 UFC/100 mL), las cuales de acuerdo a la clasificación de OMS (2003) presentaron riesgos de contraer EGI y ERFA entre 5 y >10% y 1,9 y >3,9% respectivamente (Tabla 5-1) como consecuencia de vertimientos de aguas residuales.

Tabla 5-1 Enterococos fecales (EFE) medidos en las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena en los muestreos de septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016, y el registro histórico. *valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo de contraer enfermedades Gastrointestinales (EGI) y Respiratoria Febril Aguda (ERFA) respectivamente. (-) no medido.

Zona	Estación	EFE (UFC/100 mL)			
		Sep 2015	Rango histórico segundo semestre	Mar-abr 2016	Rango histórico primer Semestre
Buritaca	Playa Buritaca	8	8-613	6	1-73
	Playa Mendihiuaca	<LD	4 - 163	<LD	1 - 124
Parque Tayrona	Playa Cristal	3	<LD - 38	1	1-46
	Playa Neguanje	<LD	1-48	<LD	<LD - 178
	Bahía Chengue	1	<LD - 79	1	<LD - 3
	Bahía Concha	<LD	1-35	<LD	<LD - 10
Santa Marta	Playa Grande	20	1-3780	1	1-13
	Playa Taganga	8	8-2000	4	1-38
	Cabotaje (Calle 10)	1800	1-2000	600	1 - 42300
	Playa Municipal	34	4 - 141	1	<LD - 70

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

Zona	Estación	EFE (UFC/100 mL)			
		Sep 2015	Rango histórico segundo semestre	Mar-abr 2016	Rango histórico primer Semestre
	Playa Batallón	45	4 - 708	<LD	1 - 228
	Playa Blanca	<LD	<LD - 33	<LD	<LD - 5
	Playa Rodadero	14	10-58	1	<LD - 140
	Parque Acuático	390	2 - 390	3	<LD - 59
	Playa Salguero	5	<LD - 2000	<LD	<LD - 112
Costa Sur	Pozos Colorados	1	<LD - 33	8	<LD - 8
	Aeropuerto	4	1-44	<LD	<LD- 2
	Alcatraces	2	2-32	<LD	1-5
Valores de referencia		≤40 UFC/100 mL, <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA. 41–200 UFC/100 mL, 1–5% de EGI y 0,3-1,9% de ERFA. 201–500 UFC/100 mL, 5–10% de EGI y 1,9–3,9% de ERFA. >500 UFC/100 mL, >10% de EGI y >3,9% de ERFA			

Los hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) oscilaron entre el límite de detección de la técnica analítica utilizada en LABCAM (0,07) y 4,9 µg/L (Figura 5-10). En ninguna de las estaciones monitoreadas, las concentraciones de HPDD superaron el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas, y tampoco superaron los 5,0 µg/L referencia para aguas costeras con contaminación baja (UNESCO, 1984; Zanardi et al., 1999; Acuña-González et al., 2004).

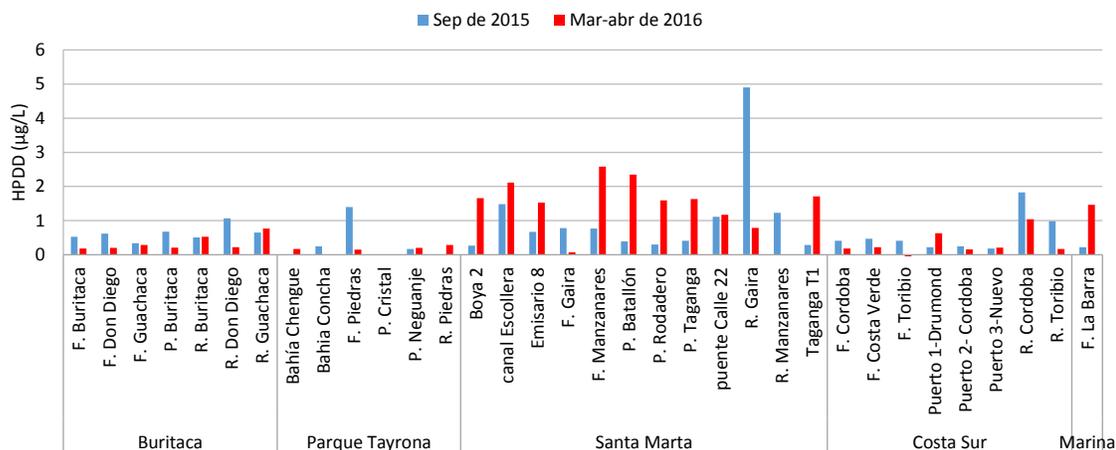


Figura 5-10. Concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Magdalena, en los muestreos de septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016.

En los sedimentos de las estaciones de los frentes de los ríos Manzanares, Gaira y Buritaca se encontraron concentraciones bajas de hidrocarburos del petróleo, los cuales se consideran no contaminados (Tabla 6-3).

Tabla 5-2. Hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HP) en sedimentos de las estaciones REDCAM, medidos en septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016, y valores de referencia para sedimentos de agua dulce y marinos descritos en Ramírez y Viña (1998) y Mora *et al.*, (2010) respectivamente.

Zona	Estación	Sep 2015 (µg/g)	Mar-abr 2016 (µg/g)	Valores de referencia Sedimento marino	Fuente bibliográfica
Buritaca	F. Buritaca	-	0,11	Niveles naturales <15 µg/g Ligeramente contaminados <50 µg/g Altamente contaminados >50 µg/g	Mora et al., 2010
Santa Marta	F. Manzanares	2,48	0,86		
	F. Gaira	0,18	0,36		

Con respecto a los plaguicidas, en el muestreo de septiembre de 2015 se encontró el organofosforado Metil Paratión en el río Guachaca, en una concentración de 26,9 ng/L, el cual superó el valor de referencia del Paratión para efectos crónicos en agua dulce (13,0 ng/L) propuesto por la [EPA \(2016\)](#). El Metil Paratión se utiliza para el control de insectos en cultivos agrícolas ([ATSDR, 2001](#)) y se considera una sustancia altamente peligrosa ([OPS y OMS, 2001](#)). En el río Piedras, se detectaron el organofosforado Cis-permetrina (28,9 ng/L) y los organoclorados alfa-Hexaclorociclohexano (α -HCH; 24,1 ng/L) y Endrín Aldehído (34,7 ng/L). Solo la Cis-permetrina superó la referencia para efectos crónicos sugeridos por [EPA \(2016\)](#) para la Permetrina (4,0 ng/L). En el muestreo de marzo y abril de 2016, no se detectó ningún residuo de plaguicidas. La principal fuente de estos compuestos en las estaciones es la esorrentía agrícola.

En los sedimentos de la estación frente al río Gaira se encontró el plaguicida organoclorado alfa-Hexaclorociclohexano (α -HCH) en una concentración de 5,1 ng/g, del cual no se cuenta con valor de referencia para efectos adversos en la biota acuática. Este plaguicida es utilizado en plantaciones forestales, cultivos de frutas y Hortalizas ([ATDSR, 2005](#)).

Los metales pesados: cadmio (Cd), cobre (Cu) y cromo (Cr) disueltos en aguas superficiales de las estaciones de muestreo en septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016 se encontraron por debajo del límite de detección del método utilizado en el LABCAM (Cd: 0,42 µg/L; Cu: 0,9 µg/L y Cr: 1,0 µg/L) (Tabla 5-3).

El níquel (Ni) se detectó en algunas estaciones en concentraciones ligeramente mayores al límite de detección del método analítico, Cabotaje (1,3 µg/L, marzo de 2016), Canal Escollera (1,4 µg/L, septiembre de 2016) y Frente La Barra (1,2 µg/L, marzo de 2016), resultados que se están por debajo del valor de referencia para efectos crónicos en aguas dulce y marinas (Tabla 5-3). El zinc (Zn), también presentó valores detectables en pocas estaciones, como río Guachara, Boya 2, Cabotaje, Canal Escollera y río Córdoba. En el Canal Escollera se presentó en los dos muestreos con concentraciones de 16,7 µg/L y 6,9 µg/L en septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016 respectivamente, estos valores no superaron el valor de referencia para efectos crónicos de la NOAA (Tabla 5-3).

El hierro (Fe) presentó concentraciones que oscilaron entre el valor de detección de LABCAM (4 µg/L) y 272 µg/L. En el muestreo de septiembre de 2015, en algunas estaciones marinas como frente al río Guachaca (57,9 µg/L), canal de la escollera (272 µg/L) y Emisario 8 (112 µg/L), se encontraron concentraciones que superan el valor de referencia para efectos crónicos (50 µg/L) propuesto por la NOAA para este tipo de agua (Tabla 5-3).

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

Tabla 5-3. Metales pesados disueltos medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena en los muestreos de septiembre de 2015 y marzo-abril de 2016. Los valores de referencia corresponde a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) y el valor con dos asteriscos () corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005).**

Zona	Estación	Metales en septiembre de 2015 (µg/L)							Metales en marzo-abril de 2016 (µg/L)						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Buritaca	F. Buritaca	<0,42	<0,97	<0,9	44,9	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Don Diego	<0,42	<0,97	<0,9	12,3	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Guachaca	<0,42	<0,97	<0,9	57,9	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Buritaca	<0,42	<0,97	<0,9	22,3	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	10,9	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Don Diego	<0,42	<0,97	<0,9	26,4	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	7,5	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Guachaca	<0,42	<0,97	<0,9	26,2	<1,0	4,8	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	9,5	<1,0	<3,1	42,4
Parque Tayrona	Bahía Chengue	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Piedras	<0,42	<0,97	<0,9	8,6	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	0	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Piedras	<0,42	<0,97	<0,9	21,3	<1,0	4,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	6,9	<1,0	<3,1	<6,9
Santa Marta	Boya 2	<0,42	<0,97	<0,9	17,4	<1,0	<3,1	9,1	<0,42	<0,97	<0,9	13,5	<1,0	<3,1	<6,9
	Cabotaje (calle 10)	<0,42	<0,97	<0,9	15,8	<1,0	4,5	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	17,7	1,3	<3,1	36,2
	canal Escollera	<0,42	<0,97	2,1	272,2	1,4	<3,1	16,7	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	6,9
	Emisario 8	<0,42	<0,97	<0,9	112,2	<1,0	3,8	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	11,6	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Gaira	<0,42	<0,97	<0,9	31,7	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Manzanares	<0,42	<0,97	<0,9	8,6	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	10,9	<1,0	<3,1	<6,9
	puente Calle 22	<0,42	<0,97	<0,9	8,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	13,3	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Gaira	<0,42	<0,97	<0,9	65,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	4,9	<1,0	<3,1	<6,9
R. Manzanares	<0,42	<0,97	<0,9	52,1	<1,0	<3,1	<6,9	-	-	-	-	-	-	-	
Costa Sur	F. Córdoba	<0,42	<0,97	<0,9	20,1	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	0,9	16,3	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Costa Verde	<0,42	<0,97	<0,9	15,3	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	5,9	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Toribio	<0,42	<0,97	<0,9	11,6	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1,6	15,9	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Córdoba	<0,42	<0,97	<0,9	45,5	<1,0	<3,1	11,5	<0,42	<0,97	<0,9	8	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Toribio	<0,42	<0,97	<0,9	37,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	7,4	<1,0	<3,1	<6,9
Marina	F. La Barra	<0,42	<0,97	<0,9	45,5	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	13,9	1,2	<3,1	<6,9
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,8	50**	3,1	50	8,2	8,1	81	8,8	50**	3,1	50	8,2	8,1	81
Referencia Efectos crónicos agua dulce		0,25	50**	9	350	52	2,5	120	0,25	50**	9	350	52	2,5	120

En los sedimentos, las concentraciones de Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe y Hg se muestran en la Tabla 5-4. Estas concentraciones no representan riesgo adverso para la vida acuática debido a que no superaron los valores de referencia para efectos probables (Buchman, 2008).

Tabla 5-4. Concentraciones de metales pesados totales medidas en sedimentos superficiales del departamento del Magdalena en septiembre de 2015 y marzo 2016. Los valores de referencia PEL para sedimentos marinas fueron tomados de la NOAA (Buchman, 2008). (-) no medido. ND no disponible.

Estación	Septiembre de 2015							Marzo-abril de 2016						
	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe	Hg	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe	Hg
	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	ng/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	ng/g
Frente a río Gaira	10,62	44,42	<LD	72,05	3,69	36,83	-	16,6	29,3	4,1	60,1	5,2	21	5
Frente a río Manzanares	11,88	37,62	8	77,72	3,81	31,85	-	17	23,9	<1,9	54,2	<2,0	15,3	3,7
Frente a río Buritaca	8,94	38,93	3,26	47,63	2,43	33,17	-	15	43,2	7,7	52	5,08	39,4	3,5
Valores Referencia PEL	112	160	108	271	42,8	ND	700	112	160	108	271	42,8	ND	700

5.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

El indicador de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna aplicado a las estaciones con agua marina y estuarina del departamento de Magdalena, mostró que en el muestreo de septiembre de 2015, el 74 % de las estaciones presentaron aguas con calidad adecuada, 11 % aceptable, 11 % inadecuada y 3 % pésima (Figura 5-11a). Estas dos últimas condiciones se presentaron en las estaciones emisario 8, frente del río Gaira, parque acuático, puente calle 22 y Cabotaje (calle 10). Este resultado se atribuye a las altas concentraciones de ortofosfatos, nitratos y coliformes termotolerantes y a los bajos niveles de oxígeno disuelto y alta demanda bioquímica de oxígeno, ocasionada por vertimientos de aguas residuales.

En el muestreo de marzo-abril de 2016, la calidad del agua en las estaciones mejoró, el 89 % de las estaciones tuvieron condición adecuada, 6 % aceptable, 3 % óptima y 3 % inadecuada. La condición inadecuada se presentó en la estación en el emisario 8 por la alta concentración de coliformes termotolerantes y demanda bioquímica de oxígeno, debido a que en esta zona está influenciada por el vertimiento de aguas residuales a través del emisario submarino de la ciudad.

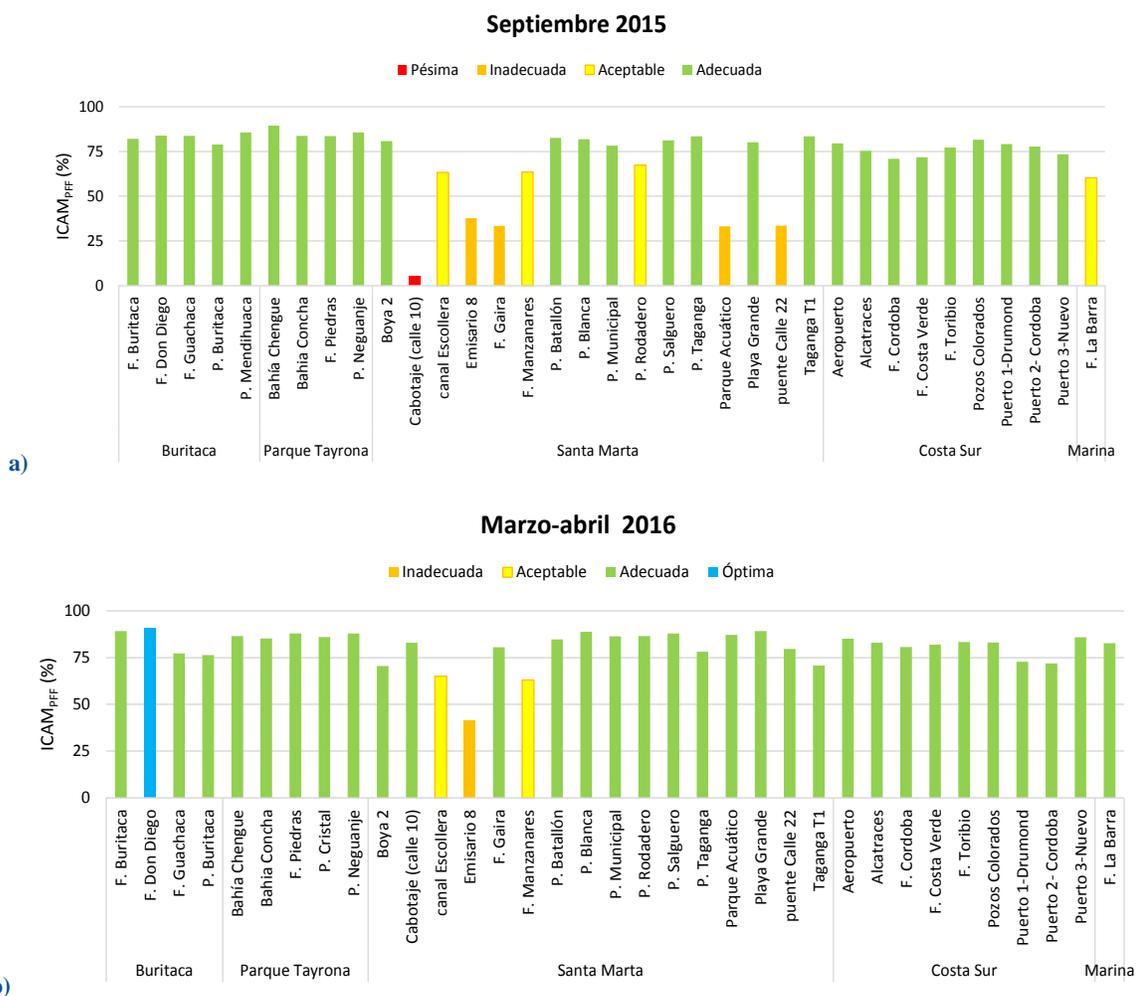


Figura 5-11. Calidad de las aguas marino costeras en las estaciones REDCAM del departamento de Magdalena en los muestreos de noviembre de 2015 (a) y junio de 2015 (b), evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

El análisis histórico muestra que en los últimos tres años, han predominado condiciones de calidad de agua adecuadas para la preservación de flora y fauna en las estaciones de muestreo (Tabla 14-4), solo con un ligero aumento de condición pésima en el 2015 por el aumento de los vertimientos de aguas residuales en la zona de Santa Marta, que ocasionó deterioro de la calidad del agua y limitaciones de su uso ([Garcés-Ordóñez et al., 2016b](#)).

Tabla 5-5. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PF} en el las zonas del departamento del Magdalena en el periodo desde el 2013 al 2015.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Buritaca				100%	
	Costa Sur				100%	
	Marina		7%	14%	79%	
	Parque Tayrona				50%	50%
	Santa Marta	3%	3%	6%	69%	19%
2014	Buritaca				100%	
	Costa Sur		8%	8%	83%	
	Marina		7%	7%	86%	
	Parque Tayrona				100%	
	Santa Marta		6%	13%	74%	6%
2015	Buritaca				100%	
	Costa Sur				100%	
	Marina	8%	17%	25%	50%	
	Parque Tayrona				78%	22%
	Santa Marta	3%	13%	9%	75%	

5.4 CALIDAD DEL AGUA, SEDIMENTOS Y ORGANISMOS EN EL COMPLEJO LAGUNAR CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA (CGSM)

El complejo lagunar de la CGSM, es uno de los sistemas costeros más importantes del departamento del Magdalena y de la región Caribe Colombiana, por su alta productividad y por los servicios ecosistémicos que ofrece a la población costera. Sin embargo, ha sido afectado por diferentes presiones antropogénicas que han comprometido su dinámica halo-hídrica natural y causado contaminación, trayendo como consecuencia cambios en la calidad ambiental y disminución de los bienes y servicios ambientales que normalmente presta este ecosistema ([INVEMAR, 2016c](#)). Uno de los efectos más severos ha sido la recurrente mortandad de peces ([INVEMAR, 2016d](#); [2016e](#); [2015a](#); [2015b](#)), que está afectando los recursos pesqueros y a las familias de pescadores que dependen de éstos, por lo cual en 2016 se declaró a la CGSM en estado de calamidad pública ([INVEMAR, 2017b](#)).

Desde 1992, CORPAMAG y el INVEMAR han aunado esfuerzos para realizar el monitoreo ambiental de la CGSM, con el fin de evidenciar el impacto antropogénico y la mejoría del ecosistema con el restablecimiento de los flujos hídricos y su dependencia al mantenimiento y operatividad de los canales que aportan agua dulce al sistema ([INVEMAR, 2017a](#)). Este monitoreo se realiza en el marco del proyecto *Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta* con una frecuencia mensual

en una red de 28 estaciones de muestreo distribuidas en las zonas: **(0)** que corresponde a la Boca de la Barra; **(1)** que comprende las estaciones de los ríos Sevilla, Aracataca y Fundación provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM); **(2)** que corresponde al centro del cuerpo de agua principal y los frentes de los ríos de la SNSM; **(3)** Complejo de Pajarales en donde se encuentran las poblaciones palafíticas de Buenavista y Nueva Venecia; **(5)** el caño Clarín, área con mayor influencia del río Magdalena y **(6)** Vía Parque Isla Salamanca –VIPIS (Figura 5-12; [INVEMAR, 2017a](#)).

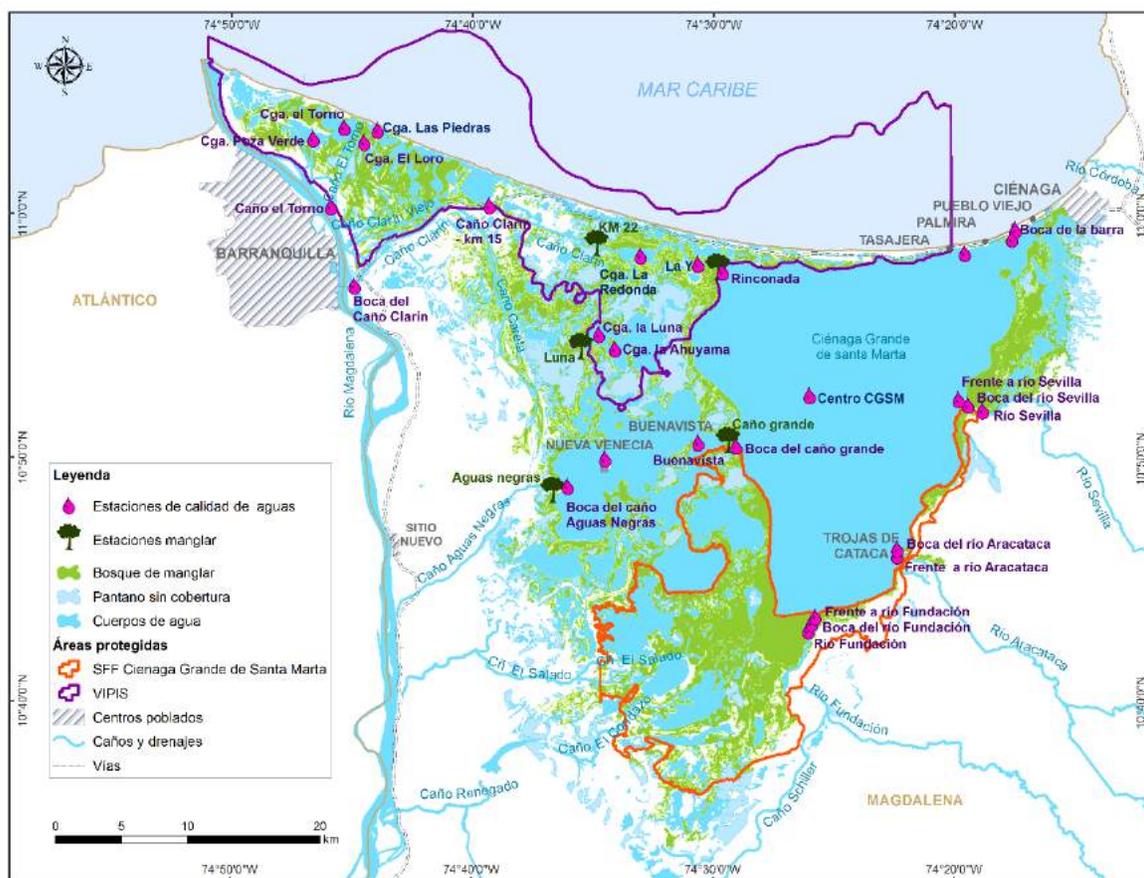


Figura 5-12. Red de estaciones de monitoreo de calidad del agua (símbolo de gota de color fucsia) en el complejo lagunar de la CGSM, sector sur del departamento del Magdalena. Tomado de [INVEMAR \(2017a\)](#)

Para el diagnóstico ambiental del 2016, se realizaron muestreos de agua y sedimento entre los meses de octubre de 2015 y septiembre de 2016 para análisis de parámetros *in situ*, SST, DBO₅, nutrientes inorgánicos disueltos, microorganismos indicadores de contaminación fecal y metales pesados en agua, además de metales pesados en sedimentos y la medición de mercurio total en tejido muscular de *Eugerres Plumieri* (mojarra rayada) y *Mugil incilis* (lisa), dos especies de peces de interés comercial y fuente de sustento de los pobladores de las zonas aledañas a la CGSM ([INVEMAR, 2017a](#)).

Los resultados mostraron que el agua en las zonas del centro de la CGSM y el complejo Pajarales tuvo condiciones fisicoquímicas inadecuadas para la preservación de flora y fauna de

acuerdo a la legislación nacional ([MinSalud, 1984](#)), por las variaciones de oxígeno disuelto (OD) (entre 2,4 y 10,6 mg/L) y pH (entre 5,15 y 8,78), que se relacionan con las altas concentraciones promedio de materia orgánica (DBO₅) (entre 2,5 y 88,95 mg/L), nutrientes inorgánicos disueltos (nitrógeno inorgánico total entre 4,40 y 203 µg/L, y ortofosfatos 3,05 y 38 µg/L), SST (entre 36 y 286,6 mg/L) y clorofila a (entre 2,7 y 454 µg/L), indicando eutrofización en el sistema, que ocasionaría condiciones de hipoxia o anoxia en horas de la noche debido a alto consumo del OD, principal causa probable de la muerte abundante de peces en estas zonas ([INVEMAR, 2017a](#); [2016d](#); [2016e](#); [2015a](#); [2015b](#)). Las condiciones de hipoxia y anoxia en el agua superficial y de fondo en el complejo de Pajarales, fueron corroboradas por [Arbeláez et al. \(2016\)](#) en la época de lluvias (12 septiembre de 2016), quienes encontraron que el OD en el agua superficial disminuía después de presentarse las lluvias, y en horas nocturnas (19:00 y las 22:32) alcanzaba concentraciones de 0,9 mg/L; en aguas de fondo encontraron que el OD llevaba a 0,0 mg/L a una profundidad mayor de 60 cm entre las 17:45 y 17:57 horas. [INVEMAR \(2017b\)](#) por su parte, realizó la misma mediciones durante 24 horas en la época seca (18 y 19 de enero de 2017), encontrando concentraciones de OD por encima de 3,0 mg/L en aguas superficiales a 20 cm de profundidad y en aguas de fondo a 50 y 90 cm.

En cuanto a la calidad microbiológica del agua, [INVEMAR \(2017a\)](#) encontró que en las zonas de los ríos Sevilla, Aracataca y Fundación que provienen de la SNSM, en el Complejo de Pajarales y en el Caño Clarín, las concentraciones de coliformes totales y termotolerantes eran prevalentemente altas en los muestreos realizados, con valores por encima de la legislación nacional (1000 NMP CTT/100 mL y 200 NMP CTE/100 mL para contacto primario, y 5000 NMP CTT/100 mL para contacto secundario; [MinSalud, 1984](#)). También determinaron la presencia de 95 cepas presuntivas de las especies *Vibrio alginolyticus*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *V. damsela*, *V. hollisae* y *V. cholerae* (de serotipo no toxico), y 34 cepas de la especie *Aeromonas hydrophila*. Por lo anterior, [INVEMAR \(2017a\)](#) consideró que la calidad sanitaria del agua en la CGSM era mala, debido a los vertimientos de aguas residuales domésticas, lo cual representa un riesgo para las poblaciones humanas que utilizan los recursos pesqueros de esta laguna costera.

En cuanto a los metales pesados, [INVEMAR \(2017a\)](#) determinó concentraciones cobre (Cu) entre 1,88 y 4,24 µg/L solamente en la zona de Vía Parque de Salamanca, y por debajo del límite de detección (0,90 µg/L) en las demás zonas. Plomo (Pb) entre 3,49 y 9,26 µg/L en las zonas de muestreo, menos en las zonas de la boca de La Barra y en los ríos que provienen de la SNSM en donde el Pb estuvo por debajo de límite de detección (3,1 µg/L). El cromo (Cr) no se cuantificó en ninguna de las zonas muestreadas (<0,97 µg/L). El níquel (Ni) fluctuó entre 1,33 y 7,71 µg/L y el zinc (Zn) entre 8,11 y 889,25 µg/L. En los sedimentos, [INVEMAR, 2017a](#) encontró niveles de Zn total entre 26,4 y 193,23 µg/g, Cr total entre 9,11 y 80 µg/g, Cu total entre 2,2 y 48,86 µg/g, Ni total entre 5,61 y 45,1 µg/g, Pb total entre 8,42 y 28,42 µg/g, y el mercurio (Hg) total entre el límite de detección (<3,0 ng/g) y 205,1 ng/g. El Cd total estuvo por debajo del límite de detección del método utilizado (0,5 µg/g). En todas las zonas, las concentraciones de metales estuvieron por debajo del valor de referencia de efectos probables en aguas marinas y dulce, por lo cual no se espera la aparición de efectos adversos sobre la biota.

En los tejidos musculares de la mojarra rayada y la lisa de la CGSM, [INVEMAR \(2017a\)](#) detectó la presencia de Hg total en concentraciones por debajo del límite máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el consumo humano (< 500

ng.g-1 de peso húmedo) (WHO/IPCS. 2002), y por lo tanto consideró que no representa un riesgo de intoxicación al ser consumidos por la población.

Como recomendaciones generales, [INVEMAR \(2017a\)](#) propuso la implementación de medidas de saneamiento básico en los municipios colindantes con la CGSM, como un paso hacia la recuperación de la calidad del agua y la reducción el riesgo de salud pública por la presencia de bacterias patógenas. Adicionalmente propuso la realización de estudios especializados para evaluar la acumulación y bio-magnificación de metales pesados en organismos de diferentes grupos tróficos, y la articulación de diferentes instrumentos de gestión para mejorar la calidad ambiental de la CGSM.

5.5 CONCLUSIONES

- ❖ En general el agua marina y costera de las estaciones de muestreo del departamento del Magdalena tiene condiciones fisicoquímicas adecuadas para la preservación de la flora y fauna. En algunos sitios donde se presentan vertimientos de aguas residuales como en muelle Cabotaje y Emisario 8, la calidad del agua se deteriora por los aportes de materia orgánica, nutrientes inorgánicos disueltos y sólidos suspendidos totales que ocasionan variaciones en los niveles de oxígeno disuelto.
- ❖ Los ríos del departamento presentan alta contaminación microbiológica, representada en Coliformes termotolerantes, debido a que son receptores de aguas residuales.
- ❖ La gran mayoría de las playas del departamento del Magdalena, tuvieron condiciones microbiológicas adecuadas para el desarrollo de actividades recreativas por contacto primario y secundario, con bajo riesgo para que los bañistas contraigan enfermedades gastrointestinales y respiratorias febriles agudas, según la referencia de la Organización Mundial de la Salud.
- ❖ En el agua marina y costera del departamento del Magdalena, no hay contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo, ya que las concentraciones medidas en aguas y sedimentos fueron inferiores a los valores de referencia para aguas contaminadas. Sin embargo, en las zonas de Santa Marta y Costa Sur, las concentraciones de hidrocarburos fueron más altas que en las otras zonas de muestreo, debido al tráfico de embarcaciones, vertimientos de aguas residuales, actividades turísticas y operaciones portuarias.
- ❖ La presencia de plaguicidas como el Metil Paratión, Cis-permetrina, alfa-Hexaclorociclohexano y Endrín Aldehído en el ambiente acuático de los ríos Guachaca y Piedra, debido a las actividades agrícolas que se desarrollan en sus cuencas, aunque no representan riesgo para los organismos, son la vía de entrada de estos contaminantes en el medio marino y deben seguir monitoreándose permanentemente.
- ❖ Los niveles de metales pesados en las aguas y en los sedimentos marinos y costeros evaluados no representan riesgo adverso para la biota acuática al encontrarse por debajo del límite de detección del método y de los valores de referencia de la NOAA para efectos crónicos y agudos en agua y de efectos probables en sedimentos.

ATLÁNTICO

Ostin Garcés Ordóñez



Playa Caño Dulce, Atlántico. Foto: Paola Obando.

EQUIPO TÉCNICO CRA

J. Emilio Zapata Márquez- Subdirector Planeación
Efrain Leal Puccini – Profesional Especializado G18

6. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL 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. La temperatura media anual es de 27,0 °C; con medias máximas de 29,9 °C y mínimas de 25,0 °C. Los vientos de mayor influencia en el clima del departamento son los alisios del noreste, con dirección dominante norte y muy intensa en febrero y marzo, y son los responsables de la poca lluvia en la faja litoral del departamento. El régimen anual de lluvias es bimodal, con dos períodos de lluvias; mayo- junio y agosto- noviembre, alternados con dos períodos secos, diciembre- abril y junio- julio (CRA, 2007).

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

La población costera en el departamento para el año 2016 se estimó en 1'888.896 habitantes (DANE, 2017), distribuidos en cinco municipios costeros: Barranquilla (64,5 %), Soledad (32,6 %), Puerto Colombia (1,4 %), Juan de Acosta (0,9 %) y Tubará (0,6 %). En estos municipios la cobertura de los sistemas de saneamiento básico y agua potable oscila entre 0,4 y 100 %. La producción de residuos sólidos oscila entre 6,5 y 1.288,97 t/día, los cuales son dispuestos en los rellenos sanitarios Parque Ambiental Los Pocitos y Las Margaritas (Superservicios, 2014a).

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

Con el propósito de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico- C.R.A., para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM viene realizando desde el año 2001 el monitoreo de calidad de las aguas marinas y costeras del departamento. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas y sedimentos marinos y costeros en base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2015 y primer semestre de 2016.

6.1 ZONAS DE MONITOREO

El departamento de Atlántico cuenta con una red de 17 estaciones de monitoreo, distribuidas geográficamente en tres zonas: Río Magdalena, Puerto Colombia y Tubará-Acosta (Figura 6-1). La **zona Río Magdalena** comprende parte de la cuenca baja del río Magdalena y la ciénaga de Mallorquín, en donde se desarrollan actividades portuarias, agrícolas y se vierten aguas residuales provenientes de las poblaciones ribereñas, entre las cuales están Barranquilla y Soledad. En la ciénaga Mallorquín desemboca el arroyo León que recibe aguas residuales y pluviales de la ciudad de Barranquilla. La zona tiene siete estaciones de muestreo para aguas superficiales (Figura 6-1), en dos de las cuales (Base Naval-17 y boca

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

del Caño Clarín) se recolectan sedimentos para medir contaminantes. La **zona Puerto Colombia** abarca la franja costera del municipio de Puerto Colombia, en donde se desarrollan actividades turísticas. Esta zona cuenta con cinco estaciones de muestreo de agua superficial (Figura 6-1), en una de las cuales (Muelle Puerto Colombia) se recolectan sedimentos para medir contaminantes. La **zona Tubará-Acosta**, corresponde a la costa de los municipios de Juan de Acosta y Tubará, en los cuales hay baja cobertura de alcantarillado, se desarrollan actividades turísticas en playa y se encuentran algunas ciénagas y playas de interés turístico. En esta zona se tiene cinco estaciones de muestreo de agua superficial (Figura 6-1), en dos de las cuales (Rincón Hondo y Santa Verónica 2) se muestrea sedimentos.

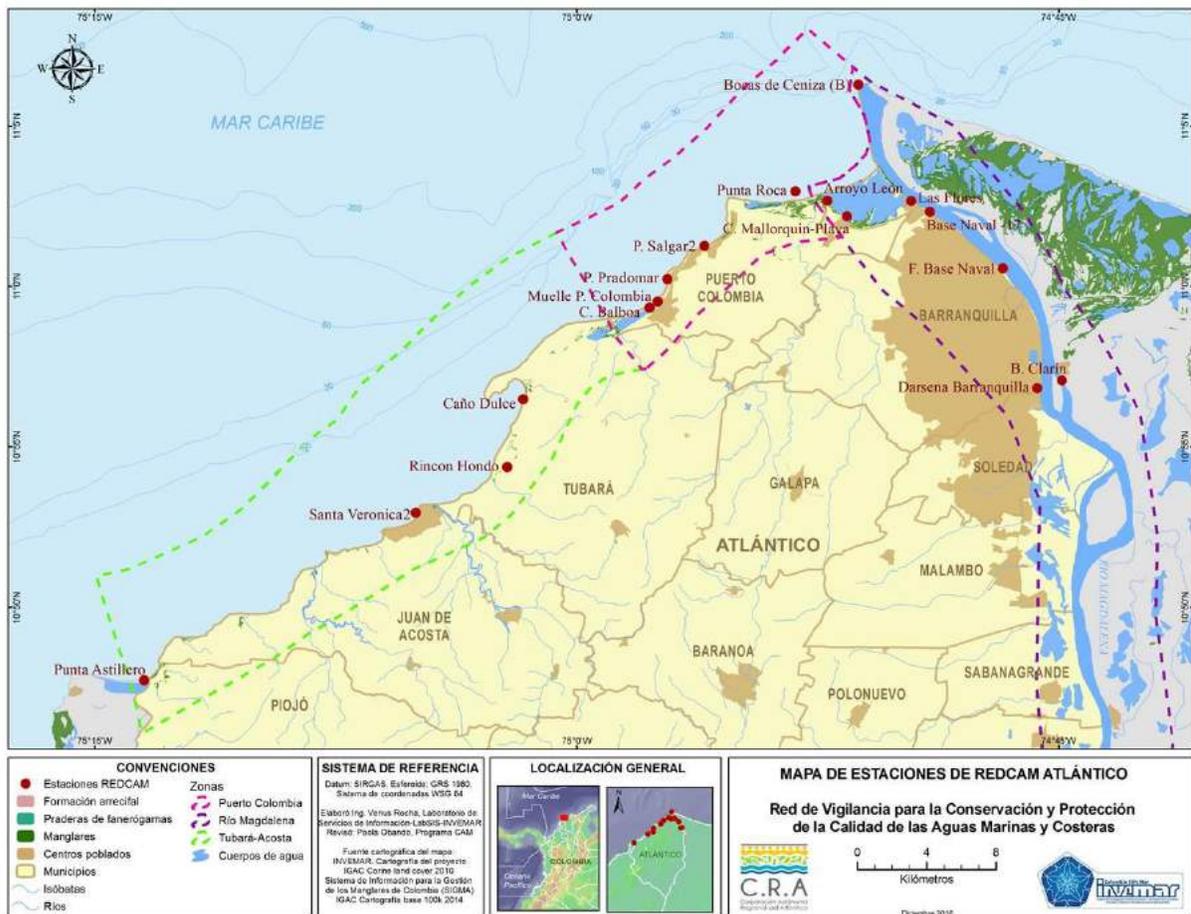


Figura 6-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el departamento de Atlántico.

Los muestreos fueron realizados por el INVEMAR, con el acompañamiento del personal técnico de la C.R.A., entre el 24 y 25 de agosto del 2015 y entre el 22 y 23 de febrero del 2016. De acuerdo con los reportes del IDEAM sobre las precipitaciones, para el año 2015 se presentó una disminución de las precipitaciones, por debajo del rango normal (80-120%), debido al prolongado efecto del evento El Niño; en el año 2016, las precipitaciones fueron normales (IDEAM, 2016c).

6.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

La salinidad del agua superficial en agosto del 2015 y febrero del 2016 se muestran en la Figura 6-2. Según la escala de clasificación de [Knox \(2001\)](#), el agua de la mayoría de las estaciones de la zona del río Magdalena se clasifica como agua dulce y salobres oligohalina, por presentar salinidades entre 0,0 y 0,7; en las estaciones de la ciénaga de Mallorquín-Playa y arroyo León, en las cuales se registraron salinidades entre 17,1 y 21,2, el agua se clasifica como estuarinas oligohalinas, condición atribuida a la influencia del mar Caribe y del río Magdalena; en las zonas de Puerto Colombia y Tubará-Acosta, las estaciones de las playas tuvieron salinidades entre 33,0 y 35,6, características de agua marina mesohalinas (30-34) y polihalina (34-38), mientras que en las ciénagas Balboa y Rincón Hondo por la alta salinidad en agosto de 2015 (60,9-80,2) las aguas fueron de tipo salmuera (>38,0).

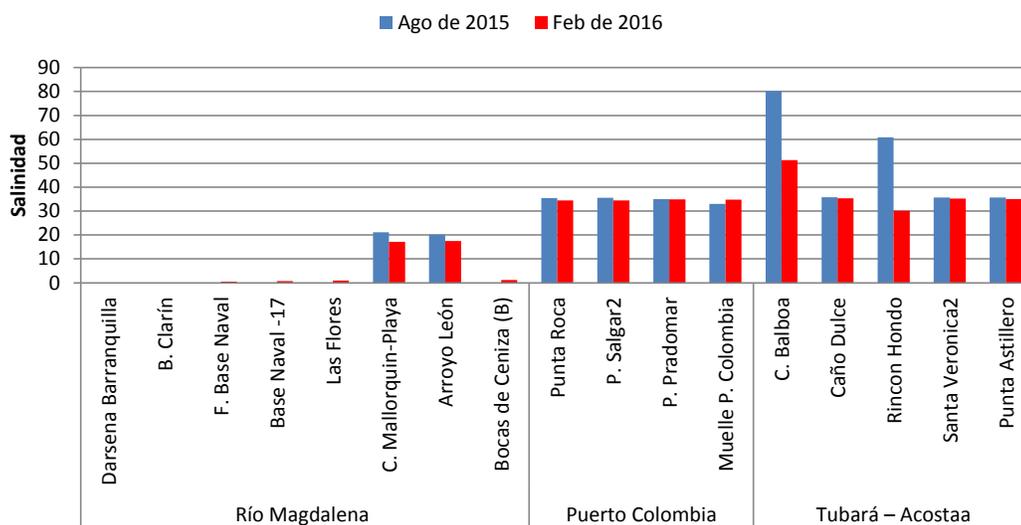


Figura 6-2. Salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Atlántico, en los muestreos realizados en agosto de 2015 y febrero de 2016.

La temperatura del agua superficial durante los dos monitoreos osciló entre 26,3 y 38,6, asociados con las horas de medición (8:00 am y 4:00 pm) y los tipos de cuerpos de agua muestreados (Tabla 6-1). En la mayoría de las estaciones, la temperatura del agua fue mayor en el muestreo de agosto de 2015, momento en el cual se presentó anomalías en las precipitaciones por el evento El Niño ([IDEAM, 2016b](#); [2016c](#)), en las ciénagas de Balboa y Rincón Hondo se registraron las mayores temperatura (35,4 y 38,6 °C respectivamente), lo cual guarda relación con las elevadas salinidades registradas en el mismo muestreo (80,2 y 60,9; Figura 6-2).

Tabla 6-1. Temperatura del agua superficial en las estaciones REDCAM en Atlántico en los muestreos realizados en agosto de 2015 y febrero de 2016.

Zona	Estación	Agosto de 2015		Febrero de 2016	
		Hora	TEM °C	Hora	TEM °C
Río Magdalena	Dársena Barranquilla	12:46	32,0	11:40	32,5
	Boca de caño Clarín	12:30	31,5	11:50	31,0
	Frente a Base Naval	11:22	32,4	11:15	30,5

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

Zona	Estación	Agosto de 2015		Febrero de 2016	
		Hora	TEM °C	Hora	TEM °C
	Base Naval -17	10:58	31,9	10:40	33,1
	Las Flores	10:38	31,4	10:10	30,2
	Ciénaga Mallorquín-Playa	09:25	30,6	10:10	26,3
	Arroyo León	09:05	30,3	09:47	26,3
	Bocas de Ceniza (B)	10:12	31,3	09:45	30,0
Puerto Colombia	Punta Roca	15:53	29,5	17:10	26,4
	Playa Salgar2	15:26	30,5	16:30	26,6
	Playa Pradomar	15:01	30,9	16:10	26,7
	Muelle Puerto Colombia	13:56	29,8	15:40	26,8
Tubará – Acosta	Ciénaga de Balboa	13:19	35,4	14:16	29,1
	Caño Dulce	12:43	32,9	13:42	28,1
	Ciénaga de Rincon Hondo	12:23	38,6	13:10	30,7
	Santa Veronica2	11:37	31,0	12:20	26,8
	Punta Astillero	10:42	30,9	11:37	27,2

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) estuvieron entre 0,93 y 11,7 mg de O₂/L (Figura 6-3). En la estación frente a Base Naval en agosto de 2015 se registró un valor de 0,93 mg de O₂/L, el cual es muy inferior al criterio de calidad para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#); Figura 6-3). En esta estación históricamente se ha registrado baja oxigenación del agua, debido a descargas de aguas residuales que se realizan en esta zona y que se evidenció por el bajo caudal del río Magdalena en el momento del muestreo (Figura 6-4a). Estos aportes, deterioran la calidad del agua por la alta carga de materia orgánica que aumenta la demanda de oxígeno disuelto para la degradación de la misma, ocasionando condiciones de hipoxia ([Manahan, 2007](#)).

En el arroyo León, las concentraciones de OD registradas fueron de 11,7 mg de O₂/L en agosto de 2015 a las 9:00 am, lo cual indica que hay una sobresaturación de oxígeno, que podría asociarse a una alta productividad primaria por la disponibilidad de elevadas concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos (ver Figura 6-8) para el fitoplancton. La alta concentración de oxígeno no garantiza la preservación de flora y fauna, debido a que condiciones de hipoxia y de subóxica pueden presentarse en horas nocturnas cuando el fitoplancton deja de ser productor de oxígeno a consumidor en sus procesos metabólicos ([Manahan, 2007](#)).

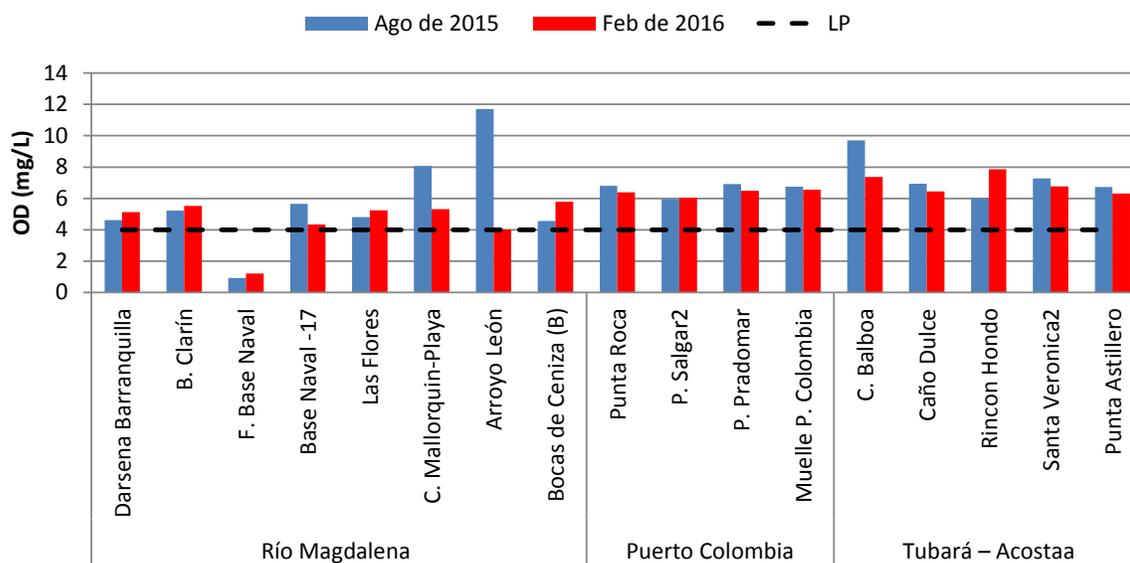


Figura 6-3. Oxígeno disuelto del agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Atlántico, en los muestreos de agosto de 2015 y febrero de 2016. La línea punteada indica el criterio de calidad (>4,0 mg de O₂/L) para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).



Figura 6-4. Vertimientos de aguas residuales en la zona de la estación frente a Base Naval (a), foto: Paola Obando en agosto 2015. Aguas negras que circular en el arroyo León (b), fotos: Ostín Garcés, febrero 2016.

El pH osciló entre 6,88 y 8,82 (Figura 6-5), encontrándose la mayoría dentro del rango permisible del Decreto 1594 de 1984, para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5-9,0), marinas y estuarinas (6,5- 8,5 [MinSalud, 1984](#)), a excepción de la estación de la ciénaga de Balboa que presentó un pH ligeramente por encima (8,82; Figura 6-5), debido a la influencia de factores como las altas salinidades registradas (80,2 en agosto de 2015) y la actividad fotosintética del fitoplancton, los cuales favorece el aumento de pH ([Mvungi et al., 2012](#)).

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

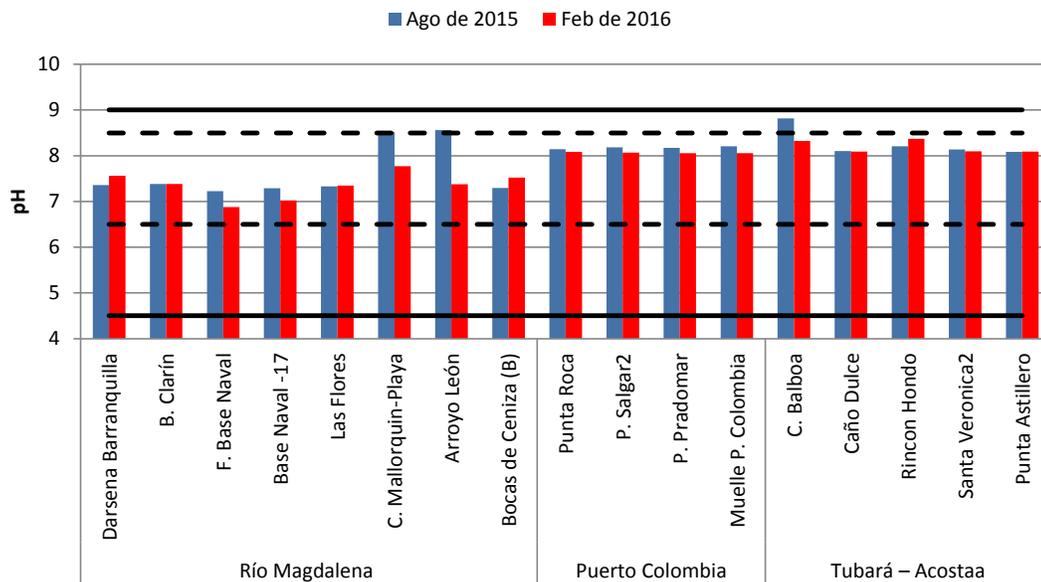


Figura 6-5. Valores de pH del agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Atlántico, en los muestreos realizados en agosto de 2015 y febrero de 2016. Las líneas negras continuas señalan el rango permisible para preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce y las líneas negras punteadas el rango permisible en aguas cálidas marinas y estuarinas (MinSalud, 1984).

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 12,3 y 187 mg/L, encontrándose las mayores concentraciones en el muestreo de febrero del 2016 en las estaciones Muelle Puerto Colombia y en las ciénagas Rincón Hondo y Balboa en los dos muestreos (Figura 6-6). Estas estaciones se clasifican como aguas contaminada ($>150 \leq 400$ mg de SST/L) y con indicio de contaminación ($>75 \leq 150$ mg/L), teniendo en cuenta la escala propuesta por CONAGUA (2015), debido a que reciben vertimientos de aguas residuales (Figura 6-6).

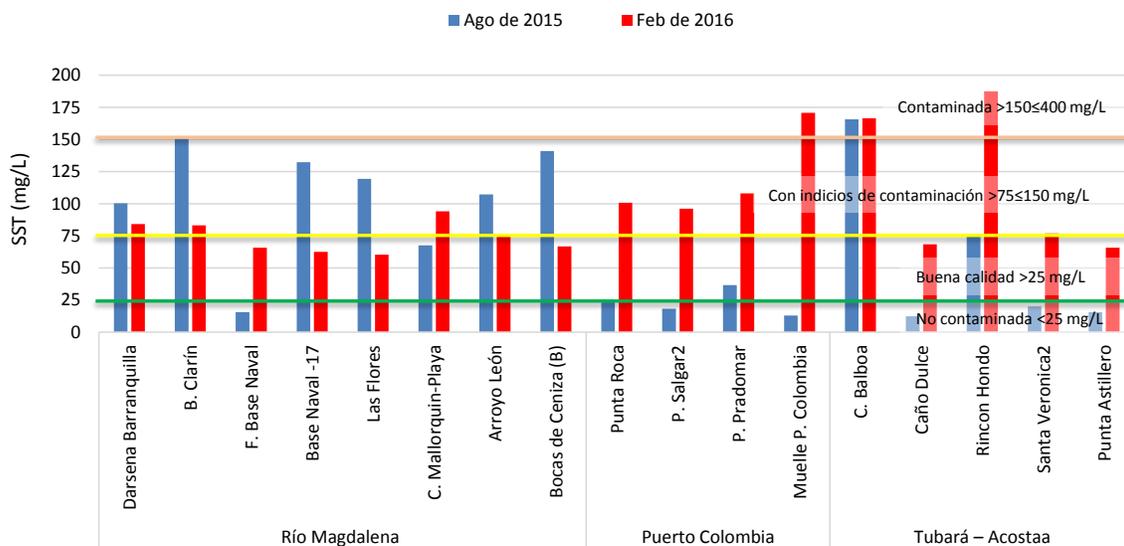


Figura 6-6. Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Atlántico. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Históricamente, las concentraciones de SST han sido muy elevadas en la mayoría de las estaciones de la zona del río Magdalena y en la ciénaga Rincón Hondo, con valores por encima de los 150 y 400 mg/L (Figura 6-7), lo cual indica que estas aguas han estado contaminadas con aguas residuales de acuerdo a la escala de clasificación de [CONAGUA \(2015\)](#), valores que están relacionados con las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal que se detallan más adelante. Cabe aclarar que el río Magdalena los altos valores de SST están asociados además con el cambio del uso del suelo (principalmente por la deforestación) en la cuenca del Magdalena, el incremento en la tasa de erosión, la variabilidad de las precipitaciones y el cambio climático, los cuales han que han incrementado el flujo de sedimentos en este importante río ([Restrepo y Escobar, 2016](#)).

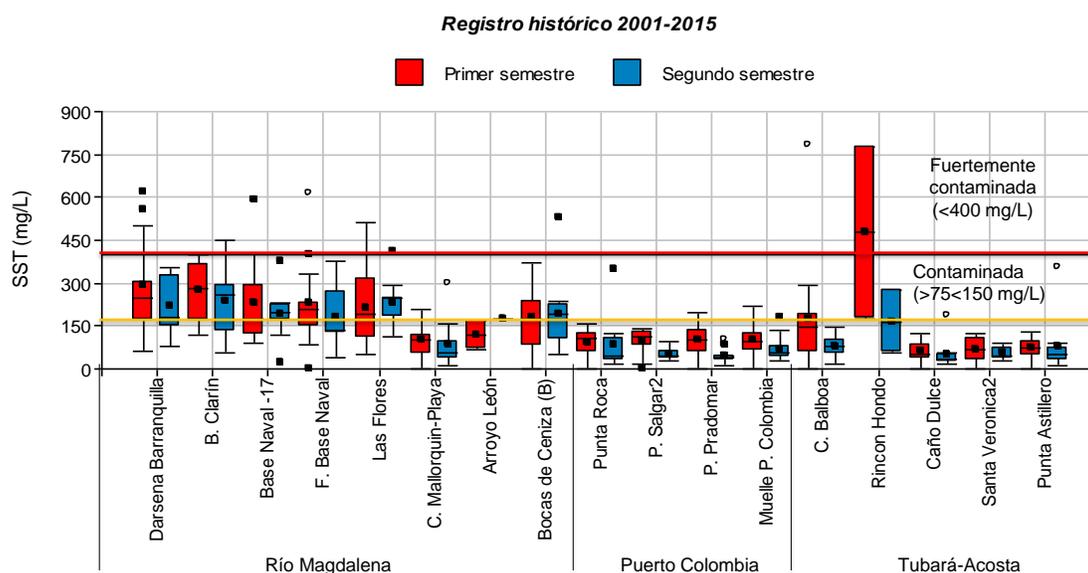


Figura 6-7. Registro histórico de Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Atlántico. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Las concentraciones de nutrientes: nitrito ($N-NO_2^-$), nitrato ($N-NO_3^-$), amonio ($N-NH_4^+$) y ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$), durante los muestreos de agosto del 2015 y febrero del 2016, se muestran en la Figura 6-8. Las mayores concentraciones de nitritos, nitratos, amonio y ortofosfatos se registraron en las estaciones de la zona del río Magdalena (Figura 6-8). En la ciénaga Mallorquín y en el arroyo León estas altas concentraciones se asocian principalmente por vertimientos de aguas residuales y escorrentías pluviales. En la zona suroriental de la ciénaga Mallorquín, se han construido viviendas palafíticas sin conexión al servicio de alcantarillado, por lo cual los residuos generados son vertidos directamente al cuerpo de agua; así mismo una estación de bombeo de aguas residuales ubicada en la vía que comunica el barrio Las Flores con el corregimiento La Playa, realiza vertimientos de aguas residuales en la ciénaga ([Garcés-Ordóñez et al., 2016c](#)). En cuanto al río Magdalena hay que destacar que este cuerpo de agua tiene diversas fuentes de nutrientes como las aguas de escorrentías de tierras agrícolas y ganaderas de la cuenca del río, vertimientos de aguas residuales sin tratamiento de diferentes municipios ribereños, algunas fuentes naturales, entre otros, que causan deterioro de la calidad del agua para sus diferentes usos.

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

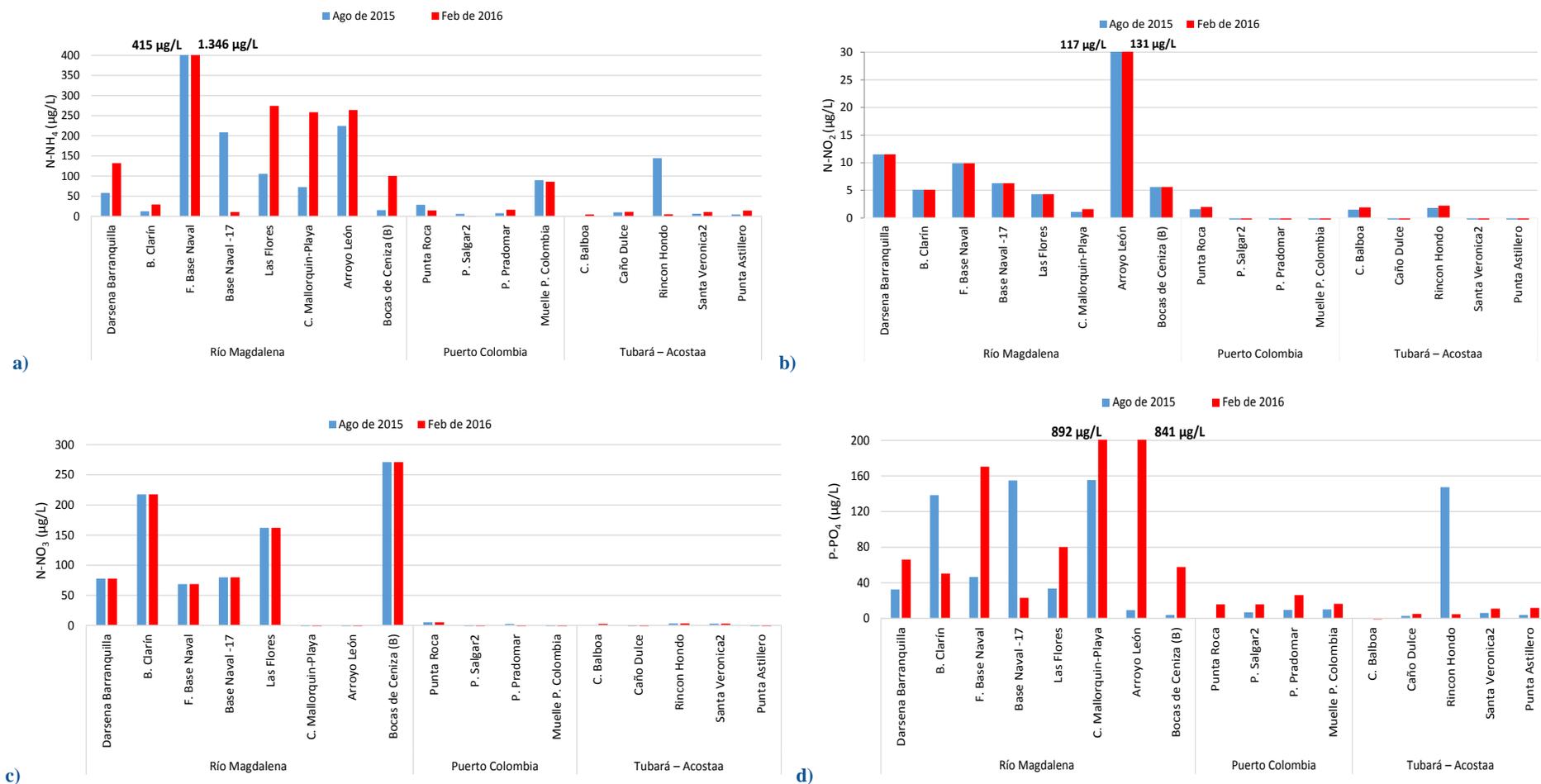


Figura 6-8. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitritos (N-NO₂⁻), c) nitratos (N-NO₃⁻) y ortofosfatos (P-PO₄⁻³), medidos en agosto de 2015 y febrero de 2016 en las estaciones y zonas de muestreo REDCAM del departamento de Atlántico.

La calidad sanitaria de las aguas del departamento se evaluó con base en las concentraciones de coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE). En la zona del río Magdalena se registraron las mayores concentraciones de CTT (Figura 6-9), evidenciando una alta contaminación microbiológica, que incluso superó, en algunos casos, los límites máximos permisibles para el contacto primario (1.000 NMP/100 mL) y secundario (5.000 NMP/100 mL; Figura 6-9).

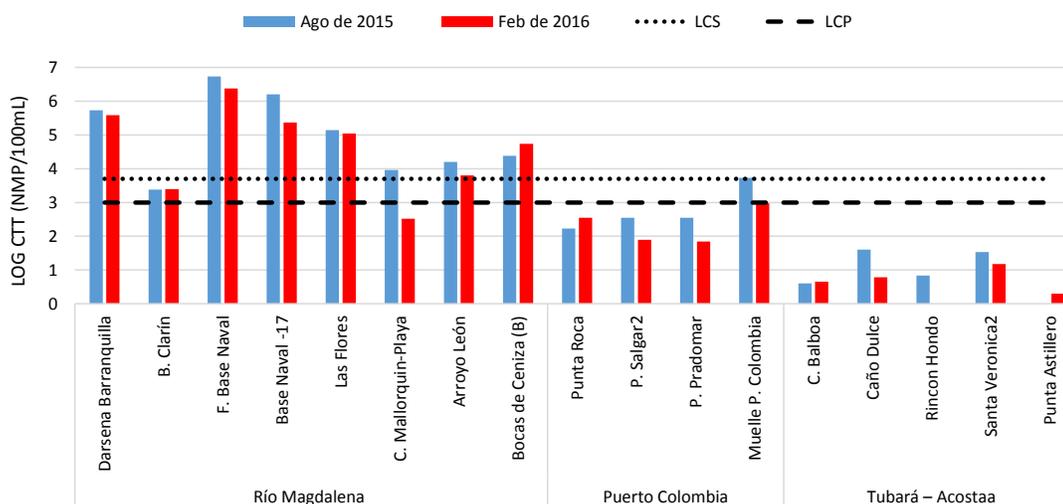


Figura 6-9. Coliformes totales en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Atlántico. La línea negra continua es el máximo permisible para contacto secundario (5.000 NMP/100 mL), y la línea punteada el máximo permisible para contacto primario (1.000 NMP/100 mL) MinSalud (1984).

Las concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE), fueron más elevadas en el muestreo de agosto de 2015, en comparación con el muestreo de febrero de 2016 (Tabla 6-2). Teniendo en cuenta el límite máximo permisible para el uso recreativo por contacto primario, las concentraciones de CTE indican contaminación microbiológica de origen fecal. Los valores encontrados en el río Magdalena corrobora la contaminación por vertimientos de aguas residuales.

Tabla 6-2. Microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico en los muestreos de agosto de 2015 y febrero de 2016. *Criterio de calidad para el uso recreativo por contacto primario en base a coliformes termotolerantes (CTE; *Escherichia coli*) de MinSalud (1984), y **valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades Gastrointestinales y Respiratoria Febril Aguda respectivamente. (-) no medido.

Zona	Estación	CTE (NMP/100mL)		EFE (UFC/100 mL)	
		Ago. 2015	Feb. 2016	Ago. 2015	Feb. 2016
Río Magdalena	Dársena Barranquilla	540.000	101.200	-	-
	B. Clarín	330	96	-	-
	F. Base Naval	5.400.000	789.000	-	-
	Base Naval -17	540.000	98.700	-	-
	Las Flores	49.000	26.900	-	-
	C. Mallorquín-Playa	490	40	-	12
	Arroyo León	2.400	4.600	-	-
	Bocas de Ceniza (B)	3.300	18.500	-	-
Puerto Colombia	Punta Roca	78	280	14	149
	P. Salgar2	350	33	22	125

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

Zona	Estación	CTE (NMP/100mL)		EFE (UFC/100 mL)	
		Ago. 2015	Feb. 2016	Ago. 2015	Feb. 2016
	P. Pradomar	350	33	23	98
	Muelle P. Colombia	230	68	56	99
Tubará – Acosta	C. Balboa	-1	2	-	-
	Caño Dulce	40	4	103	-1
	Rincon Hondo	2	-1	-	-
	Santa Veronica2	2	2	3	10
	Punta Astillero	-1	-1	-1	3
	Valores de referencia	200*	200*	40**	

Los enterococos fecales en algunas playas turísticas como Pradomar, Salgar y Puerto Colombia estuvieron en mayor concentración en el muestreo de febrero de 2016 (Tabla 6-2) representando un riesgo de >1% y de 0,3% de contraer enfermedades Gastrointestinales y Respiratoria Febril Aguda respectivamente según la [OMS \(2003\)](#). Como principales fuentes de estas bacterias están los vertimientos de aguas residuales y la actividad turística que se desarrollan en las playas.

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en los muestreos de agosto del 2015 y febrero del 2016, oscilaron en un rango entre 0,1 y 2,79 $\mu\text{g/L}$ (Figura 6-10). Las mayores concentraciones se registraron en las estaciones del río Magdalena, asociado a la alta actividad portuaria que se desarrolla en esta zona. En las zonas marinas de Puerto Colombia y Tubará-Acosta se determinó presencia de este tipo de contaminante en ambos muestreos, Las concentraciones no superaron 1,0 μg de HPDD/L, por lo cual se considera que la contaminación con hidrocarburos no es significativa ([Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)). La presencia de HPDD en las aguas costeras del departamento se asocian al transporte marítimo, aguas servidas y lavaderos de vehículos en la zona ([Vivas-Aguas et al., 2015b](#)).

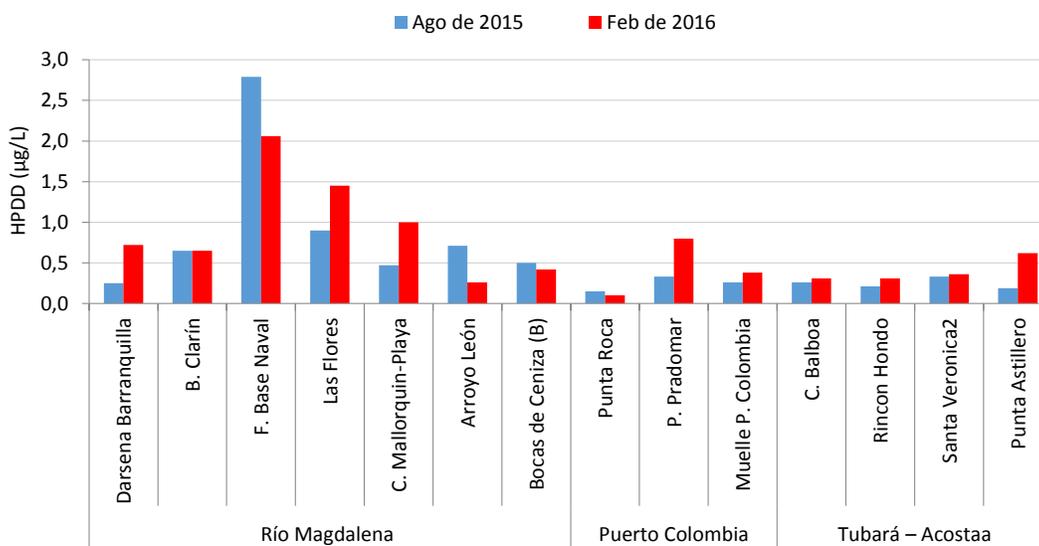


Figura 6-10. Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Atlántico, en los muestreos realizados en agosto de 2015 y febrero de 2016.

Históricamente, en todas las zonas de muestreo se ha registrado la presencia de HPDD (Figura 6-11). Las concentraciones más altas se han registrado en la zona del río Magdalena, principalmente en las estaciones frente a la base Naval (13,69 $\mu\text{g/L}$ en el primer semestre de 2010), las Flores (12,40 $\mu\text{g/L}$ en el segundo semestre de 2001) y en Bocas de Cenizas (10,50 $\mu\text{g/L}$ en el segundo semestre de 2001), lo cual se asocia principalmente a la alta actividad portuaria en el río. En las estaciones marinas los niveles de HPDD históricamente determinados están por debajo de los 5 μg de HPDD/L y hasta 1 μg de HPDD/L, valores de referencia para aguas marinas costeras con contaminación no significativa ([Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)).

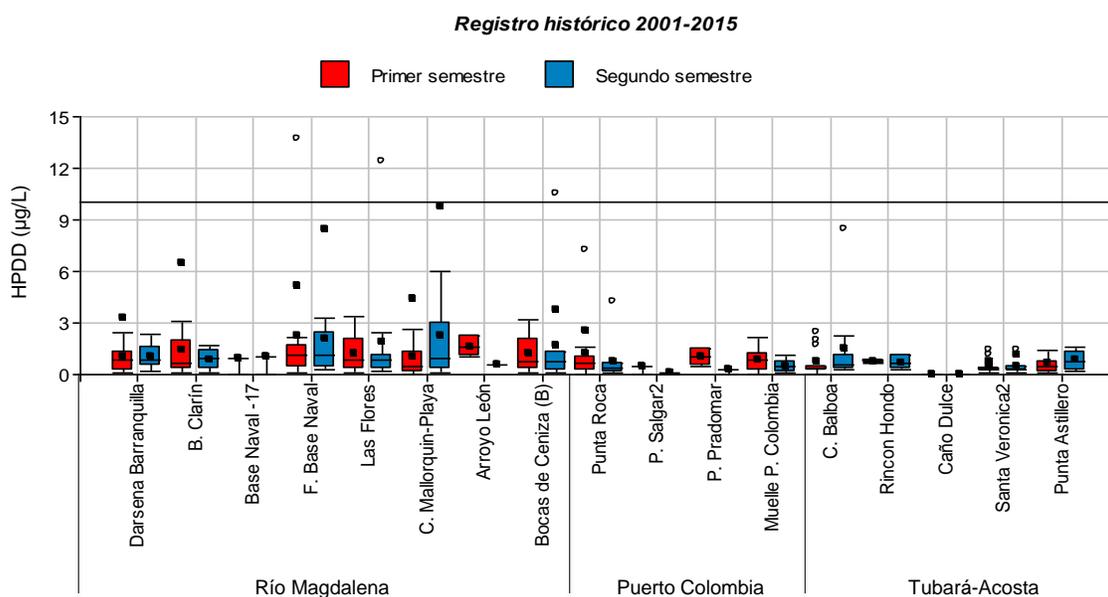


Figura 6-11. Histórico de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Atlántico. La línea negra punteada indica el valor de referencia de para aguas contaminadas con HPDD (Unesco, 1984).

En los sedimentos de las estaciones de muestreo también se determinó la presencia de hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (Tabla 6-3). La concentración más alta se registró en la estación Base Naval – 17 (41,3 $\mu\text{g/g}$) en de agosto de 2015, el cual se considera moderadamente contaminado por notable actividad antrópica, de acuerdo a la escala de clasificación descrita en [Ramírez y Viña \(1998\)](#), para sedimentos de agua dulce. En el muestreo de febrero de 2016 las concentraciones de hidrocarburos del petróleo en Base Naval – 17 y en boca del caño Clarín se encontraron en concentraciones bajas, las cuales clasifican como sedimentos con muy baja contaminación con hidrocarburos, propio de aguas puras y quizá con algún aporte biogénico ([Ramírez y Viña, 1998](#)). En los sedimentos marinos de las estaciones en las zonas de Puerto Colombia y Tubará-Acosta las concentraciones de hidrocarburos del petróleo no superaron 1,0 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 6-3), por lo tanto se puede considerar que en el momento del muestreo los sedimentos no presentaron con hidrocarburos.

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

Tabla 6-3. Hidrocarburos del petróleo equivalentes de crisenos (HP) en sedimentos de las estaciones REDCAM, medidos en agosto de 2015 y febrero de 2016, y valores de referencia para sedimentos de agua dulce y marinos descritos en Ramírez y Viña (1998) y Mora *et al.*, (2010) respectivamente.

Zona	Estación	Ago 2015 (µg/g)	Feb. 2016 (µg/g)	Valores de referencia	Fuente bibliográfica
Río Magdalena	Base Naval - 17	41,3	7,8	Sedimento de agua dulce Muy bajo: 0-20 µg/g Bajo: >20-40 µg/g Medio: >40-80 µg/g Alto: >80-200 µg/g Muy alto: >200	Ramírez y Viña (1998) , 258-260 p.
	Boca Caño Clarín	4,69	6,6		
Puerto Colombia	Muelle Puerto Colombia	0,14	0,1	Sedimento marino Niveles naturales <15 µg/g Ligeramente contaminados <50 µg/g Altamente contaminados >50 µg/g	Mora <i>et al.</i>, 2010
Tubará-Acosta	Playa Santa Veronica (2)	0,09	0,3		
	Ciénaga Rincón Hondo	0,44	0,1		

En cuanto a los plaguicidas, en el muestreo de agosto de 2015 solamente se registró el organofosforado Clorpirifós, en el agua superficial de la estación playa Pradomar, en una concentración de 20,9 ng/L, la cual supera el valor de referencia para efectos crónicos (5,6 ng/L) y agudo (11 ng/L) en agua marina propuestos por [EPA \(2016\)](#). Este plaguicida es catalogado como moderadamente peligroso de clase II, tiene uso doméstico y agrícola para controlar plagas de insectos como cucarachas, termitas, pulgas e insectos devoradores de plantas, entre otros ([RAP, 1998](#); [Espinosa y Betancourt, 2011](#)).

En el muestreo de febrero de 2016, no se registró ningún plaguicida organofosforado en el agua superficial. Se detectaron plaguicidas organoclorados como pp'DDE (38,88 ng/L) y Heptacloro Epóxido (73,4 ng/L) en la estación de la ciénaga de Balboa, y por primera vez Heptacloro Epóxido (62,1 ng/L) en la ciénaga Rincón Hondo. Las concentraciones de Heptacloro Epóxido; un metabolito del Heptacloro cuando es degradado por las bacterias en el ambiente natural; superaron ampliamente los valores de referencias para efectos crónicos (3,6 ng/L) y agudos (53 ng/L) en aguas marinas ([EPA, 2016](#)), lo cual es preocupante, ya que el uso de este compuesto fue restringido en Colombia, mediante Resolución 10255 de 1993 del Ministerio de Salud, debido a su alta toxicidad. El Heptacloro era comúnmente utilizado para matar plagas de insectos en cultivos y para matar termitas y hormigas ([ATSDR, 2007](#)). En el sedimento de la estación boca del caño Clarín se registró por primera vez alfa-Hexaclorociclohexano (α -HCH) en una concentración de 14,1 ng/g, este compuesto es un plaguicida organoclorado de uso restringido en Colombia (Resolución 04166 de 1997 del Ministerio de Salud), que puede acumularse en el tejido graso de peces y potencialmente afectar la salud humana por el consumo de pescado contaminados ([ATSDR, 2005](#)).

En todas las estaciones de muestreo, en agosto del 2015 y febrero del 2016, las concentraciones de cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb) disueltos en aguas superficiales estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado (Cd: 0,42 µg/L, Cr: 0,97 µg/L y Pb: 3,1 µg/L), y en agosto de 2015, el níquel (Ni) estuvo por debajo del límite de detección del método utilizado (1,0 µg/L). Las concentraciones de cobre (Cu) y zinc (Zn) no representan riesgo para la biota, debido a que no sobrepasaron los valores de referencia para efectos crónicos de la NOAA (Tabla 6-4; [Buchman, 2008](#)). El hierro (Fe) solamente sobrepasó el valor de referencia en la estación Santa Verónica en el muestreo de agosto de 2015 (Tabla 6-4).

Tabla 6-4. Metales disueltos medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico. Los valores de referencia corresponde a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) y el valor con dos asteriscos () corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005).**

Zona	Estación	Metales en agosto 2015 (µg/L)							Metales en febrero 2016 (µg/L)						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Río Magdalena	Dársena Barranquilla	<0,42	<0,97	1,3	93,4	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1,8	<4,7	1,8	<3,1	<6,9
	B. Clarín	<0,42	<0,97	1,8	132	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	7,9	1,1	<3,1	7,7
	F. Base Naval	<0,42	<0,97	1	145	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	7,8
	Las Flores	<0,42	<0,97	1,6	126	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1,4	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	C. Mallorquín-Playa	<0,42	<0,97	0,9	43	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	11,6	3,4	3,9	9,1
	Arroyo León	<0,42	<0,97	1,2	37,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	2,7	<3,1	9,9
	Bocas de Ceniza (B)	<0,42	<0,97	1,7	136,3	<1,0	<3,1	7,5	<0,42	<0,97	1,7	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
Puerto Colombia	Punta Roca	<0,42	<0,97	<0,9	28,6	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	12,3	<1,0	<3,1	<6,9
	P. Pradomar	<0,42	<0,97	<0,9	16,6	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	1,8	<3,1	<6,9
	Muelle P. Colombia	<0,42	<0,97	<0,9	15,7	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
Tubará – Acosta	C. Balboa	<0,42	<0,97	0,9	12,1	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1,5	<4,7	2,2	<3,1	<6,9
	Rincón Hondo	<0,42	<0,97	<0,9	6,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	1,9	<3,1	15,4
	Santa Veronica2	<0,42	<0,97	<0,9	103,4	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	Punta Astillero	<0,42	<0,97	<0,9	23,7	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	11,4	2,3	<3,1	11,3
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,8	50**	3,1	50	8,2	8,1	81	8,8	50**	3,1	50	8,2	8,1	81
Referencia Efectos crónicos agua dulce		0,25	50**	9	350	52	2,5	120	0,25	50**	9	350	52	2,5	120

Las concentraciones de metales en los sedimentos, se presentan en la Tabla 6-5. Ninguno de los metales analizados supero los valores de referencia para efectos probables en la biota, propuestos por la NOAA ([Buchman, 2008](#)).

Tabla 6-5. Metales totales en los sedimentos de las estaciones REDCAM Atlántico medidos en los muestreos de agosto de 2015 y febrero de 2016. Los valores de referencia para efectos probables se tomaron de Screening Quick Reference Tables ([Buchman, 2008](#)).

Estación	Metales en agosto 2015 (µg/g)								Metales en febrero 2016 (µg/g)							
	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe	Hg
Base Naval - 17	21,28	<0,5	79,39	40,45	155,97	36,11	42736,5	0,0809	14,3	<0,5	55,5	10,7	116,8	17,4	44137,2	0,0552
Boca Caño Clarín	18,34	<0,5	80,23	41,08	159,45	22,65	42273,0	0,1208	20,7	<0,5	73,6	40,0	145,7	36,8	41387,1	0,1290
Muelle Puerto Colombia	16,19	<0,5	23,41	<1,9	51,43	3,69	17377,3	0,0030	6,4	<0,5	32,8	3,36	65,7	7,1	22617,9	0,0079
Playa Santa Veronica (2)	17,47	<0,5	46,55	<1,9	70,61	9,57	39030,0	0,0030	4,8	<0,5	<6,4	<1,9	20,4	<2,0	7238,3	0,0087
Ciénaga Rincón Hondo	29,65	<0,5	54,35	24,69	201,59	23,84	28152,2	0,0097	10,6	<0,5	15,3	<1,9	30,6	<2,0	26646,4	0,0042
Referencia PEL* sedimentos marinos	112,0	4,2	160	108	271	42,8	-	0,486	112,0	4,2	160	108	271	42,8	-	0,486
Referencia PEL* sedimentos de agua dulce	91,3	3,5	90	197	315	36	-	0,70	91,3	3,5	90	197	315	36	-	0,70

6.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

El indicador de la calidad del agua para la preservación de flora y fauna ICAM_{PFF}, aplicado a las estaciones marinas y estuarinas, mostró que en agosto de 2015, el 64% de las estaciones presentaron aguas con calidad adecuada, 18% calidad aceptable y 18% calidad inadecuada (Figura 6-1Figura 6-12). La proporción de estaciones con calidad inadecuada y aceptable se debe a los contenidos altos de SST, coliformes termotolerantes y nutrientes inorgánicos que se asocian a vertimientos de aguas residuales.

Para el muestreo de febrero de 2016, se mantuvo el porcentaje de estaciones con aguas de calidad adecuada (64%), entre las cuales se encuentra la gran mayoría de las playas, que valores de oxígeno disuelto, los nutrientes, SST, DBO e hidrocarburos adecuados para la preservación de flora y fauna. En este muestreo se encontró el mayor porcentaje de estaciones con calidad inadecua (36%) debido a los altos contenidos de coliformes, sólidos suspendidos y nutrientes por los vertimientos de aguas residuales que recibe el arroyo León y la ciénaga de Mallorquín.

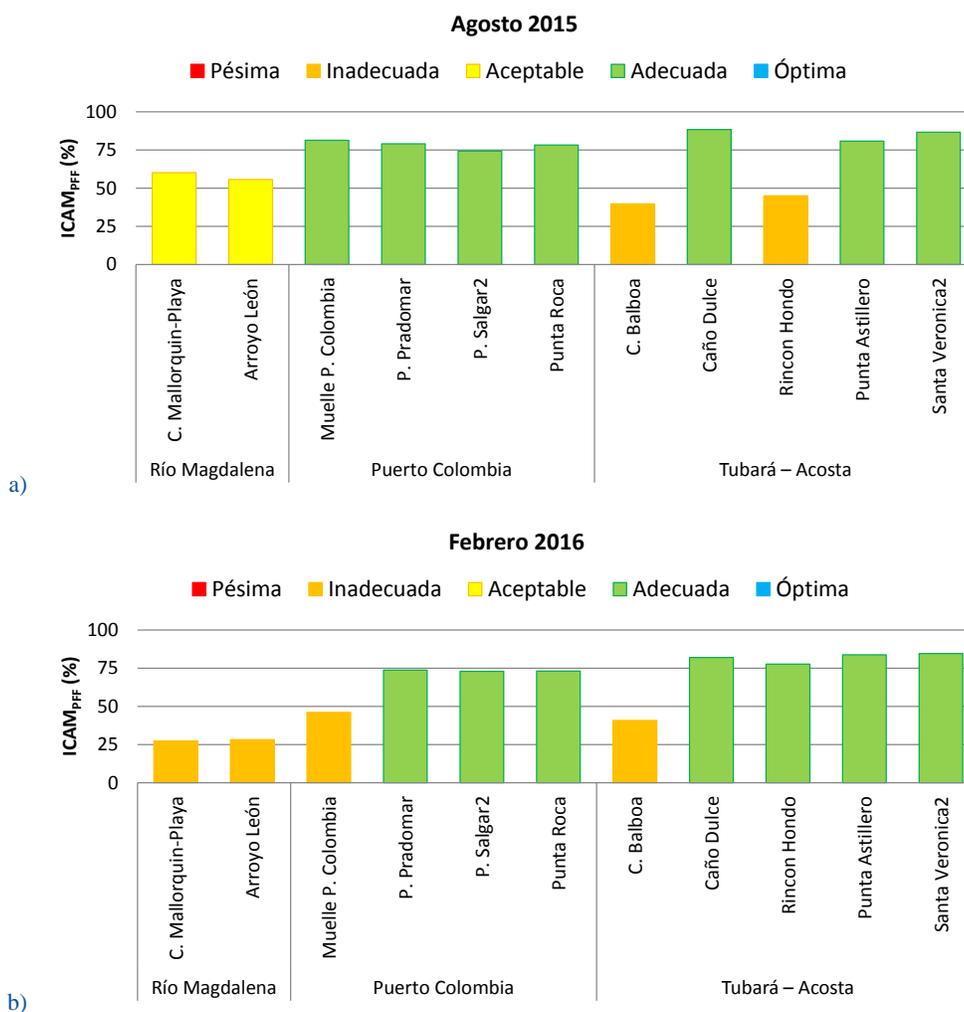


Figura 6-12. Calidad de las aguas marino costeras en las estaciones REDCAM del departamento de Atlántico en los muestreos de agosto de 2015 (a) y febrero de 2016 (b), evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

En los últimos tres años, las condiciones de las aguas marinas y costeras en las zonas de muestreo han sido en mayor proporción adecuadas y aceptables (Tabla 6-6) para la preservación de flora y fauna, sin embargo, la proporción de estaciones con aguas inadecuada es alta por los vertimientos de aguas residuales que afectan los niveles de oxígeno disuelto y ocasionan contaminación microbiológica.

Tabla 6-6. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PF} en el las zonas del departamento del Atlántico en el periodo desde el 2013 al 2015.

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada
2013	Puerto Colombia	25%	50%	25%
	Tubará – Acosta			100%
2014	Puerto Colombia	13%	63%	25%
	Tubará – Acosta	33%		67%
2015	Puerto Colombia	13%	38%	50%
	Tubará – Acosta		33%	67%

6.4 CONCLUSIONES

- ❖ Las condiciones de calidad fisicoquímica de las aguas marino-costeras en la gran mayoría de las estaciones del departamento del Atlántico es adecuada y aceptable para la preservación de flora y fauna. No obstante, el arroyo León y la estación Base Naval – 17 en el río Magdalena, están afectadas por vertimientos de aguas residuales, los cuales alteran las concentraciones de oxígeno disuelto, con efectos negativos sobre la biota acuática.
- ❖ El río Magdalena y el arroyo León, transportan cargas elevadas de sólidos suspendidos y nutrientes, los cuales son descargados en la zona costera y a la ciénaga Mallorquín afectando la calidad de las aguas.
- ❖ En la zona costera del departamento de Atlántico no se presenta contaminación por hidrocarburos del petróleo, si bien en el río Magdalena, hay un aumento de concentración de estas sustancias por las actividades marítimas y portuarias que en él se desarrollan, el efecto solo se observa en los sedimentos que pueden ser considerados medianamente contaminados.
- ❖ En las ciénagas de Balboa y Rincón Hondo hay presencia de plaguicidas organoclorados como el Heptacloro Epoxide en concentraciones que pueden provocar efectos adversos en la biota acuática, al sobrepasar los valores de referencia de la EPA.
- ❖ En la zona costera del departamento de Atlántico, no hay riesgo para los organismos por metales pesados ya que las concentraciones estuvieron por debajo de los valores de referencia de la NOAA. No obstante, en la estación Santa Verónica durante el muestreo de agosto del 2015 la concentración de Fe estuvo por encima del valor de referencia para efectos crónicos propuesto por la NOAA, por lo cual es necesario hacer seguimiento a este metal, para evitar afectaciones futuras en la zona.

BOLÍVAR

Max Martínez Campo, Mónica Bayona-Arenas y Paola Obando Madera



La Estancia, isla Barú, Bolívar. Foto: Ostin Garcés

EQUIPO TÉCNICO CARDIQUE

Mady Carolina García – Jefe de Oficina Laboratorio
Ildefonso Castro – Profesional Especializado
Adriana Gonzalez – Profesional Universitario

7. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR

El departamento de Bolívar se encuentra ubicado en la región de la llanura del Caribe, entre las latitudes 07°00'03" y 10°48'37"N y las longitudes 73°45'15" y 75°42'18"O ([IGAC, 2008](#)). La zona costera del departamento tiene una extensión de 366 Km ([Posada y Henao, 2008](#)), está conformada por el municipio de Santa Catalina y el Distrito Turístico y Cultural de Cartagena, cuyas poblaciones se estimaron para el año 2016 de 13.298 y 1.013.389, respectivamente ([DANE, 2017](#)). Se presentan dos periodos climáticos principales, uno seco entre los meses de diciembre y abril, caracterizado por el incremento de las velocidades del viento y a la disminución de las precipitaciones locales; y otro húmedo o lluvioso entre agosto y noviembre, relacionado con vientos débiles provenientes del sur y caracterizado por el aumento de las precipitaciones ([CIOH, 2005](#); [Rueda et al., 20105](#)). Entre los meses de abril y julio, se cuenta con la época de transición, con vientos de naturaleza variada, iniciando con vientos fuertes del norte y finaliza con vientos del sur ([CIOH, 2005](#)).

Los ecosistemas marino costeros más representativos son el manglar, praderas de pastos marinos, arrecifes coralinos y las lagunas costeras ([Díaz et al., 2000](#); [Gómez-Cubillos et al., 2014](#); [Rojas, 2014](#)), algunos de los cuales se desarrollan en el Parque Nacional Natural Corales de Profundidad, el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, y el Santuario de Flora y Fauna Corchal Mono Hernández ([Alonso et al., 2015](#)). Estos ecosistemas pueden verse afectados por las múltiples actividades socioeconómicas que se desarrollan (turismo, fabricación productos químicos, alimentos y plásticos, transporte marítimo portuario, refinerías de petróleo, entre otras), las cuales generan residuos líquidos y sólidos domésticos e industrial, de los cuales una parte son vertidos al alcantarillado y otra parte directamente a la bahía de Cartagena afectando la calidad ambiental ([Troncoso et al., 2009](#), [INVEMAR y MADS, 2011](#)).

Una parte de las aguas residuales es dispuesta en el sistema de alcantarillado y vertida al mar Caribe por medio de un emisario submarino, otra parte en pozas sépticas, sobre el terreno y cuerpos de agua ([Superservicios, 2014b](#)). La producción de residuos sólidos oscila entre 0,08 911 t/día, los cuales se disponen en el relleno sanitario del Parque Ambiental Loma de Los Cocos ([Superservicios, 2014a](#)). El tributario más importante del departamento es el Canal del Dique, el cual corresponde a un brazo artificial del río Magdalena que desemboca en las bahías de Cartagena y Barbacoas ([Pinilla et al., 2007](#)).

Con el propósito de vigilar la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento de las fuentes de contaminación, y obtener información del estado actual del recurso hídrico para la gestión ambiental, la REDCAM bajo la gestión de la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE, realiza desde el año 2001 la evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras en base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2015 y primer semestre de 2016.

7.1 ZONAS DE MONITOREO

En el departamento de Bolívar se tienen 32 estaciones de monitoreo que se distribuyen en cinco zonas: costa norte, bahía afuera, bahía de Cartagena, bahía de Barbacoas y la zona de Islas que considera las estaciones ubicadas en las islas de Barú y del Rosario (Figura 7-1). La **zona de Costa Norte** cuenta con cuatro (4) estaciones de monitoreo, como lo son: Faro

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

Galerazamba, Frente Isla Arena, Boca Canoa y Punta Canoa. La **zona de Bahía Afuera**, se encuentran las estaciones de playas con uso turístico de Crespo, Marbella, Manzanillo y Bocagrande, y dos estaciones ubicadas cerca de la Isla Tierrabomba, la Escollera submarina y Tierrabomba. La **zona Bahía de Cartagena** está conformada por una bahía interna y una externa, la primera se ubica al norte y tiene comunicación con la bahía externa en el sector del Laguito, y la segunda corresponde al área más extensa la cual se conecta con el Mar Caribe a través de dos bocas, una al norte (Bocagrande) y otra al sur (Bocachica) por las cuales realiza el intercambio de aguas. En esta zona se encuentran estaciones correspondientes al Canal del Dique, así como estaciones cerca de la zona industrial de Mamonal. La **zona Bahía de Barbacoas**, recibe un gran aporte de aguas continentales del Canal del Dique a través de los caños Lequerica y Matunilla y además de los caños Correa y el arroyo de Plata, por lo tanto las estaciones ubicadas en esta zona corresponden en su mayoría a aguas estuarinas y fluviales. Finalmente la **zona de las Islas**, la conforman estaciones ubicadas en las islas del Rosario y una (1) en la isla de Barú sobre la bahía de Barbacoas. La importancia de esta zona es que hacen parte de las áreas con formaciones coralinas más importantes del Caribe colombiano (Alonso *et al.*, 2015).

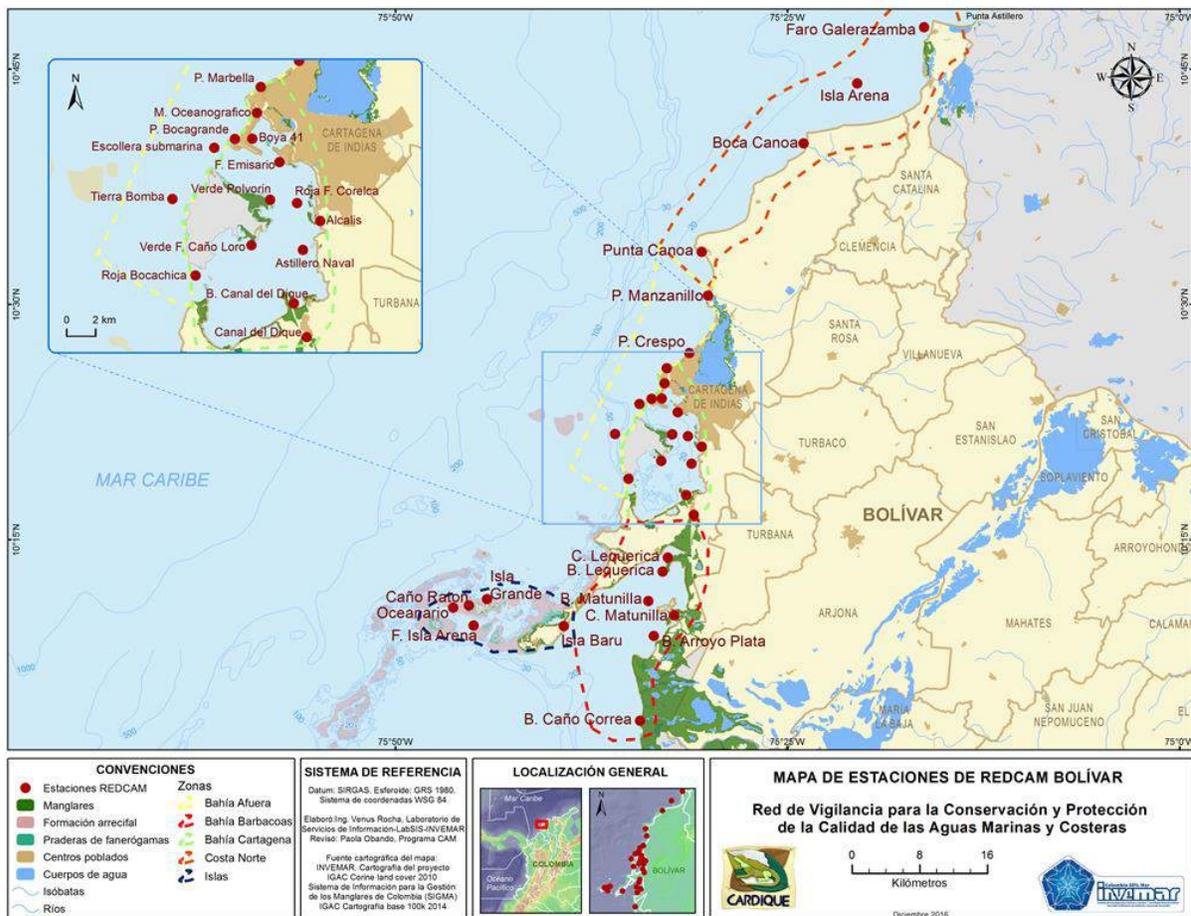


Figura 7-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el departamento de Bolívar.

Los muestreos fueron realizados entre septiembre y octubre de 2015 y entre febrero y abril de 2016. En contraste con la información de los reportes de anomalías del IDEAM, debido al prolongado evento Niño durante el 2015 las precipitaciones estuvieron por debajo de los valores históricos principalmente durante segundo semestre de 2015 (IDEAM, 2016c). Cabe resaltar que para el año 2015, no se cuenta con información de la estación Boca Canoa, asimismo no se cuentan con resultados de hidrocarburos del petróleo disuelto y dispersos equivalente de crisenos para este periodo. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio ambiental de CARDIQUE.

7.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

En la Figura 7-2 se muestran la salinidad registrada en el periodo evaluado. La salinidad osciló entre 36,2 y 39,5 en las estaciones de la zona Costa Norte y entre 24,9 y 39 en Bahía Afuera, clasificando como agua marina polihalina (34-38) y salmuera (>38) de acuerdo a las categorías de Knox (2001). Estos valores se encontraron dentro de los rangos históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2016b). En la zona de la Bahía de Cartagena, la salinidad fluctuó entre 16,0 y 35,8 por la mezcla con aguas dulces provenientes de Canal del Dique que tienen salinidades entre 0 y 3,84 que corresponde a agua dulce (0-0,5) y estuarina mesohalina (3,0-10; Knox, 2001). Los valores más bajos fueron obtenidos en el muestreo de septiembre-octubre de 2015, lo cual se relaciona con el aumento de las descargas del Canal del Dique y los aportes por escorrentía urbana que introducen una capa de agua dulce superficial en la época de lluvias (Troncoso et al., 2009).

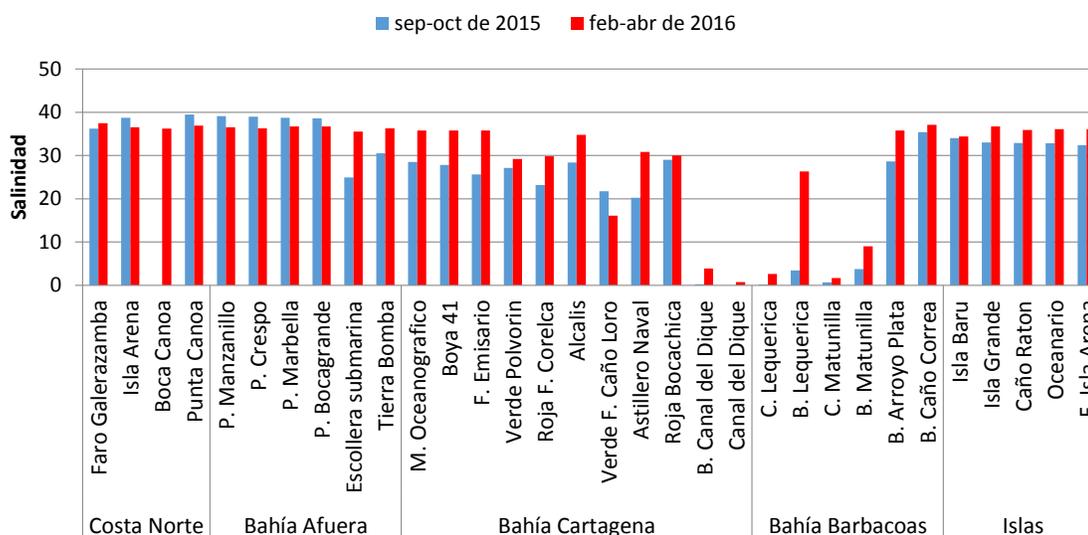


Figura 7-2. Salinidad del agua superficial en las estaciones REDCAM en el departamento de Bolívar, medida en los muestreos realizados en septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016.

En la zona Bahía Barbacoas, las salinidades oscilaron entre 0,1 y 35,4 en septiembre-octubre de 2015 y entre 1,7 y 37,1 en febrero-abril de 2016 (Figura 7-2). Las estaciones ubicadas en las bocas del arroyo Plata (35,8) y caño Correa (37,1) presentaron las más altas salinidades en el muestreo de febrero-abril de 2016, debido a que no tienen tanta influencia por los tributarios, clasificando como agua marina polihalina (34-38). En la zona Islas, la salinidad se encontró entre 32,4 y 36,7 (Figura 7-2) indicando que corresponden a aguas marinas

polihalinas ([Knox, 2001](#)), no obstante en el muestreo de septiembre-octubre de 2015 se evidencia una disminución en las salinidades (32,4), debido a la posible influencia de aguas salobres de la bahía Barbacoas ([Gómez et al., 2009](#)).

El oxígeno disuelto (OD) osciló entre 4,8 y 10,24 mg O₂/L, encontrándose las mayores concentraciones en las estaciones de la Bahía de Cartagena y las menores en la zona Bahía de Barbacoas, en comparación con las demás zonas de muestreo (Figura 7-4). Los valores determinados en ambos muestreos estuvieron dentro de los rangos históricos de la REDCAM ([INVEMAR, 2016b](#)) y por encima del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas del Decreto 1594 de 1984 (Figura 7-4; [MinSalud, 1984](#)).

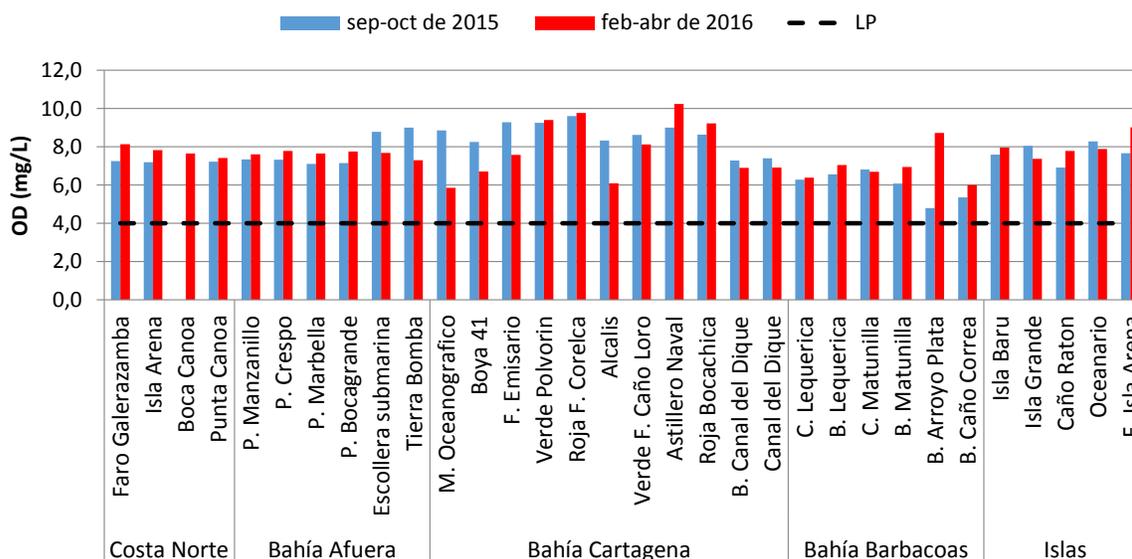


Figura 7-3. Oxígeno disuelto del agua superficial en las estaciones REDCAM en Bolívar, medidas en los muestreos de septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016. La línea negra punteada indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

El pH se registró en un rango entre ligeramente básico (7,48) y básico (8,39), presentándose los valores más altos en las zonas Costa Norte (8,11 y 8,37) y Bahía Afuera (8,05 y 8,39) por las características de agua marina, y el más bajos en el Canal del Dique (7,7 y 8,13). Estos valores estuvieron dentro de los rangos históricos de la REDCAM ([INVEMAR, 2016b](#)), y dentro de los rangos permisibles para la preservación de flora y fauna en aguas dulces, marinas y estuarinas (Figura 7-4; [MinSalud, 1984](#)). La temperatura del agua superficial osciló entre 28,6 y 33,2°C, encontrándose dentro de los valores históricos de la REDCAM ([INVEMAR, 2016b](#)). En el muestreo de febrero-abril de 2016 se registraron las temperaturas más bajas en comparación con el muestreo de septiembre-octubre de 2015, condición que se asocia con las horas del día en que se realizaron las mediciones y a la influencia de los vientos Alisios ([Rueda et al., 2013](#)).

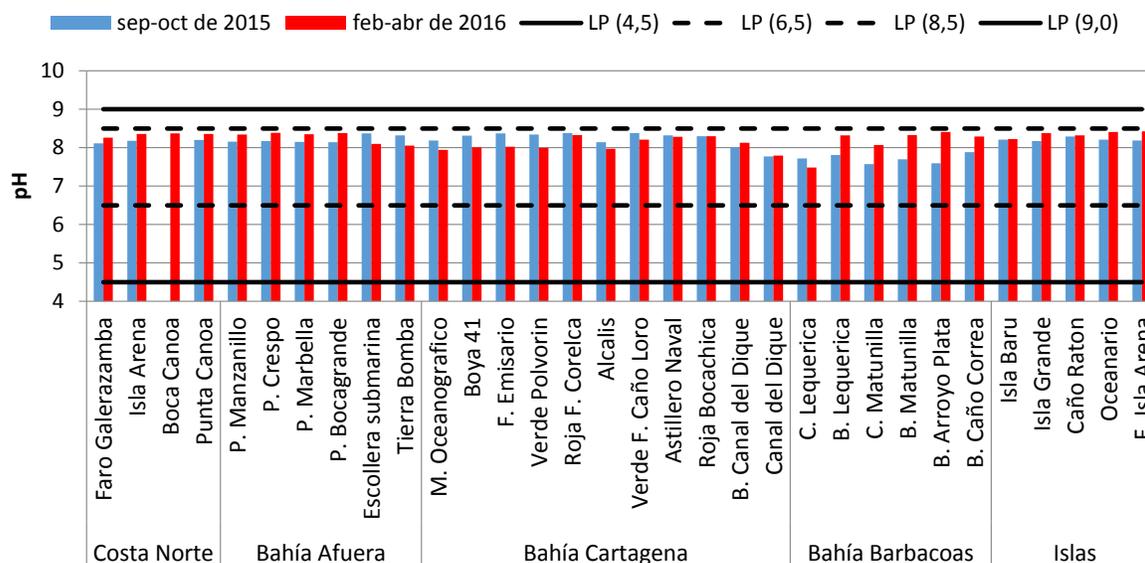


Figura 7-4. Valores de pH del agua superficial en las estaciones REDCAM en Bolívar, registrados en los muestreos de septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016. Las líneas negras continuas señalan el rango permisible para preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce y las líneas negras punteadas el rango permisible en aguas cálidas marinas y estuarinas (MinSalud, 1984).

Los sólidos suspendidos totales (SST) y la turbidez en las estaciones de la zona Costa Norte, presentaron un comportamiento similar, encontrándose en promedio los valores más altos en el muestreo de febrero-abril de 2016, con excepción de la estación Faro Galerazamba, la cual presentó el valor máximo en el muestreo de septiembre-octubre de 2015, con 143 mg/L (Figura 7-5) y 17 NTU, respectivamente. Estos resultados se deben a la introducción de sedimentos por la Ciénaga del Totumo, el lavado de los litorales arenosos y la actividad de extracción de arena en el sector de Punta Astillero (Posada y Henao, 2008).

En la zona de Bahía Afuera, los valores más elevados de turbidez (1,08 – 26,9 NTU) y SST (10 – 103 mg/L), se obtuvieron en febrero-abril de 2016, en las playas Manzanillo (26,9 NTU) y Bocagrande (103 mg/L), respectivamente, donde se favoreció la resuspensión de sedimentos por los fuertes vientos del norte, sumado al fuerte desgaste por erosión que han sufrido estas playas (Alcaldía Cartagena *et al.*, 2014; Posada y Henao, 2008). En las estaciones del Canal del Dique, la turbidez (61,1 y 178 NTU) y contenido de SST (13,5 y 193 mg/L; Figura 7-5), fueron notoriamente más altas en comparación con las demás estaciones en la Bahía de Cartagena. En la zona Bahía Barbacoas, los valores más altos de turbidez (6,17 a 150 NTU) y de SST (8 a 156 mg/L) se presentaron en septiembre-octubre de 2015, durante la cual la variabilidad de los vientos permite que se disperse la pluma avanzando varios kilómetros mar adentro, pudiendo tener influencia sobre las islas del Rosario (Gómez *et al.*, 2009).

En las estaciones de las Islas, los registros de turbidez (0,57 – 4,58 NTU) y SST (7,6 – 24,0 mg/L) más elevados se presentaron en febrero-abril de 2016, en las estaciones isla Barú y frente isla Arena, respectivamente. No obstante, las concentraciones de SST y el nivel de turbidez encontrado no representan un riesgo a los corales, ya que se encuentran por debajo del valor de referencia (50 mg/L; Fabricius, 2005), sin embargo es importante continuar con el seguimiento y evaluar el desarrollo de estos corales debido a la influencia de la pluma de las aguas de la bahía Barbacoas (Gómez *et al.*, 2009).

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

Comparando los resultados de las mediciones de SST con las categorías para la calificación de la calidad del agua de acuerdo a los SST de [CONAGUA \(2015\)](#), todas las estaciones de la zona de Isla tuvieron aguas con excelente calidad (<25 mg/L). Las zonas de las Costas Norte, Bahía Afuera y Bahía de Barbacoas las aguas fueron de calidad excelente, buena ($>25 \leq 75$ mg/L) y aceptable ($>75 \leq 150$ mg/L), mientras que en la zona de la bahía de Cartagena en el muestreo de octubre-noviembre de 2015, las estaciones del Canal del Dique tuvieron aguas contaminadas ($>150 \leq 400$ mg/L) (Figura 7-5).

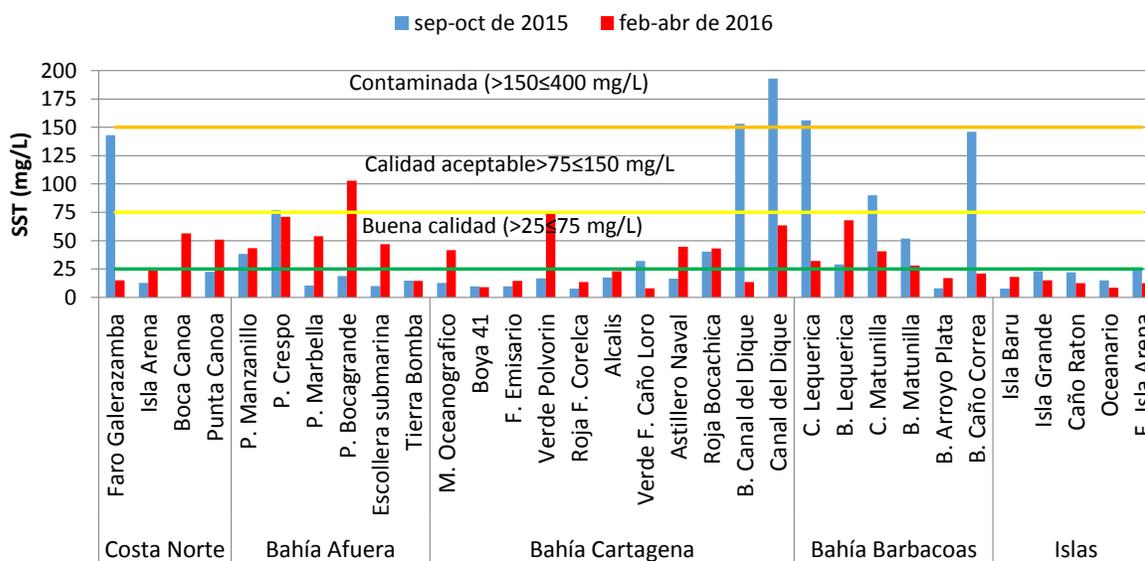


Figura 7-5. Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones REDCAM en Bolívar, medidos en los muestreos de septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Comparando con los registros históricos de SST en aguas superficiales de la REDCAM desde el 2001 (Figura 7-6), se evidencia que la calidad del agua de las estaciones marinas ubicadas en las zonas Costa Norte y Bahía afuera, oscila entre buena y aceptable, según el criterio de clasificación de [CONAGUA \(2015\)](#), incluso las estaciones marinas y estuarinas de la Bahía Cartagena e Islas, pese a la influencia del Canal del Dique y los caños Lequerica y Matunilla, los cuales contienen una alta carga de sólidos. Las condiciones más favorables se presentan en la época seca, comparada con la época lluviosa, cuando las SST incrementan en relación al incremento de las lluvias.

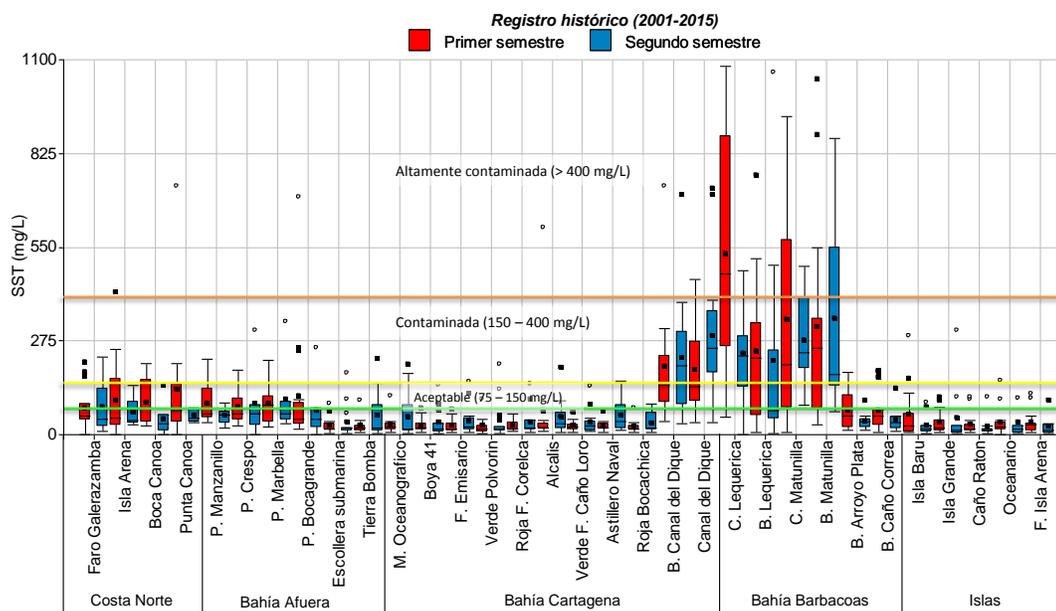


Figura 7-6. Registro histórico de Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Bolívar. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

En la Figura 7-7, se muestran los nutrientes inorgánicos (nitrito: $N-NO_2^-$, nitrato: $N-NO_3^-$ y ortofosfato: $P-PO_4^{3-}$) medidos en las estaciones del departamento de Bolívar en los muestreos de septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016. En la zona Costa Norte, Boca Canoa se registraron las concentraciones más altas de nitrito ($49 \mu\text{g/L}$) y nitrato ($198 \mu\text{g/L}$) en febrero-abril de 2016, superando los registros históricos de la estación ([INVMAR, 2016b](#)). La presencia puntual de estos nutrientes sumada a los altos SST, pueden estar relacionada por la introducción de aguas continentales que contienen material orgánico en descomposición ([Camargo y Alonso, 2006](#)).

En las estaciones ubicadas en la Bahía Afuera, las concentraciones más altas de nitritos, fueron registradas en febrero-abril de 2016 ($2,3 - 9,1 \mu\text{g/L}$; Figura 7-7a) y las de nitratos en septiembre-octubre de 2015 ($10 - 30 \mu\text{g/L}$; Figura 7-7b). Estas concentraciones de nutrientes reflejan la presencia de fuentes como las ciénagas de La Virgen y Juan Polo en el caso de playas y de la bahía de Cartagena sobre la Escollera y Tierrabomba. Dentro de los nutrientes medidos en la bahía, las concentraciones de nitritos fueron más altas en febrero-abril de 2016 ($<LD - 10 \mu\text{g/L}$) a diferencia de las registradas en septiembre-octubre de 2015 donde solo tres (3) de nueve (9) estaciones estuvieron por encima del límite de detección ($<2,2 \mu\text{g/L}$). De manera similar los ortofosfatos solo fueron detectados en las estaciones Tierrabomba ($70 \mu\text{g/L}$) y Escollera submarina ($110 \mu\text{g/L}$), y en las playas se encontraron por debajo del límite de detección ($40 \mu\text{g/L}$).

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

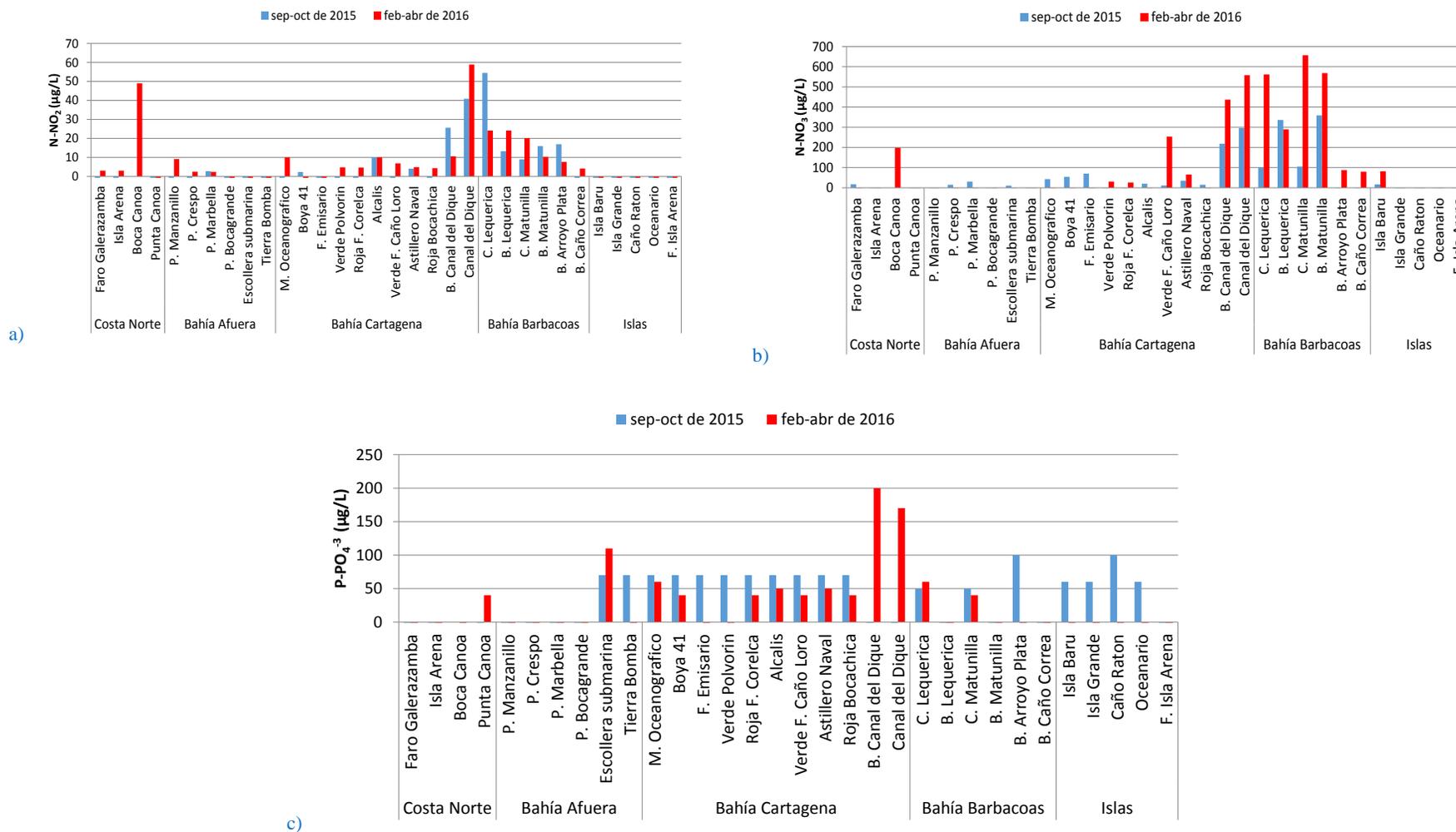


Figura 7-7. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) nitrito (N-NO₂⁻), b) nitrato (N-NO₃⁻) y c) ortofosfato (P-PO₄⁻³), medidos en las estaciones REDCAM del Bolívar en los muestreos de septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016.

En las estaciones de la Bahía de Cartagena, las concentraciones de nitritos fueron más altas en febrero-abril de 2016 ($<LD - 10 \mu\text{g/L}$). En la septiembre-octubre de 2015, las concentraciones disminuyeron y solo tres (3) de nueve (9) estaciones estuvieron por encima del límite de detección de la técnica analítica utilizada ($<2,2 \mu\text{g/L}$). Por otro lado, como se evidencia en la Figura 7-7b, las concentraciones más altas de nitrato fueron obtenidas en febrero-abril de 2016 en las estaciones Boya Verde – Frente Caño Loro ($253 \mu\text{g/L}$) y Astillero Naval ($66 \mu\text{g/L}$), así como en las estaciones del Canal del Dique ($558 \mu\text{g/L}$) y desembocadura Canal del Dique ($437 \mu\text{g/L}$). Lo anterior demuestra que las aguas del Canal del Dique son las que principalmente aportan estos compuestos a la Bahía, éstas aguas por ser más livianas, se mantienen en la superficie y son retenidas en la zona sur de la bahía por efecto de los vientos del Norte durante la época seca ([CIOH, 2005](#)).

En Bahía Barbacoas, las concentraciones más altas de nitrato (NO_3^-) fueron obtenidas en febrero-abril de 2016 en los caños Lequerica ($561 \mu\text{g/L}$) y Matunilla ($657 \mu\text{g/L}$) y boca Matunilla ($568 \mu\text{g/L}$; Figura 7-7b). En general, estas estaciones presentan los nutrientes más elevados, tal como se presentó en las estaciones Canal del Dique y desembocadura Canal del Dique. Lo anterior se relaciona con la entrada de aguas servidas, lixiviados de residuos sólidos y residuos agroindustriales ([Troncoso et al., 2009](#); [INVEMAR y MADS, 2011](#)).

En las Islas del Rosario y Barú, en los dos muestreos, las concentraciones de nutrientes fueron bajas en comparación con las de las otras zonas; los nitratos estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica (Figura 7-7). Los nitritos se detectaron solamente en Isla Barú (septiembre-octubre de 2015: $16,0 \mu\text{g/L}$ y febrero-abril de 2016: $81,0 \mu\text{g/L}$). Los ortofosfatos, solo fueron determinados en la época lluviosa ($<LD - 100 \mu\text{g/L}$), posiblemente debido a la entrada de aguas de la bahía Barbacoas y descargas de aguas residuales por rebosamiento de las pozas sépticas.

En la Figura 7-8, se muestran las concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE), donde los valores obtenidos en Costa Norte indican que en los dos muestreos, las aguas eran aptas para actividades recreativas de contacto primario (natación y buceo) según la normativa colombiana ([MinSalud, 1984](#)). De igual manera, la calidad sanitaria de las playas Manzanillo, Crespo, Marbella y Bocagrande, ubicadas en Bahía Afuera fue adecuada durante los dos muestreos, sin representar un riesgo a los usuarios ($<200 \text{NMP}/100 \text{mL}$; [MinSalud, 1984](#)).

En la Bahía de Cartagena, las concentraciones más altas se presentaron en febrero-abril de 2016, en las estaciones desembocadura del Canal del Dique ($130.000 \text{NMP}/100 \text{mL}$), Boya Verde – Frente Caño Loro ($4.500 \text{NMP}/100 \text{mL}$), Boya Verde – Polvorín ($1.300 \text{NMP}/100 \text{mL}$) y Boya Roja – Frente a CORELCA ($450 \text{NMP}/100 \text{mL}$). Los resultados muestran que pese a la introducción de una alta carga de microorganismos, ya sea por el Canal del Dique o por vertimientos directos, hay un decaimiento de las bacterias debido a las condiciones de dilución, salinidad y alta irradiación solar, propiciando la muerte de estos microorganismos ([Cañón et al., 2007](#); [Tuchkovenko y Rondón, 2002](#)). En la bahía Barbacoas, las concentraciones más elevadas fueron obtenidas en el caño Lequerica ($6.800 \text{NMP}/100 \text{mL}$) y la desembocadura del caño Matunilla ($4.500 \text{NMP}/100 \text{mL}$) en septiembre-octubre de 2015 (Figura 7-8). Lo anterior se asocia al incremento del caudal del Canal del Dique durante este muestreo favoreciendo la introducción de una alta carga de contaminantes de origen fecal, que pueden estar acompañados de organismos patógenos.

En las islas, las concentraciones de CTE, se encontraron en su mayoría por debajo del límite permisible para su uso recreativo por contacto primario ($<200 \text{NMP}/100 \text{mL}$; [MinSalud,](#)

1984). En Isla Grande se registró el valor más alto, con 1.300 NMP/100 mL en febrero-abril de 2016 (Figura 7-8), lo cual se puede relacionar con una entrada de agua residuales domésticas, dada la ausencia de cobertura de alcantarillado en la zona.

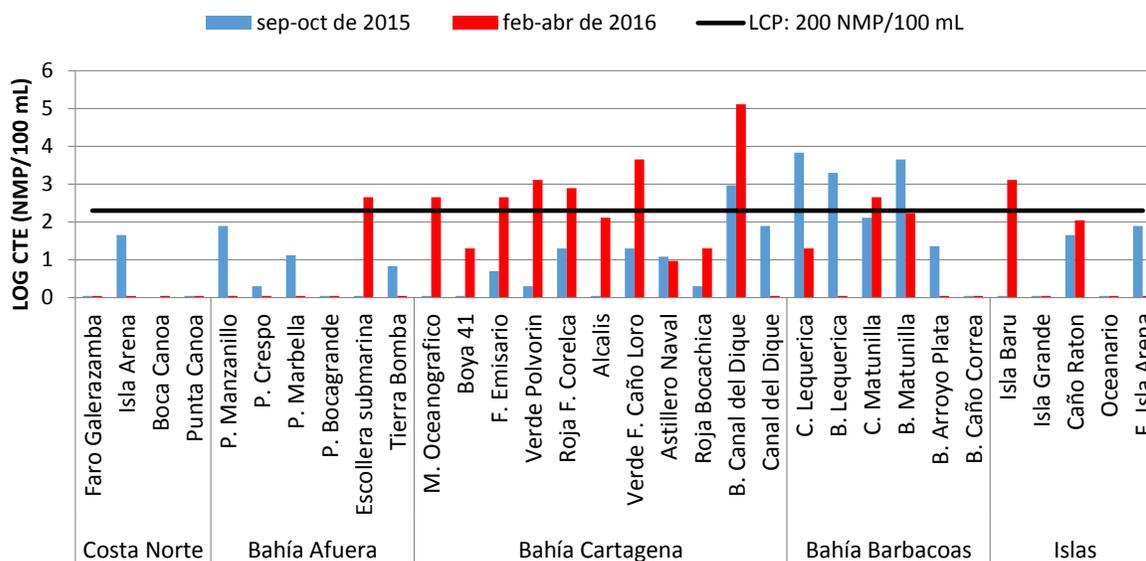


Figura 7-8. Concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en el Departamento de Bolívar, medidos en los muestreos de septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016. La línea negra indica el Límite de Contacto Primario para uso recreativo (200 NMP/100 mL; MinSalud, 1984).

Comparando los resultados con los registros históricos de CTE para la REDCAM desde el 2001 (Figura 7-9), se evidencia que la mayoría de estaciones marinas ubicadas en las zonas Costa Norte, Bahía Afuera e Islas, han estado por debajo del límite para contacto primario (Log 200 NMP/100 mL: 2,3) tanto en el primer semestre, como en el segundo semestre. Mientras que para las estaciones marino-estuarinas ubicadas en la Bahía de Cartagena y Barbacoas, en general durante los periodos de mayores precipitaciones (segundo semestre) se sobrepasa el valor de referencia para contacto primario (200 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)).

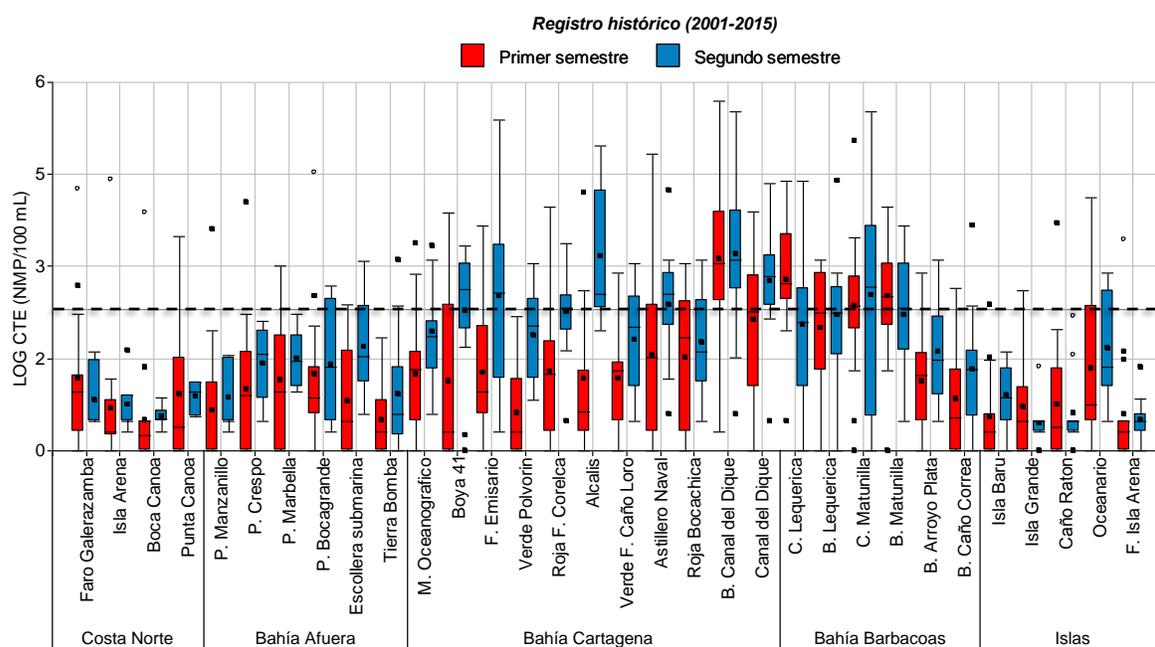


Figura 7-9. Registro histórico de coliformes termotolerantes (incluyendo *E. coli*) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Bolívar. La línea negra punteada indica el máximo permisible para el uso recreativo por contacto primario (200 NMP/100 mL) según MinSalud (1984).

Las concentraciones de metales pesados disueltos medidos en los muestreos de septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016 se muestran en la Tabla 7-1. El cadmio (Cd) disuelto osciló entre el límite de detección (<5 µg/L) y 18 µg/L. Los valores más elevados se registraron en las zonas de la Costa Norte, Bahía Afuera y Bahía de Cartagena. En la gran mayoría de estaciones las concentraciones de Cd superaron el valor de referencia de la NOAA para efectos crónicos en aguas marinas y dulce (Tabla 7-1).

El cromo (Cr) disuelto estuvo por debajo del límite de detección en la gran mayoría de las zonas y estaciones en el muestreo de septiembre-octubre de 2015 y en el muestreo de febrero-abril de 2016, a excepción de las estaciones del caño Matunilla, zona de Barbacoas, septiembre-octubre de 2015, escollera submarina, zona Bahía Afuera y en todas las estaciones de la bahía de Cartagena en febrero-abril de 2016, en donde se registraron concentraciones que superan ampliamente la referencia de 50 µg/L de [CONAMA \(2005\)](#) para efectos crónicos en aguas fluviales y marinas (Tabla 7-1). El cobre (Cu) disuelto en ambos muestreos fue no detectable en algunas estaciones y en otras estuvo por debajo del límite de detección del método utilizado, en la gran mayoría de zonas y estaciones (Tabla 7-1).

Tabla 7-1. Metales pesados disueltos medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Bolívar. Los valores de referencia corresponden a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) y el valor con dos asteriscos () corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005). ND no detectado.**

Zona	Estación	Septiembre-octubre de 2015 (µg/L)						Febrero-abril de 2016 (µg/L)					
		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Costa	Faro Galerazamba	15	<25	ND	79	228	16	5	<25	<20	<25	48	<10

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

Zona	Estación	Septiembre-octubre de 2015 (µg/L)						Febrero-abril de 2016 (µg/L)					
		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Norte	Isla Arena	18	<25	ND	87	251	<10	7	<25	<20	<25	22	<10
	Boca Canoa	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8	<25	<20	<25	51	<10
	Punta Canoa	18	<25	ND	81	325	<10	6	<25	<20	<25	46	<10
Bahía Afuera	P. Manzanillo	13	<25	ND	71	320	28	6	<25	<20	<25	15	<10
	P. Crespo	12	<25	ND	96	224	13	5	<25	<20	<25	15	<10
	P. Marbella	14	<25	ND	71	168	15	<5	<25	<20	<25	25	<10
	P. Bocagrande	10	<25	ND	699	225	21	11	<25	21	<25	189	<10
	Escollera submarina	7	<25	<20	<25	210	<10	14	245	20	<25	67	<10
	Tierra Bomba	7	<25	<20	<25	146	<10	11	422	<20	<25	60	<10
Bahía de Cartagena	M. Oceanográfico	7	<25	<20	<25	174	<10	12	360	20	<25	67	<10
	Boya 41	8	<25	<20	<25	107	<10	14	196	20	<25	75	<10
	F. Emisario	13	<25	<20	<25	246	<10	13	324	20	<25	71	<10
	Verde Polvorín	10	<25	<20	<25	252	<10	12	288	20	<25	58	<10
	Roja F. Corelca	8	<25	<20	<25	176	<10	12	290	20	<25	61	<10
	Álcalis	6	<25	<20	<25	580	<10	14	211	20	<25	73	<10
	Verde F. Caño Loro	13	<25	<20	<25	188	<10	11	234	30	<25	40	<10
	Astillero Naval	10	<25	<20	<25	820	<10	13	313	20	<25	83	<10
	Roja Bocachica	10	<25	<20	<25	183	<10	13	200	20	<25	96	<10
	B. Canal del Dique	8	<25	<20	<25	115	<10	9	245	20	<25	29	<10
Canal del Dique	8	<25	<20	<25	115	<10	9	179	20	<25	22	<10	
Barbacoas	C. Lequerica	7	90	<20	97	800	20	6	<25	<20	<25	73	14
	B. Lequerica	9	<25	<20	79	121	30	8	<25	<20	<25	70	20
	C. Matunilla	10	115	<20	81	122	20	7	<25	<20	<25	81	10
	B. Matunilla	9	164	<20	79	810	10	8	<25	<20	<25	79	10
	B. Arroyo Plata	9	<25	<20	64	840	<10	9	<25	<20	<25	74	<10
	B. Caño Correa	6	<25	30	83	170	<10	10	<25	<20	<25	71	10
Islas	Isla Barú	5	<25	<20	77	570	10	10	<25	<20	<25	76	10
	Isla Grande	8	<25	<20	<25	390	<10	<5	<25	<20	<25	3	<10
	Caño Ratón	8	<25	<20	<25	450	<10	<5	<25	<20	<25	<2,3	<10
	Oceanario	8	<25	<20	<25	210	<10	<5	<25	<20	<25	3	<10
	F. Isla Arena	10	<25	<20	<25	820	<10	<5	<25	<20	<25	<2,3	<10
Referencia Efectos crónicos agua marina	8,8	50**	3,1	8,2	8,1	81	8,8	50**	3,1	8,2	8,1	81	
Referencia Efectos crónicos agua dulce	0,25	50**	9	52	2,5	120	0,25	50**	9	52	2,5	120	

El níquel (Ni) disuelto en el monitoreo de febrero-abril de 2016 en todas las zonas y estaciones estuvo por debajo del límite de detección del método utilizado (<25 µg/L); en el monitoreo de septiembre-octubre de 2015, en la playa Bocagrande se registró la concentración más alta de todo el muestreo (699 µg/L), relacionando su presencia con aportes provenientes de la Ciénaga de La Virgen donde son vertidas aguas residuales y residuos sólidos. Este metal en las estaciones donde se cuantificó, estuvo por encima del valor de referencia de la NOAA para

efectos crónicos tanto en aguas marinas como en dulce (Tabla 7-1). El cobre (Cu) disuelto por su parte no superó la referencia para efectos crónicos en ninguna de las zonas y estaciones en los muestreos realizados.

El plomo (Pb) se registró en elevadas concentraciones en la gran mayoría de las zonas y estaciones en ambos muestreos. La concentración de plomo (Pb) más alta de la zona de Bahía Afuera se registró en la estación playa Manzanillo (320 µg Pb/L), mientras que en la bahía de Cartagena se registraron en las estaciones Astillero Naval (820 µg Pb/L) y Álcalis (580 µg Pb/L) en septiembre-octubre de 2015, resultados que se presume estar asociado a las actividades de las industrias químicas y metalúrgicas de la zona del Mamonal. Todos los valores de Pb determinados superaron el valor de referencia establecido en la NOAA para efectos crónicos en aguas marinas y dulce (Tabla 7-1). Debido a que las más altas concentraciones se dieron durante el aumento de las precipitaciones, su presencia se puede relacionar con la resuspensión y lavado de sedimentos.

En los sedimentos de las estaciones Álcalis y desembocadura Canal del Dique se detectaron hidrocarburos del petróleo equivalente de criseno de 19,86 y 4,70 µg/g respectivamente. Solamente la concentración determinada en la desembocadura del Canal del Dique superó el valor de referencia de 15 µg/g considerado niveles naturales, por lo cual se puede considerar que existe una contaminación baja ([Mora et al., 2010](#)), que estaría relacionado con el alto tráfico de embarcaciones en la zona, y los derrames accidentales que han ocurrido, lo cual ha generado que se depositen estos contaminantes en los sedimentos.

Los metales pesados totales (Cd, Cr, Cu, Ni y Pb) en sedimentos de las estaciones desembocadura del Canal del Dique y Álcalis se muestran en la Tabla 7-2. En ninguna de las estaciones los metales analizados sobrepasaron los valores de referencia para efectos probables, tanto para sedimentos marinos como fluviales.

Tabla 7-2. Metales pesados totales en los sedimentos superficiales de las estaciones Desembocadura Canal del Dique y Álcalis, medidas en septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016 en el departamento de Bolívar. *PEL= Valor de efectos probable en sedimentos fluviales (Buchman, 2008). ND no determinado.

Metales Pesados totales (µg/g)	Desembocadura Canal del Dique		Álcalis		PEL*
	Sep-oct de 2015	feb-abr de 2016	Sep-oct de 2015	feb-abr de 2016	
Cadmio	ND	0,9	1,48	ND	3,53
Cromo	ND	10,16	ND	15,06	90
Cobre	8,56	ND	18,7	ND	197
Níquel	ND	12,08	12,65	ND	35,9
Plomo	7,97	ND	16,16	ND	91,3

7.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

La aplicación del ICAM_{PFF} utilizando la información recolectada en los muestreos de septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016, mostró que en la zona costera del departamento de Bolívar la calidad del agua fluctuó entre Inadecuada y Óptima. En el muestreo de septiembre-octubre de 2015 (Figura 7-10a), se presentó condición Inadecuada en la zona de Barbacoas, estación desembocadura del caño Matunilla, debido a las altas concentraciones de las CTE (4.500 NMP/100ml) y los nitratos (359 µg/L), debido a la influencia de las descargas del Canal del Dique. En el muestreo de febrero-abril de 2016

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

(Figura 7-10b), la condición Inadecuada estuvo en la zona de la Bahía de Cartagena, estaciones escollera submarina, atribuido a las concentraciones de ortofosfatos (110 $\mu\text{g/L}$) y CTE (450 NMP/100ml); y en desembocadura del Canal del Dique relacionado a los ortofosfatos (200 $\mu\text{g/L}$), nitratos (436,9 $\mu\text{g/L}$) y CTE (130.000 NMP/100ml); lo cual se encuentra relacionado con las múltiples actividades antropogénicas que se desarrollan en la zona.

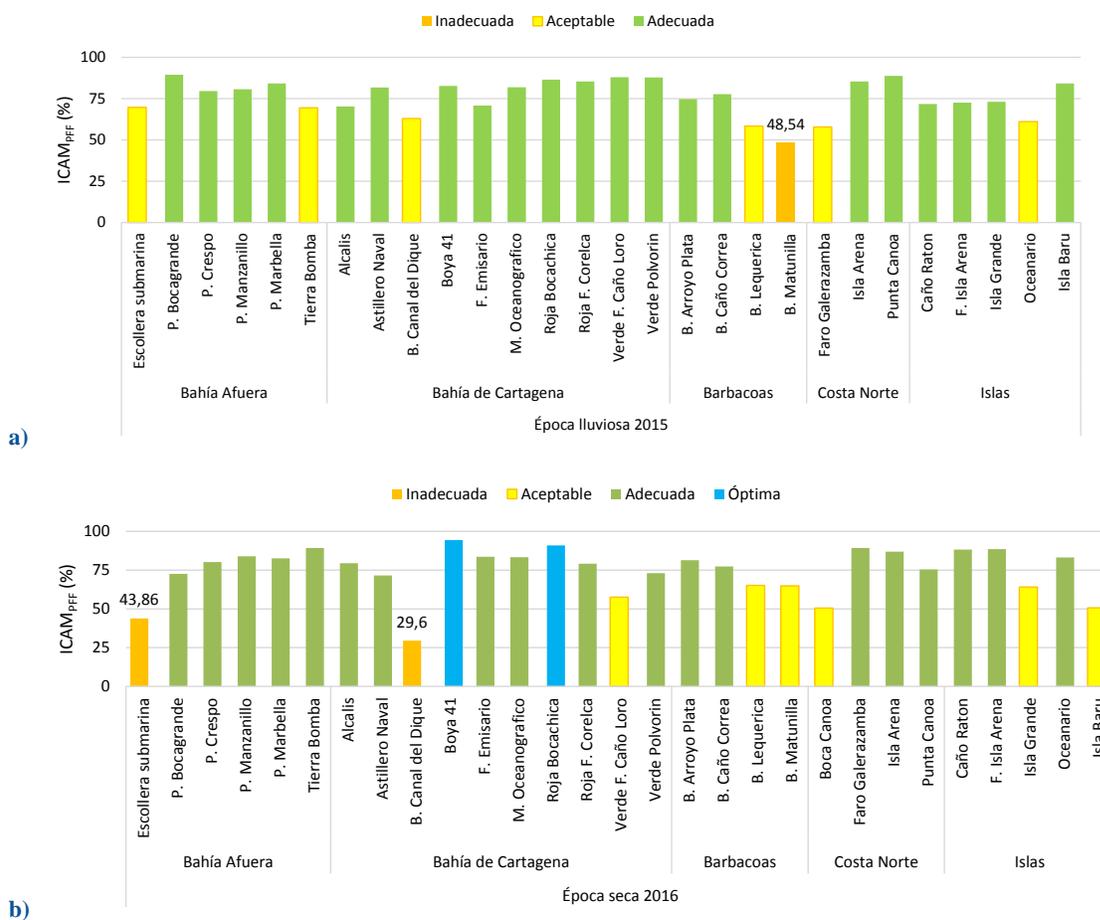


Figura 7-10. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de Bolívar en los muestreos realizados en septiembre-octubre de 2015 (a) y febrero-abril de 2016 (b) evaluadas con el ICAM_{PFF}.

La calidad del agua marino-costera en el departamento de Bolívar evaluada con el ICAM_{PFF} mostró fluctuaciones anuales marcadas en el período de 2001 a 2015. Entre los años 2001 y 2013 se presentó un decaimiento en la calidad del agua, alcanzando en 2008 el 28 % de las estaciones en Inadecuada calidad y en 2009 el 19 % en Pésima calidad; debido a los eventos La Niña de intensidad fuerte y El Niño (Figura 7-11) que favoreció el aumento de las escorrentías que arrastran sustancias contaminantes del continente a las zonas marino-costeras. Históricamente Costa Norte, zonas en Bahía de Cartagena y Barbacoas han presentado el mayor número de estaciones entre una Pésima e Inadecuada condición de calidad, mientras que en las Islas ha prevalecido la condición adecuada; lo cual se relaciona con la influencia de las

descargas de aguas, a las variaciones climáticas y el desarrollo de actividades antropogénicas como el turismo y el tránsito portuario características del departamento.

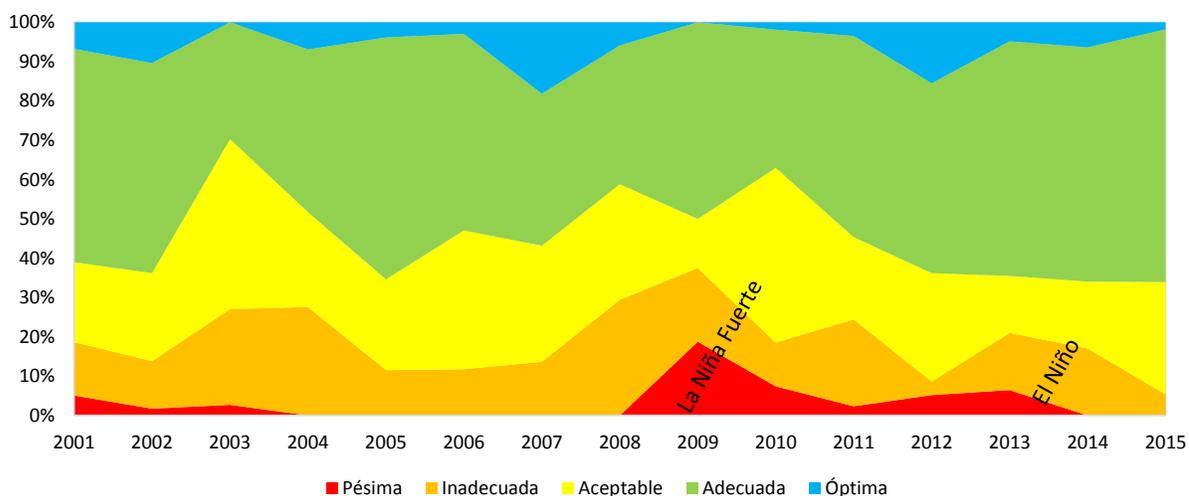


Figura 7-11. Evolución histórica de la calidad del agua marino-costera evaluada con el ICAM_{PFF} en el departamento de Bolívar en el periodo de 2001 a 2015.

Entre los años 2013 y 2015 se evidencian variaciones temporales, en donde el ICAM_{PFF} osciló entre 18,49 % y 96,62 %, marcando las cinco categorías calidad. En el 2013 se presentó la condición de calidad pésima en un 23 % en Bahía Afuera y 13 % en Costa Norte; las condiciones Inadecuada y Aceptable se han presentado con mayor recurrencia en Costa Norte, Bahía de Cartagena y Barbacoas; y condición óptima con poca recurrencia (Tabla 7-3).

Tabla 7-3. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAMPFF en el las zonas del departamento de Bolívar en el periodo de 2013 a 2015.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Bahía Afuera	23%		8%	69%	
	Bahía de Cartagena		5%	10%	75%	10%
	Barbacoas		10%	10%	70%	10%
	Costa Norte	13%	63%	25%		
	Islas		25%	13%	63%	
2014	Bahía Afuera		18%	9%	73%	
	Bahía de Cartagena		16%	16%	63%	5%
	Barbacoas		13%	38%	25%	25%
	Costa Norte		17%	17%	67%	
	Islas		33%		67%	
2015	Bahía Afuera			42%	58%	
	Bahía de Cartagena		5%	20%	75%	
	Barbacoas		11%	22%	56%	11%

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
	Costa Norte		14%	57%	29%	
	Islas			13%	88%	

7.4 CONCLUSIONES

- ❖ Las características fisicoquímicas de las aguas marinas del departamento de Bolívar ubicadas en las zonas de costa norte, bahía afuera e islas, mostraron condiciones adecuadas para la preservación de flora y fauna, en los muestreos de septiembre-octubre de 2015 y febrero-abril de 2016. En tanto que las estaciones ubicadas en las bahías de Cartagena y Barbacoas, tienen calidad inadecuada en octubre-noviembre de 2015 principalmente por su cercanía al Canal del Dique (bahía de Cartagena) y los arroyos Lequerica y Matunilla (bahía Barbacoas), los cuales introducen aguas dulces con alta carga de nutrientes y sólidos en suspensión, debido al aumento de las precipitaciones.
- ❖ La calidad sanitaria de las playas del departamento del Bolívar fue adecuada en los dos muestreos analizados, ya que los CTT y CTE estuvieron por debajo de los límites permisibles para contacto primario (natación y buceo).
- ❖ La calidad de las aguas marinas del Archipiélago de Islas del Rosario y San Bernardo, mostraron buena calidad. Sin embargo, la disminución de la salinidad y pH sumado al aumento de los sólidos suspendidos y turbidez en septiembre-octubre de 2015, muestran la influencia de aguas provenientes de la bahía Barbacoas.
- ❖ La presencia de metales pesados en la mayoría de las estaciones durante la época lluviosa indica la existencia de fuentes asociadas a la escorrentía, a los aportes de caños que transportar aguas del río Magdalena como los caños Lequerica, Matunilla y el arroyo Plata y a los depósitos en los sedimentos frente a la zona industrial de Mamonal que son resuspendidos durante el aumento de precipitaciones. Esto indica un riesgo potencial al cual se encuentra expuesta tanto la población como la flora y fauna de la zona insular.

SUCRE

Paola Obando Madera y Ostin Garcés Ordóñez



Coveñas Puntepedras, Sucre. Foto: José Vega

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

8. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE SUCRE

El departamento de Sucre se encuentra en la región de la llanura del Caribe, al norte del país ubicado entre las coordenadas 10°08'43'' y 08°16'44'' latitudes norte y 74°29'51'' y 74°39'13'' latitudes oeste, con una extensión total es de 10.350,66 km². Predomina un clima cálido influenciado por los vientos alisios del noreste y las brisas marinas, con temperatura media entre 27°C y 30°C ([IGAC, 2014](#), [Gobernación de Sucre, 2012](#)).

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

La población costera del departamento para el año 2016 se estimó en 97.040 habitantes ([DANE, 2017](#)), distribuidos en los municipios de San Onofre (52 %), Santiago de Tolú (34 %) y Coveñas (14 %). Se estima que la producción de aguas residuales en los municipios costeros para ese mismo año alcanzó los 12.868 m³/seg, de los cuales, el 61 % se vertió directamente a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento previo. La producción de residuos sólidos suma los 27,23 t/día, siendo el municipio de Santiago de Tolú el de mayor producción (66 %); estos residuos son dispuestos finalmente en los rellenos sanitarios La Candelaria, Los Cerros y El Oasis ([Superservicios, 2014a](#)).

Con el propósito de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Sucre - CARSUCRE, para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM realiza desde el año 2001 la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras en base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2015 y segundo semestre de 2016.

8.1 ZONAS DE MONITOREO

El departamento de Sucre cuenta con una red de 32 estaciones de monitoreo, distribuidas en tres zonas: San Onofre, Tolú-Coveñas y Golfo Afuera (Figura 8-1). La **zona de San Onofre**, se extiende desde Matatigre hasta la línea imaginaria con el Islote Santa Cruz. La **zona de Golfo Afuera**, que incluye el golfo de Morrosquillo hasta la estación del Golfo 7 con influencia de aguas marinas y actividades industriales de cargue de combustible, y por último, **la zona del corredor Tolú-Coveñas**, que va desde el golfo frente a Berrugas hasta arroyo Villeros, donde se encuentran aguas estuarinas y fluviales, como los caños y arroyos intermitentes que drenan a la zona costera, y es la zona con mayor actividad turística en las playas (Figura 8-1).

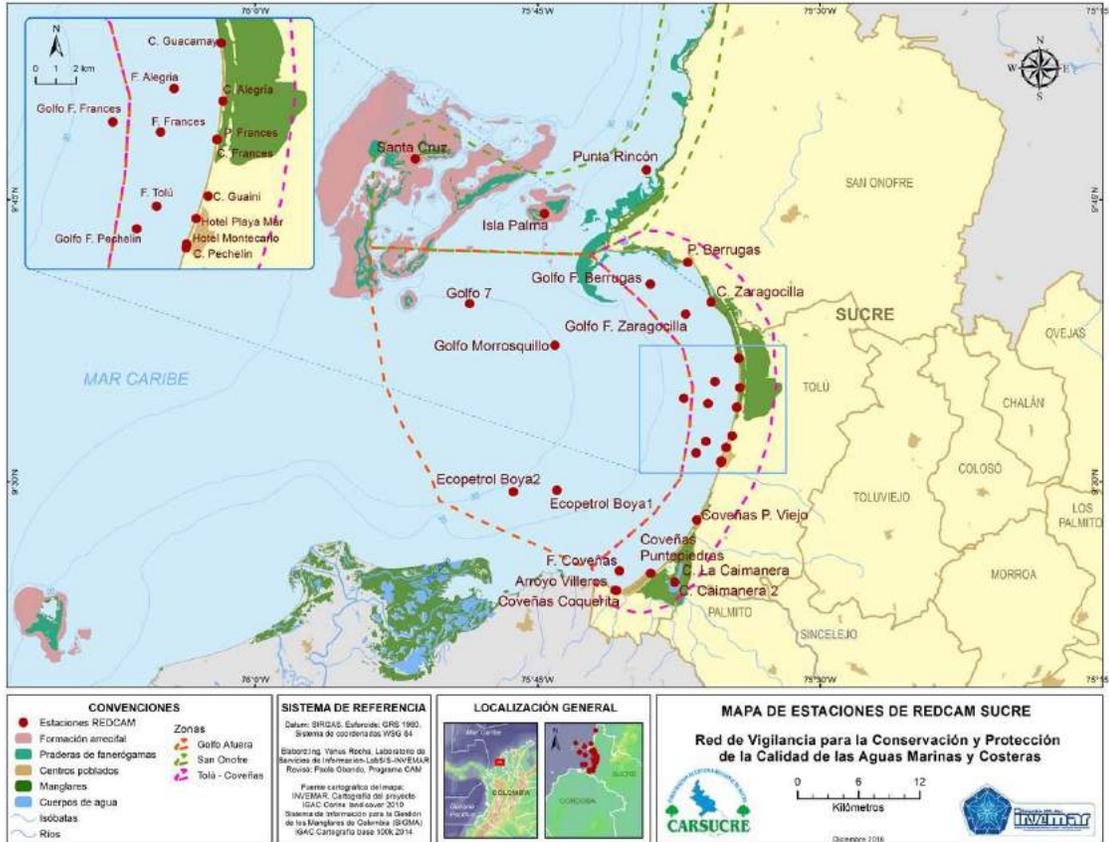


Figura 8-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el departamento de Sucre.

Los muestreos fueron realizados por INVEMAR con el apoyo de CARSUCRE, entre el 14 y 16 de septiembre de 2015 (en adelante, sep-15) y entre el 25 y 26 de julio de 2016 (en adelante, jul-16). En las estaciones se realizaron mediciones *in situ* de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, y se analizó en el agua superficial los nutrientes inorgánicos disueltos, sólidos suspendidos totales, coliformes totales y termotolerantes, enterococos fecales, hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno, plaguicidas organoclorados y organofosforados y metales pesados. En la estación la Caimanera, se tomó una muestra de sedimento para medir materia orgánica, hidrocarburos del petróleo, plaguicidas y metales pesados.

8.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

En la Figura 8-2 se muestran los valores de salinidad del agua superficial en las estaciones del departamento Sucre, medidos en los muestreos de septiembre de 2015 y julio de 2016. En la zona de San Onofre la salinidad osciló entre 30,1 y 32,4, valores que permiten clasificar las aguas como marinas mesohalinas (30-34) de acuerdo a las categorías de [Knox \(2001\)](#). En la zona de Golfo Afuera osciló entre 28,6 y 31,5; clasificando como aguas marinas oligohalina (17-30) y mesohalina (30-34); mientras que en la zona Tolú-Coveñas las estaciones tuvieron salinidades entre 17,1 y 32,7 que corresponden a aguas marinas oligohalinas (17-30) y mesohalinas (30-34), con valores más bajos en el muestreo de septiembre 2015 en las

estaciones Frente el Francés y Playa Francés. Los Caño Alegría y Caño Zaragocilla tuvieron salinidades entre 0,2 y 0,9 respectivamente, clasificando como aguas dulce (0-0,5) y estuarina oligohalina (0,5-3,0; [Knox \(2001\)](#)).

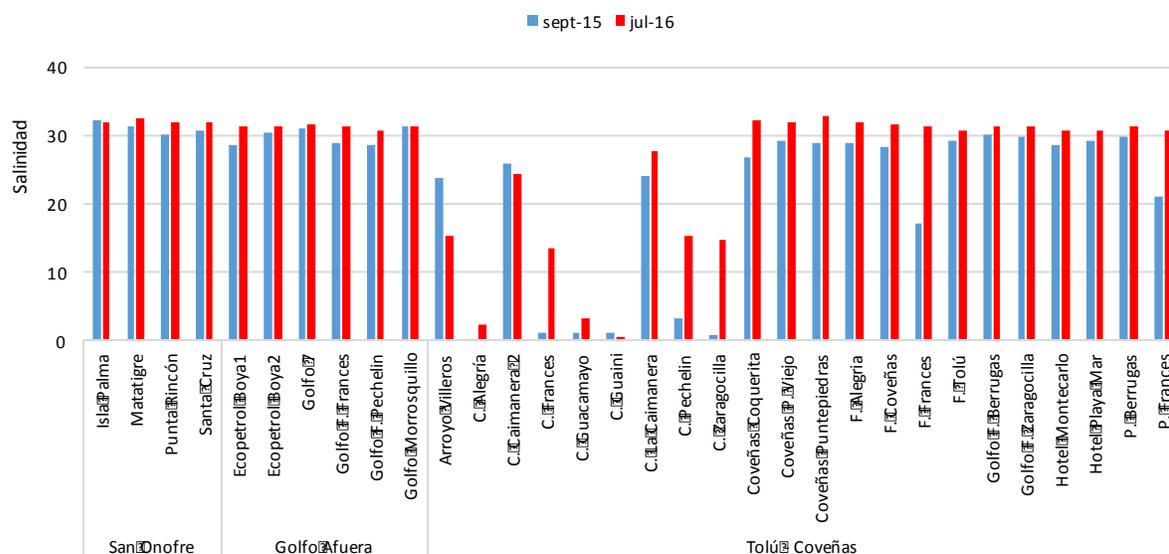


Figura 8-2. Salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM Sucre, en septiembre 2015 y julio 2016.

La temperatura del agua superficial en las estaciones ubicadas en el golfo de Morrosquillo osciló entre 28,8 y 35,2 °C, encontrando valores que superan el rango de temperatura superficial de agua de mar en el golfo, descrito por [Bastidas y Ordóñez \(2017\)](#) para la época húmeda (meses de mayo a noviembre), en particular durante el muestreo de septiembre 2015 en las estaciones hotel Playa Mar (34,4 °C) y playa Francés (35,2 °C).

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) estuvieron entre 0,11 y 10,1 mg de O₂/L (Figura 8-3). En las estaciones de los caños Alegría y Francés se presentaron los valores más bajos, entre 0,11 y 0,93 mg de O₂/L en los muestreos de septiembre de 2015 y julio de 2016, inferiores al criterio de calidad para la preservación de flora y fauna ([MinSalud, 1984](#)). Situación que históricamente se ha presentado en ambas estaciones, debido a la influencia de las descargas de aguas residuales. Mientras que en la estación frente Francés el OD se observó un valor de sobresaturación, 10,1 mg O₂/L (Figura 8-3) que no garantiza la preservación de la biota aerobia ([Manahan, 2007](#)).

El pH osciló entre 6,75 y 9,7 (Figura 8-4), encontrándose dentro del rango permisible del Decreto 1594 de 1984, para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5-9,0), marinas y estuarinas (6,5- 8,5 [MinSalud, 1984](#)), a excepción de la estación caño Alegría, donde se registró un valor de 9,7 superando el valor máximo permisible para aguas dulces, lo cual tiene relación con las bajas de oxígeno y la influencia de las actividades antropogénicas.

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

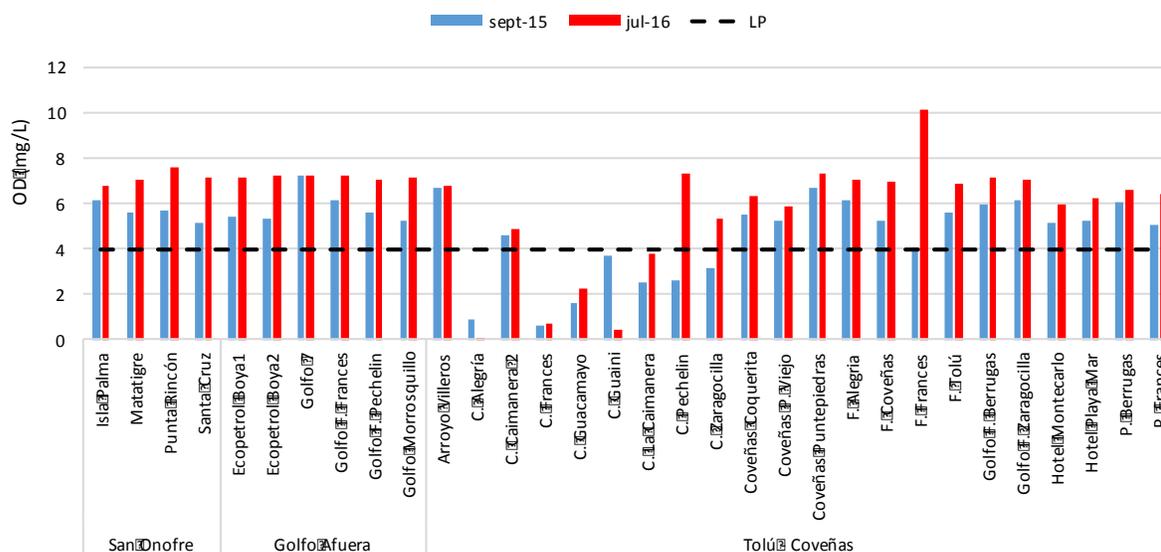


Figura 8-3. Oxígeno disuelto (OD) del agua superficial en las estaciones REDCAM en Sucre medidos en los muestreos de septiembre de 2015 y julio de 2016. La línea punteada indica el criterio de calidad (>4,0 mg de O₂/L) para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

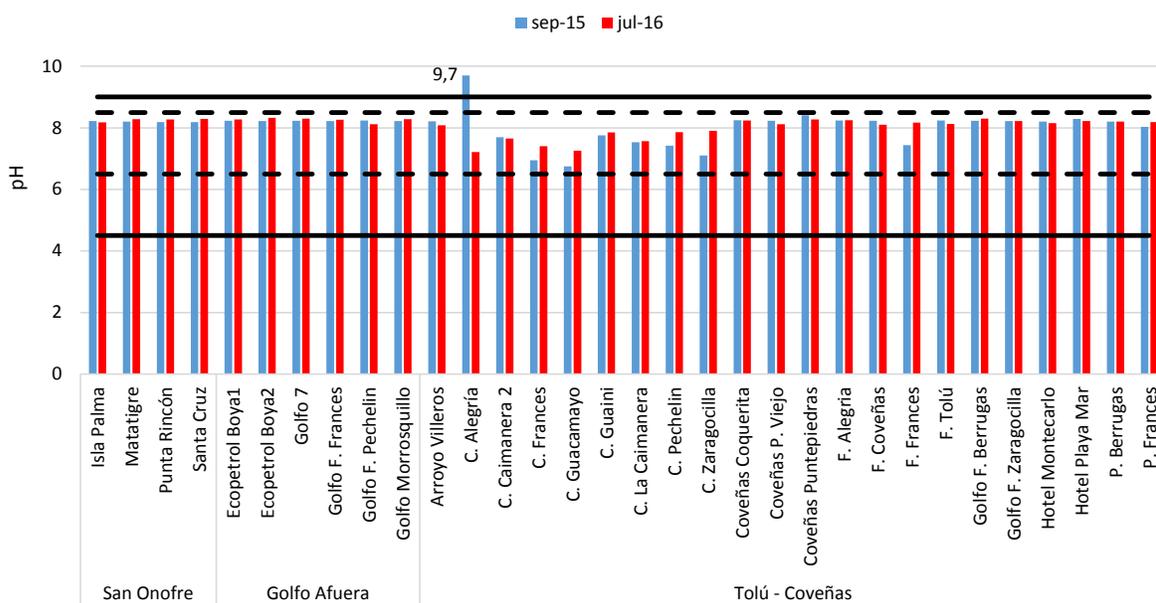


Figura 8-4. Valores de pH del agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM Sucre, medidos en los muestreos de septiembre de 2015 y julio de 2016. Las líneas negras continuas señalan el rango permisible para preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce (4,5-9,0) y las líneas negras punteadas el rango permisible en aguas cálidas marinas y estuarinas (6,5-8,5) según MinSalud (1984).

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 5,95 y 128,2 mg/L, encontrándose las mayores concentraciones en las estaciones Hotel Montecarlo y Hotel Playa Mar (Figura 8-5). Estos valores se relacionan con la alta actividad turística y a las descargas de los arroyos. Comparando los resultados con los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de

acuerdo a las concentraciones de SST, propuesto por [CONAGUA \(2015\)](#), la mayoría de las estaciones clasifican con aguas de calidad excelente, buena y aceptable (Figura 8-5).

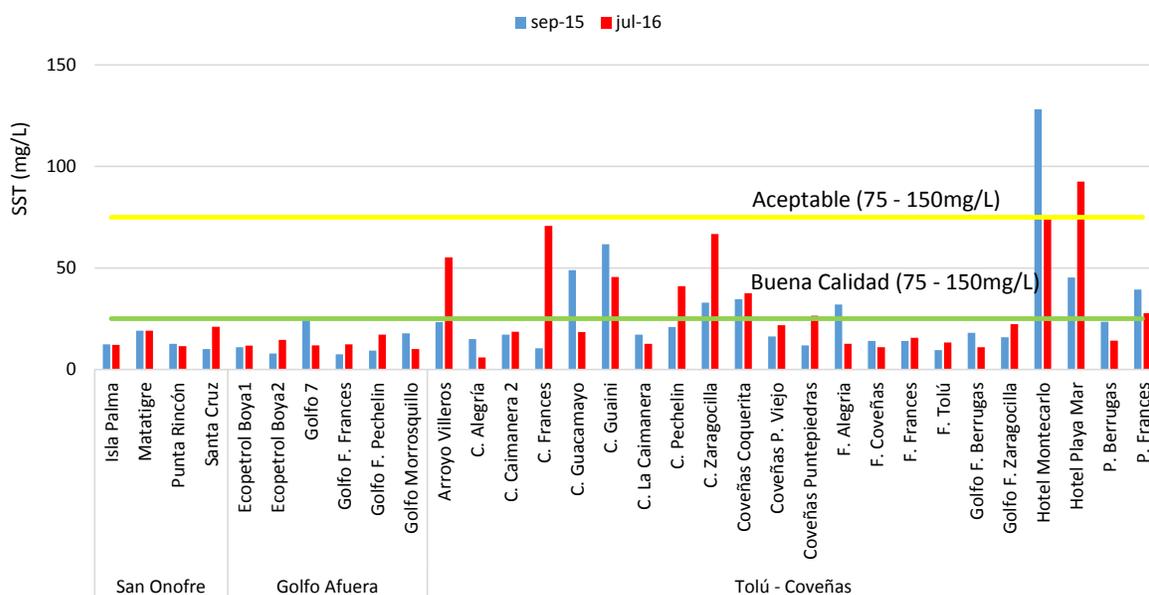


Figura 8-5. Sólidos suspendidos totales en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM Sucre, medidos en los muestreos de septiembre de 2015 y julio de 2016. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST, propuesto por CONAGUA (2015).

Históricamente, las concentraciones de SST han presentado mayores variaciones entre las zonas de muestreo (Figura 8-6). En San Onofre y Golfo Afuera, la gran mayoría de las mediciones de SST han estado por debajo de los 75 mg/L, y de acuerdo a la referencia de [CONAGUA \(2015\)](#), las aguas han tenido buena calidad (Figura 8-6). En la zona de Tolú-Coveñas se han registrado en rango más amplio las concentraciones de SST, esto debido a la presencia de caños y arroyos y a una mayor actividad antrópica, una gran proporción de las estaciones en esta zona han tenido SST por debajo de los 75 mg/L, clasificando como aguas de buena calidad, otras estaciones como los caños Francés y Zaragocilla, y Hotel Montecarlo, han tenido concentraciones de SST mayor de 75 mg/L y menor de 400 mg/L, por lo que las aguas han tenido calidad aceptable y han estado contaminadas de acuerdo a la referencia de [CONAGUA \(2015\)](#) (Figura 8-6).

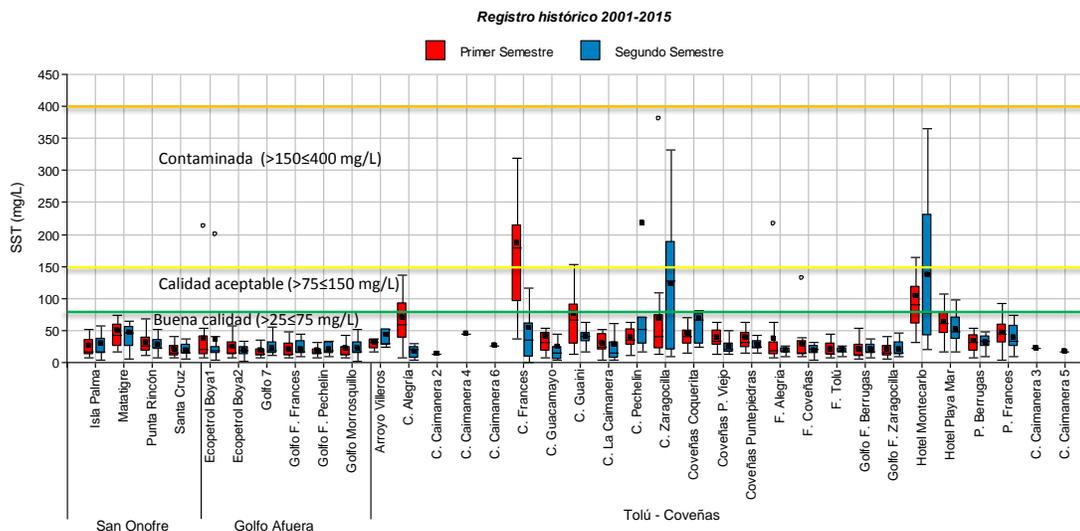
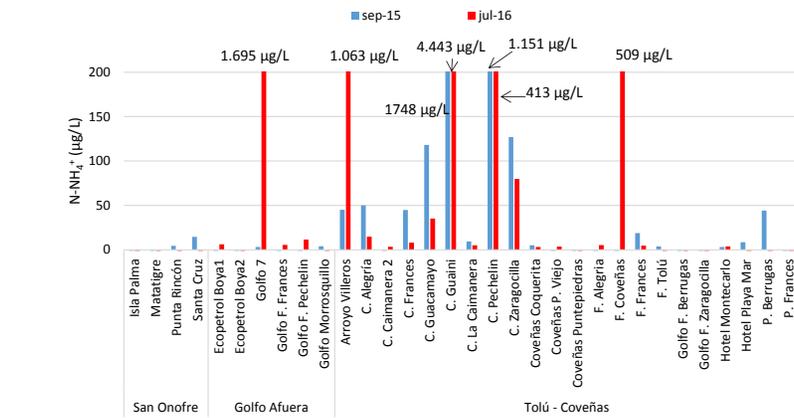


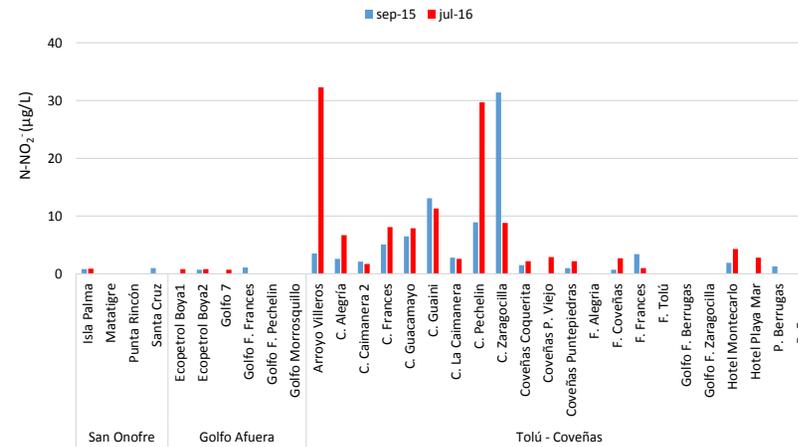
Figura 8-6. Registro histórico de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM Sucre. La línea de color naranja indica el rango de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

En la Figura 8-7 se muestran las concentraciones de los nutrientes inorgánicos disueltos amonio (N-HN_4^+), nitritos (N-NO_2^-), nitratos (N-NO_3^-) y ortofosfatos (P-PO_4^{3-}) en aguas de las estaciones del departamento registrados en septiembre de 2015 y julio de 2016. Estos nutrientes son de interés ambiental debido a que pueden causar eutrofización y deterioro de la calidad del agua. Además, dichos nutrientes favorecen la productividad primaria de los sistemas acuáticos, y cuando se encuentran en altas concentraciones pueden causar florecimientos algales que pueden causar grandes oscilaciones de concentración del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, creando condiciones adversas para otras especies aerobias, y causando mortandades de organismos aerobios (Fontúrbel, 2005; Manahan, 2007).

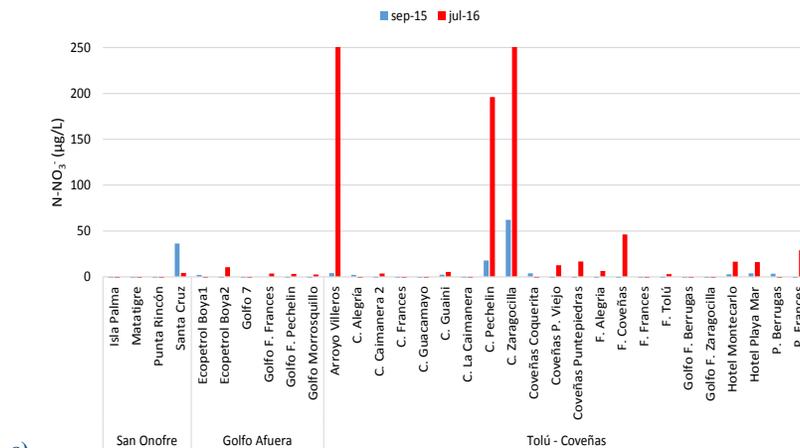
En septiembre de 2015 y julio de 2016, las concentraciones de amonio oscilaron entre límite de detección del método utilizado en el LABCAM ($<3,1 \mu\text{g/L}$) y $4.443 \mu\text{g/L}$ (Figura 8-7a), encontrándose las concentraciones más altas en las estaciones Golfo 7, arroyo Villeros, los caños Guainí y Pechelín, y Frente Coveñas, lo cual está relacionado con vertimientos de aguas residuales y con las bajas concentraciones de oxígeno disuelto que se registraron principalmente en los caños y arroyos. Los nitritos fluctuaron entre el límite de detección ($<0,7 \mu\text{g/L}$) y $32,3 \mu\text{g/L}$ y los nitratos entre ($<2,1 \mu\text{g/L}$) y $295 \mu\text{g/L}$ (Figura 8-7b y c), presentándose los valores más elevados en las estaciones arroyo Villeros, caños Pechelín y Zaragocilla en la zona Tolú-Coveñas en el muestreo de julio 2016. Los ortofosfatos estuvieron entre el límite de detección del método ($<2,4 \mu\text{g/L}$) y $1.091 \mu\text{g/L}$ (Figura 8-7), fueron elevados en los caños Pechelín, Alegría, Guainí, Francés y Guacamayo, con valores superiores a los $200 \mu\text{g/L}$, lo cual indica la influencia de vertimientos de aguas residuales domésticas y de las escorrentías agrícolas; donde el aumento en los caudales de los ríos y arroyos contribuyen a los aportes de nutrientes (Ospina y Quintana, 2015).



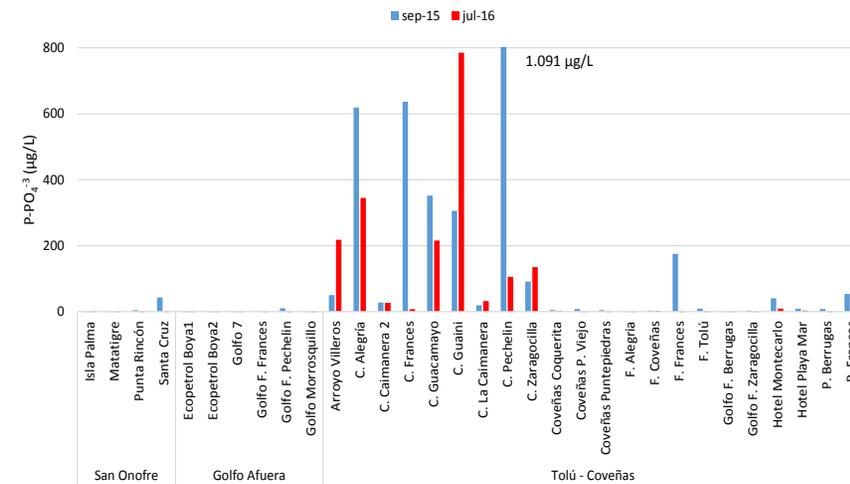
a)



b)



c)



d)

Figura 8-7. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitrito (N-NO₂⁻), c) nitrato (N-NO₃⁻) y ortofosfato (P-PO₄⁻³), medidos en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre en los muestreos de noviembre de 2015 y julio de 2016.

En la Figura 8-8 se presentan los resultados de las concentraciones de coliformes totales (CTT). Las estaciones en Golfo Afuera se encontraron en adecuadas condiciones con concentraciones por debajo del criterio de calidad para el uso recreativo del agua por contacto primario (1.000 NMP/100 mL) y secundario (5.000 NMP/100 mL; [MinSalud, 1984](#)). En estaciones de la zona de Tolú-Coveñas, se presentaron concentraciones de CTT elevadas, principalmente en los caños y en algunas playas, superando los criterios de calidad para contacto primario y secundario en el muestreo de julio de 2016. Estos resultados que se relacionan con las altas concentraciones de nutrientes como el amonio y ortofosfatos, dan indicio de contaminación por los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento, que están afectando la calidad de las aguas.

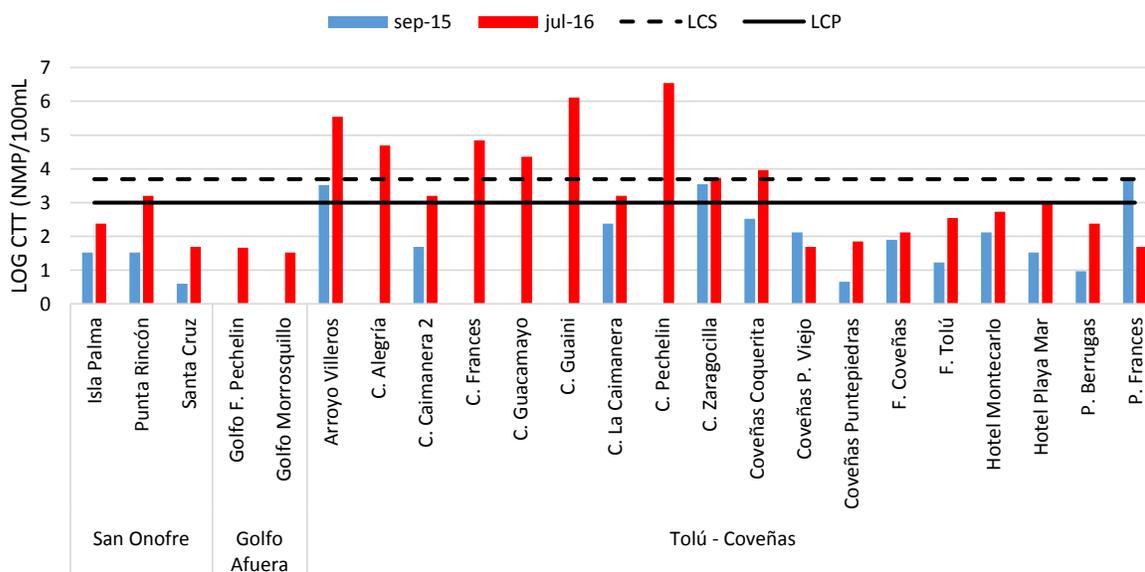


Figura 8-8. Coliformes totales (CTT) en el agua superficial en las estaciones REDCAM en Sucre, medidos en septiembre de 2015 y julio de 2016. La línea negra punteada es el máximo permisible para el uso recreativo por contacto secundario (5.000 NMP/100 mL), y la línea continua el máximo permisible para contacto primario (1.000 NMP/100 mL) según MinSalud (1984).

Las concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) encontradas en estas estaciones (Figura 8-9), corroboran que la contaminación microbiológica es de origen fecal. En el muestreo de julio de 2016, las zonas de San Onofre y Tolú-Coveñas, presentaron estaciones con concentraciones que superan el límite de contacto primario de 200 NMP/100mL, especialmente la estación caño Pechelín con 3'500.000 NMP/100 mL, y la playa Coveñas-Coquerita 5.400 NMP/100mL (Figura 8-9).

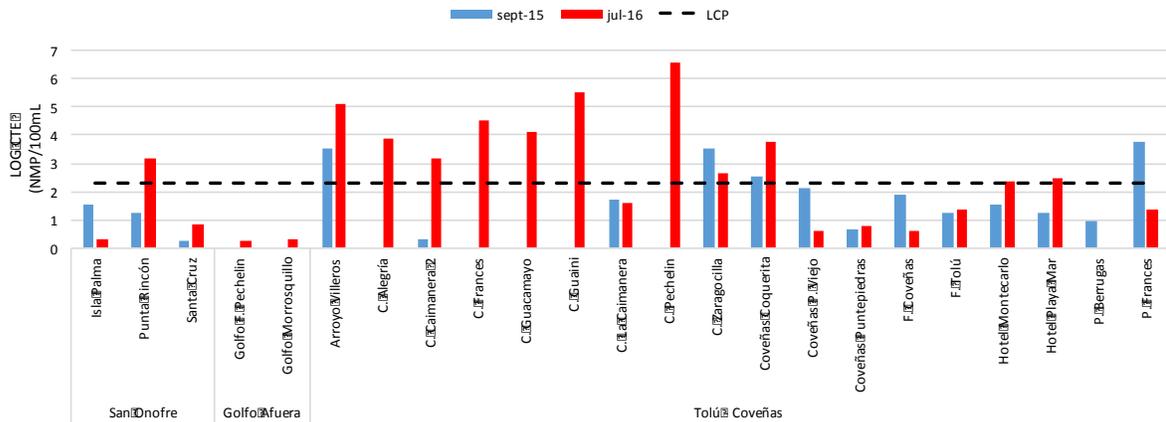


Figura 8-9. Coliformes termotolerantes (CTE) en el agua superficial en las estaciones REDCAM en el departamento de Sucre, medidos en los muestreos de septiembre de 2015 y julio de 2016. La línea punteada corresponde al criterio de calidad para el uso recreativo por contacto primario (200 NMP/100 mL) según MinSalud (1984).

La evaluación de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de crisenol (HPDD) mostró que las concentraciones de estos compuestos oscilaron entre 0,8 y 3,59 µg/L, valores que se encuentran por debajo de las referencias de 5 µg/L para aguas costeras con contaminación baja, y de 10 µg/L para aguas marinas con contaminación alta (UNESCO, 1984; Zanardi *et al.*, 1999; Acuña-Gonzalez *et al.*, 2004). Estos resultados indican que aunque los HPDD están presentes en el medio marino y costero del departamento, las concentraciones no representan un riesgo para la biota acuática. La máxima concentración se presentó en septiembre 2015, en la estación Hotel Montecarlo 3,59 µg/L, lo cual podría estar determinado por el tránsito de embarcaciones menores que se da en las cercanías.

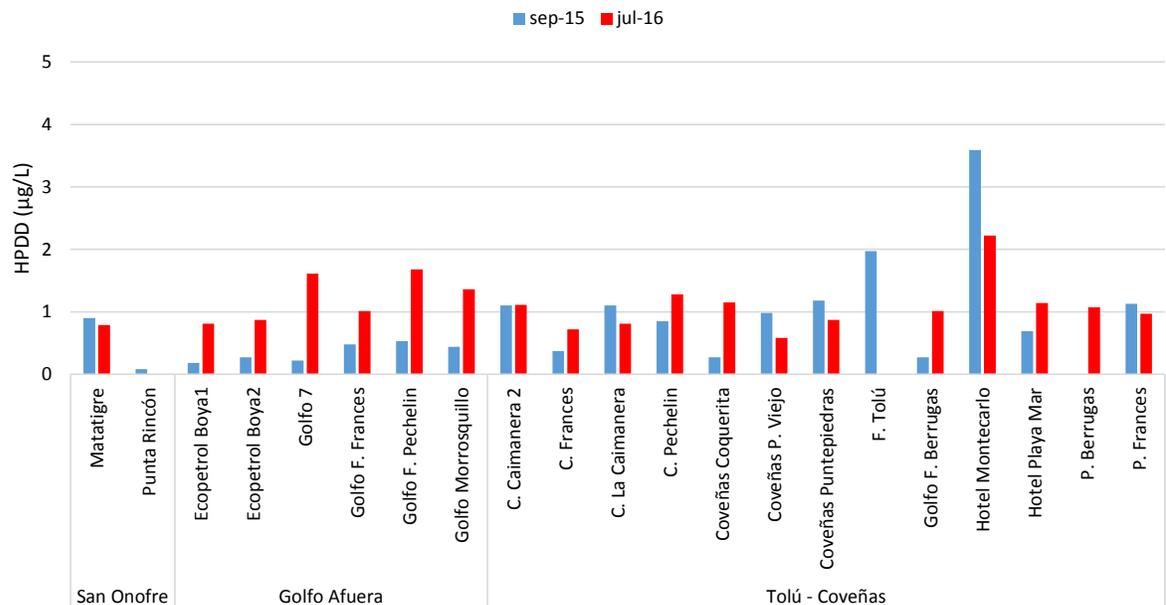


Figura 8-10. Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de crisenol (HPDD) medidos en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre en los muestreos de septiembre de 2015 y julio de 2016.

Históricamente, en las estaciones de monitoreo de Sucre, las concentraciones de HPDD han sido muy fluctuantes, encontrándose algunos casos puntuales de valores por encima de la referencia para aguas altamente contaminadas (10 µg/L) y con contaminación baja (5µg/L; [UNESCO, 1984](#); [Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-Gonzalez et al., 2004](#)) en las estaciones de la zona de golfo Afuera y Tolú-Coveñas, los cuales han estado asociadas a eventos de derrame de hidrocarburos y residuos en aguas de sentina ([INVEMAR, 2014a](#); [2014b](#)).

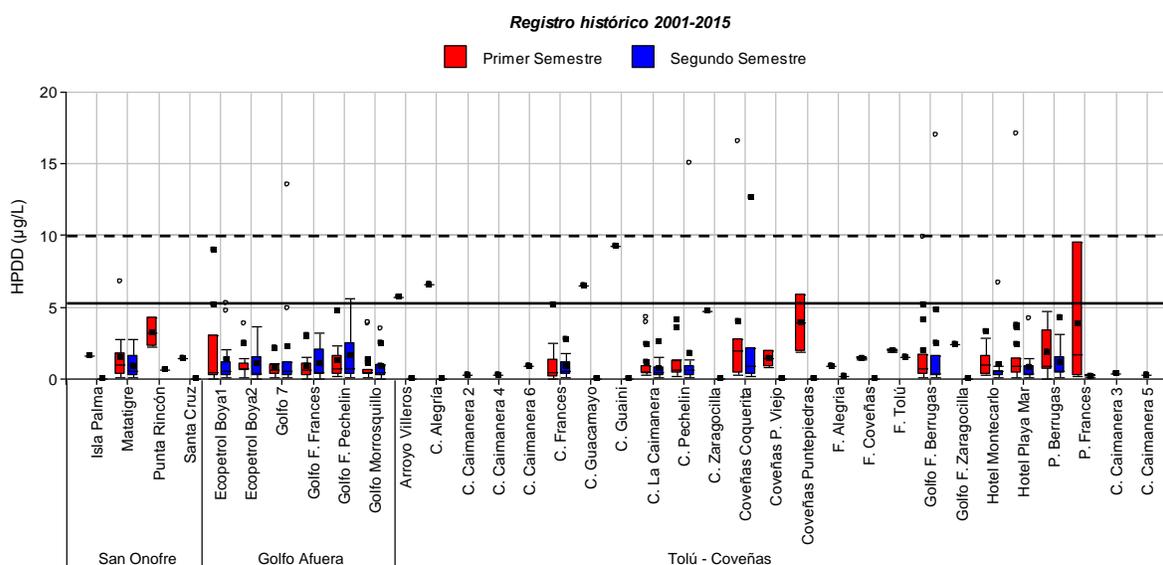


Figura 8-11. Histórico de las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de crseno (HPDD) medidos en las estaciones REDCAM del departamento de Sucre en el primer y segundo semestre de los años 2001 – 2015.

En cuanto a los plaguicidas, en el muestreo de septiembre de 2015 se detectó el organofosforado Diazinon en la estación Coveñas –Coquerita en una concentración de 34,1 ng/L, valor que no supera la referencia de 820 ng/L para efectos crónicos en agua marina de la [EPA \(2016\)](#). Este plaguicida organofosforado es comúnmente utilizado para el control de insectos en el suelo, cosechas de frutas y hortalizas, y en productos del hogar para el controlar las moscas, pulgas y cucaracha ([ATSDR, 2008](#)). También se detectó organoclorado endrín cetona en la estación ciénaga La Caimanera 2 en una concentración de 32,4 ng/L, valor que superó la referencia de 2,3 ng de Endrín/L para efectos crónicos en aguas marinas sugerido por [EPA \(2016\)](#). El endrín cetona es un producto de degradación del endrin cuando se expone a la luz, es considerado altamente toxico por causar efectos nocivos que incluyen daños en el sistema nervioso y muerte ([ATSDR, 1997](#)) y cuyo uso en Colombia ha sido prohibido mediante resolución 447 de 1974 de Ministerio de Agricultura.

En el muestreo de julio de 2016 solo se detectó el plaguicida organofosforado Bromacil en la estación Matatigre, en una concentración de 22 ng/L. Este plaguicida, utilizado para el control de malezas en zonas no cultivadas y en cultivos de piña y cítricos ([PNUMA y FAO, 1999](#)), no cuenta con límites permisibles en Colombia, ni valores de referencia para efectos adversos en la biota acuática [EPA \(2016\)](#). En este muestreo no se detectaron plaguicidas organoclorados en el agua superficial de ninguna de las estaciones de monitoreo.

Las concentraciones de los metales pesados disueltos: cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu) hierro (Fe), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) medidos en el agua superficial en las estaciones de muestreo en septiembre de 2015 y julio de 2016, se muestran en la Tabla 8-1. El Cd, Cr y Cu estuvieron por debajo de los límites de detección del método analítico utilizado en el LABCAM (<0,42 µg Cd/L; <0,97 µg Cr/L y 0,9 µg Cu/L) en ambos muestreos y no superaron los valores de referencia de efectos crónicos en aguas dulces y marinas (Buchman, 2008; Tabla 8-1).

El Fe fluctuó entre el límite de detección de la técnica (<4,7 µg/L) y 48,1 µg/L, encontrándose las mayores concentraciones en el muestreo de septiembre de 2015. Estas concentraciones no representan ningún riesgo para la biota acuática debido a que estuvieron por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos en aguas dulces y marinas. El Ni fue cuantificado en las estaciones Matatigre (1,8 µg/L), Coveñas Coquerita (2,1 µg/L) y golfo frente a Berrugas (1,6) en el muestreo de septiembre de 2015, y en la estación frente al caño Alegría (1,3 µg/L) en julio de 2016, valores que se encontraron por debajo de la referencia para efectos crónicos en aguas dulce y marina.

El Pb se cuantificó en algunas estaciones de muestreo en septiembre de 2015 sin sobrepasar las referencias para efecto crónicos según el tipo de agua (Tabla 8-1). De igual manera, el Zn se cuantificó solamente en algunas estaciones de muestreo en junio de 2016 con valores de 8,8 µg/L en la ciénaga de la Caimanera y 28 µg/L frente al caño Alegría, sin sobrepasar las referencias para efectos crónicos, por lo cual no representa ningún riesgo para la biota acuática.

Tabla 8-1. Metales disueltos medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Sucre. Los valores de referencia corresponde a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) y el valor con dos asteriscos (*) corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005).**

Zona	Estación	Metales disueltos en septiembre 2015 (µg/L)							Metales disueltos en julio 2016 (µg/L)						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
San Onofre	Golfo Morrosquillo	<0,42	<0,97	<0,9	6,7	<1,0	4,3	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	6,4	<1,0	<3,1	<6,9
Golfo Afuera	Matatigre	<0,42	<0,97	<0,9	32,9	1,8	3,2	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
Tolú - Coveñas	C. Caimanera 2	<0,42	<0,97	<0,9	48,1	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	15,5	<1,0	<3,1	8,8
	C. La Caimanera	<0,42	<0,97	<0,9	43,5	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	6,7	<1,0	<3,1	<6,9
	Coveñas Coquerita	<0,42	<0,97	<0,9	39,4	2,1	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	5,9	<1,0	<3,1	<6,9
	F. Alegría	<0,42	<0,97	<0,9	17,6	<1,0	5,4	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	1,3	<3,1	28
	Golfo F. Berrugas	<0,42	<0,97	<0,9	18,4	1,6	3,3	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	6,1	<1,0	<3,1	<6,9
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,8	50*	1,3	50	8,2	8,1	81	8,8	50*	1,3	50	8,2	8,1	81
Referencia Efectos crónicos agua dulce		0,25	50*	9	350	52	2,5	120	0,25	50*	9	350	52	2,5	120

En los sedimentos analizados en la ciénaga La Caimanera, se encontró una traza de hidrocarburos del petróleo equivalentes del criseno (HP) de 0,64 µg/g en septiembre 2015, estando por debajo del valor de referencia en sedimentos marinos de 15 µg/g, valor considerado como nivel natural (Mora *et al.*, 2010). En julio de 2016 los HP estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica (< 0,007 µg/g).

En cuanto a los plaguicidas, en septiembre 2015 se detectaron en el sedimento de la ciénaga La Caimanera el organofosforado Cis-permetrina (isómero de la Permetrina) en una concentración de 26,87 ng/g y el organoclorado metoxicloro en una concentración de 9,97 ng/g. La Permetrina se utilizaba para controlar plagas de insectos en cultivos, ganadería, en jardines y al interior de las viviendas, y en los humanos para combatir parásitos dérmicos como los piojos y escabiosas, y para la protección de la madera. Este plaguicida es considerado mortal para la vida acuática, principalmente para peces y crustáceos, por lo cual en algunos países su uso es restringido (RAP, 2009). El metoxicloro por su parte, es usado para el control de moscas, mosquitos, cucarachas y otros insectos, en cosechas agrícolas, en ganado y depósitos de alimentos como cereales, y no se acumula en la cadena alimentaria (ATSDR, 2002). En julio de 2016, no se cuantificaron residuos de plaguicidas en los sedimentos de esta estación. Estos plaguicidas no cuentan con límites permisibles en Colombia ni valores de referencia para efectos adversos en la biota acuática.

Las concentraciones de metales en sedimentos (cromo, cobre, zinc, hierro y mercurio) no superaron las referencias para efectos probables en la biota en sedimentos marinos propuesto por la NOAA (Buchman, 2008; Tabla 8-2).

Tabla 8-2. Metales totales en los sedimentos de la estación ciénaga La Caimanera medidos en los muestreos de septiembre de 2015 y julio de 2016. Los valores de referencia para efectos probables se tomaron de Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008). (-) no medido.

Metal	Unidad	Muestreo de septiembre de 2015	Muestreo de julio de 2016	Referencia PEL*
Pb	µg/g	<4,0	<4,0	112
Cd	µg/g	<0,5	<0,5	4,2
Cr	µg/g	6,7	22,6	160
Cu	µg/g	<1,9	10,1	108
Zn	µg/g	23,3	41,5	271
Ni	µg/g	<2,0	<2,0	42,8
Fe	mg/g	6,9	10,1	-
Hg	ng/g	-	29,87	700

8.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

La calidad del agua marino-costera en el departamento de Sucre evaluada con el ICAM_{PFF} entre el muestreo de septiembre de 2015 y julio de 2016, estuvo entre óptima e inadecuada para la preservación de la flora y fauna marina. En la estación caño Zaragocilla la calidad estuvo inadecuada en ambos muestreos, debido a las altas concentraciones de nitratos y ortofosfatos y a los bajos niveles de oxígeno disuelto. La condición aceptable se presentó en playa Francés, Santa Cruz, punta Rincón y Coveñas Coquerita, lo cual indica que el agua tuvo pocas restricciones de uso.

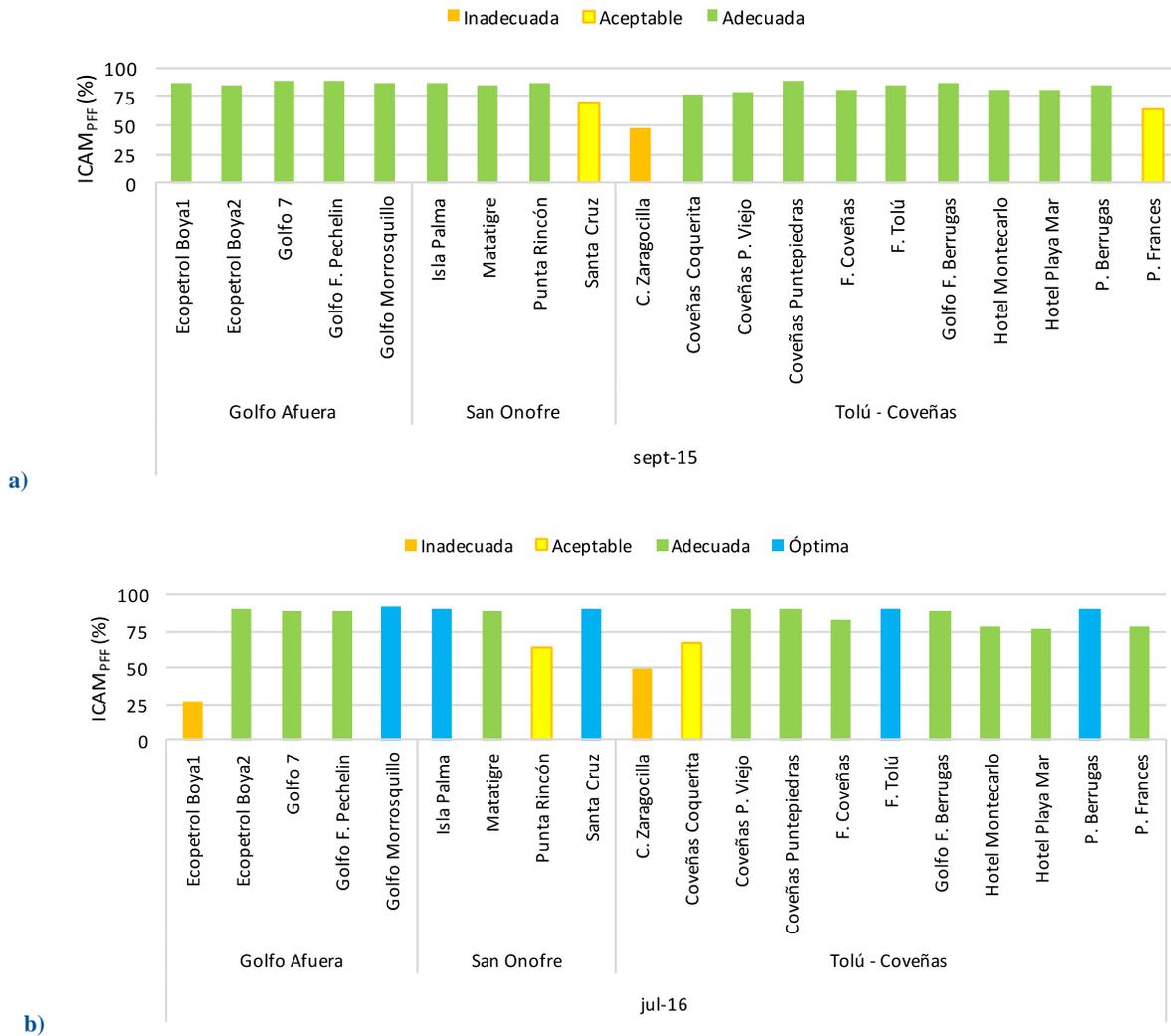


Figura 8-12. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de Sucre evaluada con el ICAM_{PFF} en los muestreos realizados en septiembre de 2015 (a) y julio de 2016 (b).

Entre los años 2013 y 2015, la gran mayoría de las estaciones han tenido aguas con calidad adecuada para la preservación de flora y fauna, principalmente en la zona de golfo Afuera y San Onofre donde existe menor cantidad de fuentes de contaminación. Se puede confirmar que la calidad de las aguas en Sucre se ha mantenido en condiciones aceptables, adecuadas y óptimas.

Tabla 8-3. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en el las zonas del departamento de Sucre en el periodo desde el 2013 al 2015.

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Golfo Afuera			92%	8%
	San Onofre	13%	13%	75%	
	Tolú - Coveñas	5%	18%	73%	5%

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2014	Golfo Afuera		8%	58%	33%
	San Onofre			88%	13%
	Tolú - Coveñas	14%	5%	71%	10%
2015	Golfo Afuera			90%	10%
	San Onofre		25%	75%	
	Tolú - Coveñas	15%	10%	75%	

8.4 CONCLUSIONES

- ❖ En un contexto general, la calidad del agua en las estaciones marinas y costeras del departamento de Sucre, está influenciada por los aportes de aguas residuales, en particular la zona Tolú-Coveñas, en donde se desarrollan el mayor número de actividades socioeconómicas, ocasionando efectos en los niveles de oxígeno disuelto, variaciones en los nutrientes y contaminación microbiológica de origen fecal.
- ❖ En las aguas marinas y costeras del departamento de Sucre no se evidencia contaminación por hidrocarburos del petróleo, ya que las concentraciones registradas no superaron el valor de referencia de la UNESCO (1984) para aguas contaminadas con hidrocarburos del petróleo.
- ❖ En el agua superficial de la ciénaga La Caimanera hay presencia del plaguicida organoclorado endrín cetona en una concentración que representa un riesgo para la biota acuática debido a que supera la referencia para efectos crónicos en agua marina. En los sedimentos de la ciénaga La Caimanera tienen residuos de metoxicloro y Cis-permetrina plaguicidas que necesitan seguir siendo monitoreados.
- ❖ No se tiene riesgo ambiental por metales en el agua superficial ni en los sedimentos, ya que las concentraciones registradas estuvieron por debajo de los valores referenciados en guías internacionales para efectos crónicos en la biota.

CÓRDOBA

Mónica Bayona-Arenas



Puerto Escondido, Córdoba. Foto: Paola Obando.

EQUIPO TÉCNICO CVS

Rafael Espinosa - Profesional Especializado División de Calidad Ambiental

Albeiro Arrieta – Subdirector de Gestión Ambiental

María Luisa Sánchez Banda – Bióloga, División de Calidad Ambiental

9. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE 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 costera aproximada de 146.481 habitantes en el 2016 ([DANE, 2017](#)).

El régimen pluviométrico de la región costera del departamento, aunque es poco marcado, es de carácter unimodal, con un período de mínimas precipitaciones que va de diciembre a abril y de altas precipitaciones entre agosto y noviembre, siendo los meses de agosto y septiembre los de mayores lluvias ([INVEMAR et al., 2002](#); [IDEAM, 2017](#)). El período comprendido entre mayo y julio es de transición o inicio de lluvias ([INVEMAR et al., 2002](#)). Los volúmenes de precipitación se encuentran entre 100 y 1500 mm al año ([IDEAM, 2017](#)). Con referencia al período hidrológico, los mayores caudales del río Sinú se registran en los meses de mayo a diciembre (300 - 600 m³/s), entre diciembre a abril ocurre un período de transición y en el período de enero a marzo se presentan los menores caudales (100-200 m³/s) ([Ruíz-Ochoa et al., 2008](#)).

Sus actividades económicas principales son la ganadería, agricultura, maricultura y la minería, las cuales dependen directamente del régimen de lluvias en la región porque determina la organización productiva, esquemas de asentamiento, sistemas de transporte, apropiación de recursos, los ciclos de cultivo, el manejo de la ganadería, las necesidades de riego y de drenaje, la presencia de las inundaciones y los desbordes de los ríos y sus afluentes ([Gobernación de Córdoba, 2015](#)).

En el departamento de Córdoba, el INVEMAR trabaja mancomunadamente con la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge – CVS desde el año 2001, generando información de calidad de aguas y sedimentos en estaciones localizadas a lo largo de la franja costera, resaltando la diversidad de los ecosistemas marino-costeros, identificando y caracterizando las fuentes de contaminación identificadas. Esta información se presenta anualmente en el informe diagnóstico de la calidad de aguas y sedimentos y se constituye en un insumo para la gestión del recurso hídrico para las autoridades ambientales. En el presente informe se presentan los resultados del monitoreo llevado a cabo en septiembre del 2015 y julio de 2016.

9.1 ZONAS DE MONITOREO

En la costa del departamento se ubican 18 estaciones de monitoreo agrupadas en dos zonas: Costa Occidental y Bahía Cispatá. La primera zona se extiende desde el municipio de San Bernardo hasta Puerto Escondido y cuenta con 4 estaciones de monitoreo: Moñitos, Puerto Escondido, Playa Venados y San Bernardo (Figura 9-1). Los ecosistemas marino-costeros presentes en esta zona corresponden a playas de arena, las cuales se encuentran sometidas a intervenciones antrópicas como la descarga de vertimientos de aguas residuales y a actividades

económicas como la agricultura, la minería de canteras, la ganadería, la pesca artesanal y el turismo ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)).

La segunda zona se localiza entre la Bahía de Cispatá y el municipio de San Antero y está conformada por 14 estaciones (Figura 9-1). En esta área se encuentra la cuenca baja del río Sinú, con sus dos formaciones deltaicas más recientes: Boca de Tinajones y la bahía de Cispatá. Ambas están conformadas por varios caños que desembocan directamente al mar o a lagunas costeras formando ecosistemas estuarinos de gran importancia ecológica y económica para la región y en donde se encuentra el bosque de manglar de mayor conservación en el Caribe colombiano, protegido bajo la figura de Distrito de Manejo Integrado- DMI Bahía Cispatá, La Balsa, Tinajones y sectores vecinos al delta del río Sinú ([INVEMAR et al., 2002](#)). Estos ecosistemas se encuentran bajo presión constante por el aprovechamiento forestal, la pesca artesanal, los vertimientos puntuales y dispersos de la agricultura y los aportes de residuos sólidos y líquidos generados por parte del turismo ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)).

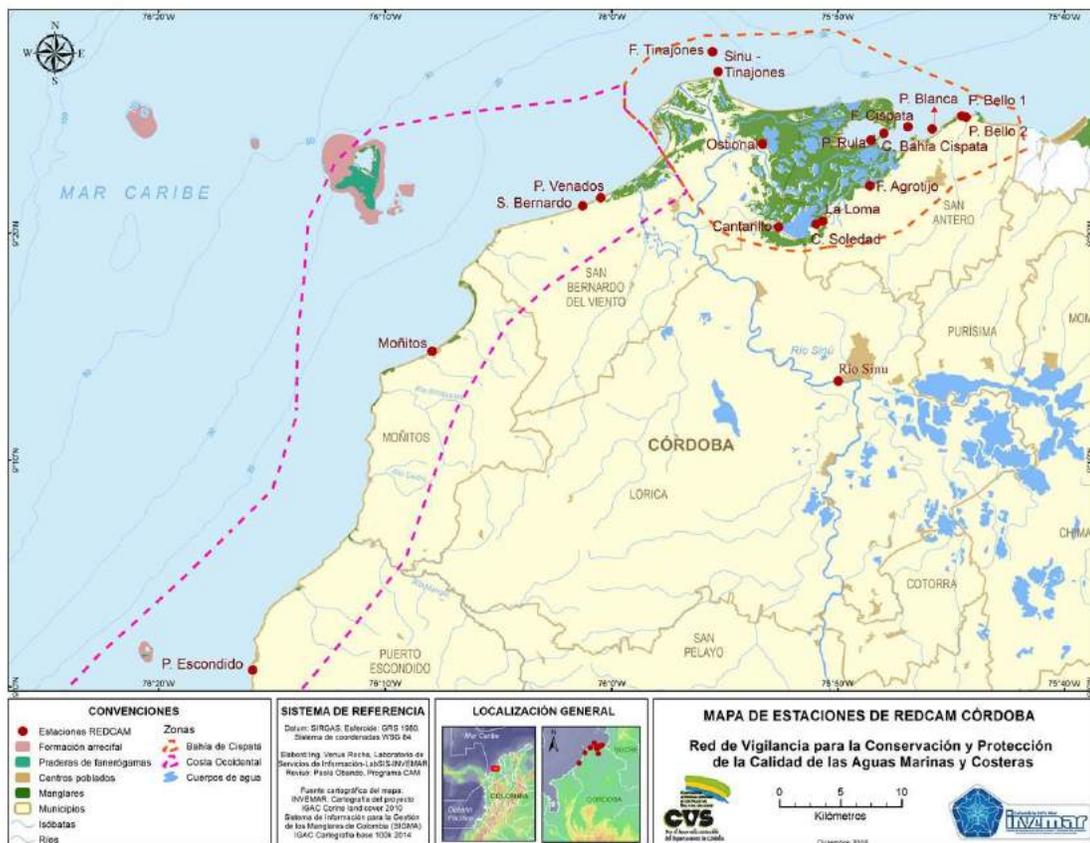


Figura 9-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos limitados por líneas punteadas) y e estaciones (puntos rojos) de la REDCAM en el departamento de Córdoba.

El análisis presente en este informe corresponde a los muestreos efectuados los días 15 y 16 de septiembre de 2015; y los días 26 y 27 de julio de 2016. El primero se realizó en la época de lluvias y el segundo en la época de transición. Cabe resaltar que pese a que en estos dos años se presentó el fenómeno de El Niño, los regímenes pluviométricos registrados en la franja costera del departamento se encontraron dentro de los valores normales (anomalía 80-120%) calculados por el [IDEAM \(2016c\)](#).

9.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

En las estaciones de la Costa Occidental se registraron valores de salinidad iguales o mayores a 30 (Figura 9-2), lo que permite calificar el agua de estas estaciones como marina mesohalina (30-34, [Knox, 2001](#)). La variación entre períodos pluviométricos fue baja, presentándose los mayores valores en julio de 2016. Por otra parte, la salinidad de las estaciones que están la zona de Bahía de Cispatá fue muy variable, oscilando entre 0,4 en la ciénaga Ostional en septiembre de 2015 y 31,5 en Playa Blanca en julio de 2016 (Figura 9-2). Teniendo en cuenta la clasificación de tipo de agua acorde a los valores de salinidad establecido por [Knox \(2001\)](#), las estaciones Ostional y río Sinú se clasifican como agua dulce (0-0,5); las ciénagas la Soledad, Cantarillo, La Loma, y las estaciones Frente a Agrotijó, Sinú- Tinajones, Frente a Tinajones, como aguas estuarinas (0,5 -17,0); y las estaciones de playas y el Frente a la bahía de Cispatá como aguas marinas oligohalinas (17- 38).

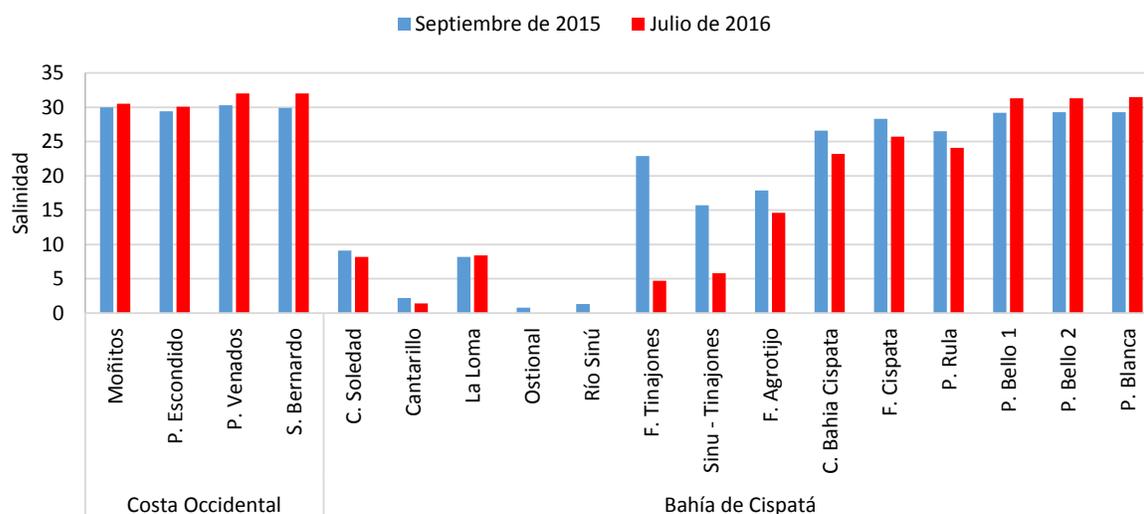


Figura 9-2. Salinidad en las aguas superficiales de las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba, medidas en septiembre de 2015 y julio de 2016.

En las estaciones internas de la Bahía de Cispatá (Ciénaga La Soledad – Frente a Agrotijó), la salinidad en la septiembre de 2015 alcanzó valores superiores a los reportados en julio de 2016 (Figura 9-2). Este comportamiento puede estar asociado al déficit en los aportes por parte del río Sinú producto de El Niño en el segundo semestre de 2015, ya que si bien este fenómeno no afectó la precipitación local, si se presentó una disminución de las lluvias en la cuenca alta del afluente (anomalía 40-80% debajo de lo normal, [IDEAM, 2016c](#)), afectando el régimen hidrológico de la región. Ya en julio de 2016, la precipitación en el departamento se reportó dentro de los valores normales, alcanzando niveles superiores (anomalía 120-160% por encima de lo normal, [IDEAM, 2016c](#)), lo cual favoreció la entrada de agua dulce a la bahía, con la consecuente disminución de la salinidad.

En contraste, en las playas aledañas a la bahía (playas Bello 1 y 2, Blanca) se presentó una mayor salinidad en julio de 2016, lo cual puede estar asociado a una mayor tasa de evaporación en este período pluviométrico de transición.

La temperatura medida en las dos zonas de muestreo osciló entre 30,5 y 35,5 °C para el septiembre de 2015 y 29,4 a 33,5°C en julio de 2016, estos valores coinciden con lo reportado por [INVEMAR et al. \(2002\)](#) en donde se establece que debido a la ausencia de vientos Alisios en los meses de mayor pluviosidad, la temperatura del agua tiene a incrementarse. Por otra parte, los valores de pH reportados estuvieron dentro de los rangos establecidos por la normatividad colombiana para la preservación de flora y fauna estuarinas, más estrictos que los de agua dulce (4,5-9,0; [MinSalud, 1984](#); Figura 9-3).

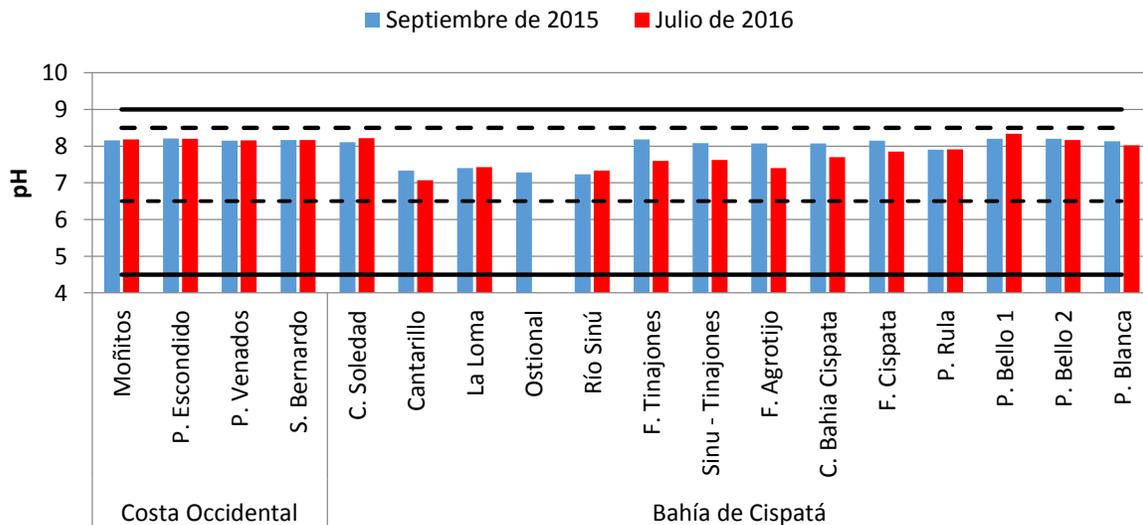


Figura 9-3. Valores de pH en las aguas superficiales de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, medidas en los muestreos de septiembre de 2015 y julio de 2016. Las líneas negras continuas señalan el rango permisible para preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce y las líneas negras punteadas el rango permisible en aguas cálidas marinas y estuarinas (MinSalud, 1984).

El oxígeno disuelto (OD) es uno de los parámetros más importantes en los ecosistemas marino-costeros, ya que es determinante en los procesos respiratorios de los organismos y en la descomposición de materia orgánica ([Orhel y Register, 2006](#)). Las concentraciones de OD en la Costa Occidental se encontraron por encima del valor establecido como mínimo permisible para la preservación de flora y fauna en el Decreto 1594 de 1984 (4 mg/L, [MinSalud, 1984](#)). Las estaciones Moñitos, Playa Venados y San Bernardo presentaron una variación de hasta 1 mg/L entre muestreos, con menores concentraciones en septiembre de 2015, lo cual puede estar asociado a un mayor aporte de materia orgánica proveniente del lavado de suelos en los municipios de Moñitos y San Bernardo del Viento, los cuales presentan una baja cobertura en alcantarillado (0-20%) y sus aguas residuales son vertidas directamente al suelo y al mar ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)).

En la Bahía de Cispatá, los valores oscilaron entre 2,79 mg/L (46% Sat OD) y 9,28 mg/L (157% Sat OD) en septiembre de 2015 y entre 2,66 (33% Sat OD) y 8,4mg/L (117% Sat OD) en julio de 2016 (Figura 9-4). En las estaciones Cantarillo, La Loma y el Frente Agrotijó, en el julio de 2016 la concentración de oxígeno disuelto estuvo por debajo del valor permisible para la preservación de flora y fauna (4 mg/L, [MinSalud, 1984](#)). Estos eventos de hipoxia son comunes en sistemas cerrados de baja profundidad (0,40 m, 1,20 m, 0,80 m, respectivamente),

que reciben aportes de materia orgánica proveniente de afluentes y fuentes antrópicas, ya que al comienzo de las lluvias se generan procesos de resuspensión, provocando la disminución del oxígeno en la columna del agua ([Ramírez y Viña, 1998](#)). Cuando el período de lluvias se establece (ej., muestreo de septiembre de 2015), hay procesos de dilución de la materia orgánica, las concentraciones de oxígeno aumentan y mejoran las condiciones para los organismos ([Ramírez y Viña, 1998](#)).

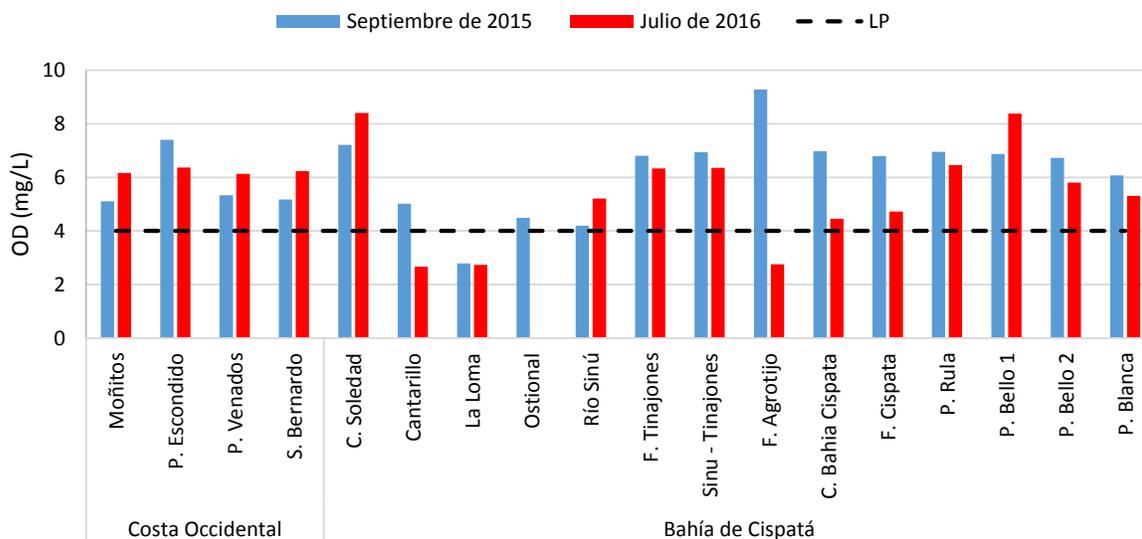


Figura 9-4. Concentración de Oxígeno disuelto (OD) en las aguas superficiales de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, medidas en septiembre de 2015 y julio de 2016. La línea negra horizontal corresponde al límite mínimo permisible para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)).

La presencia de sólidos en suspensión en altas concentraciones en los ecosistemas marino-costeros genera aumentos en la turbidez y repercusiones en la productividad primaria ([Ohrel y Register, 2006](#)). La concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en la Costa Occidental, en septiembre de 2015, osciló entre 34,1 mg/L (Puerto Escondido) y 86,1 mg/L (Moñitos); y en julio de 2016, entre 45,1 mg/L (Moñitos) y 94,3 mg/L (San Bernardo; Figura 9-5). Teniendo en cuenta la escala de clasificación de la calidad de las aguas sugerido por [CONAGUA \(2015\)](#), el agua de las estaciones Puerto Escondido y Playa Venados califican como buena ($>25 \leq 75$ mg/L) y la de las estaciones San Bernardo y Moñitos como aceptable ($>75 \leq 150$ mg/L). Cabe resaltar que estas concentraciones están asociadas no solo a los aportes de aguas residuales domésticas sino también a actividades económicas como la minería de canteras, existentes en los municipios de Puerto Escondido, San Bernardo del Viento y Moñitos. Esta actividad de extracción de material para la construcción genera la suspensión de partículas en el aire, que por eventos de lluvias, lavado de suelos y aporte de tributarios, tienen como destino final el mar ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)).

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

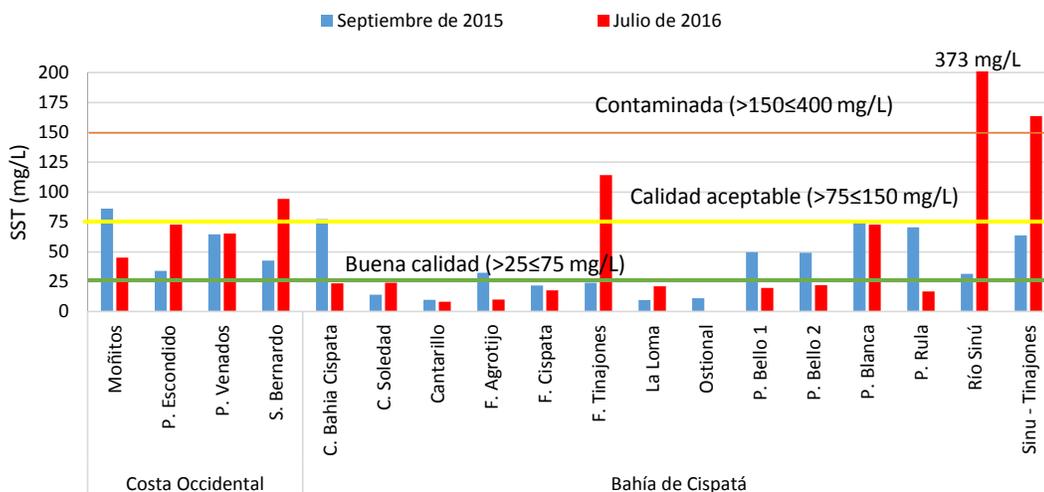


Figura 9-5. Concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en las aguas superficiales de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, medidas en la septiembre de 2015 y julio de 2016. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

En la Bahía Cispatá la estación con mayor concentración de SST fue el río Sinú, con 373,1 mg/L en julio de 2016, teniendo una alta influencia en las estaciones Sinú – Tinajones y Frente Tinajones con concentraciones de 163,5 y 114,2 mg/L, respectivamente (Figura 9-5). En septiembre de 2015, las concentraciones fueron considerablemente bajas, con valores de 63 mg/L, 31,5 mg/L y 24 mg/L, para las tres estaciones mencionadas anteriormente. Estos valores son concordantes con los cambios de salinidad que muestran que los aportes del río Sinú se vieron afectados por anomalías en la precipitación en la cuenca alta, producto del fenómeno de El Niño (IDEAM, 2016c). En las otras estaciones de monitoreo en la bahía de Cispatá, se registraron valores de STT entre 9,6 mg/L y 77,3 mg/L en septiembre de 2015 y entre 8,2 mg/L y 72,74 mg/L en julio de 2016. La estación con menor contenido de SST fue el distrito de riego de Cantarillo en ambos muestreos (Figura 9-5). Con referencia a los valores históricos, sólo la estación del río Sinú estuvo por encima de los promedios registrados para los monitoreos efectuados en el segundo semestre del año ($135,97 \pm 114$ mg/L), lo que pudo estar asociado al incremento en las lluvias en la cuenca alta del afluente en el julio de 2016, evento descrito anteriormente (INVEMAR, 2016b).

Los nutrientes inorgánicos disueltos amonio ($N-NH_4^+$), nitritos ($N-NO_2^-$), nitratos ($N-NO_3^-$), y fosfatos ($P-PO_4^-$), son esenciales para el crecimiento algal. No obstante, altas concentraciones en aguas marino-costeras pueden originar eutroficación, unas de las principales amenazas a la salud de los ecosistemas estuarinos y marinos (Ohrel y Register, 2006, Cabrita et al, 2015). En la Costa Occidental, las concentraciones de amonio se encontraron por debajo del límite de detección (3,1 μ g/L) de la técnica analítica utilizada, con excepción de la playa San Bernardo, en la que se registró una concentración de 15,9 μ g/L en julio de 2016, asociado a la presencia de viviendas cercanas a la playa (Figura 9-6). En Bahía Cispatá, en las estaciones Loma, Ostional, río Sinú, Sinú-Tinajones, Frente a Agrotijó y playa Blanca se presentaron valores entre 3,2 μ g/L (frente a Agrotijó) y 13,3 μ g/L (río Sinú) en septiembre de 2015. En julio de 2016, sólo las estaciones Bahía de Cispatá y Playa Blanca registraron concentraciones de 3,3 μ g/L y 6,6 μ g/L, respectivamente. Estos valores se asocian a la degradación de la materia orgánica presente en lagunas costeras, la cual puede provenir de fuentes naturales como el bosque de manglar, y a los aportes generados por los vertimientos de aguas residuales

domésticas, intensificados por la actividad turística que se desarrolla en el municipio de San Antero ([Vivas-Aguas et al., 2012](#)).

La concentración de nitritos en las playas Puerto Escondido, San Bernardo y Playa Venados de Costa Occidental, osciló entre 0,7 y 1,2 $\mu\text{g/L}$ (Figura 9-6), valores bajos en comparación con los registros históricos de la REDCAM ([INVEMAR, 2016b](#)). Puerto Escondido fue la única estación en la que se reportaron concentraciones superiores a 3,1 $\mu\text{g/L}$ (LD), lo cual indica que los aportes por escorrentía urbana o vertimientos residuales son constantes, producto de la alta densidad de viviendas cercanas a la costa y actividades económicas como la ganadería y el turismo.

En Bahía Cispatá los nitritos oscilaron ampliamente entre estaciones de monitoreo, con valores entre 0,7 $\mu\text{g/L}$ (Frente Cispatá) y 3,8 $\mu\text{g/L}$ (Sinú-Tinajones) en septiembre de 2015 y 1,1 $\mu\text{g/L}$ (Playa Bello 1) a 6,6 $\mu\text{g/L}$ (Cantarillo) en julio de 2016 (Figura 9-6), producto de la degradación de materia orgánica y detritus provenientes del bosque de manglar. En cuanto al comportamiento histórico, las concentraciones en este período se encontraron cercanas a los promedios del segundo semestre de la REDCAM, no obstante, la alta variabilidad en los frentes Tinajones y Cispatá indican aportes diferenciales en el tiempo por parte de los tributarios y dinámicas en las corrientes marinas en los momentos del muestreo ([INVEMAR et al., 2002](#)).

Los nitratos son el resultado de los procesos de nitrificación de la materia orgánica y fijación del nitrógeno atmosférico, por parte de bacterias nitrificantes y microalgas asociadas al plancton ([Ohrel y Register, 2006](#)). En la Costa Occidental, los nitratos alcanzaron un valor mínimo de 4,4 $\mu\text{g/L}$ en Moñitos y máximo de 21 $\mu\text{g/L}$ en San Bernardo, en julio de 2016 (Figura 9-6). Estos valores son bajos en comparación con departamentos como Bolívar, Magdalena y La Guajira, los cuales alcanzaron valores promedio entre 80 $\mu\text{g/L}$ y 200 $\mu\text{g/L}$ en el período de lluvias de 2014 ([Garcés-Ordoñez et al., 2016a](#)). En contraste, las estaciones Frente Tinajones y Sinú-Tinajones de Bahía Cispatá presentaron valores de hasta 180 $\mu\text{g/L}$, lo cual reflejan los aportes de cultivos ubicados en el delta del río Sinú, específicamente en su desembocadura en Tinajones. En relación al comportamiento histórico de la variable, en general, los valores obtenidos en 2015-2016 fueron bajos, con excepción de las estaciones referenciadas en Bahía Cispatá en las cuales se observa un incremento, relacionado posiblemente con la intensidad agrícola en esta región.

Finalmente, la concentración de ortofosfatos en las estaciones de la Costa Occidental estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica utilizada por el LABCAM (<2,4 $\mu\text{g/L}$), con excepción de Puerto Escondido en la septiembre de 2015 (Figura 9-6), lo cual puede estar relacionado con las actividades económicas discutidas anteriormente. En Bahía Cispatá se reportaron concentraciones en todas las estaciones monitoreadas, con valores máximos de 65 $\mu\text{g/L}$ y 57,4 $\mu\text{g/L}$ en las estaciones Cantarillo y la Loma, respectivamente (Figura 9-6). La fuente de estos compuestos puede estar asociada con los cultivos que se encuentran a lo largo del delta del río Sinú, conectados mediante canales de desagüe que recorren toda su extensión y que desembocan como fuentes puntuales al río Sinú, o como fuentes dispersas por eventos de escorrentía a las lagunas costeras más cercanas (Cantarillo, la Soledad, La Loma). En cuerpos de agua como La Loma, Ostional y el río Sinú, estos aportes han variado considerablemente en el monitoreo de la REDCAM ([INVEMAR, 2016b](#)), relacionado posiblemente con las anomalías en precipitación o la intensidad de la actividad agrícola en la región, discutido anteriormente.

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

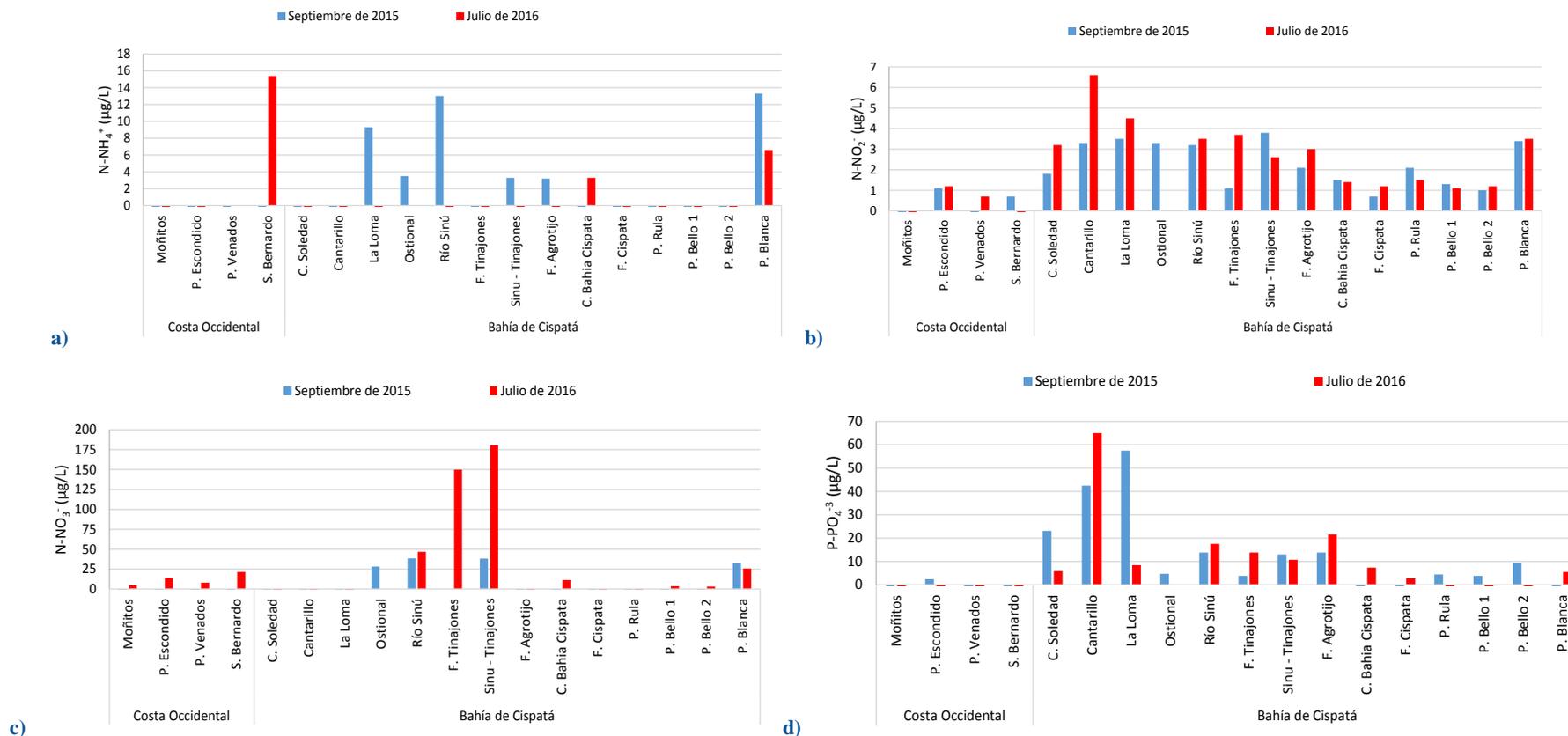


Figura 9-6. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitrito (N-NO₂⁻), c) nitrato (N-NO₃⁻) y ortofosfato (P-PO₄⁻³), medidos en septiembre de 2015 y julio de 2016 en las estaciones y zonas de muestreo REDCAM del departamento de Córdoba.

El turismo es una actividad económica en creciente desarrollo en los municipios costaneros de Córdoba y tiene una especial atención por parte de la administración pública ([Alcaldía de San Bernardo del Viento, 2012](#), [Alcaldía de Moñitos, 2014](#)). En ese contexto, las mediciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) cobran alta importancia porque son indicadores de la calidad del agua para fines de recreación por contacto primario (natación y buceo) según el Decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)).

En general, las playas de la Costa Occidental presentaron condiciones óptimas para esta actividad, con excepción de Puerto Escondido, en la cual, en las dos épocas de muestreo se registraron valores por encima del valor permisible en la norma colombiana (200 NMP/100mL = Log 2,3 de coliformes termotolerantes; Figura 9-7). Esta condición se ha presentado en el 80% de los monitoreos de la REDCAM ([INVEVAR, 2016b](#)), con un promedio histórico de 14.990 ± 4.990 NMP/100mL. Debido a este resultado, se recomienda generar mecanismos de tratamiento y disposición de aguas residuales domésticas eficientes en este municipio, para poder implementar actividades turísticas de pequeña y gran escala, sin generar riesgo alguno por uso del recurso.

Por otra parte, en las playas de uso turístico en Bahía de Cispatá, con excepción de playa Blanca en julio de 2016, las concentraciones de CTE se encontraron por debajo de los 200 NMP/100 mL, indicando que las aguas eran aptas para actividades de contacto primario (natación y buceo) según la normativa colombiana (Figura 9-7, [MinSalud, 1984](#)). En playa Blanca, el resultado de coliformes, junto con el de amonio, son indicativos de los aportes de aguas residuales del municipio de San Antero.

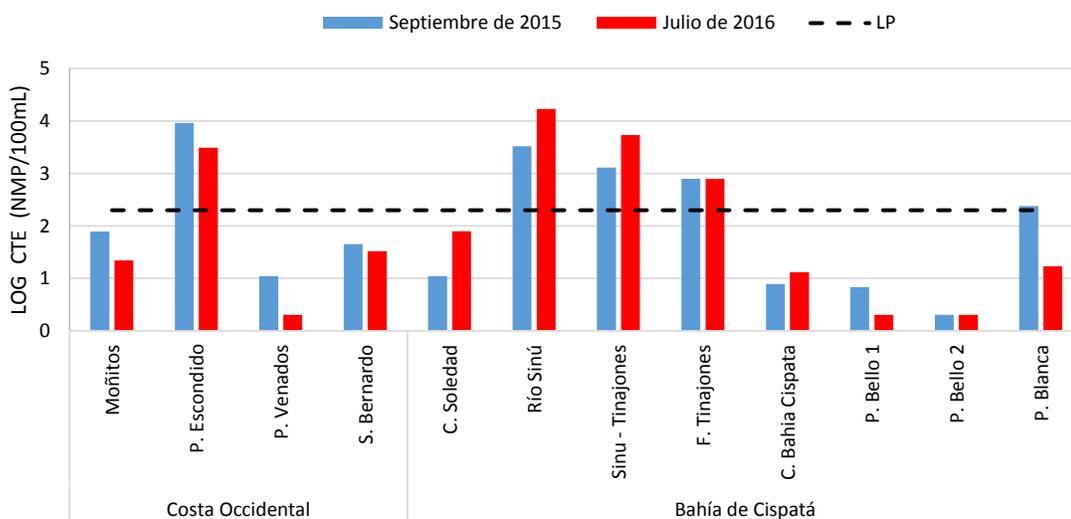


Figura 9-7. Coliformes termotolerantes (LOG CTE NMP/100mL) en las aguas superficiales de las estaciones REDCAM en el departamento de Córdoba, medidas en septiembre de 2015 y julio de 2016. La línea negra indica el Límite máximo permisible para el uso recreativo por contacto primario (200 NMP/100 mL; MinSalud, 1984).

Los hidrocarburos aromáticos pueden originarse ya sea de combustiones incompletas de madera, carbón, petróleo y gas natural o de derivados del petróleo como gasolina y diésel. Estos compuestos pueden ingresar a los cuerpos de agua por medio de vertimientos de aguas residuales domésticas, tráfico de embarcaciones, lluvias y depositación de sólidos ([Ramzi et](#)

al., 2016, [Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)). En la Costa Occidental, los hidrocarburos disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) son monitoreados en las estaciones Moñitos y San Bernardo, en las cuales se registraron concentraciones de 0,64 y 0,5 µg/L en septiembre de 2015 y de 1,28 y 2,62 µg/L, en julio de 2016. En Bahía Cispatá, en la estación playa Bello 1, los HPDD oscilaron entre 0,71 y 8,22 µg/L, en septiembre de 2015 y julio de 2016 respectivamente. Cabe destacar que estas concentraciones están por debajo del valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas ([UNESCO, 1984](#); [Acuña-González et al., 2004](#)).

Desde el año 2013, se vienen muestreando sedimentos en la estación frente a Tinajones para medir los parámetros materia orgánica, hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno y metales pesados. Las concentraciones de materia orgánica fueron 6,2 mg/g en septiembre de 2015 y 15,1 mg/g en julio de 2016, valores relativamente bajos en comparación con el promedio histórico (48 ± 37,4 mg/L) y los rangos reportados en años anteriores ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)), lo que corrobora los bajos aportes del río Sinú en el 2015.

La concentración de hidrocarburos del petróleo en sedimentos en septiembre de 2015 fue 15 µg/g, valor considerado como natural ([Mora et al., 2010](#)). Es de resaltar que aunque este valor no se encuentra dentro de los valores reportados con anterioridad (año 2013= 0,33 µg/g y año 2014= 0,16 µg/g) y su concentración baja en el muestreo de julio de 2016 a 2,98 µg/g, puede ser un indicio de acumulación de hidrocarburos, producto de los derrames de hidrocarburos producidos en 2014 y 2015 en el golfo de Morrosquillo, específicamente en el municipio de San Antero para el departamento de Córdoba ([Contraloría General de la República, 2015](#)). Se recomienda aumentar las estaciones de sedimentos en la Bahía de Cispatá para el área de influencia de este contaminante.

En las dos zonas de monitoreo, las concentraciones de los residuos de plaguicidas se encontraron por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleadas en el LABCAM (aldrin <25 µg/L; endrin <26,3 µg/L; diazinon <21,7 µg/L; clorotalonil <43,8 µg/L; metil Paratión <21,3 µg/L; Bromacil <18,5 µg/L; Cis-permetrina <8,5 µg/L; y Trans-permetrina <13,8 µg/L), los cuales se encuentran por debajo de los valores límites recomendados por la [EPA \(2016\)](#) para aguas no contaminadas.

La concentración de metales pesados disueltos en aguas en la Costa Occidental se evalúa en las estaciones Moñitos, Puerto Escondido y San Bernardo. De los siete metales analizados (Zn, Ni, Cd, Fe, Pb, Cr y Cu) sólo el Pb y el Fe, mostraron concentraciones detectables por la técnica analítica (Tabla 9-1). Para el Pb se registraron valores de 3,1µg/L (Moñitos, San Bernardo) y 3,9 µg/L (Puerto Escondido); y la concentración de Fe osciló entre 6,6 µg/L (Puerto Escondido) y 108,1 µg/L (San Bernardo), superando el valor de referencia establecido por la NOAA para efectos crónicos en la biota acuática (Tabla 9-1).

Tabla 9-1. Metales disueltos medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Córdoba en los muestreos de septiembre de 2015 y julio de 2016. Los valores de referencia corresponde a Screening Quick Reference Tables ([Buchman, 2008](#)) y el valor con dos asteriscos () corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005).**

Zona	Estación	Metales en septiembre de 2015 (µg/L)							Metales en julio de 2016 (µg/L)						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Costa Occidental	Moñitos	<0,42	<0,97	<0,9	78,7	<1,0	3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	62,6	<1,0	<3,1	7,7
	P. Escondido	<0,42	<0,97	<0,9	80	<1,0	3,9	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	6,6	<1,0	<3,1	<6,9
	S. Bernardo	<0,42	<0,97	<0,9	108,1	<1,0	3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9

Zona	Estación	Metales en septiembre de 2015 (µg/L)							Metales en julio de 2016 (µg/L)						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
San Antero - Cispatá	C. Bahía Cispatá	<0,42	<0,97	<0,9	23,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	16,2	2,5	<3,1	7,2
	C. Soledad	<0,42	<0,97	<0,9	23,9	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	8,0	<1,0	<3,1	10,1
	Cantarillo	<0,42	<0,97	<0,9	230,9	1,4	3,4	14,8	<0,42	<0,97	<0,9	67,1	<1,0	4,6	28,5
	F. Agrotijó	<0,42	<0,97	<0,9	34,8	<1,0	<3,1	7,2	<0,42	<0,97	<0,9	45,8	<1,0	<3,1	12,6
	F. Tinajones	<0,42	<0,97	<0,9	35,8	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	13,5	<1,0	<3,1	18,7
	La Loma	<0,42	<0,97	<0,9	62,9	<1,0	<3,1	7,7	<0,42	<0,97	<0,9	7,1	<1,0	3,5	12,8
	Ostional	<0,42	<0,97	<0,9	237,7	<1,0	<3,1	7,0	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<1,0	<6,9
	P. Bello 1	<0,42	<0,97	<0,9	12,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<1,0	<6,9
	P. Bello 2	<0,42	<0,97	<0,9	13,5	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	14,2	<1,0	<1,0	<6,9
	P. Rula	<0,42	<0,97	<0,9	42,5	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	7,0	<1,0	<1,0	6,9
Río Sinú	<0,42	<0,97	<0,9	104,7	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	60,2	<1,0	<1,0	32,8	
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,8	50**	3,1	50	8,2	8,1	81	8,8	50**	3,1	50	8,2	8,1	81
Referencia Efectos crónicos agua dulce		0,25	50**	9	350	52	2,5	120	0,25	50**	9	350	52	2,5	120

En Bahía Cispatá, el Cu, el Ni, el Zn y el Cr, se encontraron por debajo de los límites de detección de la técnica (<0,9 µg/L, <1,0 µg/L, <6,9 µg/L, <0,97 µg/L, respectivamente; Tabla 9-1), con excepción de la estación río Sinú que presentó valores de 1,4 µg Cu/L, en julio de 2016; 2,5 µg Ni/L en la estación Bahía Cispatá, en julio de 2016; y 1,4 µg Ni/L en Cantarillo, en julio de 2015. Comparando con los valores de referencia de la NOAA, estas concentraciones no sobrepasaron las referencias para efectos crónicos y agudos (Tabla 9-1), por lo cual no representan un factor de riesgo para los organismos.

En el caso del Fe, todas las estaciones mostraron valores detectables que oscilaron entre 12,2 µg/L (playa Bello 1) y 238 µg/L (Ostional) en septiembre de 2015 y entre 7 µg/L (playa Rula) y 67,1 µg/L (Cantarillo) en julio de 2016 (Tabla 9-1). Pese a ser un oligoelemento importante en el metabolismo de los organismos, concentraciones que sobrepasen los 50 µg/L pueden ocasionar efectos crónicos en la biota acuática (Tabla 9-1). El distrito de riego Cantarillo, la ciénaga Ostional y el río Sinú, presentaron concentraciones superiores a estos dos valores de referencia (Tabla 9-1). Cabe destacar que en el suelo de la franja costera del departamento se han registrado concentraciones de hierro promedio de 2.600 ± 2.265 µg/L (Oviedo *et al.*, 2012, Oviedo *et al.*, 2013), las cuales por efectos de escorrentía y lavado de suelos en el período de lluvias, pueden llegar a los cuerpos lagunares, al río Sinú y a las playas, siendo la principal fuente de este metal. Desde el año 2012, estas concentraciones han tenido una alta variación (INVEMAR, 2016b), específicamente en las estaciones Cantarillo y Ostional, llegando en ocasiones a sobrepasar los valores de referencia estimados para efectos agudos en la biota (300 µg/L, Buchman, 2008), por lo cual se recomienda generar estudios más detallados en organismos que corroboren las posibles afectaciones generadas.

Las concentraciones de metales pesados en sedimentos se muestran en la Tabla 9-2. El Cd estuvo por debajo del límite de detección (LD<0,7 µg/g). La concentración de los demás metales medidos se comparó con el valor de referencia para efectos probables en la biota (PEL, por sus siglas en inglés) propuesto por Buchman (2008). Cabe destacar que las concentraciones de níquel tanto en septiembre de 2015 como en julio de 2016 pueden ocasionar condiciones de riesgo para la biota acuática debido a que están por encima del valor de referencia. Por otra parte, se destacan las altas concentraciones de Fe en los sedimentos, lo cual es reflejo de la composición de los suelos, como se describió anteriormente.

Tabla 9-2. Concentración de metales en los sedimentos superficiales de la estación Frente Tinajones en septiembre de 2015 y julio de 2016. NA: No aplicable, ND: No disponible.

Parámetro	Unidad	Septiembre 2015	Julio - 2016	Promedio histórico	Desviación estándar	Valor PEL
Pb	µg/g	9,21	<4,0	9,0	3,6	112
Cr	µg/g	123,91	114,4	92,93	31,54	160
Cu	µg/g	63,45	65,1	58,43	14,68	108
Zn	µg/g	99,99	41,9	82,77	29,97	271
Fe	mg/g	43,30	39,3	41,73	5,74	ND
Ni	µg/g	59,12	51,5	43,94	18,26	42,8
Hg	ng/g	NA	117,1	NA	NA	700

9.3 RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

La calidad del agua marino-costera en el departamento de Córdoba evaluada con el ICAM_{PFF} en los nuestros de septiembre de 2015 y julio de 2016, muestra que durante el periodo de septiembre de 2015, la calidad del agua en la mayoría de las estaciones fue adecuada y aceptable (Figura 9-8), con excepción de las estaciones Puerto Escondido y Frente a Cispata que presentó una calidad inadecuada. Estos resultados estuvieron asociados con el incremento de la concentración de CTE (9200 NMP/100ml) y de ortofosfatos, respectivamente.

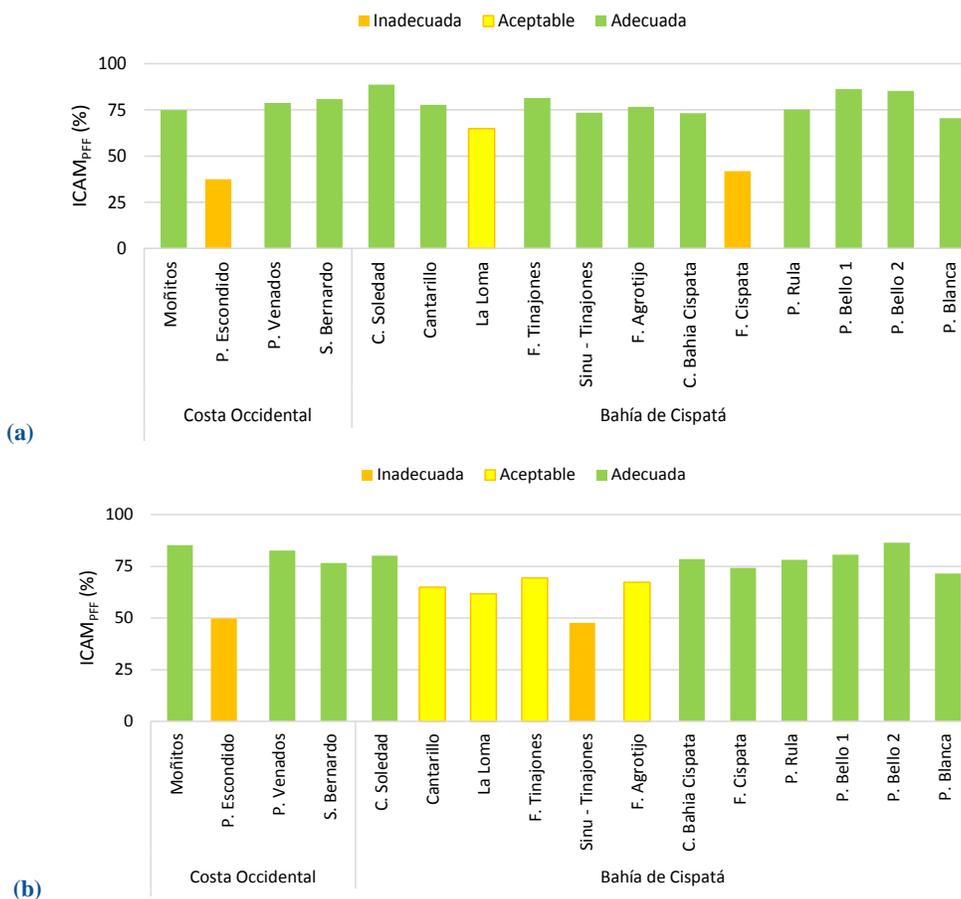


Figura 9-8. Calidad de las aguas marino-costeras del departamento de Córdoba evaluadas con el ICAM_{PFF} en los muestreos de septiembre de 2015 (a) y julio de 2016 (b).

En julio de 2016 (Figura 9-8b), se observaron cambios en la calidad del agua en estaciones como Cantarillo, Agrotijó y Tinajones, se presentó un aumento en la concentración de ortofosfatos cambiando la calidad a la categoría de Aceptable para la preservación de fauna y flora; y en la estación Tinajones, en la que se presentó un incremento de las concentraciones de nitratos (180,7 µg/L) y CTE (5400 NMP/100ml), cambió la calidad del agua a la categoría de Inadecuada.

9.4 CONCLUSIONES

- ❖ En términos generales, la calidad del agua en la zona costera del departamento de Córdoba presenta condiciones favorables para la preservación de la fauna y flora, según la legislación colombiana y el ICAM_{PFF}. Sin embargo, en estaciones como Puerto Escondido en la costa occidental, y Cantarillo, Agrotijó, frente a Tinajones y La Loma en la zona Cispatá, es evidente que la calidad puede verse afectada por el régimen pluviométrico de la región, relacionado con un incremento en los aportes de nutrientes y microorganismos indicadores de aportes de aguas residuales (coliformes), en concentraciones que según la legislación colombiana, no son permisibles para actividades de contacto primario, como baño y buceo. Por lo tanto, es necesario que la autoridad ambiental gestione el establecimiento de medidas eficientes para la disposición y tratamiento de aguas residuales.
- ❖ No se observó contaminación por hidrocarburos según el valor de referencia de la Unesco (1984); ni de plaguicidas, ya que estos se encontraron en concentraciones por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada.

ANTIOQUIA

Paola Obando Madera y Ostin Garcés Ordóñez



Muelle Waffe, Turbo. Foto: Ostin Garcés.

EQUIPO TÉCNICO CORPOURABÁ

Kelis Maleidis – Profesional Universitario, Coordinadora Subprograma UAC Darién

Jairo Guillermo Vásquez – Profesional Especializado coordinador de proyecto

William Bran Castrillón Profesional Universitario responsable de toma de muestras.

Diana Cuervo Paternina – Coordinadora Laboratorio de Aguas

Adelaida Pastrana – Analista Microbiología

Margara Alquerque – Analista del área Físicoquímica

Eulicer Cuellar – Analista del área Físicoquímica

10. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

El departamento de Antioquia se ubica geográficamente en los 8° 37' y 7° 55' de latitud norte y 77° 25' y 76° 55' de longitud oeste, con una línea de costa de 425 km, que abarca gran parte del golfo de Urabá. La zona del Urabá antioqueño se considera una de las más lluviosas del Caribe colombiano, con una precipitación anual alrededor de 2.000 mm/año, la temperatura ambiente oscila entre los 26 y 28 °C y humedad relativa entre 83 y 86 % ([García y Palacio, 2008](#)).

En la zona costera del departamento se desarrollan ecosistemas marinos y costeros estratégicos como manglares, estuarios, lagunas costeras y playas que brindan bienes y servicios ambientales importantes. Además se encuentran asentamientos humanos y se llevan a cabo diferentes actividades socioeconómicas como la agricultura, ganadería, comercio, turismo y portuarias que tienen diferentes impactos sobre la calidad ambiental marina y costera.

Los municipios costeros son Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes, en los cuales se estimó para el año 2016 una población de 286.948 habitantes, siendo el municipio de Turbo el más poblado (55,5 %), seguido por Necoclí (21,7 %), Arboletes (14 %) y San Juan de Urabá (8,8 %; [DANE, 2017](#)). En estos municipios, la producción de agua residual se estima entre 3.400 y 25.000 m³/día, de los cuales entre el 8 y 57 % del total producido es vertido directamente a los cuerpos de aguas naturales o sobre el terreno. En cuanto a los residuos sólidos, la producción suma 72,24 t/día, los cuales son dispuestos en los rellenos sanitarios Las Praderas, Loma Grande, Centro Industrial de Residuos Sólidos El Tejar y Centro Industrial de Residuos Sólidos de Urabá ([Superservicios, 2014a](#)).

En la región del Urabá antioqueño predomina un alto desarrollo agrícola, siendo los cultivos de banano y plátano los más importantes en cuanto a producción, otros cultivos en la zona son de arroz, yuca, maíz, ñame, entre otros ([García- Valencia, 2007](#)). El incremento de estas actividades hace que sean una de las principales fuentes de contaminantes, ya que la escorrentía de suelos agrícolas desde la zona continental arrastra residuos de plaguicidas, nutrientes y sólidos en suspensión, entre otros, que al llegar a los ríos y a la zona costera afectan la calidad de las aguas ([Espinosa y Betancourt, 2011](#); [Blanco-Libreros et al., 2013](#); [Vivas-Aguas et al., 2015b](#)).

Con el propósito de apoyar la gestión para la conservación y protección del recurso hídrico marino-costero del golfo de Urabá y contar con información base entorno a la calidad ambiental marina, la Corporación para el Desarrollo Sostenible de Urabá- CORPOURABÁ en el marco de la REDCAM, realiza el monitoreo de aguas y sedimentos marinos para evaluar su calidad. El presente capítulo incluye los resultados de los muestreos realizados en el segundo semestre de 2015 y primero de 2016.

10.1 ZONAS DE MONITOREO

En el departamento, la REDCAM cuenta con una red de 29 estaciones de monitoreo distribuidas en cuatro zonas: Bahía Colombia, Golfo Medio, Golfo Alto y San Juan de Urabá (Figura 10-1). La **zona de Bahía Colombia** abarca el sector interno del golfo de Urabá, desde el delta del río Atrato, bahía Colombia y Turbo, en donde se desarrollan actividades turísticas, pesca y portuaria, se cuenta con 11 estaciones de calidad de agua, en cuatro de estas se tomaron muestras de sedimentos (río Currulao y su desembocadura, y las desembocaduras de los

ríos León y Guadualito). La **zona Golfo Medio** influenciada por las desembocaduras de los ríos Atrato, Turbo y Caimán, se tiene en esta zona ocho (8) estaciones de calidad de aguas, en cuatro de las cuales se tomaron muestras de sedimentos (el río Caimán y su desembocadura, y la desembocadura de los ríos Turbo y Atrato). En la **zona Golfo Alto** desemboca el río Necoclí y se encuentran sitios de interés pesquero, contando con tres (3) estaciones de aguas, en una (desembocadura del río Necoclí) se tomó una muestra de sedimento. La **zona San Juan de Urabá** corresponde a la costa de los municipios de Necoclí y Arboletes, con la influencia de los ríos Mulatos, Damaquiel, San Juan, Jobo y Arboletes, abarcando un área con interés turístico, pesquero y sus desembarcaderos, en esta zona se tiene siete (7) estaciones de agua y en cinco (5) de las cuales se recolectaron sedimentos (río Hobo y las desembocaduras de los ríos Mulatos, Volcán, Damaquiel y San Juan).

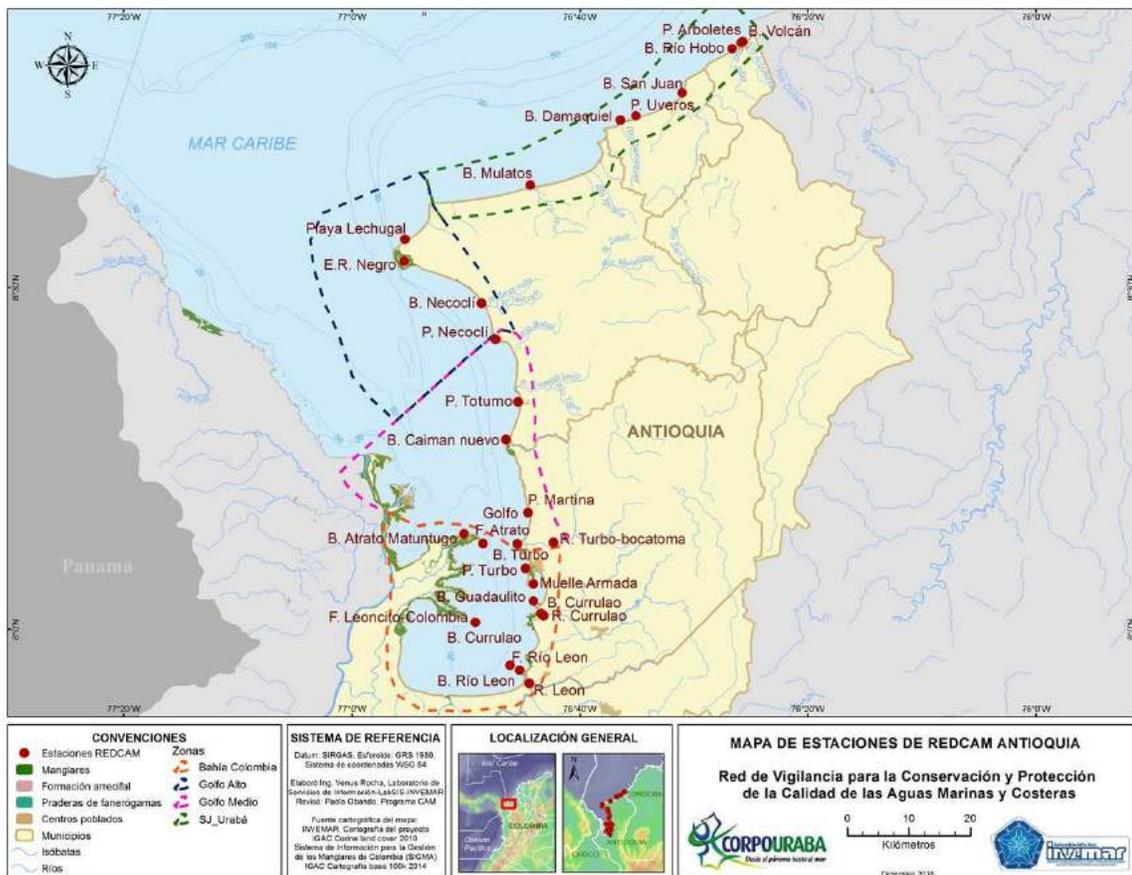


Figura 10-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el departamento de Antioquia.

Los muestreos fueron realizados por CORPOURABÁ entre los meses de septiembre-noviembre de 2015, y los meses de febrero-marzo y abril de 2016. En las estaciones se realizaron mediciones *in situ* de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, y se analizó en el agua superficial los nutrientes inorgánicos disueltos, sólidos suspendidos totales, coliformes totales y termotolerantes, plaguicidas y metales pesados disueltos, y en sedimentos de algunas estaciones se midieron metales pesados totales.

10.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

La salinidad del agua superficial en las estaciones evaluadas en los muestreos de septiembre y noviembre de 2015 y abril de 2016 se muestran en la Figura 10-2. En las estaciones de los ríos y sus desembocaduras, la salinidad osciló entre 0,0 y 14,4, presentándose en algunas estaciones de ríos, como Hobo, Guadualito, Currulao y León, condiciones de agua dulce y estuarina polihalina (10,0-17,0; [Knox, 2001](#)) entre los muestreos (Figura 10-2), lo cual está asociado al caudal del río en las temporadas climáticas y la influencia de la cuña salina por la conexión con el mar. En las estaciones de playas, la salinidad fluctuó entre 8 y 28,6, valores que indican una alta influencia de los ríos que desembocan en el golfo y en zonas cercanas a las playas, y que clasifican las aguas como estuarinas y marinas oligohalinas de acuerdo con la clasificación de [Knox \(2001\)](#).

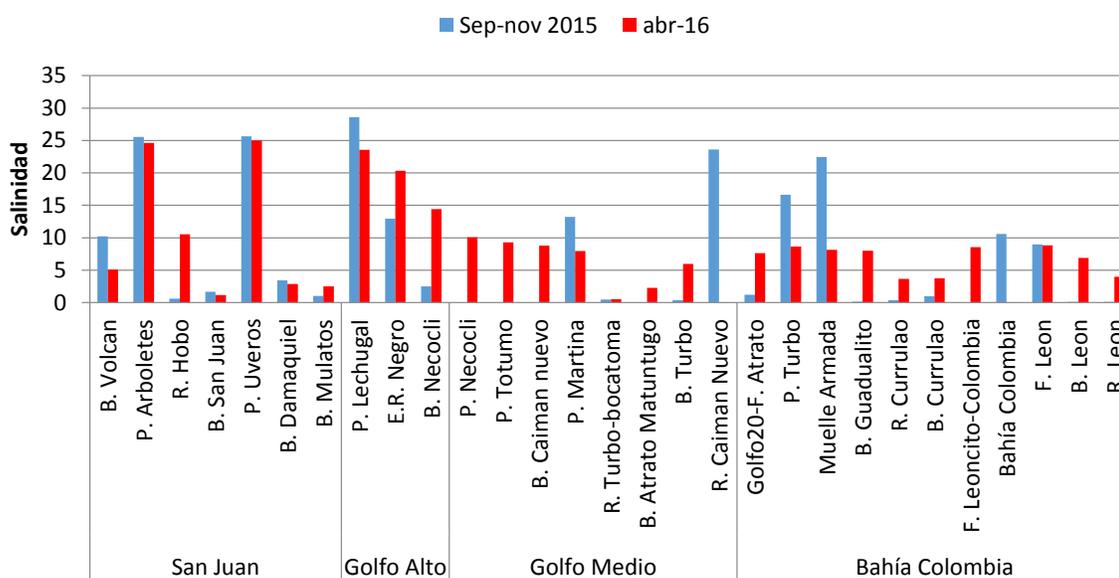


Figura 10-2. Valores de salinidad medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia en septiembre - noviembre de 2015 y abril de 2016.

Históricamente la salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo ha estado marcada por las variaciones temporales, con registros entre 0 y 35, presentándose los mayores valores de salinidad en los muestreos del segundo semestre (Figura 10-3), debido a que los vientos hacia el norte y los caudales de los ríos, contribuyen en el descenso del confinamiento del agua dulce ([Bernal et al., 2005](#)); y las corrientes de entrada (margen occidental) y salida (oriental) promueven los cambios estacionales en la salinidad superficial del golfo ([Vélez-Agudelo y Aguirre-Ramírez, 2016](#)).

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

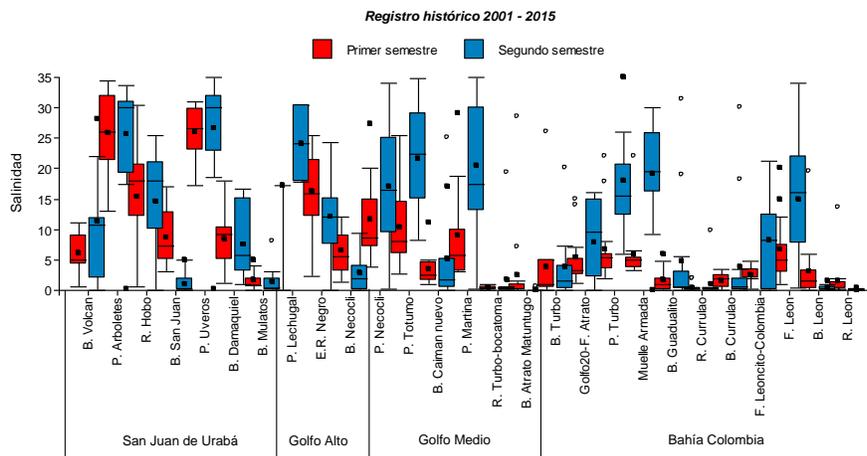


Figura 10-3. Registro histórico (2001-2015) de los valores de salinidad en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM departamento de Antioquia.

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) oscilaron entre 0,24 y 6,0 mg de O₂/L, en el muestreo de octubre-noviembre de 2015, entre 0,24 y 10,47 mg de O₂/L en el muestreo de febrero-marzo de 2016 y entre 0,0 y 8,75 en el muestreo de abril de 2016 (Figura 10-4). Cabe aclarar que en el muestreo de octubre-noviembre de 2015 no se midió esta variable en las estaciones de la zona de San Juan de Urabá, ni en las estaciones de la zona Golfo Medio, con excepción de la estación boca del río Atrato- Matuntugo. En la gran mayoría de las estaciones se registraron concentraciones de OD por debajo del criterio mínimo de calidad para preservación de flora y fauna de la legislación nacional (>4,0 mg de O₂/L, [MinSalud, 1984](#); Figura 10-4). Aguas con condiciones de hipoxia fueron recurrentes en las estaciones de las playas Arboletes, Uveros y Lechugal, en el río León y su desembocadura, en la desembocadura del río Caimán nuevo y en la ensenada de Rionegro. Estas condiciones se asocian a vertimientos de aguas residuales, debido a que las estaciones con bajos niveles de oxígeno tuvieron también altas concentraciones de coliformes totales y termotolerantes y de nutrientes inorgánicos disueltos, principalmente amonio (Figura 10-8).

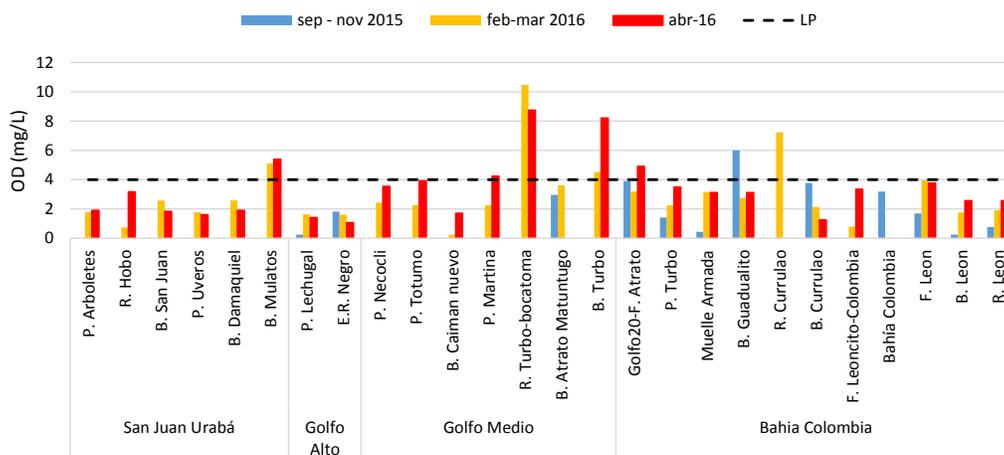


Figura 10-4. Oxígeno disuelto del agua superficial en las estaciones REDCAM en Antioquia medido en los meses de septiembre-noviembre de 2015, febrero-marzo 2016 y abril 2016. La línea punteada indica el criterio de calidad (>4,0 mg de O₂/L) para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

El pH solo fue medido en el muestreo octubre-noviembre de 2015, y osciló entre 7,0 y 8,43 (Figura 10-5), encontrándose dentro de los rangos permisibles para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5-9,0), marinas y estuarinas (6,5- 8,5), descritos en el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)).

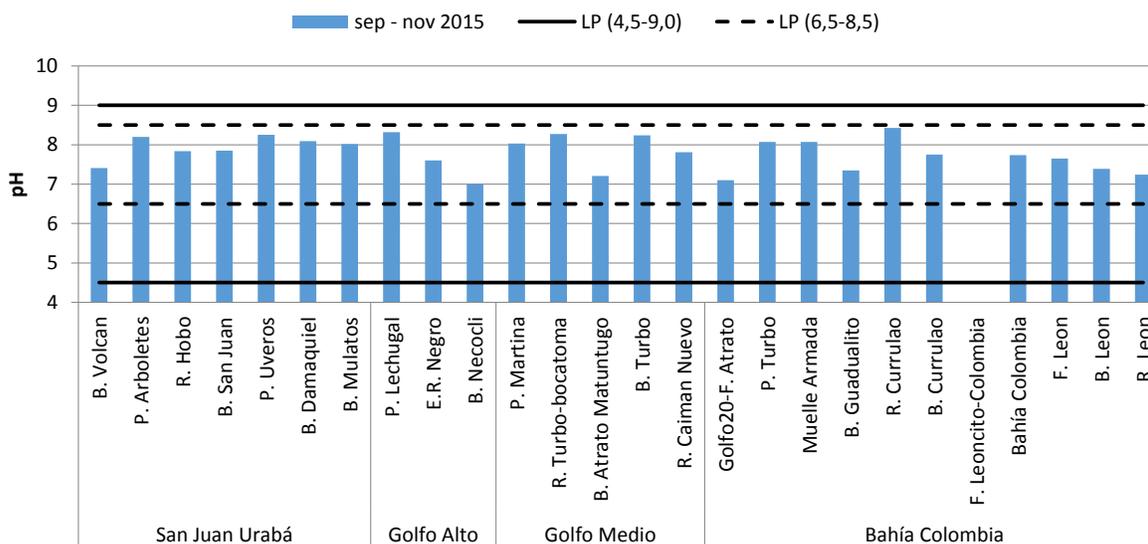


Figura 10-5. Valores de pH medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia en septiembre - noviembre de 2015. Las líneas negra continuas indican el rango permisible en aguas dulceacuícolas (4,5-9,0) y las líneas negras punteadas corresponden al rango permisible en aguas marinas y estuarinas (6,5-8,5), según MinSalud (1984).

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre el límite de detección del método analítico utilizado en el laboratorio de Aguas de CORPOURABÁ (<9,0 mg/L) y 4.595 mg/L. Las mayores concentraciones se registraron en el muestreo de septiembre-noviembre de 2015 (Figura 10-6), especialmente en las estaciones río León (297 mg/L) y su desembocadura (494 mg/L), y en la desembocaduras del río Guadualito (4595 mg/L). Comparando los resultados de SST con los valores de referencia de calidad de las aguas propuesto por [CONAGUA \(2015\)](#), la mayoría clasifican como aguas de calidad aceptable, una pequeña proporción como aguas contaminadas y fuertemente contaminada (Figura 10-6). Estas condiciones se generan por el inadecuado manejo de residuos domésticos, actividades de minería y a los procesos de erosión por la deforestación y expansión de las fronteras agrícolas en las cuencas de los ríos que desembocan el golfo de Urabá ([Blanco-Libreros, 2016](#)).

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

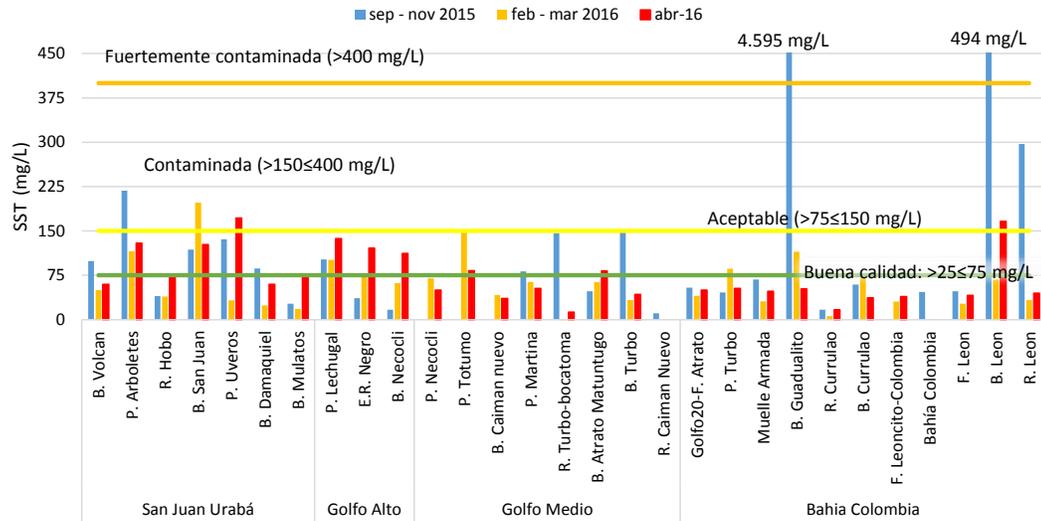


Figura 10-6. Sólidos suspendidos totales en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Antioquia, medido en los meses de septiembre-noviembre de 2015, febrero-marzo 2016 y abril 2016. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Históricamente, en la mayoría de las estaciones se han registrado concentraciones elevadas de SST, que en algunos casos puntuales supera los 2.000 mg/L, en los ríos Damaquiel, Mulatos, Turbo, Atrato y León durante el segundo semestre, periodo en el que se presentan las mayores precipitaciones (Figura 10-7). Al comparar los registros históricos de SST con la referencia de [CONAGUA \(2015\)](#), las aguas tendrían una clasificación de contaminadas (>150≤400 mg/L) y fuertemente contaminadas (>400 mg/L) (Figura 10-7). El aumento de las concentraciones de SST afectan la calidad del agua marina y costera, debido a que aumentan la turbidez y reducen la disponibilidad de luz solar para el fitoplancton y macroalgas del sistema ([Vélez-Agudelo y Aguirre-Ramírez, 2016](#)).

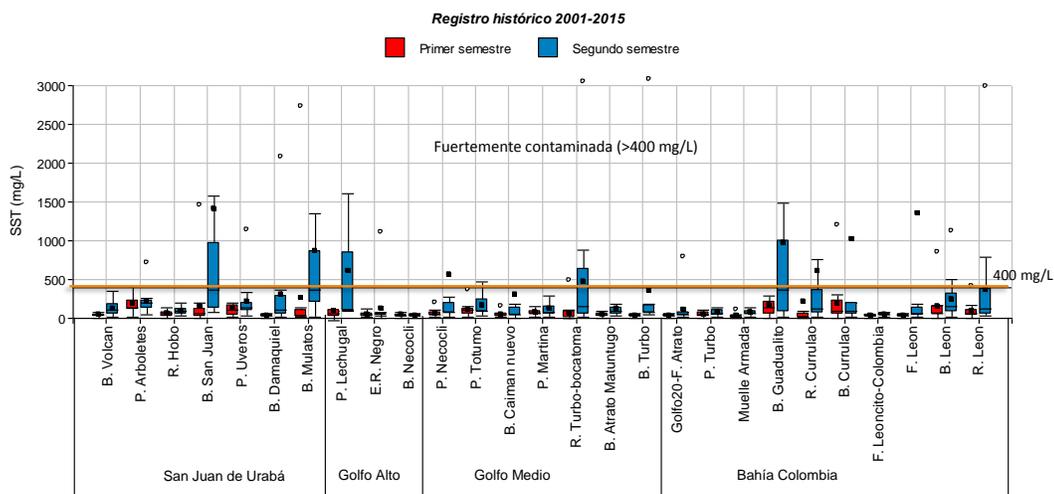


Figura 10-7. Registro histórico de Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Antioquia. La línea de color indica el rango de clasificación de la calidad del agua de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Los nutrientes inorgánicos disueltos amonio (N-HN_4^+), nitritos (N-NO_2^-), nitratos (N-NO_3^-) y ortofosfatos (P-PO_4^{3-}), se muestran en la Figura 10-8. El amonio osciló entre 70 y 2.060 $\mu\text{g/L}$, presentándose las mayores concentraciones en el muestreo de septiembre-noviembre de 2015 (Figura 10-8a). Estas concentraciones estarían asociadas a los aportes de aguas residuales, evidenciadas por las altas concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal (Figura 10-10), y las condiciones de hipoxia y de anoxia en las aguas en la mayoría de estaciones, que favorecen los procesos de reducción de compuestos nitrogenados y formación de amonio ([Vélez-Agudelo y Aguirre-Ramírez, 2016](#)).

Los nitritos oscilaron entre el menor al límite de detección del método analítico utilizado en el laboratorio de Análisis de Aguas de CORPOURABÁ (<3,0 $\mu\text{g/L}$) y 640 $\mu\text{g/L}$. Las concentraciones más altas se registraron en la zona Bahía Colombia, en las estaciones de las desembocaduras de los ríos Guadualito (78 $\mu\text{g/L}$) y Currulao (640 $\mu\text{g/L}$), en septiembre-noviembre de 2015; y en los ríos León (62 $\mu\text{g/L}$) y Currulao (82 $\mu\text{g/L}$) en abril 2016 (Figura 10-8b). Estos valores en general estuvieron por encima del rango sugerido como criterio de calidad para proteger los organismos acuáticos sensibles (80 y 350 $\mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L}$; [Camargo y Alonso, 2006](#)).

Las concentraciones de nitratos estuvieron entre el menor al límite de detección del método analítico utilizado en el laboratorio de Análisis de Aguas de CORPOURABÁ (<100 $\mu\text{g/L}$) y 11.870 $\mu\text{g/L}$. Las concentraciones más altas se registraron en la zona de San Juan de Urabá, estaciones río Hobo (600 $\mu\text{g/L}$) y desembocadura del río San Juan (850 $\mu\text{g/L}$), en septiembre 2015; y desembocadura del río San Juan (1.440 $\mu\text{g/L}$) en abril 2016; en la zona de Bahía Colombia, boca río Guadualito (660 $\mu\text{g/L}$) en septiembre-noviembre 2015, desembocadura del río León (11.870 $\mu\text{g/L}$) en febrero-marzo de 2016, y río León (680 $\mu\text{g/L}$) en abril 2016 (Figura 10-8c).

Los ortofosfatos oscilaron entre menor al límite de detección del método analítico (<100 $\mu\text{g/L}$) a 4.580 $\mu\text{g/L}$ (Figura 10-8d). Las mayores concentraciones se presentaron en el muestreo de abril de 2016 en la zona San Juan de Urabá, estación de la desembocadura del río Volcán (4.580 $\mu\text{g/L}$), y en la zona Golfo Alto en la desembocadura del río Necoclí (2.620 $\mu\text{g/L}$), valores que se asocian a vertimientos de aguas residuales y aportes de nutrientes por escorrentías de los suelos agrícolas aledaños.

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

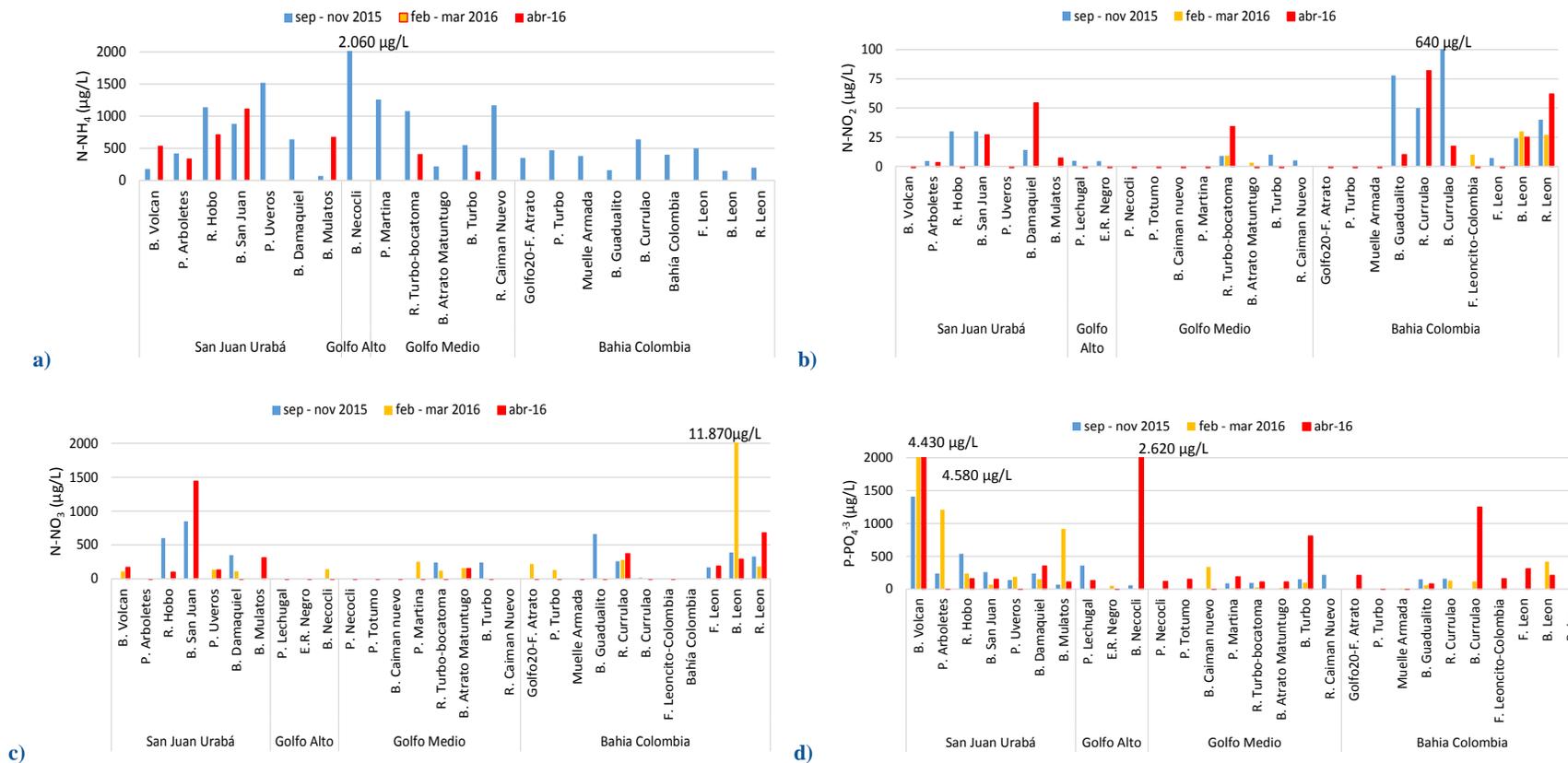


Figura 10-8. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitrito (N-NO₂⁻), c) nitrato (N-NO₃⁻) y d) ortofosfato (P-PO₄⁻³), medidos entre septiembre-noviembre de 2015, febrero-marzo de 2016 y abril 2016 en las estaciones y zonas de muestreo REDCAM departamento de Antioquia.

La contaminación microbiológica de las aguas se determinó a través de la presencia de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE). Las concentraciones de CTT oscilaron entre 20 y 920'000.000 NMP/100 mL, encontrándose en la mayoría de las estaciones valores que superaron los criterios de calidad para contacto primario (1.000 NMP/100 mL) y secundario (5.000 NMP/100mL) establecidos en el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#); Figura 10-9). Las mayores concentraciones se registraron en la zona de San Juan de Urabá, en las estaciones desembocadura del río Volcán (920'000.000 NMP/100mL), río Hobo (1'600.000 NMP/100mL) y desembocadura del río Damaquiel (2'400.000 NMP/100mL) en el muestreo realizado en febrero-marzo de 2016; en la zona Golfo Medio, en la desembocadura del río Turbo (2'400.000 NMP/100mL); y en la zona Bahía Colombia, en la desembocadura del río Currulao (2'400.000 NMP/100mL) en abril de 2016. Estos resultados indican una alta contaminación microbiológica que estaría asociado a vertimientos de aguas residuales, siendo los ríos los cuerpos de agua más contaminados.

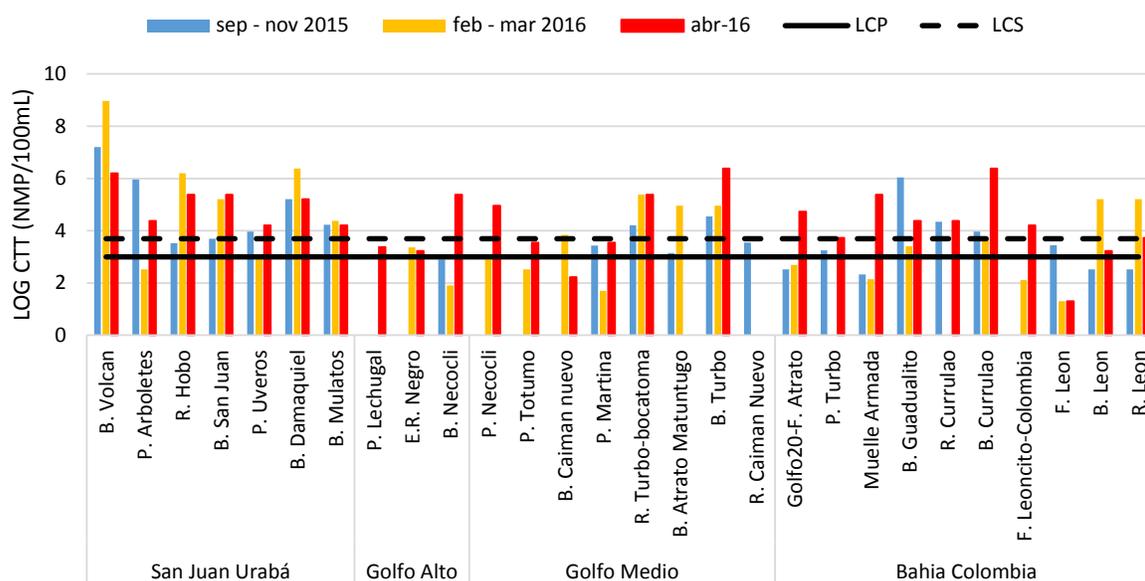


Figura 10-9. Coliformes totales en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Antioquia. La línea negra punteada indica el máximo permisible para contacto secundario (5.000 NMP/100 mL), y la línea continua el máximo permisible para contacto primario (1.000 NMP/100 mL), según MinSalud (1984).

Los CTE oscilaron entre 20 y 540'000.000 NMP/100 mL en su gran mayoría superando el criterio de calidad para el uso recreativo del recurso hídrico por contacto primario (200 NMP de CTE/100 mL; [MinSalud, 1984](#); Figura 10-10). Las mayores concentraciones se registraron en las mismas estaciones con altos valores de CTT, lo cual corrobora que la contaminación en las estaciones es de origen fecal. Comparando los resultados con los valores de referencia de [CONAGUA \(2015\)](#) para calificar la calidad de las aguas, las estaciones de los ríos Hobo, Turbo, Currulao y León, y las desembocaduras de los ríos Volcán, San Juan, Damaquiel, Mulatos, Atrato, Turbo y León están entre microbiológicamente contaminadas ($<1000 \leq 10.000$ NMP/100 mL) y fuertemente contaminadas (>10.000 NMP/100 mL).

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

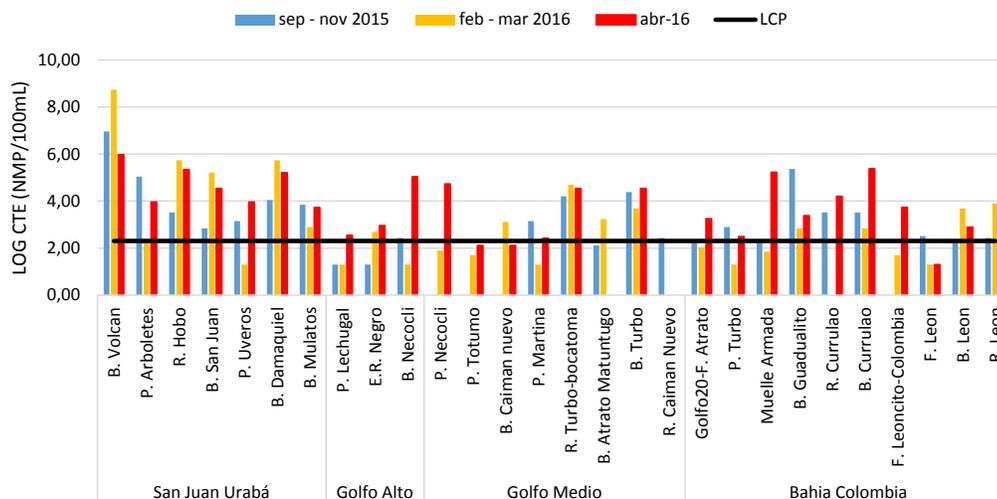


Figura 10-10. Coliformes termotolerantes en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Antioquia. La línea negra continua indica el máximo permisible para contacto primario (200 NMP/100 mL), según MinSalud (1984).

En relación a la calidad de los sedimentos, se realizaron mediciones de concentraciones totales de los metales: plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu) y zinc (Zn) en los muestreos realizados en septiembre-octubre de 2015 y febrero-marzo de 2016, los resultados se presentan en la Tabla 10-1. Los metales Pb y Cd en ambos muestreos no fueron detectables con el método utilizado en el laboratorio de Análisis de Aguas de CORPOURABÁ. El Cu osciló entre 13,44 y 29,07 $\mu\text{g/g}$ en el muestreo de septiembre-octubre de 2015, y entre 1,71 y 73,60 $\mu\text{g/g}$ en febrero-marzo de 2016, valores que no representan riesgo para la biota acuática, debido a que no superan la referencia para efectos probables en sedimentos fluviales y marinos según [Buchman \(2008\)](#) (Tabla 10-1). El Zn fluctuó entre 6,07 y 84,13 $\mu\text{g/g}$ en el muestreo de septiembre-octubre de 2015, y entre 11,84 y 89,25 $\mu\text{g/g}$ en febrero-marzo de 2016, sin sobrepasar las referencias para efectos probables en sedimentos fluviales y marinos, por lo cual no representa riesgo para la biota acuática.

Tabla 10-1. Concentraciones de metales pesados totales medidas en sedimentos superficiales del departamento de Antioquia en septiembre-octubre de 2015 y febrero-marzo de 2016. Los valores de referencia PEL para sedimentos marinos fueron tomados de la NOAA ([Buchman, 2008](#)). (-) no medido. (ND) no detectable.

Zona	Estación	Metales pesados totales medidos en Sep-oct 2015 ($\mu\text{g/g}$)				Metales pesados totales medidos en feb-mar 2016 ($\mu\text{g/g}$)			
		Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn
San Juan Urabá	B. Volcán	ND	ND	16,62	61,99	ND	ND	1,71	23,73
	P. Arboletes	ND	ND	13,44	58,05	ND	ND	2,28	21,35
	B. San Juan	ND	ND	17,3	68,17	-	-	-	-
	B. Damaquiel	ND	ND	15,11	55,98	ND	ND	ND	15,89
	B. Mulatos	ND	ND	19,72	60,26	ND	ND	ND	11,84
Golfo Alto	B. Necoclí	ND	ND	ND	7,25	ND	ND	ND	13,58
Golfo Medio	B. Caimán nuevo	ND	ND	ND	6,07	-	-	-	-
	B. Atrato Matuntugo	ND	ND	29,07	65,88	ND	ND	73,60	78,50
	B. Turbo	ND	ND	19,02	55,46	-	-	-	-
	R. Caimán Nuevo	ND	ND	27,58	59,71	-	-	-	-
Bahía Colombia	B. Guadualito	ND	ND	20,34	64,58	ND	ND	ND	17,36
	R. Currulao	ND	ND	19,5	51,81	-	-	-	-

Zona	Estación	Metales pesados totales medidos en Sep-oct 2015 (µg/g)				Metales pesados totales medidos en feb-mar 2016 (µg/g)			
		Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn
	B. Currulao	ND	ND	28,93	67,05	0,001	ND	39,68	83,68
	B. León	ND	ND	18,32	84,13	ND	ND	59,21	89,25
Valores Referencia PEL sedimentos fluviales		91,3	3,53	197	315	91,3	3,53	197	315
Valores Referencia PEL sedimentos marinos		112	4,21	108	271	112	4,21	108	271

10.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

La aplicación del ICAM_{PFF} a las estaciones marinas del departamento de Antioquia, mostró que la calidad de las aguas en los muestreos realizados en septiembre-noviembre de 2015, febrero-marzo y abril de 2016, tuvieron una calidad entre pésima y aceptable (Figura 10-11). En las estaciones playa Arboletes y Uveros la calidad del agua fue pésima para la preservación de flora y fauna en todos los muestreos, debido a las elevadas concentraciones de las coliformes termotolerantes y de ortofosfatos, y a los niveles de oxígeno disuelto por debajo de lo permitido en la normatividad colombiana (>4,0 mg O₂/L). En la estación Muelle Armada, la calidad del agua fluctuó de inadecuada en septiembre-noviembre de 2015, aceptable en febrero-marzo 2016 y pésima en abril de 2016 (Figura 10-11), por las variaciones de las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos como el nitrato y ortofosfatos, los SST y los coliformes termotolerantes que se han mantenido altos y los niveles de oxígeno disuelto.

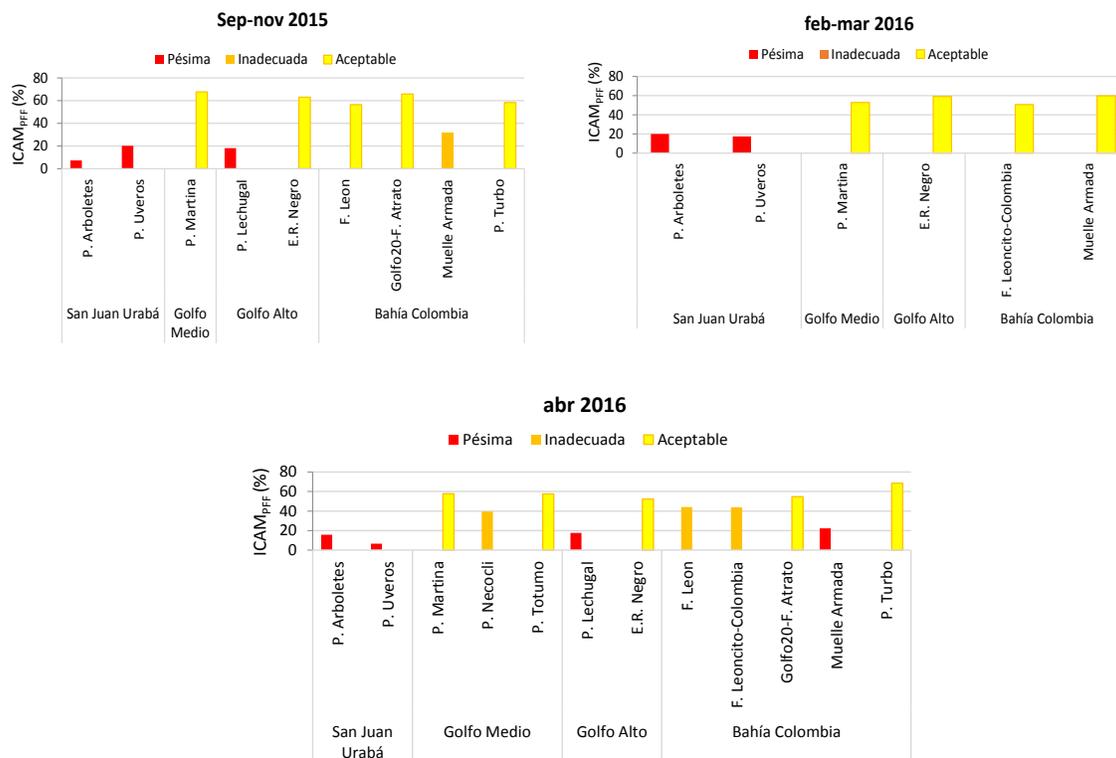


Figura 10-11. Calidad de las aguas marino costeras en las estaciones REDCAM del departamento de Antioquia en los muestreos de septiembre- noviembre de 2015 (a), febrero-marzo 2016 (b) y abril de 2016 (b), evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

Entre los años 2013 y 2015, la calidad del agua en la zona de San Juan de Urabá fue en mayor proporción inadecuada y pésima (Tabla 10-2), debido a la contaminación microbiológica y las altas concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos y sólidos en suspensión, lo cual deteriora la calidad del agua para la preservación de flora y fauna. En la zona bahía Colombia, solamente en el año 2014 se encontró mayor proporción de estaciones con aguas de calidad inadecuadas, y en el 2015, solo el 6% fue de calidad óptima. En las zonas del golfo Alto y Medio, las estaciones tuvieron mayor proporción de aguas de calidad de aceptable y adecuada (Tabla 10-2).

Tabla 10-2. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en el las zonas del departamento de Antioquia en el periodo desde el 2013 al 2015.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Bahía Colombia	6%	38%	38%	19%	
	Golfo Alto			50%	50%	
	Golfo Medio		17%	58%	25%	
	San Juan Urabá	17%	33%	50%		
2014	Bahía Colombia		56%	11%	33%	
	Golfo Alto		100%			
	Golfo Medio	17%		67%	17%	
	San Juan Urabá	71%	29%			
2015	Bahía Colombia	13%	13%	38%	31%	6%
	Golfo Alto	17%	33%	17%	33%	
	Golfo Medio		22%	44%	33%	
	San Juan Urabá	25%	42%	8%	25%	

10.4 CONCLUSIONES

- ❖ Las aguas superficiales marinas y costeras en las estaciones del departamento de Antioquia, tienen inadecuada calidad para la preservación de la flora y fauna, por los altos contenidos de materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes inorgánicos por vertimientos de aguas residuales, que reducen la disponibilidad de oxígeno disuelto creando condiciones de hipoxia.
- ❖ La gran mayoría de las aguas marino costeras y fluviales tienen contaminación microbiología alta, con valores que superan el valor máximo permitido por la legislación nacional para el uso recreativo, evidenciando los efectos de los vertimientos de aguas residuales sobre la calidad ambiental marina y costera debido al déficit del saneamiento básico en las poblaciones costeras.
- ❖ En el sedimento de las estaciones evaluadas en las zonas San Juan de Urabá, Golfo Alto y Medio, y Bahía, no se evidencia contaminación por metales pesados como Pb, Cd, Cu y Zn y las concentraciones al estar por debajo de los valores de referencia para efectos probables de la NOAA, no representan ningún riesgo para la biota acuática.

CHOCÓ - PACÍFICO

Max Martínez Campo



Bahía Solano. Foto: José Vega.

EQUIPO TÉCNICO CODECHOCO

Yoileth Ibarguen Mosquera – Subdirector de Calidad y Control Ambiental
Alexis Castro Arriaga – Coordinador Laboratorio de aguas CODECHOCO
Danny Yennescy Palomeque Largacha – Ingeniera Ambiental, Contratista

11. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE CHOCÓ

El Departamento de Chocó está situado al occidente del país entre los 04° 05' y 08° 40' de latitud norte y los 75° 50' y 77° 55' de longitud oeste, siendo el único departamento que presenta costas en el mar Caribe y en el océano Pacífico. La región Pacífico del departamento se caracteriza por ser una de las zonas más lluviosas del país, con registros entre 3.000 y 9.000 mm/año ([IDEAM, 2017](#)). Los ecosistemas presentes a lo largo de la franja costera en esta región son playas de arena, litoral rocoso, manglares y formaciones coralinas, estos últimos presentes en la ensenada de Utría y en Punta Tebada, de tipo franjeante y pocos desarrollados ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)). Los manglares se desarrollan en áreas bajas inundables protegidas, son bosques heterogéneos producto de la diversidad de los suelos y dinámica geológica e hídrica de la zona ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)).

La población costera del departamento al año 2016 se estimó en 79.109 habitantes, de la cual el 69 % corresponde a los municipios de Juradó, Bahía Solano, Nuquí, Bajo Baudó y Litoral San Juan ubicados en el Pacífico con ~54.400 habitantes (DANE, 2016). La cobertura de alcantarillado en esta región es baja (2 – 45 %) y la producción de aguas residuales doméstica en estos municipios es proporcional a la población ([Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)). La producción de residuos sólidos oscila entre 0,08 y 3,21 t/día, los cuales son dispuestos en los botaderos a cielo abierto y en celdas transitorias ([Superservicios, 2014a](#)). Esto, sumado a la explotación de los recursos hidrobiológicos, maderables y mineros, actividades portuarias y agropecuarias aumentan el impacto negativo sobre el recurso hídrico y ecosistemas marino-costeros del departamento, causando deterioro de la calidad ambiental.

Con el propósito de contar con información para la conservación y protección del recurso hídrico marino-costero del Chocó, desde el año 2001 se viene realizando la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento, teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes orgánicos e inorgánicos, con el acompañamiento de la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó – CODECHOCÓ.

El presente informe diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras, contiene el análisis de la información recolectada durante los muestreos realizados el segundo semestre del año 2015 y primer semestre del año 2016, en estaciones ubicadas entre los municipios de Bahía Solano y Nuquí, región Pacífico colombiano

11.1 ZONAS DE MONITOREO

En el departamento del Chocó, la REDCAM cuenta con 16 estaciones de muestreo para evaluar la calidad del agua y una estación en Bahía Solano (ESSO) para evaluar calidad del sedimento (Figura 11-1). Estas estaciones se distribuyen geográficamente en dos (2) zonas: Bahía Solano y Golfo de Tribugá. La primera corresponde al municipio de Bahía Solano, donde están las estaciones playa Huina, frente Bahía Solano, Bahía Solano, quebrada Chocolatal y río Jella. La segunda zona, el **Golfo Tribugá**, la cual tiene las estaciones de las playas Almejal, Jurubidá, Tribugá y Nuquí, río Valle, frente al río Valle, ensenada Utría, estero Jurubidá, Frente al río Nuquí y río Nuquí (Figura 11-1).

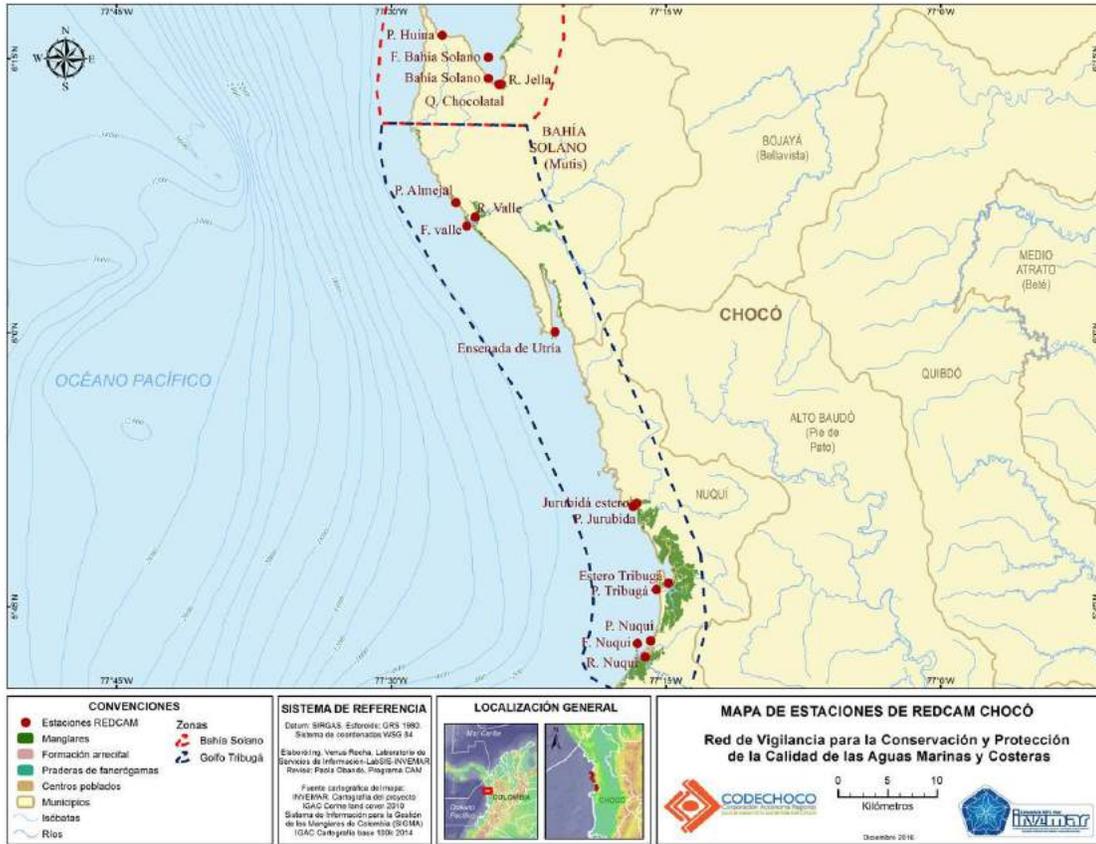


Figura 11-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el departamento del Chocó.

Los muestreos fueron realizados por INVEMAR y CODECHOCÓ, el 06 de octubre de 2015 y el 17 de mayo de 2016. En cada estación de muestreo se hicieron mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, y se recolectaron muestras de agua, para analizar en el laboratorio variables fisicoquímicas, microbiológicas, contaminantes orgánicos (hidrocarburos y plaguicidas) y metales pesados disueltos. En la estación Bahía Solano (ESSO), se tomó una muestra de sedimento para medir hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno, plaguicidas y metales pesados totales.

11.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

En la Figura 11-2 se muestra la salinidad del agua superficial en las estaciones evaluadas en los muestreos de octubre de 2015 y mayo de 2016. En Bahía Solano, la salinidad osciló entre 0 y 29,6, encontrándose estaciones de agua dulce (quebrada Chocolatal) con salinidad de cero, estuarinas (río Jella) y marinas oligohalinas (playa Huina, frente a Bahía Solano y Bahía Solano) con salinidades entre 17 y 30 (Knox, 2001). En la zona Golfo Tribugá, la salinidad fluctuó entre 0 y 29,8. En las estaciones de los ríos Nuquí y Valle el agua fue agua dulce (0-0,5) y salobre mesohalina (3,0-10), en el estero Jurubidá las aguas fueron de tipo estuarina polihalina (10,0-17,0) y en las demás estaciones de tipo marina oligohalina (17-30) según la clasificación de Knox (2001) (Figura 11-2).

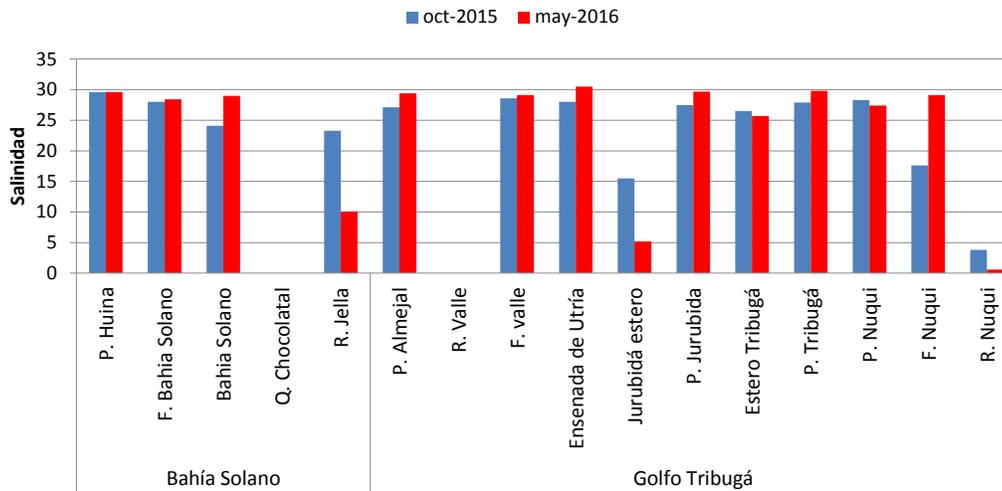


Figura 11-2. Salinidad medida en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en octubre 2015 y mayo 2016.

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en las aguas superficiales oscilaron entre 4,6 y 8,9 mg O₂/L, valores considerados adecuados para la preservación de flora y fauna, de acuerdo lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 (Figura 11-3; >4 mg O₂/L, [MinSalud, 1984](#)). Las concentraciones de oxígeno disuelto más altas se registraron en el muestreo de mayo de 2016, principalmente en aquellas estaciones marinas y estuarinas con influencia de aguas continentales como la playa Almejal, Ensenada de Utría y playa Huina.

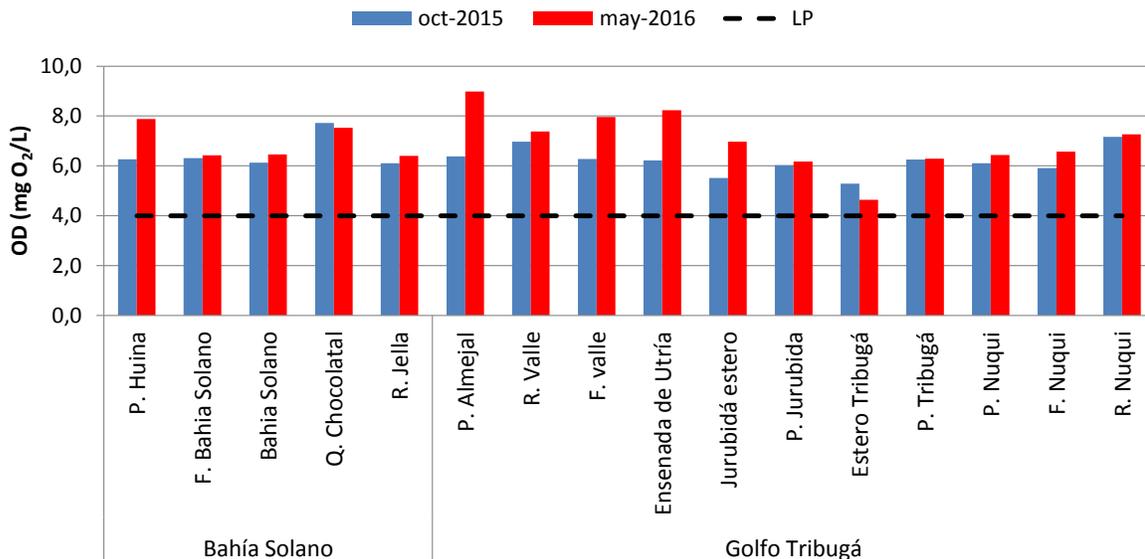


Figura 11-3. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en octubre 2015 y mayo 2016. La línea negra punteada muestra el valor mínimo permisible en aguas marinas y estuarinas (4 mg/L; MinSalud, 1984).

La temperatura del agua superficial de las estaciones marinas y estuarinas estuvo entre 27,9 y 30,3°C y las aguas fluviales entre 25,7 y 30,9 °C. Las temperaturas más altas se presentaron en la zona de Bahía Solano tanto en las estaciones marinas, como frente Bahía Solano (30,1°C), Bahía Solano (30,9°C) y en la zona fluvial como la estación río Jella (30,9°C), lo cual se relaciona con la hora de medición (entre 13:00 y 13:57), la baja profundidad y estancamiento del río Jella.

El pH osciló entre 7,61 y 8,26 (Figura 11-4), todas las estaciones se encontraron dentro del rango permisible establecido por el Decreto 1594 de 1984, para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5-9,0) y marinas y estuarinas (6,5- 8,5 [MinSalud, 1984](#)). En la zona Bahía Solano, los valores más bajos se obtuvieron en las estaciones fluviales quebrada Chocolatal (7,78 – 7,91) y río Jella (7,72 – 8,01). En la zona Golfo Tribugá, de manera similar los valores de pH más bajos fueron obtenidos en las estaciones de los ríos Valle (7,63 – 7,71) y Nuquí (7,61 – 7,65), mientras los más altos fueron en los frentes de los ríos Nuquí (7,93 – 8,26) y Valle (8,17 – 8,24) y las estaciones ensenada de Utría (8,16 – 8,25) y playa Almejal (8,15 – 8,23).

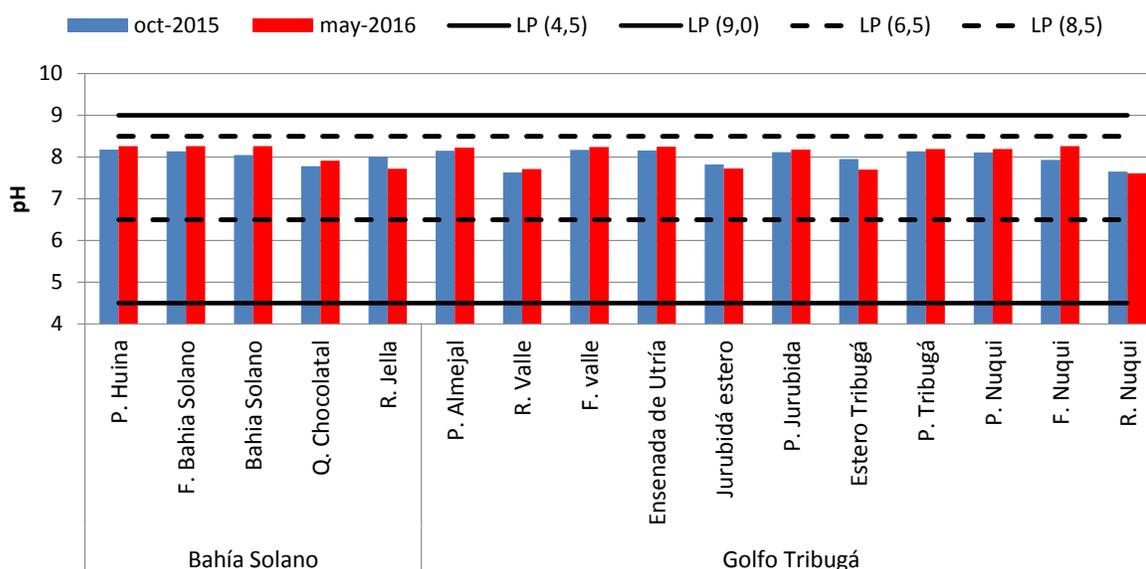


Figura 11-4. Valores de pH en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, registrados en octubre 2015 y mayo 2016. La línea negra continua indica el rango para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0), y la línea negra punteada indica el rango en aguas marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; [MinSalud, 1894](#)).

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) fluctuaron entre 4,2 mg/L y 192 mg/L, presentándose las concentraciones más altas en el río Valle y Jella durante el muestreo de octubre 2015 (Figura 11-5). Teniendo en cuenta los rangos de referencia de calidad de agua de [CONAGUA \(2015\)](#), la mayoría de estaciones estuvieron en condiciones de buena calidad. El aumento de sólidos suspendidos durante el segundo semestre de 2015, puede estar relacionado con las lluvias y con la influencia de las mareas. Las concentraciones de SST en la ensenada de Utría fueron menores de 50 mg/L, valor considerado adecuado para la preservación de corales ([Fabricius, 2005](#)).

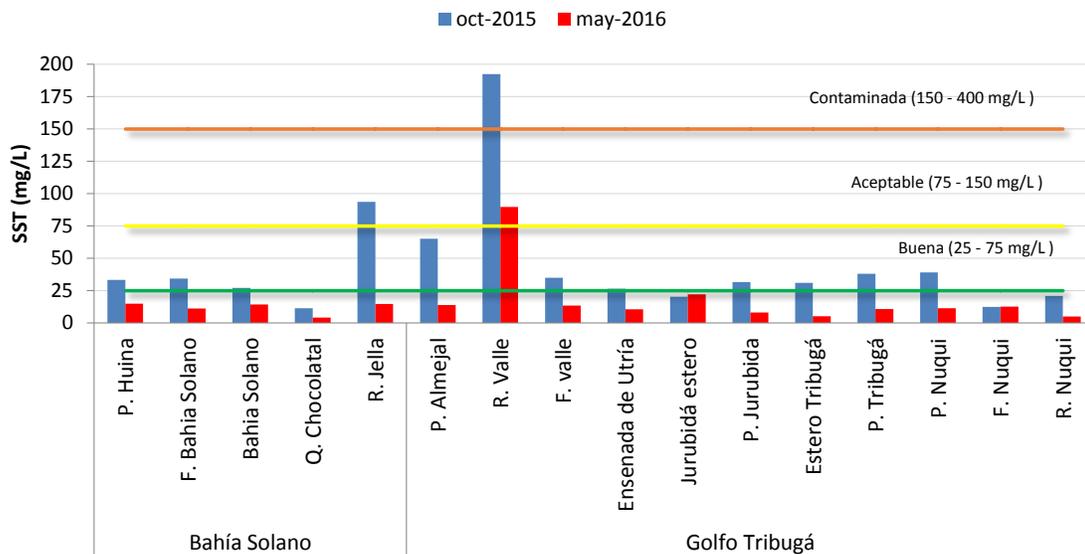


Figura 11-5. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en octubre 2015 y mayo 2016. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas para SST propuesto por CONAGUA (2015).

En la Figura 11-6, se muestran los registros históricos de la REDCAM desde el 2001 hasta 2015, las concentraciones más altas se han presentado en las estaciones fluviales y estuarinas, como los ríos Nuquí (1.686 mg/L; 2010), Jella (944 mg/L; 2007) y el estero Tribugá (766 mg/l; 2008). Cabe resaltar que la mayoría de estaciones han mantenido condiciones de buena calidad (25-75 mg/L) según los valores propuestos por [CONAGUA \(2015\)](#).

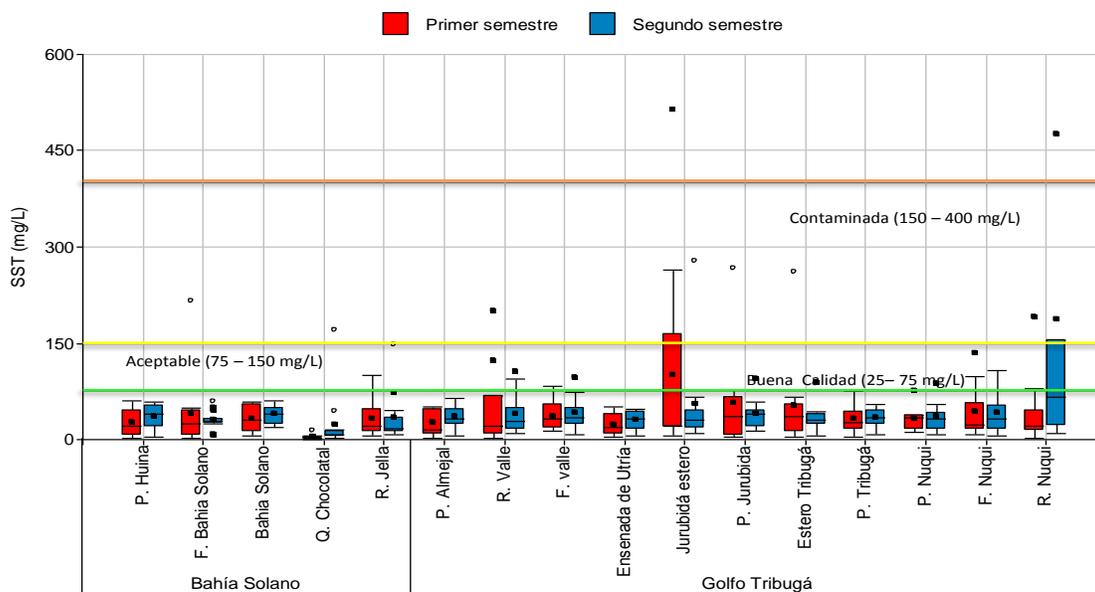


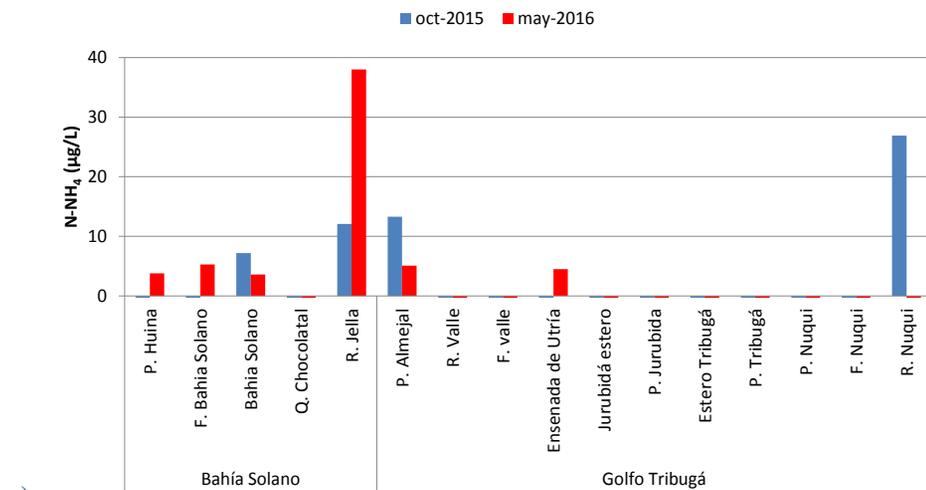
Figura 11-6. Registro histórico desde el 2001 al 2015 de SST en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Chocó. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a las concentraciones de SST, propuestos por CONAGUA (2015).

Las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos: amonio (N-NH_4^+), nitritos (N-NO_2^-), nitratos (N-NO_3^-) y ortofosfatos (P-PO_4^{3-}), se muestran en la Figura 11-7. El amonio se encontró en la mayoría de las estaciones por debajo del límite de detección del método ($<3,1 \mu\text{g/L}$), con excepción del río Jella en el que se registró una concentración de $38,0 \mu\text{g/L}$ durante el muestreo de mayo de 2016 y en el río Nuquí $26,9 \mu\text{g}$, en octubre de 2015, asociado a vertimientos de aguas residuales ya que estas estaciones están influenciada por los asentamientos humanos de Bahía Solano y Nuquí (Figura 11-7a).

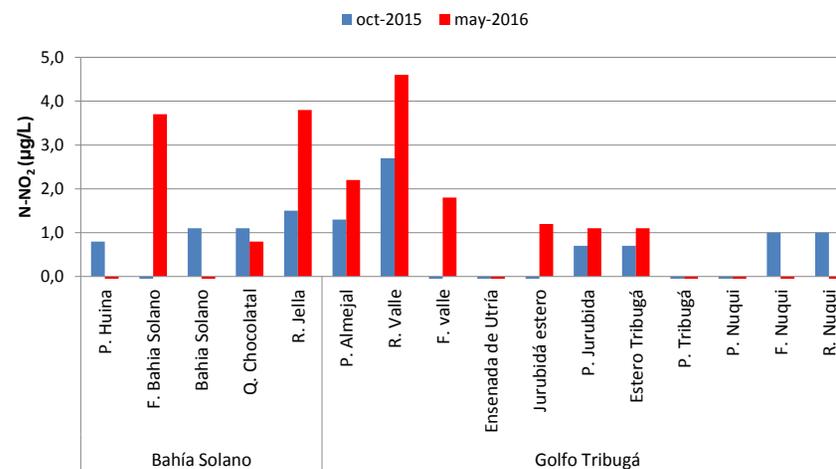
El nitrito osciló entre menor al límite de detección del método ($<0,7 \mu\text{g/L}$) y $4,6 \mu\text{g/L}$, encontrándose las concentraciones más altas en el muestreo de mayo de 2016 en las estaciones de los ríos Valle ($4,6 \mu\text{g/L}$) y Jella ($3,8 \mu\text{g/L}$) y en frente a Bahía Solano ($3,7 \mu\text{g/L}$; Figura 11-7b). Estas concentraciones han estado por debajo del rango sugerido como criterios de calidad para proteger organismos acuáticos sensibles entre 80 y $350 \mu\text{g/L}$ y se asocian a los aportes de aguas residuales y la hidrodinámica de las mareas por la resuspensión de sedimentos que conlleva a la liberación de estos nutrientes ([Camargo y Alonso, 2006](#)).

Los nitratos oscilaron entre menor al límite de detección ($<2,1 \mu\text{g/L}$) y $185,4 \mu\text{g/L}$ (Figura 11-7c). En la zona de Bahía Solano, las concentraciones más elevadas se registraron en las estaciones quebrada Chocotal (185,4 $\mu\text{g/L}$) y río Jella ($122 \mu\text{g/L}$) en el muestreo de mayo de 2016 (Figura 11-7c). Estos valores podrían estar asociados a los aportes naturales por la descomposición del detritus de los bosques ribereños y a vertimientos de aguas residuales por la alta concentración de microorganismos indicadores de contaminación fecal que se describen más adelante.

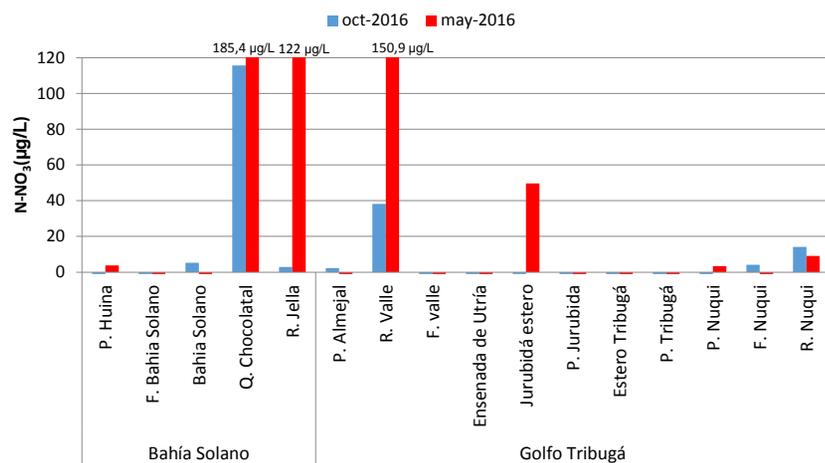
Las concentraciones de ortofosfatos estuvieron entre el límite de detección del método ($<2,4 \mu\text{g/L}$) y $34,6 \mu\text{g/L}$ (Figura 11-7d). En las estaciones de Bahía Solano las concentraciones más altas se obtuvieron en los cuerpos de agua continentales durante el muestreo de mayo de 2016, río Jella ($27 \mu\text{g/L}$) y quebrada Chocotal ($25 \mu\text{g/L}$; Figura 11-7d). Así mismo en la zona Golfo Tribugá, las mayores concentraciones se registraron en las estaciones fluviales o influenciadas por las mismas como río Nuquí ($36,7 \mu\text{g/L}$), Jurubidá Estero ($17,5 \mu\text{g/L}$) y río Valle, durante el muestreo del 2016 ($12,4 \mu\text{g/L}$; Figura 11-7d). Estos resultados indican que el mayor aporte de fosfatos a la zona marino costera del departamento, corresponde a los tributarios, los cuales reciben descargas de aguas residuales domésticas debido a la escasa de cobertura de alcantarillado.



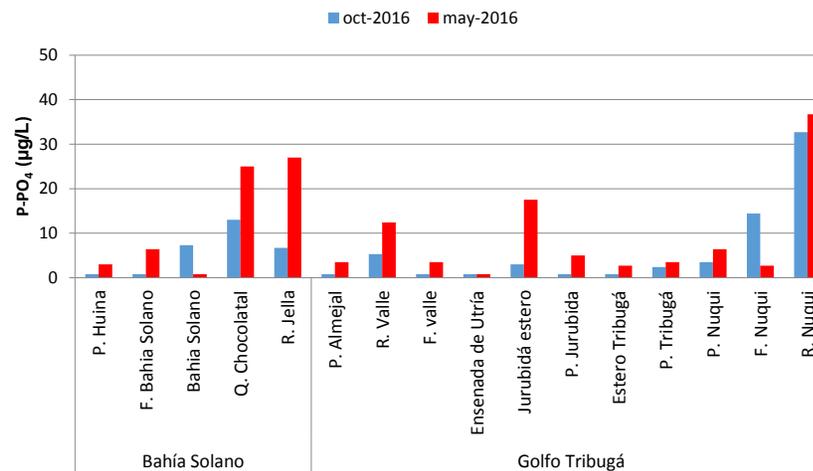
a)



b)



c)



d)

Figura 11-7. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio ($N-NH_4^+$), b) nitrito ($N-NO_2^-$), c) nitrato ($N-NO_3^-$) y ortofosfato ($P-PO_4^{3-}$), medidos en octubre de 2015 y mayo de 2016 en las estaciones y zonas de muestreo REDCAM del departamento del Chocó.

Para determinar la calidad microbiológica en las estaciones del departamento del Chocó, se realizaron mediciones de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE). Los coliformes totales (CTT) estuvieron entre 33 y 2.400.000 NMP/100 mL (Figura 11-8). En la zona Bahía Solano, la mayoría de las estaciones presentaron altas concentraciones de CTT, sobrepasando los límites permisibles para el uso recreativo del agua por contacto primario y secundario en la quebrada Chocolatal (320.000 NMP/100 mL) y río Jella (2.400.000 NMP/100 mL) en los muestreos de octubre de 2015 y mayo de 2016, y en la estación bahía Solano en octubre de 2015 (Figura 11-8). En la zona Golfo Tribugá, las mayores concentraciones de CTT se determinaron en el río Valle (1.300.000 NMP/100 mL) y en la playa de Nuquí (330.000 NMP/100 mL) en los muestreos de octubre de 2015 y mayo de 2016.

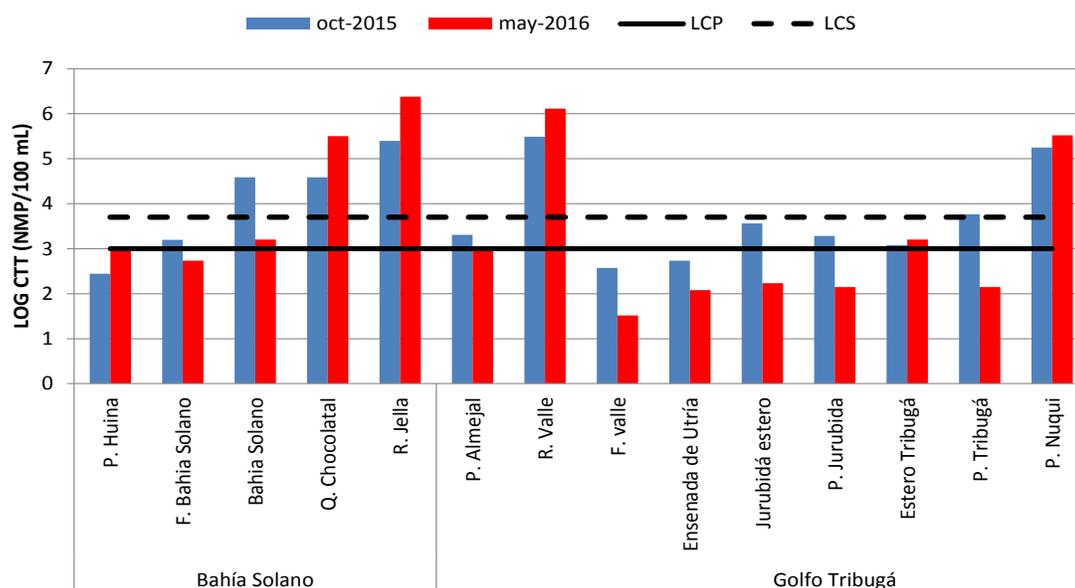


Figura 11-8. Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Chocó en octubre 2015 y mayo 2016. La línea negra continua corresponde al límite permisible para el uso recreativo por contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (LOG=3,0), y la línea punteada es el límite permisible para el contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (LOG=3,7) según el dec. 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

En Tabla 11-1 se presentan los resultados de los CTE y EFE registrados en los muestreos de octubre de 2015 y mayo de 2016. En cuanto a los CTE, la estación bahía Solano presentó la concentración más alta con 7.670 NMP/100 mL en el muestreo de octubre de 2015, lo cual indica una alta contaminación microbiológica de origen fecal por vertimientos de aguas residuales. En la zona de Golfo Tribugá, la estación playa Almejal también presentó altas concentraciones de CTE en ambos muestreos, y la playa Nuquí únicamente sobrepasó el criterio de calidad para aguas recreativas por contacto primario en el muestreo de mayo de 2016 (Tabla 11-1). Con respecto a los EFE los valores registrados estuvieron en algunos casos por debajo del límite de detección de la técnica utilizada en el LABCAM y en otros no sobrepasó las 40 UFC/100 mL, lo cual indica que un riesgo de >1% y de 0,3% de contraer enfermedades gastrointestinales y respiratoria febril aguda respectivamente, según la [OMS \(2003\)](#).

Tabla 11-1. Coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE) medidos en las estaciones marinas REDCAM en Chocó en los muestreos de octubre 2015 y mayo 2016. (1) valores de *E. coli* por la técnica Colilert. * Criterio de calidad para contacto primario de MinSalud (1984). ** Valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades Gastrointestinales y Respiratoria Febril Aguda, respectivamente.

Zona	Estación	CTE (NMP/100 mL)		EFE (UFC/100 mL)	
		Oct. 2015 ¹	May. 2016	Oct. 2015	May. 2016
Bahía Solano	Playa Huina	52	49	<1	10
	Bahía Solano	7.670	280	<1	23
Golfo Tribugá	Playa Almejal	624	350	34	5
	Ensenada de Utría	20	10	<1	<1
	Playa Jurubidá	41	13	<1	<1
	Playa Tribugá	52	79	<1	6
	Playa Nuquí	86	1.600	2	5
Valores de referencia		200*		40**	

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en el agua superficial oscilaron entre el límite de detección del método (<0,07 µg/L) y 9,43 µg/L, encontrándose el valor más elevado en la estación río Jella (Bahía Solano), en el muestreo de octubre de 2015 (Figura 11-9). En la zona Golfo Tribugá, las concentraciones más altas se registraron igualmente en el muestreo de octubre de 2015, en la estaciones frente al río Nuquí (5,38 µg/L) y ensenada de Utría (4,07 µg/L). Lo anterior está asociado a la alta actividad de transporte en lancha y comercialización de combustibles, principalmente en el río Jella y Nuquí. Cabe destacar que ningún valor sobrepasó la referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas, pero si el valor de 5 µg/L que corresponde a aguas costeras con contaminación baja ([Unesco, 1984](#); [Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-Gonzalez et al., 2004](#)).

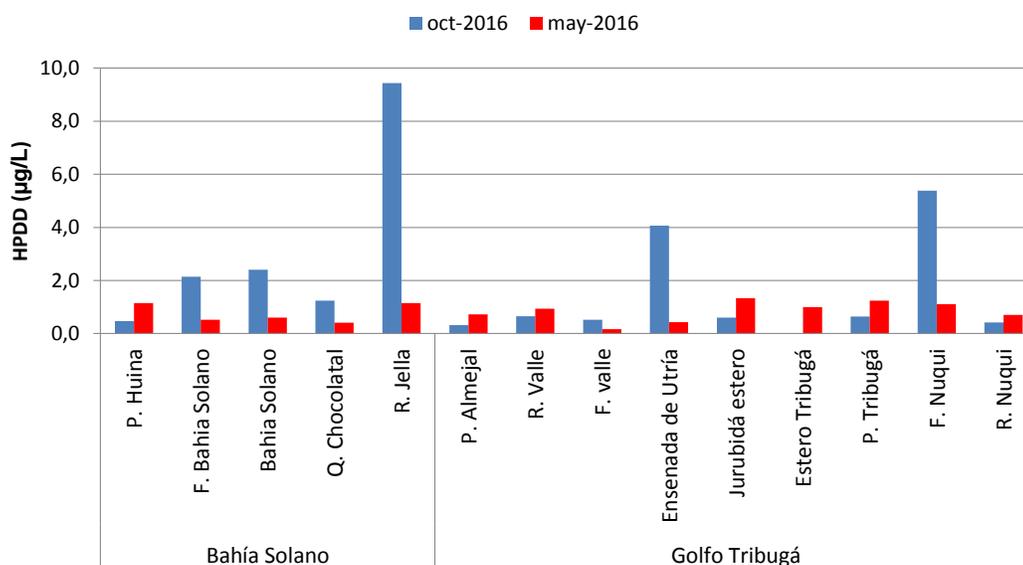


Figura 11-9. Concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos (HPDD) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Chocó, en octubre 2015 y mayo 2016.

En cuanto a los hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HP) en sedimentos de la estación Bahía Solano (ESSO), la concentración más alta fue obtenida durante el muestreo de mayo de 2016 (5,0 µg/g) en comparación con el muestreo de octubre de 2015 (2,2 µg/g), estos valores no representan riesgo ambiental, debido a que estuvieron por debajo de la referencia de 15 µg/g sugerida por [Mora et al. \(2010\)](#) como niveles naturales.

En las aguas superficiales del departamento del Chocó, se detectaron los organoclorados pp'DDD (33,9 ng/L) y Endosulfán II (33,9 ng/L) en la estación Frente Bahía Solano en el muestreo de mayo 2016. La concentración de pp'DDD no superó el valor de referencia para efectos crónicos en agua marina (360 ng/L; [Buchman, 2008](#)), pero la concentración de Endosulfán II si superó las referencias para efectos crónicos (4,35 ng/L) y agudos (17 ng/L; [Buchman, 2008](#)) en agua marina. La presencia de estos compuestos en el ambiente es altamente peligrosa por los efectos de bioacumulación, disrupción endocrina y mortalidad de organismos acuáticos, además de los efectos sobre la salud humana, es por ello que está prohibido su uso por las autoridades nacionales ([Nivia, 1993](#); [Ballesteros et al., 2014](#); [Da Cuña et al., 2016](#)). También se encontró el organoclorado γ -HCH en la estación del río Nuquí en una concentración de 27,8 ng/L, valor que no supera la referencia para efectos agudos en aguas marinas (80 ng/L; [Buchman, 2008](#)). Este plaguicida era comúnmente utilizado en los cultivos de frutas, hortalizas y plantaciones forestales para el control de plagas, pero por su alta toxicidad su uso ha sido restringido en Colombia (Resolución 04166 de 1997 del Ministerio de Salud; [ATSDR, 2005](#)). Su presencia en el agua puede indicar un uso reciente e ilegal en áreas agrícolas y por escorrentía llegar a los ríos que desembocan en la zona y por consiguiente al océano Pacífico.

En las muestras de sedimentos de la estación Bahía Solano (ESSO) colectadas en octubre de 2015, se detectaron el organofosforado Cis-permetrina (22,0 ng/g) y el organoclorado metoxicloro (16,2 ng/g). La Cis-permetrina que es uno de los isómeros de la permetrina, un insecticida de tipo piretroide de amplio espectro para el control de plagas, empleado tanto a nivel agrícola como residencial ([EPA, 2009](#)), actualmente no cuentan con valores permisibles o de referencia a nivel nacional, no obstante, estudios relacionados demuestran que es altamente nocivo para peces e invertebrados bentónicos ([EPA, 2009](#)). Así mismo, el Metoxicloro es un insecticida calificado como sustancia peligrosa ya que actúa como un disruptor endocrino ([ATSDR, 2002](#), [Fort et al., 2004](#)). En Colombia, estudios efectuados por [Jaramillo et al \(2010\)](#) demuestran su afinidad para ser bio-acumulado por organismos marinos filtradores. La presencia de estos compuestos responde a su naturaleza hidrófoba y a su afinidad por los sedimentos con contenidos de materia orgánica ([Thatheyus y Gnana, 2013](#)); resultados que pueden relacionarse con la alta concentración de materia orgánica (6,75 mg/g) en los sedimentos de esta estación.

En la Tabla 11-2 se presenta los resultados de las mediciones de metales disueltos en las aguas superficiales, durante los muestreos de octubre de 2015 y mayo de 2016. En el muestreo realizado en octubre de 2015, los metales cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni) y plomo (Pb), estuvieron por debajo del límite de detección del método utilizado y por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos en aguas dulce y marinas. El hierro (Fe) osciló entre 9,8 µg/L en playa Huina y 205,7 µg/L en el río Nuquí, encontrándose un valor por encima de la referencia para efectos crónicos en aguas marinas (50 µg/L; [Buchman, 2008](#)) en la estación frente al río Nuquí (51,2 µg/L), por la influencia del mismo río, el cual presentó la concentración más elevada. El zinc (Zn) fue detectable en las estaciones playa Huina (9,3

µg/L), río Jella (7,2 µg/L) y río Nuquí (24 µg/L) sin sobre pasar las referencias para efectos crónicos (Tabla 11-2).

En el muestreo de mayo de 2016, el Cd, Cr y Pb estuvieron debajo del límite de detección, sin representar riesgo adverso para la biota por estar por debajo de las referencias para efectos crónicos (Tabla 11-2). Así mismo el Cu, que osciló entre el límite de detección (0,9 µg/L) y 3,7 µg/L. El Fe se cuantificó en las estaciones río Valle (33,8 µg/L), estero Jurubidá (4,9 µg/L), playa Tribugá (5,5 µg/L) y río Nuquí (5,7 µg/L). Estas concentraciones no representan riesgo adverso para la biota. El Ni y el Zn en la mayoría de las estaciones no superaron los límites de detección del método utilizado en el LABCAM, a excepción de las estaciones río Jella y estero Jurubidá en donde se registraron 2 µg de Ni/L y 22,3 µg de Zn/L respectivamente, valores que no superaron la referencia para efectos crónicos en agua dulce (Tabla 11-2).

Tabla 11-2. Metales disueltos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Chocó en octubre de 2015 y mayo de 2016. Los valores de referencia corresponde a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) y el valor con asterisco (*) corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005).

Zona	Estación	Metales en octubre 2015 (µg/L)							Metales en mayo 2016 (µg/L)						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Bahía Solano	Playa Huina	<0,42	<0,97	<0,9	9,8	<1,0	<3,1	9,3	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	Frente Bahía Solano	<0,42	<0,97	<0,9	16,8	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	Bahía Solano (ESSO)	<0,42	<0,97	<0,9	46,6	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	Río Jella	<0,42	<0,97	<0,9	61,1	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	2	<3,1	<6,9
Golfo Tribugá	Río Valle	<0,42	<0,97	<0,9	102,9	<1,0	<3,1	7,2	<0,42	<0,97	3,7	33,8	<1,0	<3,1	<6,9
	F. valle	<0,42	<0,97	<0,9	35	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1,1	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	Ensenada de Utría	<0,42	<0,97	<0,9	12,8	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1,4	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	Esteros Jurubidá	<0,42	<0,97	<0,9	27,8	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1,1	4,9	<1,0	<3,1	22,3
	Esteros Tribugá	<0,42	<0,97	<0,9	39,6	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1,1	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	Playa Tribugá	<0,42	<0,97	<0,9	33,4	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1	5,5	<1,0	<3,1	<6,9
	Frente a R. Nuquí	<0,42	<0,97	<0,9	51,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1,2	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
Río Nuquí	<0,42	<0,97	<0,9	205,7	<1,0	<3,1	24	<0,42	<0,97	1,1	5,7	<1,0	<3,1	<6,9	
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,8	50*	1,3	50	8,2	8,1	81	8,8	50*	1,3	-	8,2	8,1	81
Referencia Efectos crónicos agua dulce		0,25	50*	9	350	52	2,5	120	0,25	50*	9	350	52	2,5	120

Con respecto al análisis de sedimentos en la estación Bahía Solano (ESSO), en la Tabla 11-3 se muestran las concentraciones de metales totales medidos en octubre de 2015 y mayo de 2016. Las concentraciones de los metales analizados fueron comparadas con los valores de referencia para efectos probables (PEL) sugeridos por la NOAA (Buchman, 2008). Como se puede observar, los únicos metales que superaron los valores de referencia fueron el níquel y el cromo en ambos muestreos.

Tabla 11-3. Concentraciones de metales en sedimentos de la estación Bahía Solano (ESSO) del departamento del Chocó, en octubre de 2015 y mayo de 2016. ND: No Disponible. *Valor de referencia para sedimentos marinos (Buchman, 2008).

Metal	Unidad	Muestreo oct-2015	Muestreo may-2016	Valor de Referencia PEL*
Pb	µg/g	12,33	<4	112
Cd	µg/g	<0,5	<0,5	4,2
Cr	µg/g	303,54	220,8	160

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

Metal	Unidad	Muestreo oct-2015	Muestreo may-2016	Valor de Referencia PEL*
Cu	µg/g	100,96	105,2	108
Zn	µg/g	92,14	102,6	271
Ni	µg/g	105,67	85,8	42,8
Fe	mg/g	68,98	46,7	ND
Hg	ng/g	ND	17,1	700

11.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

El ICAM_{PFF} aplicado a los resultados de los muestreos de octubre de 2015 y mayo de 2016, mostró que la calidad del agua en mayoría de las estaciones marinas y estuarinas de las zonas Bahía Solano y Golfo Tribugá fue adecuada (Figura 11-10). La estación Bahía Solano presentó condición inadecuada en octubre de 2015, debido a las altas concentraciones de coliformes termotolerantes. En el muestreo de mayo de 2016, las condiciones de calidad del agua en las estaciones mejoraron presentándose aguas con calidad adecuada y óptima (Figura 11-10).

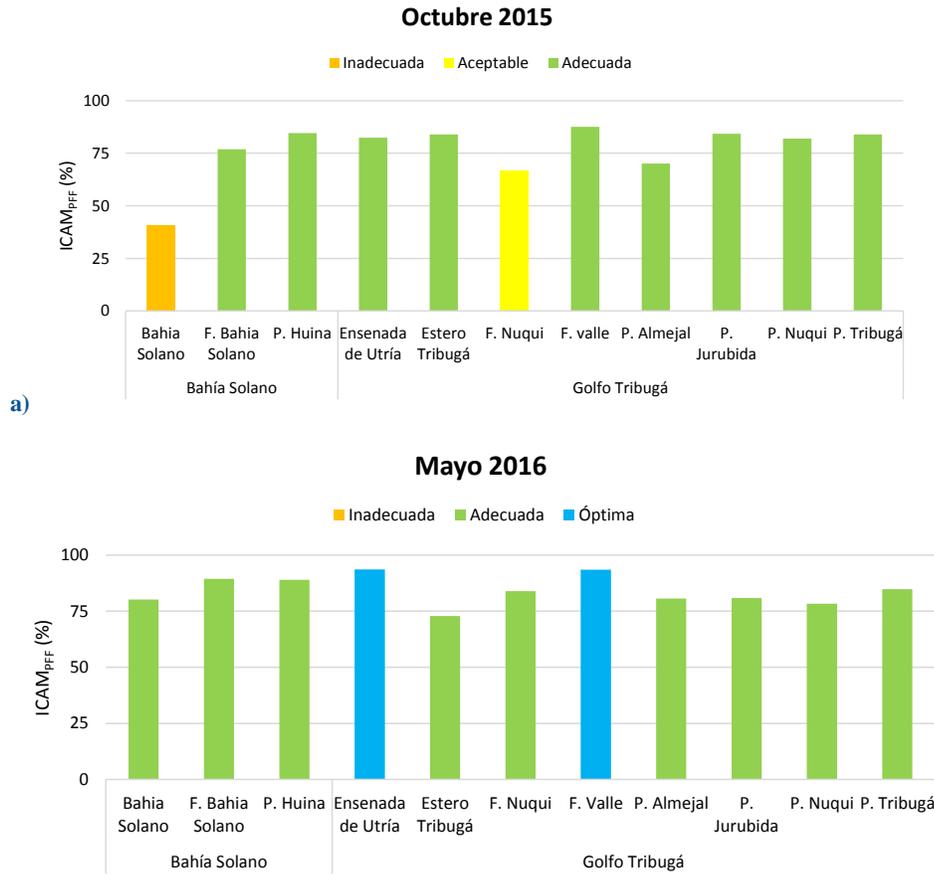


Figura 11-10. Calidad de las aguas marino costeras en las estaciones REDCAM del departamento del Chocó en los muestreos de octubre de 2015 y mayo de 2016 evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

Entre los años 2013 y 2015, las aguas marinas y costeras en el departamento han tenido en mayor proporción condiciones de calidad adecuada para la preservación de flora y fauna (Tabla 11-4). En algunas estaciones en la zona del golfo de Tribugá en el 2013 y 2014, y en estaciones de bahía Solano en 2014, se han presentado condiciones inadecuadas en áreas cercanas a las poblaciones de Nuquí y en Bahía Solano, lo cual se atribuye a vertimientos de

aguas residuales por altas concentraciones de coliformes termotolerantes que se han determinado.

Tabla 11-4. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PF} en las zonas de muestreo en el departamento de Chocó entre los años 2013 y 2015.

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Bahía Solano			100%	
	Golfo Tribugá	15%		85%	
2014	Bahía Solano	20%		80%	
	Golfo Tribugá	20%	20%	60%	
2015	Bahía Solano			67%	33%
	Golfo Tribugá			100%	

11.4 CONCLUSIONES

- ❖ La calidad fisicoquímica del agua superficial en la mayoría de las estaciones es adecuada para la preservación de flora y fauna, al estar dentro de los valores de referencia y criterios de calidad de la legislación nacional.
- ❖ El agua en las estaciones de los ríos y la quebrada Chocolatal presentan contaminación microbiológica, las concentraciones de coliformes totales sobrepasan los criterios de calidad de la legislación nacional para el uso recreativo por contacto primario y secundario, evidenciando los efectos de la falta de saneamiento básico en las poblaciones costeras.
- ❖ En algunas playas de interés turístico y ambiental como Huina, Utría, Jurubidá y Tribugá la calidad microbiológica es adecuada para el contacto primario, ya que los coliformes termotolerantes están por debajo del máximo permitido en la legislación nacional.
- ❖ En las aguas y sedimentos marinos y costeros del departamento hay presencia de hidrocarburos del petróleo, sin embargo, las concentraciones no indican una contaminación.
- ❖ En la estación frente a Bahía Solano hay presencia de plaguicidas organoclorados altamente peligroso como el Endosulfán II, en una concentración que supera la referencia para efectos crónicos y agudos en aguas marinas; y en los sedimentos de la estación bahía Solano, hay presencia de plaguicidas altamente nocivos como metoxicloro y cis-permetrina. Debido a estos resultados es importante continuar con el monitoreo para hacer seguimiento y que la Corporación desde su competencia realice las acciones necesarias para identificar la fuente y ejercer los controles pertinentes.
- ❖ Los metales pesados disueltos en las aguas marinas y costeras no representan ningún riesgo adverso para la vida acuática, al encontrarse por debajo de los valores de referencia para efectos crónicos en aguas dulces y marinas. En los sedimentos de la estación bahía Solano, hay concentraciones de cromo y níquel total que se consideran altas y que podrían representar un riesgo para la biota acuática, al estar por encima de la referencia de efectos probables. Los resultados muestran la importancia de evaluar la biodisponibilidad de estos metales para determinar posibles riesgos.

VALLE DEL CAUCA

Mónica Bayona-Arenas y Ostín Garcés Ordóñez



Bazán Bocana, bahía de Buenaventura. Foto: Ostín Garcés.

EQUIPO TÉCNICO CVC

Luisa Marina Baena Álvarez– Profesional Especializada, Coordinadora Laboratorio Ambiental

Carolina López Charry – Analista Química, Técnico Operativo

Jairo Calle Velasco – Tecnólogo Químico, Técnico Operativo

Wilson Neiber Grajales Gomez – Analista Químico, Técnico Operativo

Héctor Fabio Hernández Betancourt – Ingeniero Químico, Profesional Especializado

Líber Ernesto Carabalí Peña– Técnico Operativo (campo)

James Larrahondo Posú – Técnico Operativo (campo)

Bibiana Stella Landazábal Marulanda - Técnico Operativo (campo)

12. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA

El Valle del Cauca se encuentra localizado en el sur occidente del país, entre los 03° 05' y 05° 10' de latitud norte y los 75° 45' y 77° 36' de longitud oeste. Se ubica en la región del Chocó biogeográfico y su clima se encuentra determinado por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) que genera precipitación durante todo el año (entre 938 y 1.882 mm/año), con lluvias más intensas en los meses de abril a junio y de septiembre a noviembre, la temperatura anual oscila entre 23 y 25°C, con una humedad relativa cercana al 90% ([IDEAM, 2017](#)).

Los ecosistemas estratégicos presentes en el territorio marino-costero del departamento son los manglares, playas de arena y formaciones coralinas. Los manglares se encuentran bordeando las bahías, estuarios y deltas de ríos. Entre las playas más reconocidas del departamento se encuentran Juanchaco, Ladrilleros, Chucheros y Juan de Dios, localizadas en el extremo exterior de Bahía Málaga ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)), y Magüipi, Pianguita y la Bocana cerca de Buenaventura. Los arrecifes coralinos se encuentran en el Santuario de Flora y Fauna de la Isla de Malpelo a 500 km de Buenaventura ([Gómez-Cubillos et al., 2015](#)).

Buenaventura es el único municipio costero del Valle del Cauca y el de mayor extensión. Presenta dos bahías, Málaga y Buenaventura. Así mismo, presenta otros accidentes orográficos como el golfo de las Tortugas, las ensenadas de El Tigre y Guineo y las puntas Magdalena, Piedra y Soldado ([Alcaldía de Buenaventura, 2016](#)). La población bonaverense al 2016 se estimó en 407.675 habitantes ([DANE, 2017](#)), que viven bajo condiciones de saneamiento básico deficientes, sin un sistema de tratamiento de aguas residuales y con una producción aproximada de residuos sólidos de 208,47 t/día ([Superservicios, 2016](#)), depositados en celdas transitorias y en las vías urbanas del municipio y en cuerpos de aguas naturales. Esto, sumado a la actividad portuaria que está constituida por 12 muelles en donde se mueve más de 8,6 millones de toneladas de carga; la actividad minera de oro, platino, carbón mineral, cobre, entre otros; la agricultura, ganadería y el turismo, son los principales generadores de residuos fuentes de contaminación, que afectan la calidad del agua y de sedimentos, causando deterioro en los ecosistemas marinos y costeros y pérdida de sus servicios ecosistémicos ([Vivas-Aguas et al., 2014](#); [Gómez-Cubillos et al., 2015](#)).

Con el propósito de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM realiza desde el año 2001 la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras en base a los muestreos realizados en el segundo semestre de 2015 y segundo semestre de 2016.

12.1 ZONAS DE MONITOREO

La REDCAM cuenta con una red de 55 estaciones de muestreo en el Valle del Cauca distribuidas en cuatro zonas: Bahía Málaga, Buenaventura afuera, Buenaventura urbana y Costa sur Buenaventura (Figura 12-1). **Bahía Málaga**, lugar de alto interés turístico por la presencia de playas de arena y ecológico por ser sitio de destino de la migración estacional de ballenas Yubartas (PNN, 2016). Esta zona se encuentra protegida bajo la figura de Parque Nacional Natural Ubamba – Bahía Málaga y está articulada con el Distrito de Manejo

Integrado (DMI) y el Parque Regional Natural (PNR) de la Sierpe. **Buenaventura Urbana** corresponde a la zona interior de la bahía del municipio, donde se concentran la mayor parte de las actividades comerciales y portuarias, específicamente en la Isla de Cascajal, además se encuentran los esteros Aguacate y Gamboa y la desembocadura del río Dagua ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)). La zona **Buenaventura Afuera**, corresponde a la entrada de la bahía interna de Buenaventura, la cual está determinada por Punta Bazán y Punta Soldado, o lo que se conoce como Bocana. En la orilla norte se encuentran las playas Pianguita y La Bocana y en la orilla sur están la Isla Soldado, los esteros Brazo Largo y Machetagedó y desembocadura de la quebrada Potedó y río Anchicayá ([Vivas-Aguas et al., 2015b](#)). Finalmente esta la zona **Costa Sur Buenaventura** con estaciones localizadas en el río Raposo.

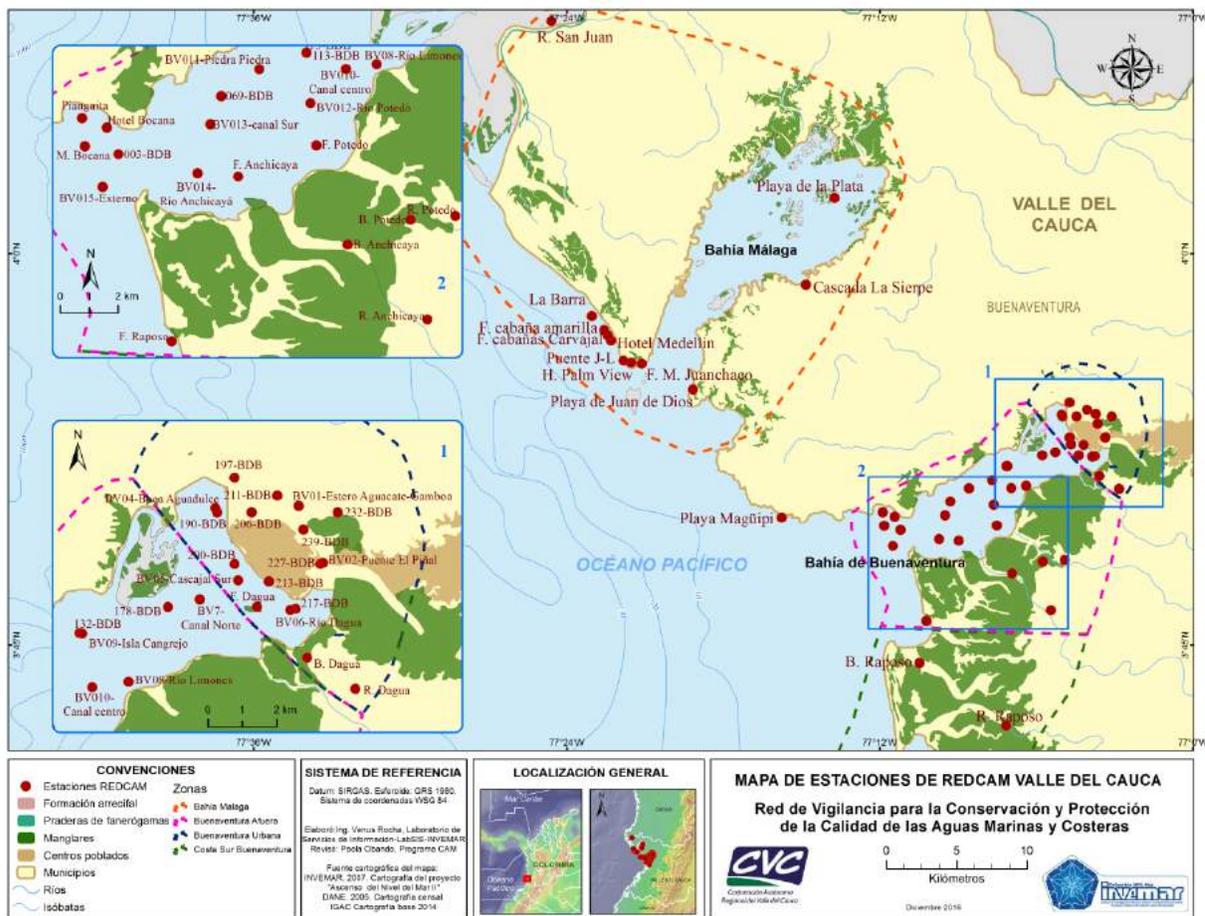


Figura 12-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el departamento de Valle del Cauca.

En el presente informe se muestran los resultados de los muestreos de calidad de aguas realizados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) entre los días 10 y 13 de agosto de 2015, y en los días 26 de junio, 6 y 7 de julio de 2016. En el muestreo realizado en el año 2015 se visitaron sólo las estaciones localizadas en la zona **Buenaventura Afuera** y una estación de **Buenaventura Urbana**, mientras que en el año 2016 se abarcaron las tres zonas de monitoreo. Acorde con lo reportado por el IDEAM sobre las precipitaciones a nivel departamental, en el mes de agosto de 2015 se presentaron lluvias muy por debajo del

rango normal (anomalía de la precipitación = 0 – 10%), indicando un período muy seco en la región, debido al prolongado fenómeno de El Niño en el país; en junio y julio de 2016 las condiciones volvieron a la normalidad (anomalía de la precipitación 80-120%; [IDEAM, 2016a](#)).

12.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

La salinidad del agua superficial en las estaciones de Buenaventura Afuera y Puente el Piñal en agosto del 2015 se muestran en la Figura 12-2. Los valores medidos oscilaron entre 15 y 24, clasificando a las aguas como estuarinas polihalinas (10,0-17,0) y marinas oligohalinas (17-30) según las categorías descritas por [Knox \(2001\)](#), consecuencia de la constante mezcla de aguas provenientes de la desembocadura de afluentes caudalosos como el Potedó y Anchicayá y de la entrada de agua marina a la bahía. La temperatura del agua superficial durante los dos monitoreos osciló entre 26,4 y 30,4 °C, asociados con las horas de medición (8:00 am y 4:00 pm) y los tipos de cuerpos de agua muestreados.

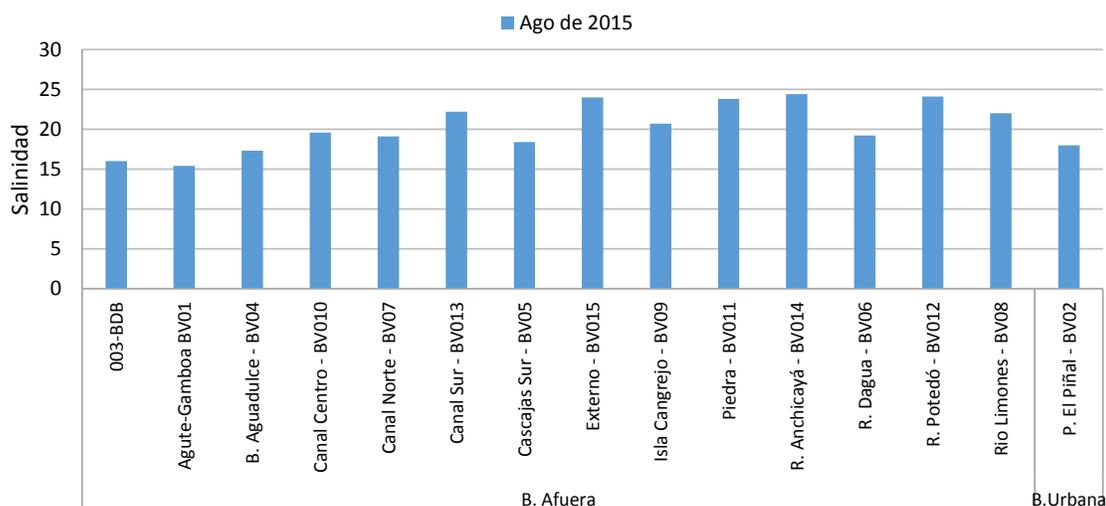


Figura 12-2. Valores de salinidad medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Valle del Cauca en agosto de 2015.

El pH medido en las 55 estaciones monitoreadas osciló entre 6,9 en sistemas fluviales como el río San Juan y >8,0, en las estaciones estuarinas de las zonas Bahía Málaga, Buenaventura Afuera, Urbana y Costa Sur (Figura 12-3). Todas las estaciones se encontraron dentro de los rangos establecidos por la normatividad colombiana para la preservación de flora y fauna tanto en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0) como marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; [MinSalud, 1984](#)).

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

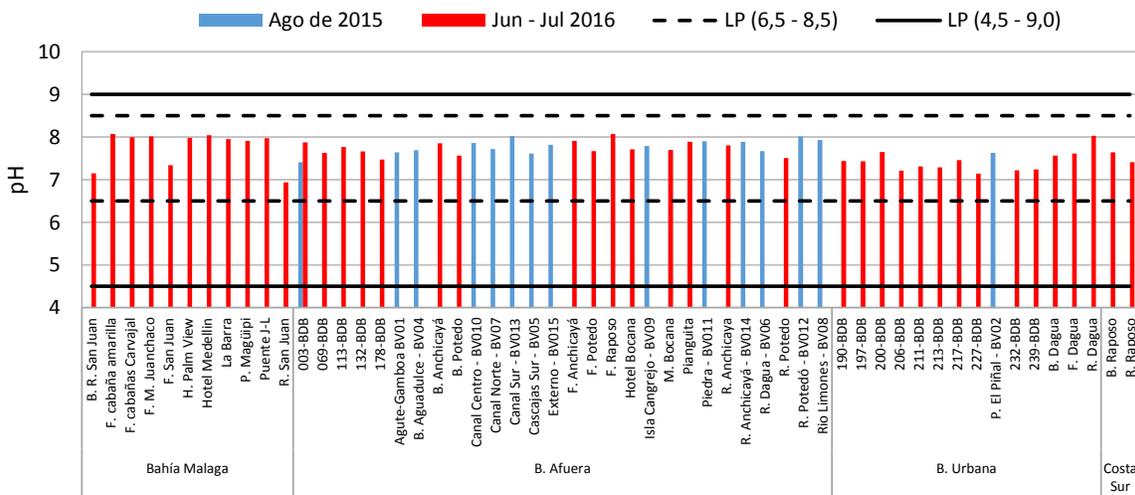


Figura 12-3. Valores de pH medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM en el departamento del Valle del Cauca en agosto de 2015 y junio-julio de 2016. Las líneas negras continuas indican el rango de pH permisible en aguas cálidas dulce (4,5-9,0), y marinas y estuarinas (6,5-8,5), según MinSalud (1984).

La concentración de oxígeno disuelto (OD) varió entre 3,15 y 7,7 mg de O₂/L, encontrándose en la mayoría de las estaciones aguas con OD por encima del criterio de calidad para la preservación de flora y fauna (4 mg de O₂/L; [MinSalud, 1984](#); Figura 12-4). En la zona Buenaventura urbana, algunas estaciones ubicadas alrededor de la Isla Cascajal presentaron valores por debajo del criterio de calidad (entre 3,1 y 3,6 mg/L), condición que se asocia a altas concentraciones de materia orgánica, producto de vertimientos de aguas servidas.

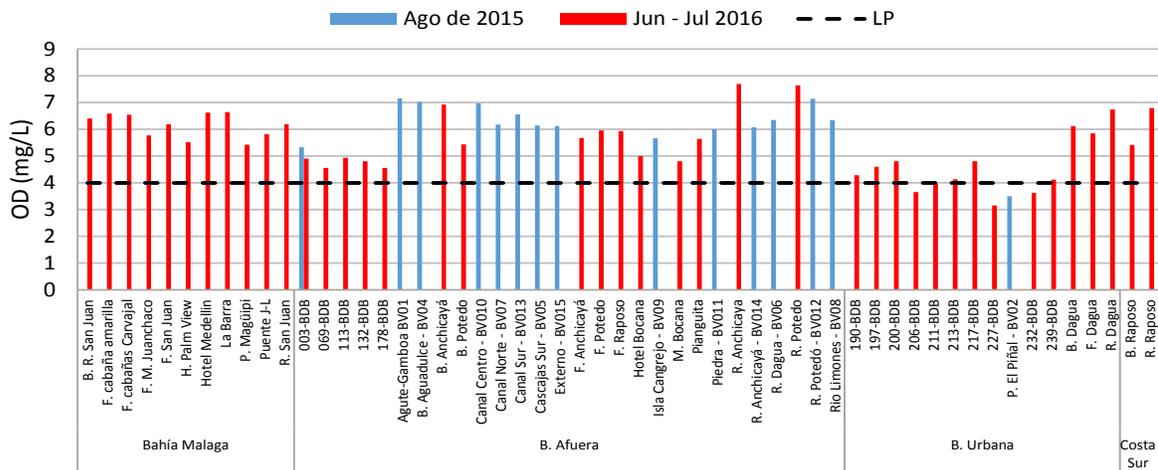


Figura 12-4. Valores de oxígeno disuelto OD medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Valle del Cauca en agosto de 2015 y junio-julio de 2016. La línea negra indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 3,56 y 89,10 mg/L (Figura 12-5). Las mayores concentraciones de SST se registraron en el muestreo de junio-julio de 2016 en las estaciones playa Magüipi (80 mg/L) en la zona Bahía Málaga; 178-BDB, Hotel Bocana y Muelle Bocana en la zona de Buenaventura Afuera; en 197-BDB y 239-BDB de la zona de Buenaventura Urbana, lo cual puede asociarse a la influencia de las mareas, las escorrentías y los aportes del estero las Cruces y los ríos Anchicayá y Potedó, que traen consigo sólidos producto del lavado de suelos ([Ramírez y Viña, 1998](#); [Vivas-Aguas et al., 2015b](#)).

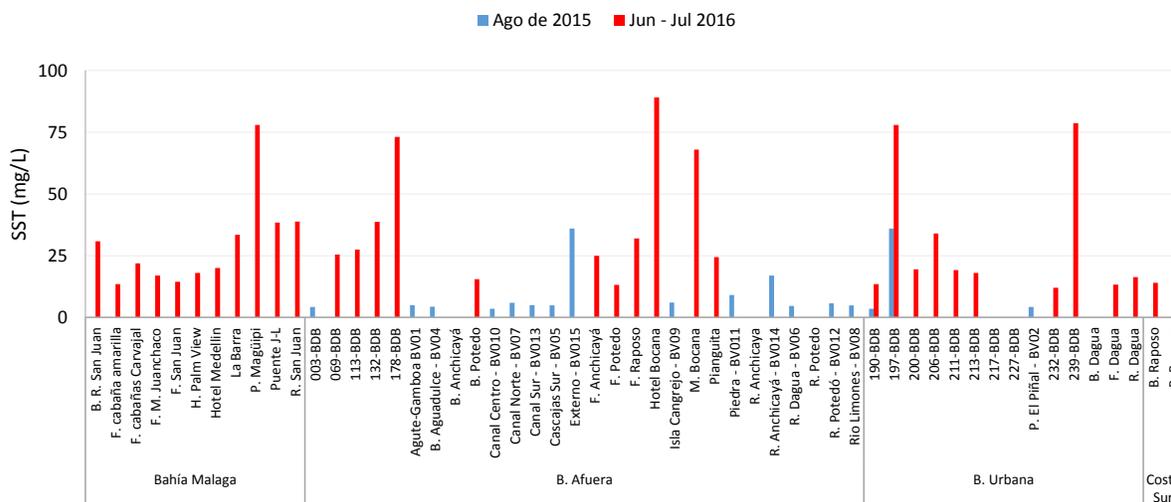


Figura 12-5 Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Valle del Cauca en agosto de 2015 y junio-julio de 2016.

Históricamente (Figura 12-6), la gran mayoría de estaciones han presentado concentraciones de SST por debajo de los 150 mg/L, lo cual está asociado a los aportes de los ríos San Juan, Anchicayá y Dagua y a la hidrodinámica de las mareas que ayuda a la dilución y dispersión de los SST. Los SST generalmente están en mayor concentración en los muestreos históricos realizados en el segundo semestre de los años, lo cual guarda relación con una mayor precipitación este período del año ([IDEAM, 2016c](#)).

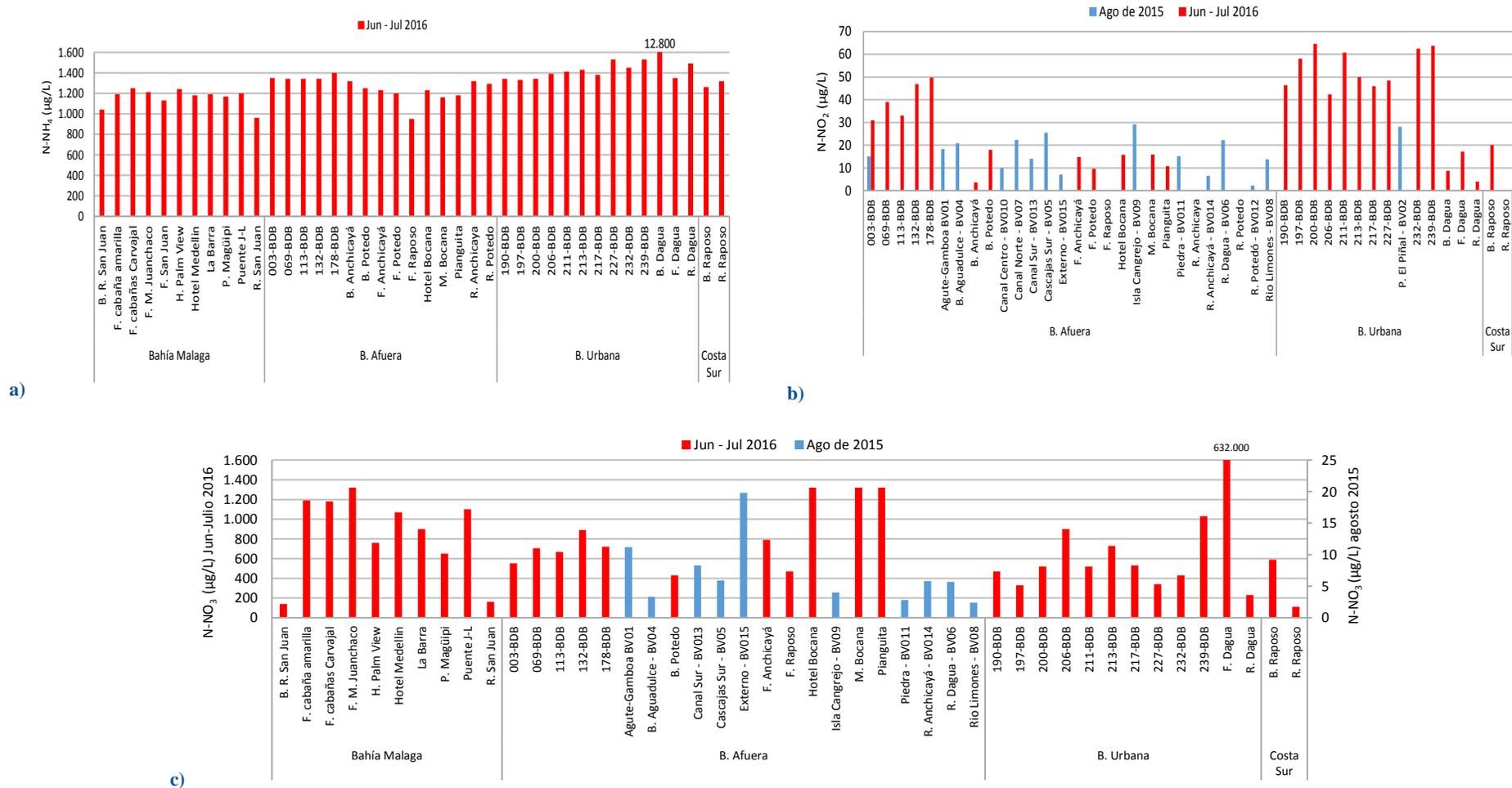


Figura 12-7. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitrito (N-NO₂⁻) y c) nitrato (N-NO₃⁻) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Valle del Cauca en agosto de 2015 y junio-julio de 2016.

Los resultados de las mediciones de ortofosfatos ($P-PO_4^{-3}/L$) fluctuaron entre valores menores al límite de detección de la técnica analítica ($<2,4 \mu g/L$), especialmente las estaciones de Bahía Málaga, y $18,9 \mu g/L$, siendo la estación Isla Cangrejo en la zona de Buenaventura Afuera, la de mayor concentración (Figura 12-8). No obstante, todos los resultados se encuentran en concentraciones bajas y dentro de los registros históricos de la REDCAM ([INVEMAR, 2016b](#)).

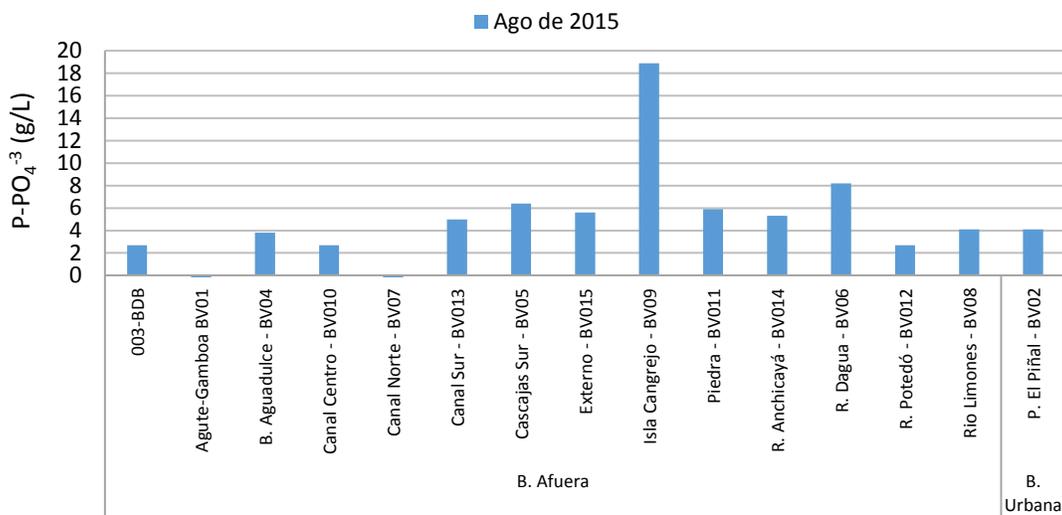


Figura 12-8. Ortofosfato ($P-PO_4^{-3}$) medido en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Valle del Cauca en agosto de 2015.

La calidad sanitaria de las aguas del departamento se evaluó con base en las concentraciones de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE). En la zona de Buenaventura Urbana se presentaron las mayores concentraciones de coliformes totales (Figura 12-9) por su cercanía a la población en donde se realizan vertimientos de aguas residuales, superando lo establecido por la normatividad colombiana para uso recreación por contacto primario (1.000 NMP/ 100 mL) y secundario (5.000 NMP/100 mL) en el muestreo de junio-julio de 2016. En Bahía Afuera se realizaron muestreos en las dos fechas, encontrándose en el agua de la mayoría de las estaciones, concentraciones superiores a 1.000 NMP/100 mL. En Bahía Málaga, la playa Magüipi presentó condiciones favorables para el desarrollo de actividades recreativas, junto con las zonas cercanas a las cabañas amarillas y Carvajal.

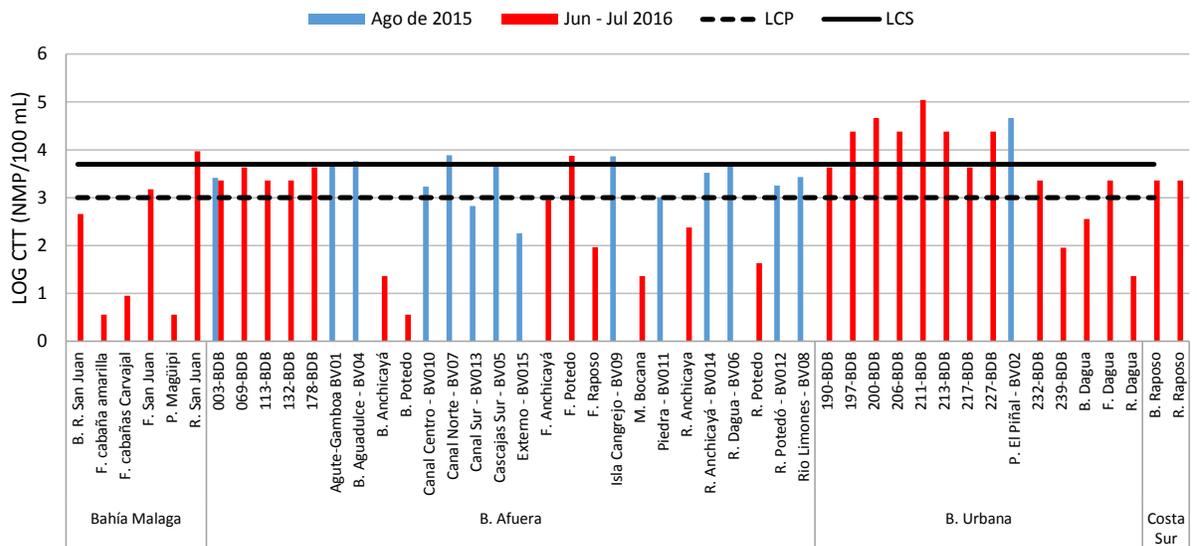


Figura 12-9. Coliformes totales (CTT) en el agua superficial en las estaciones REDCAM en Valle del Cauca en agosto de 2015 y junio-julio de 2016. La línea negra continua es el máximo permisible para el uso recreativo por contacto secundario (5.000 NMP/100 mL), y la línea punteada el máximo permisible para contacto primario (1.000 NMP/100 mL) según MinSalud (1984).

Los CTE oscilaron entre valores menores al límite de detección de la técnica utilizada en el laboratorio de la CVC (<3 NMP/100 mL) y 46.000 NMP/ 100 mL en la estación 206 –BDB (Figura 12-10). La muestra que la mayoría de las estaciones caracterizadas en junio-julio de 2016 se encontraron por encima de lo establecido por la normatividad colombiana para el uso del recurso hídrico por contacto primario (200 NMP/100 mL), corroborando que la contaminación microbiológica se está presentando principalmente por las aguas residuales del municipio.

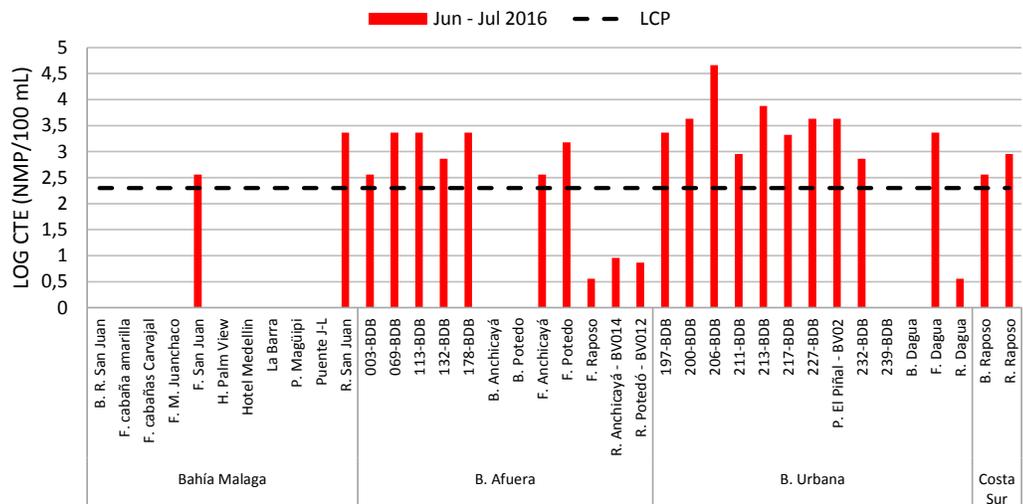


Figura 12-10. Coliformes termotolerantes (CTE) en el agua superficial en las estaciones REDCAM en el departamento de Valle del Cauca en junio-julio de 2016. La línea negra punteada corresponde al máximo permisible para el uso recreativo por contacto primario (200 NMP/100 mL) según MinSalud (1984).

Históricamente, en las estaciones de Buenaventura Urbana se han presentado concentraciones de CTE por encima de lo estipulado por la normatividad colombiana (200 NMP/100 mL) en la mayoría de las mediciones (Figura 12-11), especialmente las más cercanas a la Isla Cascajal y a la porción continental de la ciudad; en Buenaventura Afuera se ha presentado mayor variabilidad en los registros a lo largo del tiempo, encontrándose la misma proporción de mediciones por encima y debajo del Decreto 1594/84 (200 NMP/100 mL). En Bahía Málaga, se presenta una situación similar, evidenciando una variabilidad en las condiciones de calidad del agua, que pueden estar asociadas a afluencia de turistas, variabilidad climática interanual y el nivel de marea en la que se han realizado las mediciones.

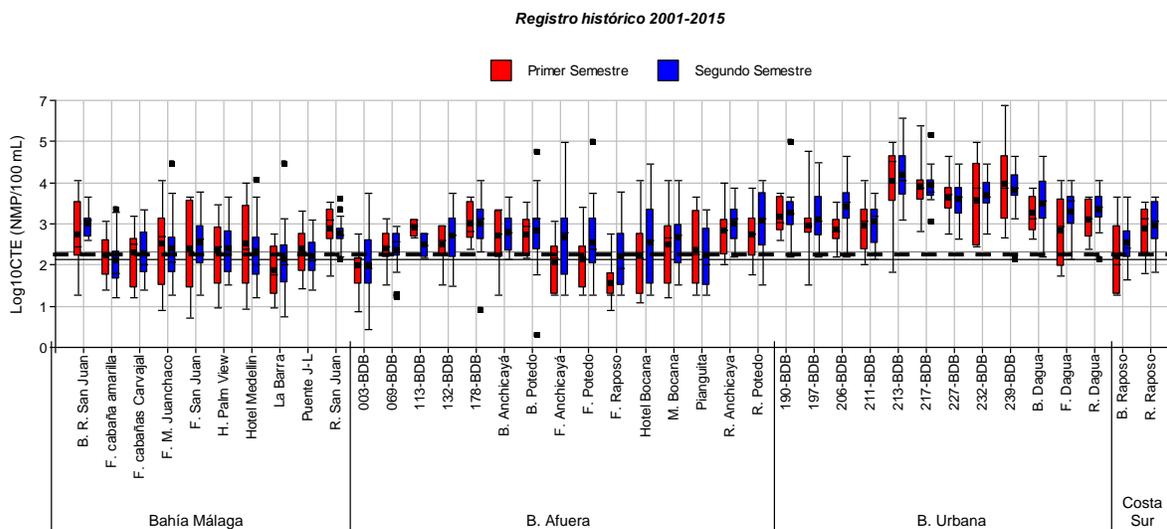


Figura 12-11. Registro histórico desde el 2001 al 2015 de CTE en el agua superficial en las estaciones REDCAM en Valle del Cauca. La línea negra punteada corresponde al límite permisible para el uso recreativo por contacto primario (LCP): 200 NMP/100 mL (LOG=2,3) según (MinSalud, 1984).

Los hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidos en agosto de 2015, se presentan en la Figura 12-12. En todas las estaciones evaluadas se nota la presencia de estos residuos, con valores que fluctuaron entre 0,19 $\mu\text{g/L}$ (Canal Norte – BV07) y 2,12 $\mu\text{g/L}$ (Río Limones- BV08), sin superar los valores de referencia de 5 $\mu\text{g/L}$ para aguas costeras con contaminación baja y de 10 $\mu\text{g/L}$ para aguas marinas contaminadas (UNESCO, 1984; Zanardi *et al.*, 1999; Acuña-González *et al.*, 2004). Estos residuos de hidrocarburos del petróleo provienen de la disposición inadecuada de residuos sólidos y líquidos, el tráfico de embarcaciones, el inadecuado almacenamiento de combustibles en puntos de venta entre otros (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2016a; Ramzi *et al.*, 2016).

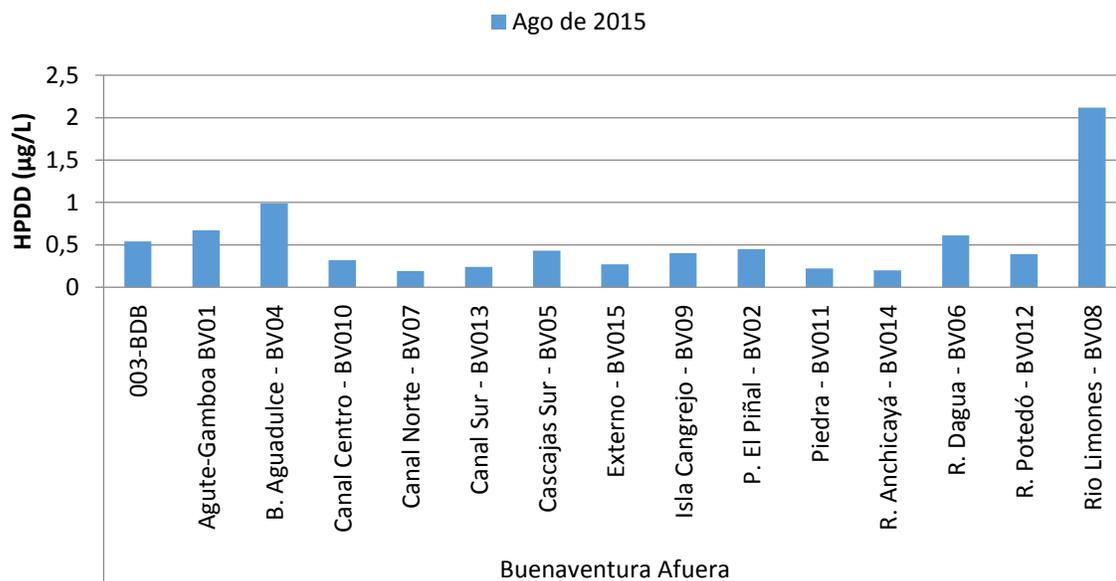


Figura 12-12. Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM en el departamento del Valle del Cauca en agosto de 2015.

Históricamente, en todas las zonas de muestreo se ha registrado la presencia de hidrocarburos del petróleo (Figura 12-13). En algunos casos puntuales, las concentraciones de estos compuestos han superado la referencia para aguas contaminadas (10 µg/L; UNESCO, 1984; Acuña-González *et al.*, 2004), principalmente en la zona Buenaventura Urbana, en las estaciones cercanas al centro urbano y a la actividad portuaria intensiva. Estos resultados se asocian a la intensidad de la actividad portuaria y tráfico de embarcaciones, además de los residuos del petróleo provenientes de las aguas residuales.

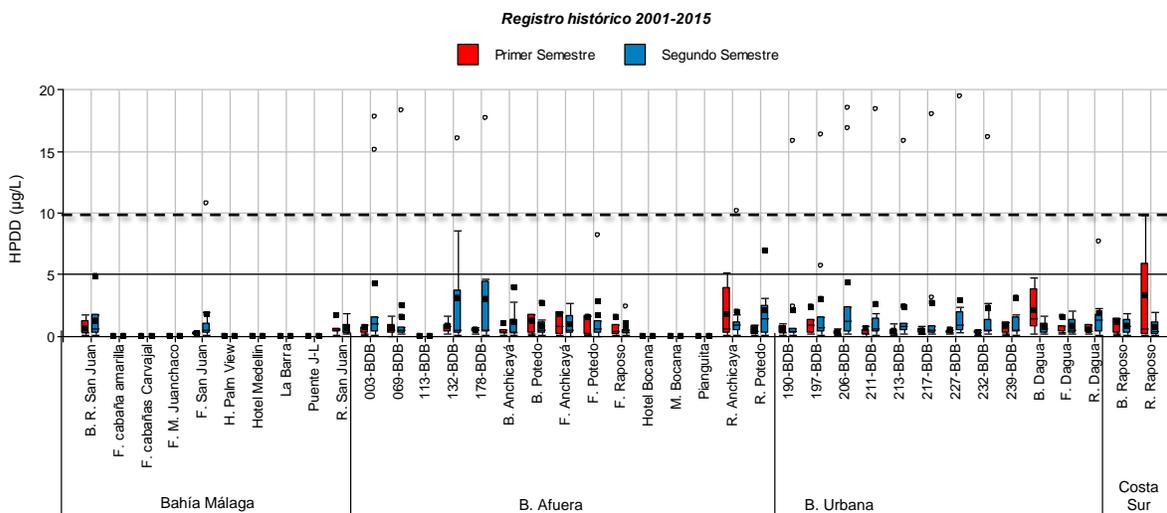


Figura 12-13. Histórico de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Valle del Cauca. La línea negra punteada indica el valor de referencia para aguas no contaminadas con HPDD (UNESCO, 1984).

12.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

El indicador de la calidad del agua para la preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}) aplicado a las estaciones marinas y estuarinas del Valle del Cauca con los datos del muestreo de 2016, mostró que el agua en la gran mayoría de las estaciones de Bahía Málaga tuvo una calidad adecuada, y la estación Hotel Medellín una calidad óptima (Figura 12-14). Cabe resaltar que estas calificaciones se realizaron sin considerar el parámetro de HPDD, que no fue medido en este muestreo. En las zonas Buenaventura Afuera el 70 % de las estaciones presentaron aguas con calidad aceptable, sólo cuatro estaciones (Hotel Bocana, Pianguita, Boca del Anchicayá y Frente río Potedó) contaron con condiciones adecuadas (Figura 12-14). Esta proporción se debe principalmente a la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos y coliformes termotolerantes altos. Finalmente, en Buenaventura Urbana el 30 % de las estaciones tuvieron aguas con calidad inadecuada consecuencia de los vertimientos del municipio de Buenaventura al mar, el 50 % en aceptables y sólo dos estaciones presentaron condiciones adecuadas (la desembocadura del río Dagua y su frente; Figura 12-14).

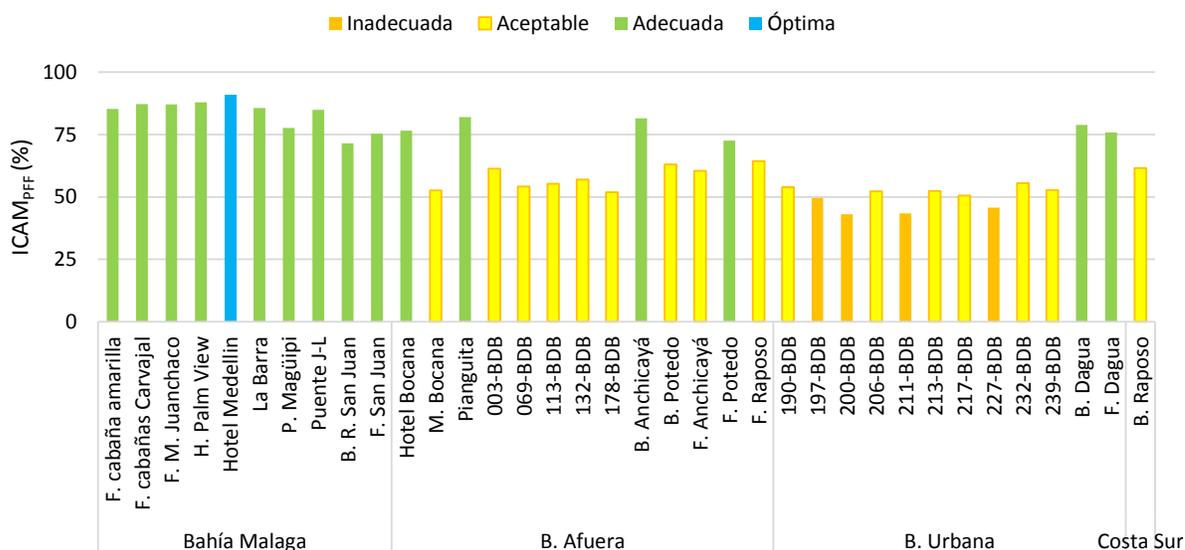


Figura 12-14. Calidad de las aguas marino costeras en las estaciones REDCAM del departamento de Valle del Cauca en los muestreos de junio-julio de 2016, evaluadas con el ICAM_{PFF}

Los resultados del ICAM_{PFF} en los tres últimos años, del 2013 al 2015 (Tabla 12-1), la mayoría de estaciones se han encontrado en condiciones aceptables, específicamente en las zonas de Buenaventura Afuera y Buenaventura Urbana, y adecuadas en la zona de Bahía Málaga. No obstante, cabe resaltar que no se ha presentado ningún porcentaje en calidad óptima, consecuencia de los constantes vertimientos que recibe la bahía, evidenciada en los altas concentraciones de coliformes termotolerantes y los compuestos nitrogenados, que a su vez, tiene repercusiones en el oxígeno disuelto, deteriorando la calidad del agua para la preservación y uso de flora y fauna.

Tabla 12-1. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PF} en las zonas de muestreo en el departamento del Valle del Cauca entre los años 2013 y 2015.

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada
2013	Bahía Málaga		30%	70%
	Buenaventura Afuera	22%	74%	4%
	Buenaventura Urbana	63%	33%	4%
	Costa Sur		100%	
2014	Bahía Málaga	17%	17%	67%
	Buenaventura Afuera	8%	81%	12%
	Buenaventura Urbana	48%	50%	2%
	Costa Sur	50%	50%	
2015*	Bahía Málaga	13%	75%	13%
	Buenaventura Afuera		18%	82%

*Los monitoreos en el año 2015, tuvieron una frecuencia y estaciones mayores a los años anteriores. Muestréos enmarcados en el proyecto Objetivos de calidad Buenaventura.

12.4 CONCLUSIONES

- ❖ Las aguas marinas y costeras en las estaciones de monitoreo en las bahías de Málaga y Buenaventura tuvieron condiciones fisicoquímicas adecuadas para la preservación de flora y fauna, de acuerdo a las concentraciones de oxígeno disuelto, pH y SST.
- ❖ Las aguas fluviales y la marina de la bahía de Buenaventura presentan altos niveles de amonio y nitratos, este último supera la concentración de referencia para efectos crónicos en la biota acuática del Concejo Canadiense del Ambiente, lo cual evidencia el impacto de fuentes de contaminación como los vertimientos de aguas residuales y las escorrentías agrícolas.
- ❖ El agua marina de la bahía de Buenaventura se ve altamente afectada por las aguas servidas vertidas sin tratamiento previo desde casco urbano y en poblaciones de la zona rural del municipio, teniendo un impacto alto sobre la calidad sanitaria, por las altas concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal.
- ❖ Los hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno en las aguas marinas y costeras de las bahías Málaga y Buenaventura durante los muestreos de 2015 y 2016 no superan la referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas con estos compuestos.

CAUCA

Max Martínez Campo y Mónica Bayona-Arenas



Río Guapi. Foto: Max Martínez.

EQUIPO TÉCNICO CRC

Luz Marina Prieto Bayer, Subdirección de Gestión Ambiental
Mauricio Vidal Llanten, Laboratorio Ambiental
Diego Zuluaga Vera, Laboratorio Ambiental
Julio Cesar Rodríguez Pelaez, Subdirección de Gestión Ambiental

13. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DEL CAUCA

El departamento del Cauca se encuentra ubicado en la región de la llanura del Pacífico al suroccidente del país, entre las coordenadas 0° 58' 54" y 3° 19' 4" latitud norte y los 75° 47' 36" y 77° 57' 5" de longitud oeste ([CRC, 2010](#)). Sumado al territorio continental, el departamento cuenta con una zona insular que corresponde a las Islas Gorgona y Gorgonilla, las cuales se encuentran a 35 km del punto más cercano sobre el continente. El clima de la región está influenciado por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), y se caracteriza como tropical lluvioso; lo que sugiere la presencia de precipitaciones durante todo el año ([CCCCP, 2002](#)), adicionalmente se ve modificado por la corriente del Chorro del Chocó, que introduce grandes cantidades de humedad aumentando las precipitaciones ([Poveda y Mesa, 1999](#)). En general, las mayores precipitaciones se presentan entre los meses de enero-febrero o abril-mayo, el máximo valor de precipitaciones se registra en Gorgona con 6.700 mm/año, seguido de Guapi con 5.000 mm/año.

En la zona costera del departamento, se encuentran ecosistemas marinos y costeros estratégicos, como manglares, estuarios y planos intermareales de lodo, de gran interés económico y cultural para las poblaciones que subsisten de los recursos obtenidos de éstos. La isla de Gorgona, debido a su alta diversidad biológica fue declarada Parque Natural Nacional en 1980, convirtiéndose en un área natural protegida en el Pacífico colombiano ([Giraldo et al., 2008](#)), además cuenta con 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 departamento se encuentran dividido políticamente en 42 municipios, de los cuales solo tres (3) conforman la franja costera, Guapi, Timbiquí y López de Micay, representando el 32,9 % del departamento. La población de estos municipios se estimó en 71.655 habitantes, distribuidos en los municipios de Guapi (41,5 %), López de Micay (28,4 %) y Timbiquí (30,2 %) ([DANE, 2017](#)). Los residuos sólidos producidos en estos municipios, alcanza los 3,69 t/día, los cuales son dispuestos finalmente en el relleno sanitario Temuey, en los botaderos a cielo abierto de Timbiquí y López de Micay ([Superservicios, 2014a](#)) y en los cuerpos de agua naturales. La producción de aguas residuales domésticas es proporcional al tamaño de la población costera y son vertidas directamente a los cuerpos de agua naturales, sin ningún tipo de tratamiento previo o dispuestas sobre el terreno. Las principales corrientes que atraviesan estas poblaciones son los ríos Micay, Guapi, Timbiquí y Naya, los cuales reciben aguas con contaminantes que son vertidos a lo largo de la ribera, ya sea por descargas de aguas residuales, como por la actividad agrícola y por la minera ilegal ([CRC, 2010](#)).

En ese orden, las múltiples fuentes de contaminación, la escasa cobertura de alcantarillado y de infraestructura para el tratamiento de aguas, además de las actividades como la minería y transporte de combustibles, generan una presión sobre el recurso hídrico marino costero del departamento del Cauca. Con el fin de obtener información que facilite la gestión ambiental, la Corporación Autónoma Regional del Cauca -CRC hace parte de la REDCAM, la cual desde el año 2001 realiza la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento, teniendo en cuenta variables fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

El presente informe diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras, contiene el análisis de la información recolectada durante los muestreos del segundo semestre del año 2015 y primer semestre del año 2016.

13.1 ZONAS DE MONITOREO

En el departamento del Cauca, la REDCAM cuenta con 17 estaciones de monitoreo para evaluar la calidad de las aguas y siete estaciones para evaluar la calidad del sedimento. Las estaciones se encuentran distribuidas geográficamente en tres zonas: López-Timbiquí, Guapi e Isla Gorgona (Figura 13-1). La zona de **López-Timbiquí** se extiende desde la frontera con el Valle del Cauca y comprende los municipios López de Micay y Timbiquí, además de las poblaciones de Puerto Saija. En esta zona se ubican la mayoría de comunidades indígenas y afrocolombianas, se realizan actividades de extracción de moluscos, como pianguía, y crustáceos; además de la alta actividad minera principalmente de oro y platino que se desarrolla río arriba (INVEMAR *et al.*, 2006). La zona de **Guapi**, corresponde al límite con Nariño y cuenta con estaciones en los ríos Guajui y Guapi, así como sus frentes. El municipio de Guapi, corresponde a una de las principales poblaciones costeras, además de ser puerto para transporte de personas, alimentos y combustible. La zona **isla Gorgona**, cuenta con estaciones ubicadas en el costado oriental de Gorgona y Gorgonilla que corresponden a aguas netamente marinas. Dada la categoría de Parque Nacional Natural Gorgona, esta zona está destinada para fines de conservación de la flora y fauna y con fines turísticos ya que cuenta con la capacidad para albergar cientos de turistas (Figura 13-1).

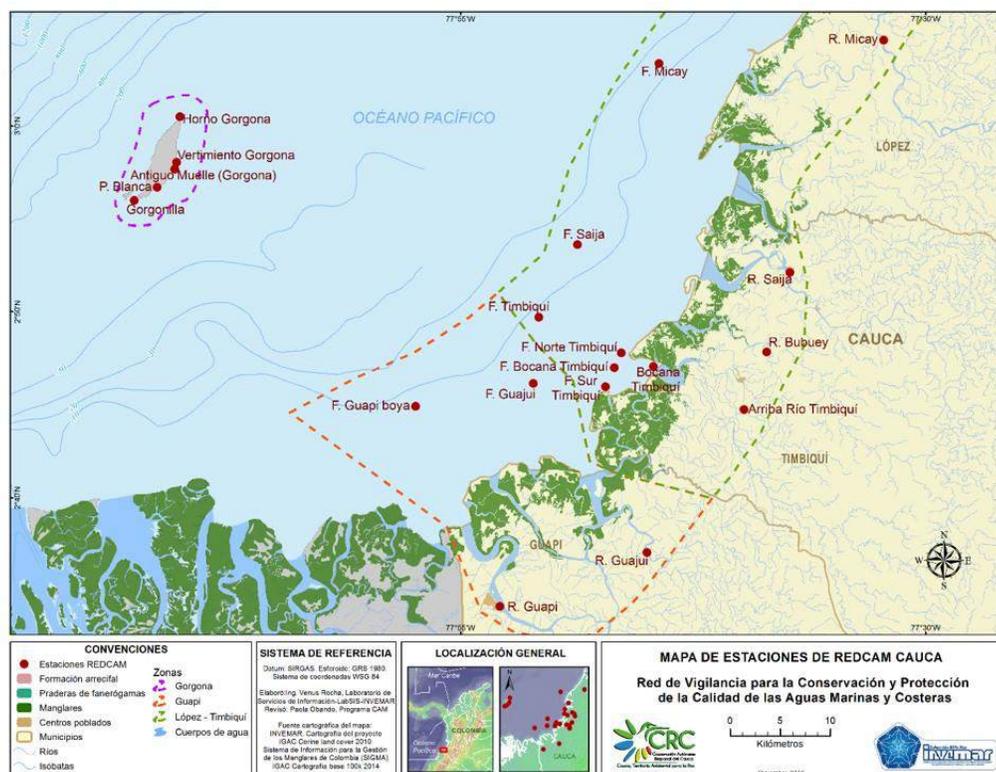


Figura 13-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el departamento del Cauca.

13.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

En la Figura 13-2, se muestran los valores de salinidad medidos en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca, durante los muestreos de octubre de 2015 y abril de 2016. En la zona López –Timbiquí, la salinidad osciló entre 0, en las estaciones ubicadas en los ríos Micay, Saija y Timbiquí, y 31,3 en las estaciones frente a ríos. En la zona de Guapi, igualmente la salinidad varió entre 0 en las estaciones de los ríos Guapi y Guajui y 24,2 en las estaciones frente a los ríos (Figura 13-2). Mientras que en la zona de Gorgona las salinidades oscilaron entre 27,4 y 32,7, lo cual indica que son de tipo marinas oligohalinas (Knox, 2001). Las mayores variaciones en la salinidad se presentaron en las estaciones frente a los ríos debido a que se ven influenciadas por los aportes de los tributarios y el régimen de las mareas, así mismo, las salinidades más altas se presentaron durante el muestreo de abril de 2016 que se realizó en marea alta, debido a la mayor influencia de aguas marinas.

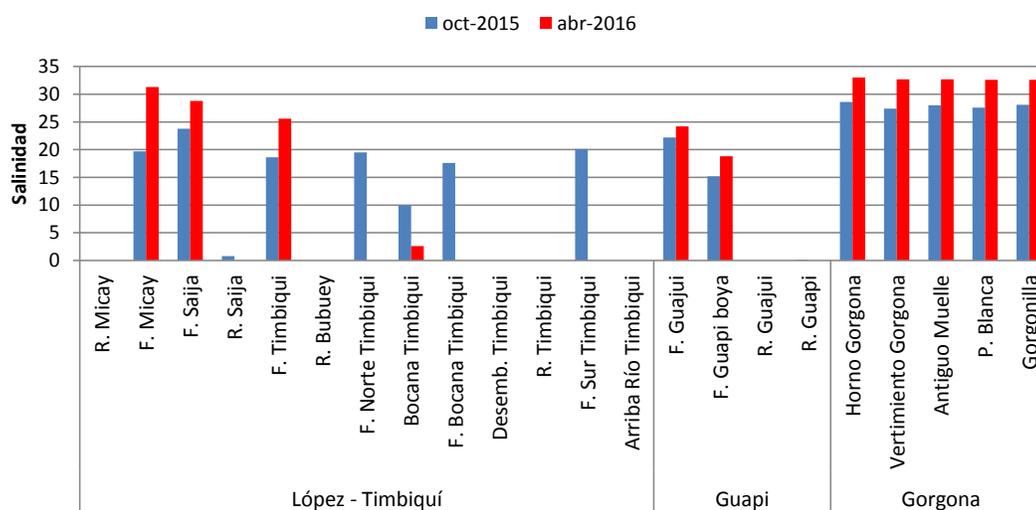


Figura 13-2. Salinidad medida en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en octubre 2015 y abril 2016.

La temperatura del agua superficial en las estaciones de muestreo osciló entre 26,0 y 28,9°C en octubre de 2015 y entre 24,3 y 29,0 °C en época abril de 2016. Estas variaciones sugieren una influencia de la baja radiación solar durante la época de mayor pluviosidad, debido al aumento de la nubosidad que se presenta entre los meses de marzo y abril (CCCP, 2002), lo cual disminuye la temperatura de las aguas superficiales principalmente en los ríos (24,3 a 27°C) y en la zona marina de Gorgona (26,9 a 27,1°C).

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en las aguas superficiales, osciló entre 4,53 y 10,6 mg de O₂/L, valores por encima del mínimo para la preservación de flora y fauna, establecido en el Decreto 14594 de 1984 (Figura 13-3; >4 mg O₂/L, MinSalud, 1984). En las estaciones de la zona López-Timbiquí, se presentaron las concentraciones de oxígeno disuelto más altas principalmente en las estaciones ubicadas en la bocana del río Timbiquí, durante el muestreo de octubre de 2015, lo cual puede indicar una alta productividad primaria asociado a los aportes de nutrientes de las aguas fluviales (Roldán y Ramírez, 2008). En las zonas de Guapi y Gorgona, las concentraciones de OD más bajas se registraron durante octubre de 2015. Cabe destacar que estas concentraciones estuvieron por debajo de los registros históricos desde el 2006 que se tienen para esta zona.

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

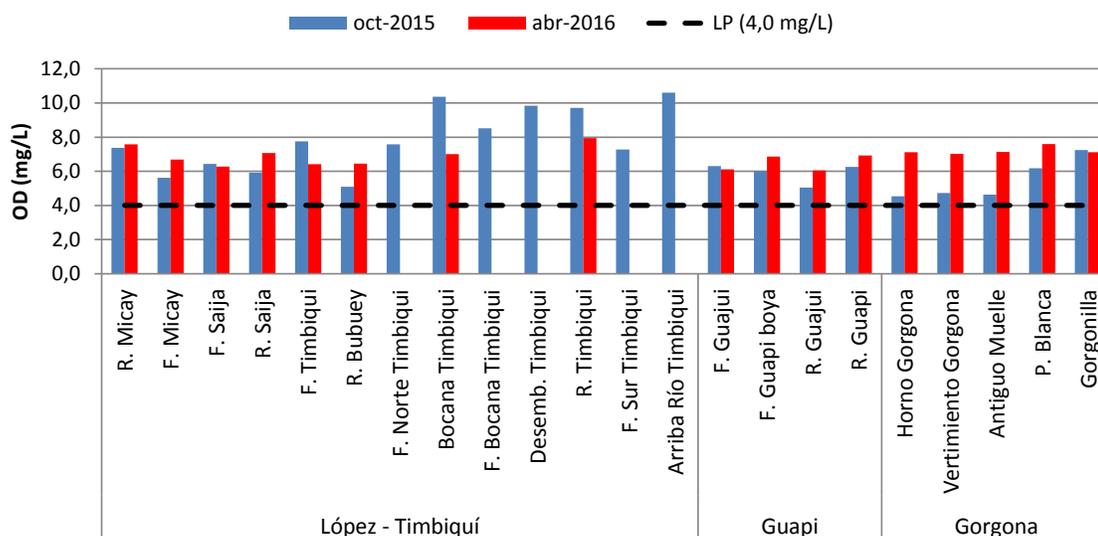


Figura 13-3. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en octubre 2015 y abril 2016.

El pH en las estaciones estuarinas de López-Timbiquí (6,81 – 8,24) y de Guapi (6,82 y 8,19) estuvo dentro del rango para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas (6,5- 8,5; Figura 13-4) según el decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984). Durante los muestreos de octubre de 2015 se obtuvieron los valores de pH más bajos en estas estaciones, lo cual sugiere una mayor influencia de aguas fluviales cuyo pH en ambas zonas osciló entre 5,87 – 7,60, los cuales se encontraron dentro del rango permisible en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0; MinSalud, 1984). En cuanto a las estaciones marinas de Gorgona el pH osciló entre 8,19 y 8,26, lo que es típico en estas aguas, sin variación entre muestreos (Figura 13-4).

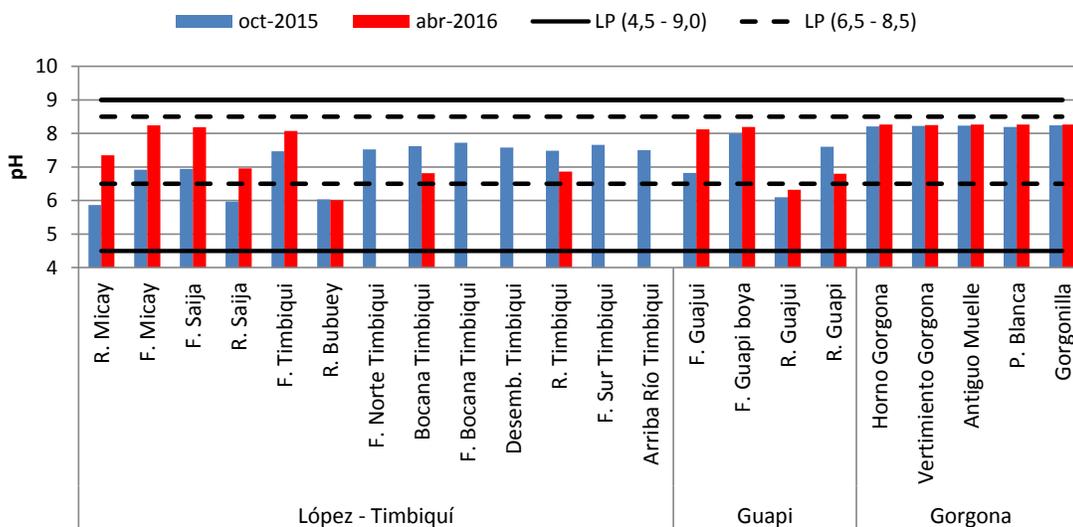


Figura 13-4. Valores de pH medidos en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento de Cauca, en octubre 2015 y abril 2016. Las líneas negra continuas indican el rango permisible para la preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulces (4,5 – 9,0), y las líneas negra punteada el rango permisible en aguas marinas y estuarinas (6,5 – 8,5; MinSalud, 1894).

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) fluctuaron entre 2,92 y 183 mg/L (Figura 13-5), presentándose variaciones temporales en algunas zonas. En la zona López-Timbiquí, la mayoría de estaciones se encontraron con condiciones excelentes, según los valores de referencia expuestos por CONAGUA (<25 mg/L; [CONAGUA, 2015](#)), con excepción de las estaciones de la cuenca baja del río Timbiquí, río arriba y desembocadura, las cuales se encontraron bajo condiciones de contaminación, debido al alto contenido de material suspendido (>150mg/L; [CONAGUA, 2015](#)). En la zona de Guapi, las mediciones de SST se encontraron bajo condiciones entre buena y excelentes en la mayoría de mediciones. Estos resultados son similares a los registros históricos (Figura 13-6), en los cuales la mayoría de estaciones en estas dos zonas se han encontrado en la categoría buenas condiciones, con excepción de los ríos Micay, Timbiquí y Guajui que han presentado altas concentraciones de SST (Figura 13-6).

En la zona de Gorgona, los SST estuvieron entre 2,92 y 34,8 mg/L (Figura 13-5), encontrándose en excelente calidad durante la mayoría de las mediciones y unas pocas en buena calidad. Estos resultados indican que en la zona de Gorgona las formaciones coralinas no están en riesgo, ya que las concentraciones de SST están por debajo de los 50 mg/L ([Fabricius, 2005](#)).

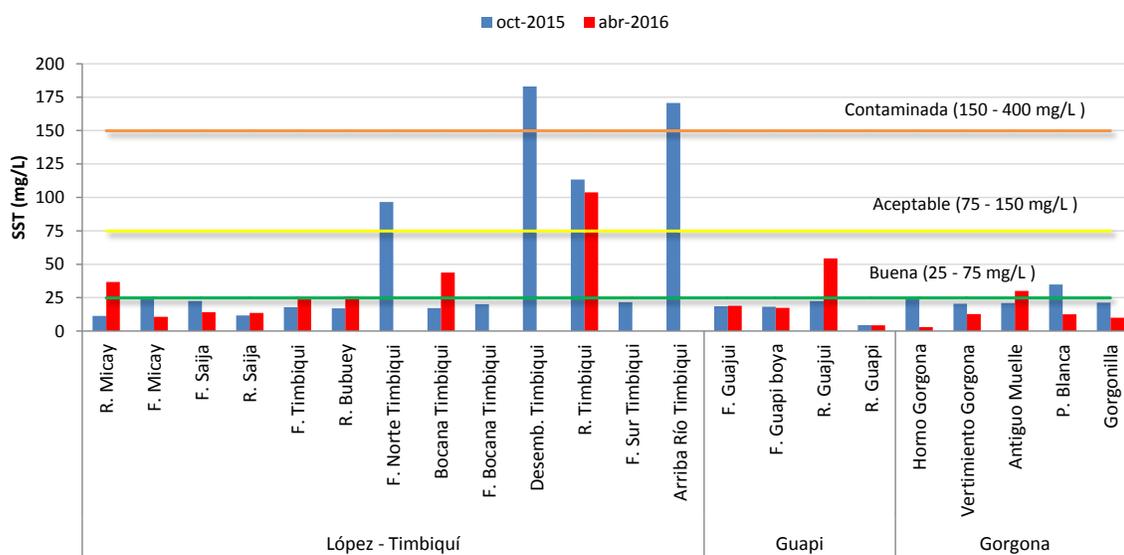


Figura 13-5. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Cauca, en octubre 2015 y abril 2016. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas para SST propuesto por CONAGUA (2015).

En comparación con los históricos, las concentraciones más altas se han presentado en la zona López-Timbiquí, en los ríos Micay, Timbiquí y Saija (Figura 13-6), no obstante la mayoría de estaciones se han mantenido con condiciones de buena calidad (25-75 mg/L) según los valores propuestos por [CONAGUA \(2015\)](#), como en la zona de Gorgona.

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

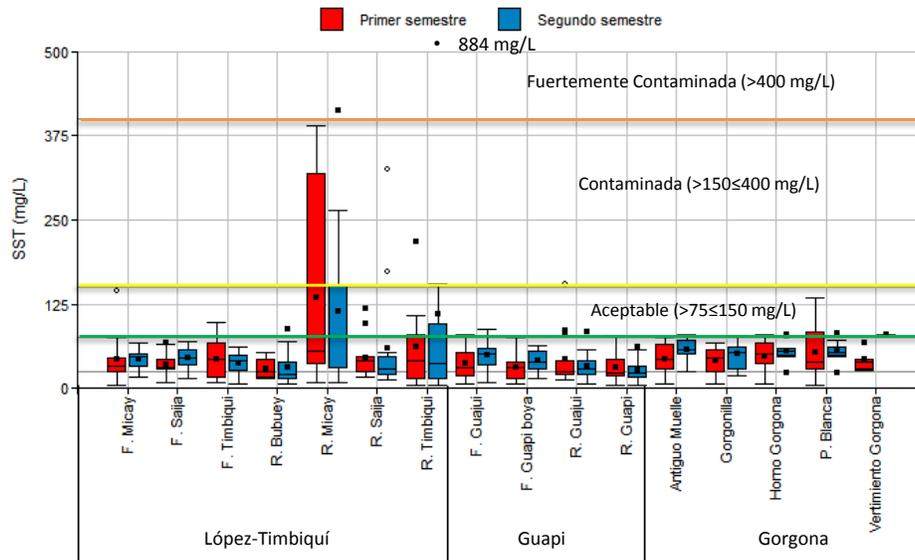
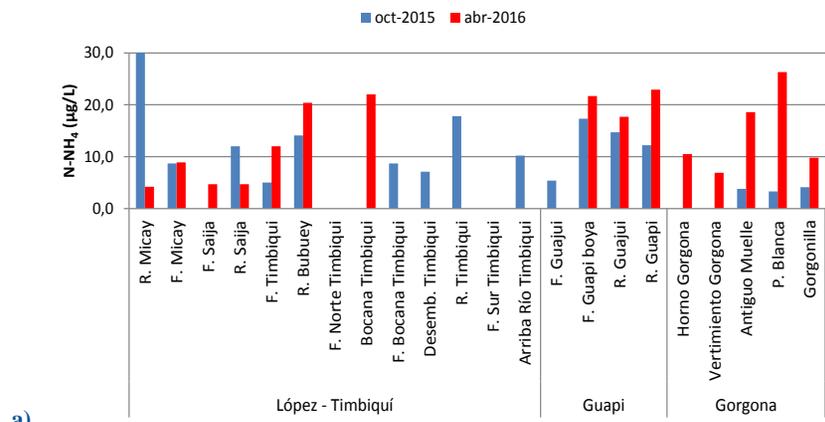


Figura 13-6. Registro histórico desde el 2001 al 2015 de SST en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Cauca. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a las concentraciones de SST, propuestos por CONAGUA (2015).

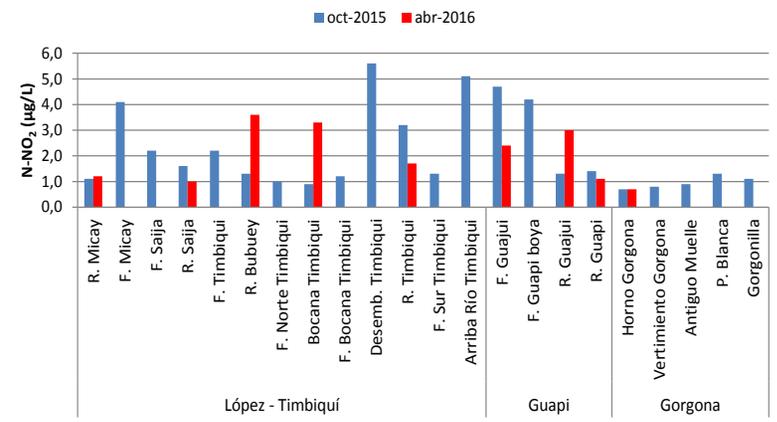
Las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos, amonio ($N-NH_4^+$), nitritos ($N-NO_2^-$), nitratos ($N-NO_3^-$) y ortofosfatos ($P-PO_4^{3-}$), se presentan en la Figura 14-7. Las concentraciones de amonio oscilaron entre menor al límite de detección del método ($<3,1 \mu g/L$) y $31 \mu g/L$ (Figura 14-7a). En la zona López-Timbiquí se presentó la concentración más alta en la estación del río Micay ($31 \mu g/L$) durante el muestreo de octubre de 2015, seguido por río Bubuey ($20,4 \mu g/L$) y Bocana Timbiquí ($22 \mu g/L$) en abril del 2016. En la zona de Guapi, la concentración más alta se obtuvo en el río Guapi ($22,9 \mu g/L$), seguido de la estación Frente río Guapi ($21,7 \mu g/L$), en el muestreo de abril de 2016. Las concentraciones obtenidas en las estaciones fluviales y estuarinas, se pueden asociar a las descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía de tierras usadas para cultivo, o por la descomposición natural de la materia orgánica (Camargo y Alonso, 2006).

En Gorgona, las concentraciones de amonio obtenidas en playa Blanca ($26,8 \mu g/L$) y Antiguo Muelle ($18,6 \mu g/L$) durante el muestreo de abril de 2016 fueron similares a los ríos de Guapi. Las concentraciones pueden asociarse a las condiciones climáticas y de marea durante el muestreo, ya que se encontraba en marea baja y con lluvias. Estas condiciones propician la resuspensión de los sedimentos, principalmente aquellos cercanos a las formaciones coralinas, los cuales actúan como reservas de amonio (O'Neil y Capone, 2008).

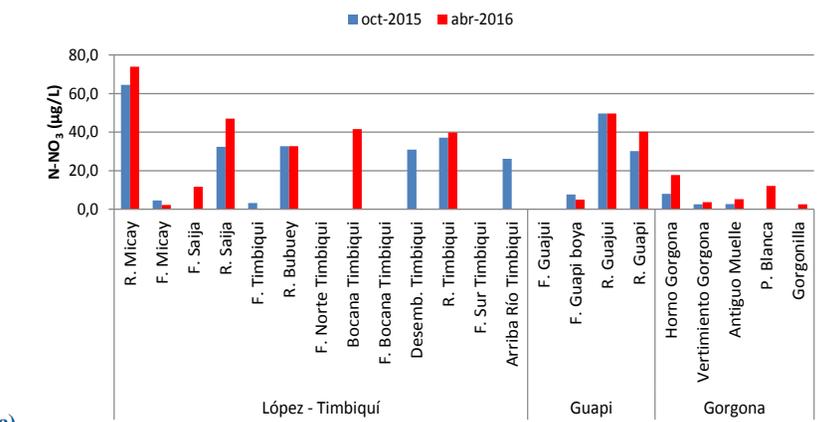
La concentración de nitritos osciló entre menor al límite de detección de la técnica analítica usada ($<0,7 \mu g/L$) y $5,6 \mu g/L$ (Figura 14-7b). En la zona López-Timbiquí, se obtuvo la concentración más alta en las estaciones del río Timbiquí, durante el segundo semestre de 2015. En Guapi, las estaciones Frente Guapi y Frente Guajui, mostraron los valores más altos de igual manera durante el segundo semestre de 2015. No obstante estas concentraciones han estado por debajo del criterios de calidad sugerido por Alonso (2005), para proteger organismos de agua dulce (80 y $350 \mu g N-NO_2^-/L$) de efectos agudos (Camargo y Alonso, 2006). En cuanto a las estaciones en Gorgona, las concentraciones detectadas fueron considerablemente bajas ($<1,5 \mu g/L$), principalmente en el muestreo de octubre de 2015.



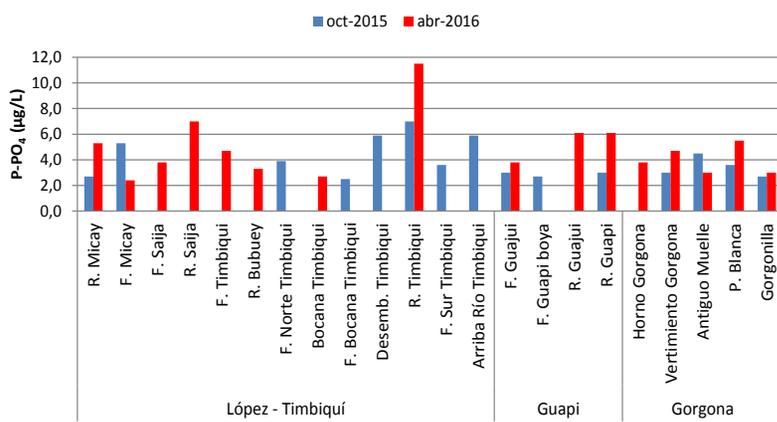
a)



b)



c)



d)

Figura 13-7. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitrito (N-NO₂⁻), c) nitrato (N-NO₃⁻) y d) ortofosfato (P-PO₄⁻³), medidos en octubre de 2015 y abril de 2016 en las estaciones y zonas de muestreo REDCAM del departamento del Cauca.

Las concentraciones de nitratos, oscilaron entre menor al límite de detección (<2,1 µg/L) y 74 µg/L (Figura 14-7c). Las estaciones correspondientes a aguas fluviales, ubicadas en las zonas López-Timbiquí y Guapi presentaron los valores más elevados durante ambos muestreos. Cabe destacar que en ninguna estación se registraron concentraciones que sobrepasaran los valores de referencia para efectos crónicos para la protección de la vida en agua marina (<45.000 µg N-NO₃⁻/L) y dulce (<3.000 µg N-NO₃⁻/L) ([CCME, 2012](#)).

Las concentraciones de ortofosfatos estuvieron entre el límite de detección de la técnica analítica (<2,4 µg/L) y 11,5 µg/L (Figura 14-7d). En la zona López-Timbiquí, se registraron los valores más altos de este nutriente, principalmente durante el muestreo de abril de 2016, en los ríos Timbiquí y Saija, seguidos de Guajui y Guapi en la zona de Guapi. Lo anterior indica que el mayor aporte fosfatos a la zona marina costera del departamento, corresponde a los tributarios los cuales actúan como receptores de las aguas residuales y de escorrentía por agricultura. Las altas concentraciones favorecen el desarrollo de macroalgas y de cianobacterias potencialmente nocivas ([Anderson et al., 2002](#)). En la zona de Gorgona, las ortofosfatos presentaron un comportamiento similar al amonio, asociadas al cambio de marea y las lluvias, no obstante, estuvieron por debajo de los registros históricos ([INVEMAR, 2016b](#)).

Para determinar la calidad microbiológica en las estaciones del departamento del Cauca, se realizaron mediciones de Coliformes totales (CTT), coliformes termotolerantes (CTE) y enterococos fecales (EFE), los resultados de CTT se muestran en la Figura 13-8. En las zonas de López-Micay, Timbiquí y Guapi, se obtuvieron las concentraciones más altas, principalmente en las estaciones fluviales, donde se sobrepasaron los límites para contacto primario (1.000 NMP/100 mL) y secundario (5.000 NMP/100 mL) (5.000 NMP/100 mL), según el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)). Mientras que en la zona de Gorgona, las concentraciones estuvieron bajo los valores permisibles, indicando condiciones adecuadas para su uso por bañistas. Las altas concentraciones en los ríos indican la introducción de aguas residuales provenientes de las poblaciones ribereñas que vierten sus aguas sin tratamiento, lo cual está relacionado con los altos valores de nutrientes en las mismas zonas (Figura 14-7).

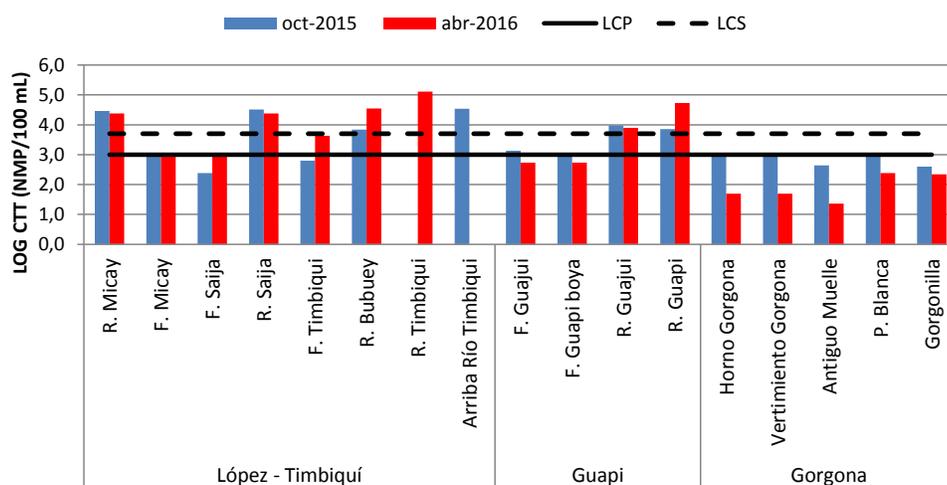


Figura 13-8. Concentraciones de coliformes totales (CTT) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Cauca en octubre 2015 y abril 2016. La línea negra continua corresponde al límite permisible para el uso recreativo por contacto primario (LCP): 1.000 NMP/100 mL (LOG=3,0), y la línea punteada es el límite permisible para el contacto secundario (LCS): 5.000 NMP/100 mL (LOG=3,7) según el dec. 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

En la Tabla 13-1 se muestran las concentraciones de CTE y EFE en aguas marinas del departamento del Cauca. A nivel general, las concentraciones de CTE y de EFE fueron más altas durante el muestreo de octubre de 2015, no obstante, no representan un riesgo para los bañistas, ya que estuvieron por debajo del límite máximo permisible para uso recreativo por contacto primario (200 NMP de CTE/100 mL; [MinSalud, 1984](#)) y de acuerdo con las concentraciones de EFE, el riesgo de contraer enfermedades Gastrointestinales y Respiratoria Febril Aguda son bajas >1% y de 0,3% ([OMS, 2003](#)). Solamente en el Vertimiento Gorgona (201 NMP/100 mL) la concentración de CTE estuvo muy cerca del valor permisible para uso recreativo por contacto primario.

Tabla 13-1. Microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las estaciones marinas de la REDCAM del departamento del Cauca en los muestreos de octubre 2015 y abril 2016. * Criterio de calidad para el uso recreativo por contacto primario en base a coliformes termotolerantes (CTE) de MinSalud (1984). ** Valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo de contraer enfermedades Gastrointestinales (EGI) y Respiratoria Febril Aguda (ERFA).

Zona	Estación	CTE (NMP/100 mL)		EFE (UFC/100 mL)	
		Oct-2015	Abr-2016	Oct-2015	Abr-2016
Guapi	F. Guapi boya	17,1	110	20	8
Gorgona	Horno Gorgona	167	<1,8	<1	<1
	Vertimiento Gorgona	201	<1,8	7	<1
	Antiguo Muelle	56,5	<1,8	<1	<1
	P. Blanca	41	6,1	11	<1
	Gorgonilla	109	8,2	<1	<1
Valores de referencia		200*		**≤40 UFC/100 mL: <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA.	

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de Criseno (HPDD) medidos en las aguas superficiales del departamento del Cauca, se muestran en la Figura 13-9. Las mayores concentraciones se registraron en el muestreo de octubre de 2015, no obstante, ningún valor sobrepasaron los valores de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas con hidrocarburos y de 5 µg/L para aguas costeras con contaminación baja (y tampoco superaron los 5,0 µg/L referencia para aguas costeras con contaminación baja ([UNESCO, 1984](#); [Zanardi et al., 1999](#); [Acuña-González et al., 2004](#)). En comparación con los registros históricos de la REDCAM (2001-2015), los ríos usualmente han presentado las concentraciones más altas de HPDD, seguidos de sus frentes en las zonas de López – Timbiquí y Guapi como se presentó en este monitoreo, y en la zona de Gorgona, si bien no se había presentado concentraciones cercanas a 4,0 µg/L en la estación Antiguo Muelle, si se han registrado valores cercanos y superiores en estaciones de Playa Blanca (3,44 µg/L en 2006) y en Horno Gorgona (7,53 µg/L en 2014; [INVEMAR, 2016b](#)).

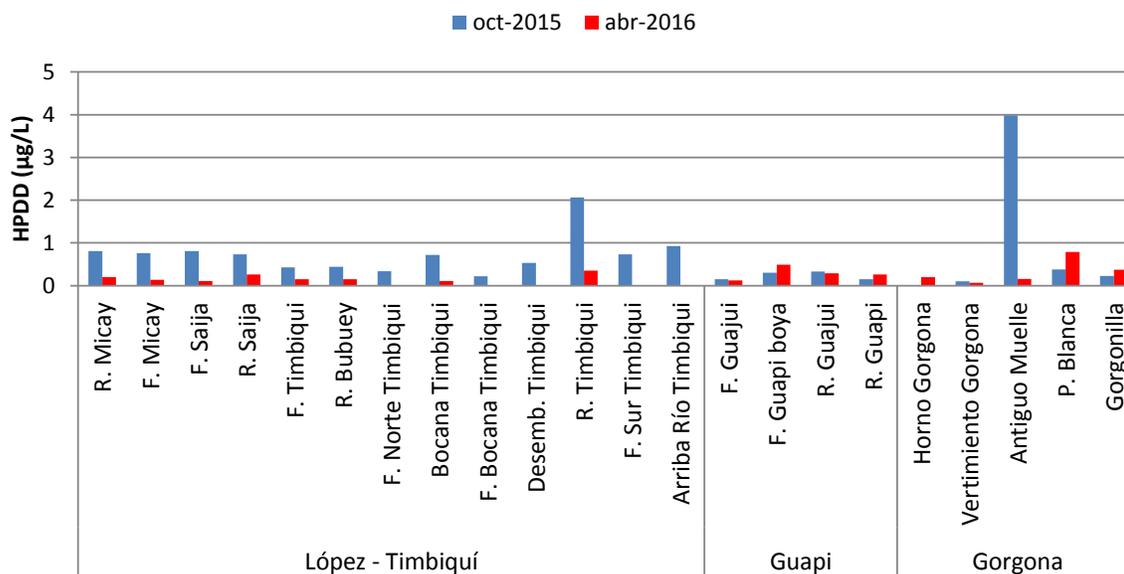


Figura 13-9. Concentraciones de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) medidas en el agua superficial en las estaciones REDCAM del departamento del Cauca, en octubre 2015 y abril 2016.

El análisis de plaguicidas mostró que en las aguas superficiales del departamento del Cauca, durante el muestreo de abril de 2016, solo se detectó el plaguicida Bromacil, en la estación Frente a río Micay (29,6 ng/L). Este herbicida, es ampliamente usado para la erradicación de maleza y pese que no es considerado tóxico para la biota, si se ha encontrado que es altamente persistente en suelos y en el medio acuático (Dube, et al., 2009). Debido a que en Colombia no se cuentan con valores límites para este producto, se usó como referencia el valor propuesto por Buchman (2008) para efectos tóxicos en peces de agua dulce (5.000 ng/L), mostrando que no hay riesgo para biota debido a que la concentración registrada está por debajo del valor de referencia.

En la Tabla 13-2, se relacionan los metales disueltos medidos en las aguas superficiales durante los muestreos de octubre de 2015 y abril de 2016. Las concentraciones de cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb), estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica en los dos muestreos. Cabe destacar que las concentraciones de los metales que se pudieron cuantificar estuvieron por debajo de las referencias para efectos crónicos y agudos en aguas dulces y marinas (Buchman, 2008), por lo tanto no representan ningún riesgo para la biota acuática. En el caso del hierro (Fe), las concentraciones en aguas marinas si bien no tienen un valor de referencia, se encontraron dentro de los rangos históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2016b).

Tabla 13-2. Metales disueltos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento del Cauca. Los valores de referencia corresponde a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) y el valor con asterisco (*) corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005).

Zona	Estación	Metales en octubre 2015 (µg/L)							Metales en abril 2016 (µg/L)						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
López - Timbiquí	R. Micay	<0,42	<0,97	<0,9	92	<1,0	<3,1	25,2	<0,42	<0,97	1,1	56,7	<1,0	<3,1	<6,9

Zona	Estación	Metales en octubre 2015 (µg/L)							Metales en abril 2016 (µg/L)						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
	F. Micay	<0,42	<0,97	<0,9	24,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Saija	<0,42	<0,97	<0,9	119,3	<1,0	<3,1	35,2	<0,42	<0,97	1	69,3	1,1	<3,1	<6,9
	R. Bubuey	<0,42	<0,97	<0,9	112,5	<1,0	<3,1	29,1	<0,42	<0,97	2,1	110,2	1	<3,1	8,7
	F. Norte Timbiquí	<0,42	<0,97	<0,9	17,5	3,2	<3,1	20,6	ND						
	Bocana Timbiquí	<0,42	<0,97	<0,9	14,1	<1,0	<3,1	14,4	<0,42	<0,97	1,6	42,1	2,2	<3,1	7,9
	F. Bocana Timbiquí	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	63,5	ND						
	Desemb. Timbiquí	<0,42	<0,97	<0,9	56	<1,0	<3,1	36,6	ND						
	R. Timbiquí	<0,42	<0,97	<0,9	59,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	1,8	76,9	1,9	<3,1	<6,9
	F. Sur Timbiquí	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	14,3	ND						
	Arriba Río Timbiquí	<0,42	<0,97	<0,9	16,9	<1,0	<3,1	<6,9	ND						
Guapi	F. Guapi boya	<0,42	<0,97	<0,9	12,3	1,4	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	8,2	<1,0	<3,1	8,3
	R. Guapi	<0,42	<0,97	<0,9	91,6	3,4	<3,1	9,6	<0,42	<0,97	<0,9	69,8	2,3	<3,1	<6,9
Gorgona	Horno Gorgona	<0,42	<0,97	<0,9	20,4	<1,0	<3,1	16,2	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	1,5	<3,1	<6,9
	Vertimiento Gorgona	<0,42	<0,97	<0,9	24,4	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	6,1	<1,0	<3,1	<6,9
	Antiguo Muelle	<0,42	<0,97	<0,9	17,2	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	P. Blanca	<0,42	<0,97	2,4	109,9	1,5	<3,1	28,7	<0,42	<0,97	<0,9	31,2	<1,0	<3,1	<6,9
	Gorgonilla	<0,42	<0,97	<0,9	11,5	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	1,1	<3,1	<6,9
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,8	50*	3,1	-	8,2	8,1	81	8,8	50*	3,1	-	8,2	8,1	81
Referencia Efectos crónicos agua dulce		0,25	50*	9	350	52	2,5	120	0,25	50*	9	350	52	2,5	120

Con respecto al análisis de sedimentos en la estación Bocana río Timbiquí, en la Tabla 13-3 se muestran las concentraciones de metales totales medidos en octubre de 2015 y abril de 2016. Las concentraciones de los metales totales analizados fueron comparadas con los valores de referencia para efectos probables (PEL) sugeridos por la NOAA (Buchman, 2008). Como se puede observar, los únicos metales que superaron los valores de referencia fueron el níquel en los dos muestreos y el cobre en el muestreo de abril de 2016. En cuanto a los hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HP), solo fueron detectados durante el muestreo de octubre de 2016 con una concentración de 0,61 µg/g, la cual indica que no hay contaminación con hidrocarburos del petróleo ya que no supera la referencia de 15 µg/g como valor natural (Mora et al., 2010).

Tabla 13-3. Concentraciones de metales totales medidos en sedimentos de la estación Bocana río Timbiquí del departamento del Cauca, en octubre de 2015 y abril de 2016. *Valor de referencia para sedimentos continentales (Buchman, 2008).

Metales	Unidad	Muestreo oct-2015	Muestreo abr-2016	Valor de Referencia PEL*
Pb	µg/g	13,13	<4,0	91,3
Cd	µg/g	<0,5	<0,5	3,5

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

Metales	Unidad	Muestreo oct-2015	Muestreo abr-2016	Valor de Referencia PEL*
Cr	µg/g	86,66	92,95	90,0
Cu	µg/g	68,68	83,73	197,0
Zn	µg/g	66,00	74,57	315,0
Ni	µg/g	92,56	93,17	36,0
Fe	mg/g	39,37	49,66	-
Hg	ng/g	68,7	68,6	486,0

En la Tabla 13-4, se presentan los resultados de los análisis de HP y metales totales en sedimentos colectados en las estaciones de la cuenca baja del río Timbiquí durante el muestreo de octubre de 2015. Las concentraciones de HP, aumentaron conforme se aleja de la costa, lo que sugiere su acumulación en sitios de mayor profundidad. Dentro de los metales analizados, las concentraciones de cadmio se encontraron por debajo del límite de detección del método usado (<0,5 µg Cd/g). El níquel fue el único metal que superó el valor de referencia PEL en todas las estaciones, encontrándose la concentración más alta en el Frente Sur de la Bocana (Tabla 13-4). De acuerdo a estos resultados es importante realizar una investigación puntual en estas zonas con monitoreo más frecuentes y mediciones de la fracción biodisponible, para conocer el riesgo real de la biota asociada a estas zonas.

Tabla 13-4. Concentraciones de metales medidos en sedimentos superficiales en la cuenca baja del río Timbiquí del departamento del Cauca medidas en octubre de 2015. Los valores de referencia fueron tomados de la NOAA (Buchman, 2008). Hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HP).

Estación	HP	Hg	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe
	µg/g	ng/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g
Río Timbiquí antes cabecera municipal	0,13	33,2	12,54	<0,5	65,77	108,93	71,23	81,73	29,47
Río Timbiquí	0,16	7,5	11,08	<0,5	25,73	54,01	79,46	61,43	26,83
Desembocadura Río Timbiquí	0,21	10,9	12,66	<0,5	26,81	54,38	51,74	84,5	25,14
Frente Bocana Río Timbiquí	0,41	55	8,92	<0,5	121,57	49,73	71,1	108,41	34,55
Frente Sur Bocana Río Timbiquí	0,71	7,9	8,68	<0,5	108,57	17,09	68,42	165,35	33,85
Frente Norte Bocana Río Timbiquí	1,30	59,4	8,26	<0,5	96,17	46,15	62,35	84,47	34,55
Valores referencia PEL sedimentos marinos	-	700	112	4,21	160	108	271	42,8	-
Valores referencia PEL sedimentos continentales	-	486	91,3	3,53	90	197	315	35,9	-

Las concentraciones de plaguicidas Cis-permetrina y Metoxicloro determinadas en sedimentos se presentan en la Tabla 13-5. Las mayores concentraciones se presentaron en la estación Frente Norte Bocana Río Timbiquí, principalmente del compuesto cis-permetrina que es uno de los isómeros de la permetrina, un insecticida de tipo piretroide de amplio espectro para el control de plagas, empleado tanto a nivel agrícola como residencial (EPA, 2009b). Actualmente, no se cuentan con valores límites para este compuesto a nivel nacional, no obstante, estudios relacionados demuestran que es altamente nocivo para peces e invertebrados bentónicos (EPA, 2009b). Así mismo, el Metoxicloro es un insecticida calificado como sustancia peligrosa ya que actúa como un disruptor endocrino en mamíferos y en anfibios

(ATSDR, 2002, Fort *et al.*, 2004). En Colombia, estudios efectuados por Jaramillo *et al.* (2010) demuestran su afinidad para ser bio-acumulado por organismos marinos filtradores. La presencia de estos compuestos en los sedimentos de la bocana y frentes del río Timbiquí responde a su naturaleza hidrófoba y a su afinidad por altos contenidos de materia orgánica (Thatheyus y Gnana, 2013), lo que favorece su persistencia en el medio hasta un período de 10 años, en el caso del Metoxicloro (Usma-Ríos *et al.*, 2008), generando un alto riesgo de contaminación por remoción de sedimentos a mediano y largo plazo.

Tabla 13-5. Concentraciones de materia orgánica y plaguicidas detectados en las estaciones de la cuenca baja del río Timbiquí, durante el muestreo de octubre de 2015.

Estación	Materia Orgánica	Cis-permetrina	Metoxicloro
	mg/g	ng/g	ng/g
Bocana Río Timbiquí	68,9	43,3	<6,0
Frente Bocana Río Timbiquí	33,4	47,2	6,6
Frente Sur Bocana Río Timbiquí	7,4	9,1	<6,0
Frente Norte Bocana Río Timbiquí	41,1	72,3	14,5

13.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

El ICAM_{PFF} aplicado a los resultados del muestreo realizado en octubre de 2015, mostró que el 67% de las estaciones evaluadas tuvieron aguas con calidad adecuada y el 33% calidad inadecuada (Figura 14-13a). Esta proporción de estaciones en condiciones inadecuadas responden a la contaminación microbiológica, mayor en las zonas de López – Timbiquí y Guapi. Por otro lado en abril de 2016, la calidad de las aguas mejoró, el 27% de las estaciones tuvieron una calidad óptima, 46% adecuada y 27% aceptable, lo cual se puede atribuir a que el muestreo fue durante marea alta, en la cual aumenta la dilución de los contaminantes (Figura 14-13b).

La aplicación del ICAM_{PFF} en los últimos tres años, muestra que la zona de Gorgona ha mantenido una calidad de agua adecuada, mientras que las estaciones en las zonas de Guapi y López-Timbiquí han disminuido su calidad, pasando de adecuadas a aceptables e inadecuadas en su mayoría (Tabla 14-4). Lo anterior se relaciona con el aumento de las poblaciones sobre la línea de costa, que a su vez tiene incidencia en las actividades del turismo, transporte (combustible) y minería, las cuales ejercen presiones sobre los ecosistemas marinos y costeros como manglares en las zonas de López-Timbiquí y Guapi y arrecifes coralinos en Gorgona.

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

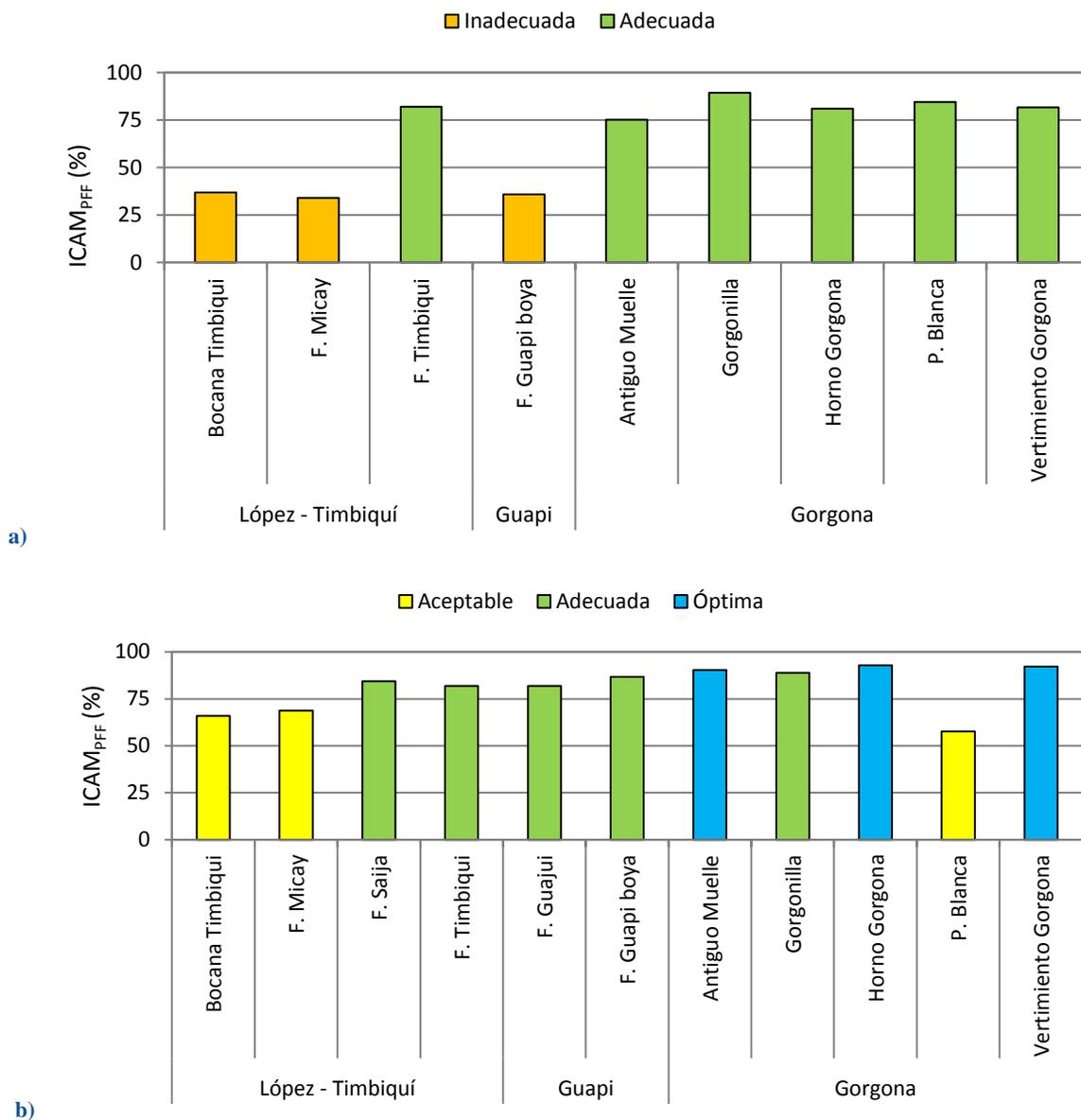


Figura 13-10. Calidad de las aguas marino costeras en las estaciones REDCAM del departamento del Cauca en los muestreos de octubre de 2015 (a) y abril de 2016 (b), evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

Tabla 13-6. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PFF} en el las zonas del departamento de Cauca en el periodo de 2013 a 2015.

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada
2013	López - Timbiquí			100%
	Guapi			100%
	Gorgona			100%
2014	López - Timbiquí	No se estimó, por ausencia de variables		
	Guapi			100%
	Gorgona			100%

Año	Zona	Inadecuada	Aceptable	Adecuada
2015	López - Timbiquí	33%	17%	50%
	Guapi	67%		33%
	Gorgona		10%	90%

13.4 CONCLUSIONES

- ❖ Durante el muestreo realizado en octubre de 2015, la calidad del agua presentó condiciones inadecuadas para la preservación de fauna y flora, especialmente en la zona López – Timbiquí, debido a la alta presencia de coliformes totales en los ríos Timbiquí, Micay y Guapi, producto de los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento y de materia orgánica proveniente de la escorrentía urbana. En abril de 2016, debido al incremento de lluvias, se favoreció el aumento de sólidos suspendidos e introducción de nutrientes por escorrentía, principalmente en los ríos Timbiquí, Micay y Saija, no obstante, la marea alta favoreció la dilución de contaminantes y en general, se presentaron condiciones adecuadas y óptimas.
- ❖ Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo y metales en aguas registrados durante los muestreos realizados en octubre del 2015 y abril del 2016, no representan riesgo para la biota de los ecosistemas marino- costeros del departamento del Cauca, ya que se encuentran por debajo de los valores referenciados en guías internacionales.
- ❖ Los sedimentos de las estaciones en la cuenca baja del río Timbiquí presentaron concentraciones de Ni que superaron los valores de referencia para efectos crónicos (PEL) tanto para sedimentos marinos como continentales que podrían representar un riesgo para la biota. No obstante, como no se sabe si estas concentraciones son naturales o producto de actividades antrópicas, se recomienda realizar una actualización en fuentes terrestres de contaminación en el departamento del Cauca, con el fin de establecer su origen.

NARIÑO

Ostín Garcés Ordóñez



El Morro, Tumaco. Foto: Ostín Garcés.

EQUIPO TÉCNICO CORPONARIÑO

Marcela Caviedes C. – Profesional Universitario
Darío López G. – Profesional Universitario

14. DIAGNÓSTICO DEPARTAMENTO DE NARIÑO

El Departamento de Nariño está situado al suroccidente del país, en la llanura del Pacífico, entre los 00° 20' y 02° 41' de latitud norte y a 76° 52' y 79° 10' de longitud oeste. En la llanura Pacífica no se presenta una tendencia definida en las precipitaciones y más bien tiende a mostrar escasa diferencia entre las cantidades aportadas por cada mes en particular con valores 3.000 – 4.000 mm/año ([IDEAM, 2005](#)); sin embargo en términos generales, puede decirse que entre junio y julio la llanura costera se somete a una época de transición de húmeda a seca, en la que las lluvias disminuyen paulatinamente con rangos que oscilan entre los 150 a 200 mm/mes; y la época seca se ubica entre agosto y noviembre, con promedios entre los 50 a 100 mm/mes ([Tejada et al., 2003](#)).

En la zona costera del departamento de Nariño se encuentran ecosistemas marinos y costeros estratégicos como manglares, estuarios, planos intermareales de lodo y acantilados que brindan bienes y servicios ambientales de gran importancia y que influyen sobre la económica de las familias que aprovechan sus recursos ([García et al., 2012](#)). Así mismo, se encuentran asentamientos humanos y se desarrollan diferentes actividades productivas, las cuales generan residuos contaminantes que pueden deteriorar la calidad del agua y limitar sus diferentes usos.

Entre las fuentes que generan contaminación están: (I) las aguas residuales domésticas (ARD), (II) la inadecuada disposición de residuos sólidos, (III) las escorrentías agrícolas, (IV) las escorrentías y aguas residuales de la minería, (V) los residuos de la actividad portuaria y del tráfico marítimo y (VI) los derrames de petróleo. La producción de estos residuos contaminantes y los impactos negativos en el ambiente se relaciona con factores como el tamaño de la población, la intensidad de las actividades productivas, uso de sistemas de tratamiento, adecuada disposición final, recurrencia de los eventos de derrame y respuestas de contingencia, entre otros.

Se calcula que para el año 2016, los ~334.000 habitantes de los siete municipios costeros del departamento (El Charco, La Tola, Mosquera, Olaya Herrera, Francisco Pizarro, Santa Bárbara y San Andrés de Tumaco; [DANE, 2017](#)) produjeron cerca de 48.500 m³/seg de ARD. Debido a la ausencia del servicio de alcantarillado y de sistemas de tratamiento, se presume que una gran proporción del ARD (~95%) es vertida directamente a los cuerpos de agua naturales, aportando grandes cantidades de materia orgánica, nutrientes, microorganismos de origen fecal, grasas, aceites e hidrocarburos, entre otros.

Con respecto a los residuos sólidos, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios en su informe nacional sobre Disposición Final de Residuos Sólidos publicado en el año 2014, indica que los municipios costeros producen 91,11 t/día, los cuales son dispuestos en el relleno sanitario de Buchelly, botaderos a cielo abierto y en cuerpos de aguas naturales. Esta última disposición, aunque no se sabe el porcentaje real de los residuos vertidos, es una fuente importante de basura marina que afecta a los organismos por enredo y consumo ([Derraik, 2002](#)), pero que en el departamento ha sido muy poco estudiado.

La actividad agroindustrial en el departamento se desarrolla en un área de 185.115 ha, encontrándose en el municipio de Tumaco la mayor área agrícola (66.530 ha). Los productos cosechados son café, caña panelera, palma de aceite, cacao, caucho y tabaco, entre otros ([DANE, 2013](#)), cultivos en los cuales se utilizan nutrientes y plaguicidas para mejorar la producción. Algunos residuos de estos compuestos son arrastrados durante las precipitaciones hacia los ríos y al océano Pacífico nariñense, generando algunos problemas ambientales, los

cuales se han evidenciado con el monitoreo REDCAM ([Vivas-Aguas et al., 2015b](#); [Garcés-Ordóñez et al., 2016a](#)).

En cuanto a los derrames de hidrocarburos, la zona costera del departamento ha sido afectada recurrentemente por eventos de derrame de crudo desde el año 1976 hasta la actualidad ([Cabrera y Reyna, 1997](#); [INVEMAR, 2015c](#)). El evento más reciente ocurrió en el año 2015, con el derrame de aproximadamente 10.000 barriles de petróleo crudo como consecuencia de atentados al oleoducto Trasandino ([INVEMAR, 2015c](#)). A esta problemática se suma el derrame constante por goteo y rebosamiento de piscinas, donde se almacena el crudo que se extrae ilegalmente del oleoducto ([Semana, 2013](#); [El Tiempo, 2015](#)).

Teniendo en cuenta la presencia de estas fuentes de contaminación y con el propósito de obtener información que facilite la gestión ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Nariño – CORPONARIÑO para el manejo integral del medio ambiente marino, la REDCAM realiza desde el año 2001 la evaluación y diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento, basado en el análisis de variables fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente informe contiene el diagnóstico de la calidad de las aguas marinas y costeras con base en los muestreos realizados en el segundo semestre de 2015 y primer semestre de 2016.

14.1 ZONAS DE MONITOREO

En el departamento de Nariño, se cuenta con una red de 24 estaciones de monitoreo, distribuidas geográficamente en tres zonas: Costa Norte, Ensenada de Tumaco y Costa Sur (Figura 14-1).

La Zona Costa Norte se extiende desde la frontera con el departamento del Cauca hasta la punta Cascajal, cuenta con ocho estaciones de muestreo (Figura 14-1) y abarca parte de las cuencas hidrográficas de los ríos Patía y Sanquianga, y el Parque Nacional Natural Sanquianga, donde se encuentra la mayor cobertura de manglar del departamento ([PNNC, 2012](#)). En esta zona se sitúan además poblaciones de los municipios costeros de Francisco Pizarro, Mosquera, Olaya Herrera, La Tola y El charco los cuales tienen bajas coberturas de saneamiento básico ([SUI, 2012](#)).

La Zona Ensenada de Tumaco corresponde a las desembocaduras de los ríos Rosario, Mejicano, Guayaros, Changüí, y Curay, y se encuentra el municipio de Tumaco, uno de los más poblados del Pacífico colombiano (203.971 hab; [DANE, 2017](#)). En este municipio se desarrolla un gran número de actividades productivas agropecuarias, mineras, pesqueras, portuarias, de comercio y de turismo. La zona tiene 16 estaciones de muestreo para aguas superficiales, en dos de las cuales (frente a ríos y río Rosario) se recolectan sedimentos para medir contaminantes (Figura 14-1).

La Zona Costa Sur, comprende el área desde el sur de la Ensenada de Tumaco hasta el río Mataje, en el límite con el Ecuador. Esta zona está representada por las principales cuencas hidrográficas de los ríos Mataje y Mira, parte del trayecto de ambos ríos es frontera entre Ecuador y Colombia, en las cuales se desarrollan actividades agropecuarias y han sido afectadas en mayor medida por derrames de petróleo ([DANE, 2013](#); [INVEMAR, 2015c](#)). En esta zona se ubican dos estaciones de aguas y de sedimento (Figura 14-1).

Los muestreos fueron realizados por el INVEMAR en compañía del personal técnico de CORPONARIÑO en los días del 23 al 25 de noviembre de 2015 en marea baja y del 27 al 29 de junio de 2016 en marea alta.

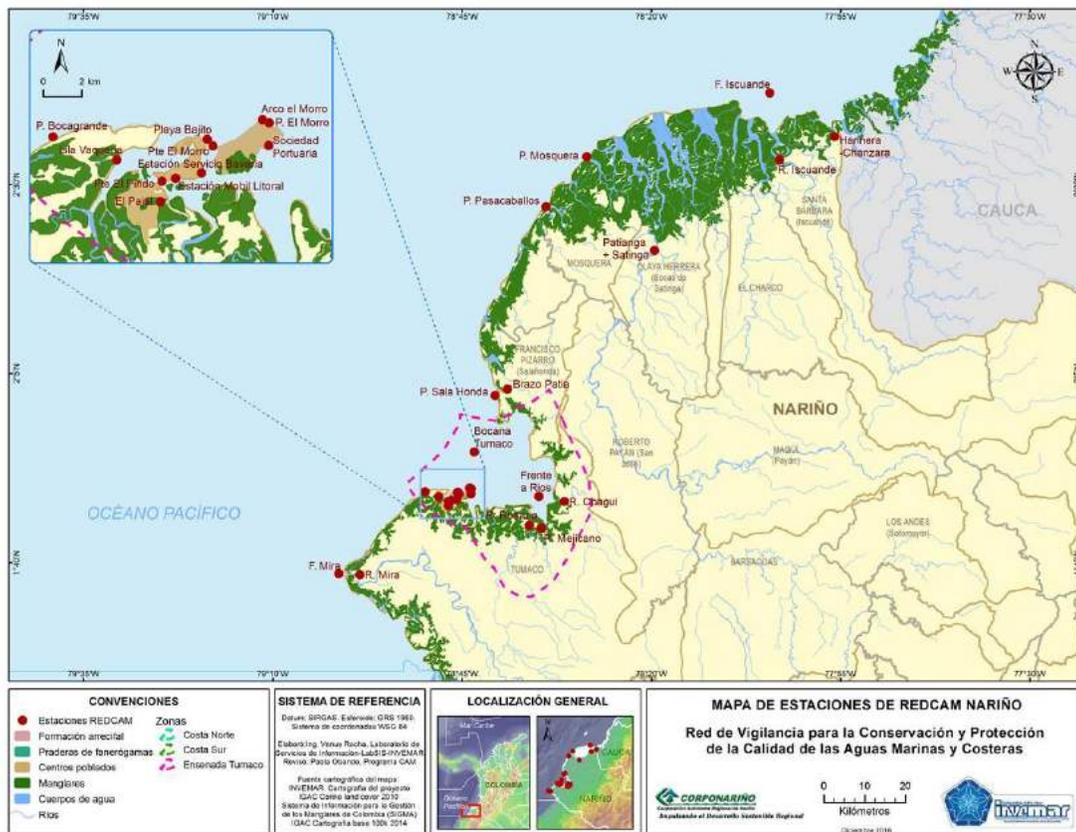


Figura 14-1. Mapa donde se presentan las zonas (polígonos demarcados con líneas punteadas) y las estaciones de muestreo de la REDCAM (puntos rojos) en el departamento de Nariño.

14.2 CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

De acuerdo a los valores de salinidad registrados en noviembre de 2015 y en junio de 2016 (Figura 14-2), las aguas en las estaciones de la mayoría de los ríos y playas en la Zona Costa Norte son de tipo estuarinas y marinas oligohalinas, según la clasificación de las aguas descrita en [Knox \(2001\)](#). La estación de Patianga + Satinga (0,0) por su distancia de la costa y la escasa influencia de las mareas tuvo una condición de agua dulce. La Zona Ensenada de Tumaco, tiene características estuarinas por el aporte de un gran número de ríos que desembocan en ella. La salinidad de acuerdo al estado de marea oscila entre 7,0 y 31,2, mostrando características de aguas salobres mesohalinas (3,0-10,0) y polihalinas (10,1-17,0) en las desembocaduras de los ríos, y de aguas marinas oligohalinas (17,0-30,0) en la boca de la ensenada de Tumaco y en las playas ([Knox, 2001](#)). En la Zona Costa Sur, la salinidad en las estaciones del río Mira (0,0) y frente al río Mira (16,5-25,6) indican condiciones de agua dulce y marina oligohalina (17-30) respectivamente. La temperatura del agua fluctuó entre 26,1 y 30,4 °C, relacionándose con la hora del día en que se hicieron las mediciones (7:00 am - 5:00 pm).

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

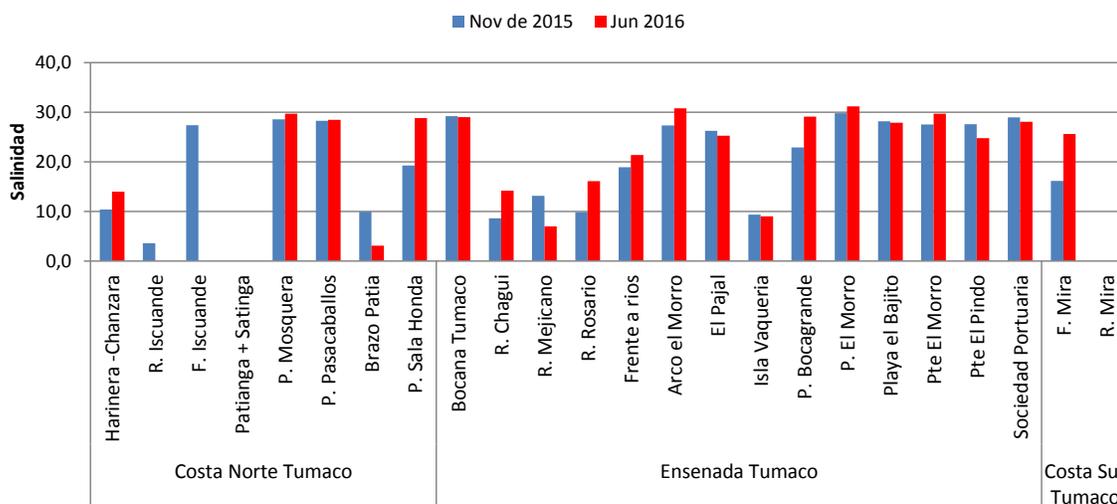


Figura 14-2. Salinidad del agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Nariño, en los muestreos de noviembre de 2015 y junio de 2016.

Los niveles de oxígeno disuelto (OD; Figura 14-3) en las Zonas Costa Norte y Costa Sur, y en la gran mayoría de las estaciones de la Ensenada de Tumaco, estuvieron por encima del valor mínimo permisibles establecido por el Decreto 1594 de 1948 (>4,0 mg de O₂/L; [MinSalud, 1984](#)), indicando que las condiciones del agua respecto a este parámetro son adecuadas para la preservación de la flora y fauna. En la estación playa Bocagrande se registró un valor de 3,36 mg de O₂/L, el cual está asociado a las condiciones ambientales de alta nubosidad y poca radiación solar a la hora de la medición (08:22 am) en condiciones de marea alta.

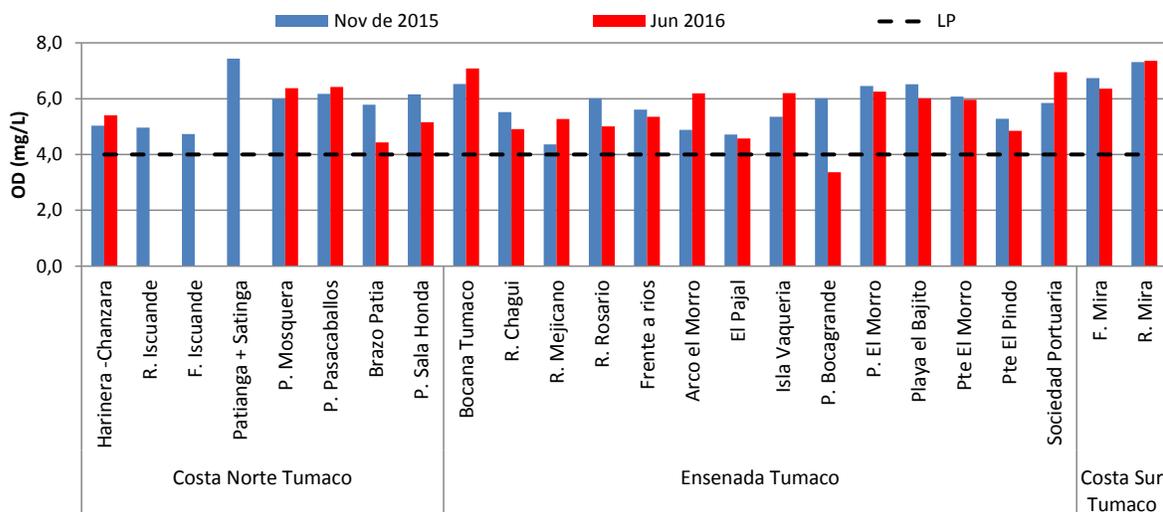


Figura 14-3. Oxígeno disuelto del agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Nariño, en los muestreos de noviembre de 2015 y junio de 2016. La línea punteada indica el criterio de calidad para la preservación de flora y fauna establecido en el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Los valores de pH de las aguas superficiales (Figura 14-4) en las estaciones de las zonas Costa Norte y Costa Sur, están dentro de los rangos permisibles para la preservación de flora y fauna (6,5-8,5 para aguas cálidas marinas y estuarinas, y de 4,0 -9,0 para aguas cálidas dulces; [MinSalud, 1984](#)). La estación Brazo del río Patía, aunque durante el muestreo actual las aguas tenían condiciones estuarinas, es una estación fluvial, por lo que se puede considerar que el pH determinado cumple con el rango establecido para aguas cálidas dulce. En la Ensenada de Tumaco, el pH osciló entre ligeramente ácido (6,18) en la estación del brazo del río Patía y básico (8,78) en la estación Arco el Morro, encontrándose en la mayoría de las mediciones dentro de los rangos permisibles para las aguas dulce, marinas y estuarinas, a excepción de la estación Arco el Morro, lo cual puede asociarse al estado de la marea alta y a la fotosíntesis realizada por el fitoplancton en la piscina natural del Arco el Morro, que recibe aguas residuales de las casas palafíticas de la isla el Morro, por medio del estero Los Tulicios.

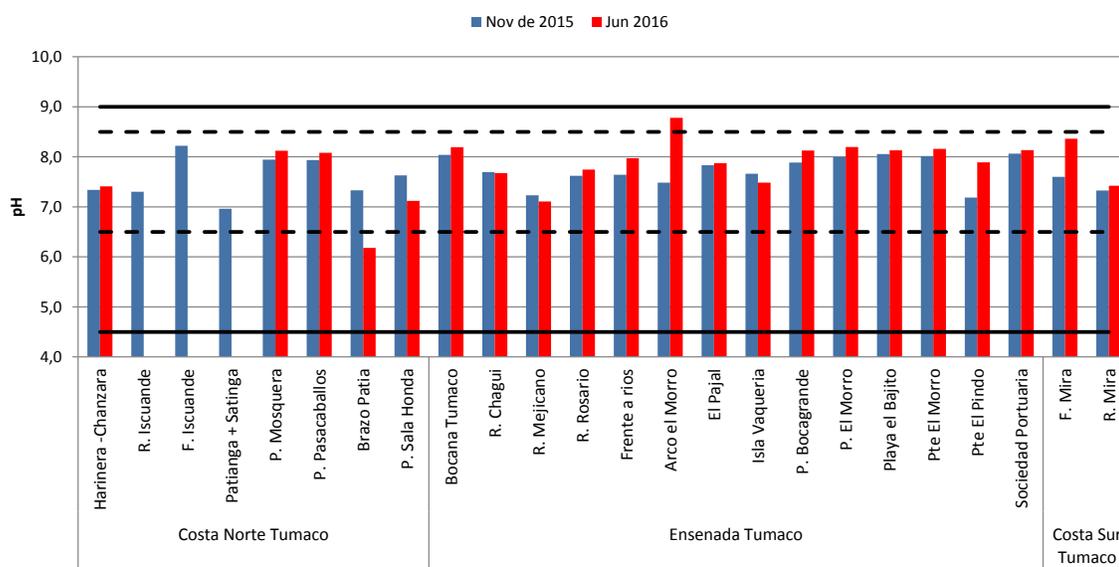


Figura 14-4. Valores de pH del agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Nariño, en los muestreos de noviembre de 2015 y junio de 2016. Las líneas negras continuas señalan el rango permisible para preservación de flora y fauna en aguas cálidas dulce y las líneas negras punteadas el rango permisible en aguas cálidas marinas y estuarinas (MinSalud, 1984).

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST; Figura 14-5) en el muestreo realizado en noviembre de 2015 durante la marea baja, fluctuaron entre 4,1 y 188 mg de SST/L, encontrándose los valores más altos en las estaciones Patianga + Satinga (107,5 mg/L) en la costa Norte, y en río Chagüí (105 mg/L) y frente a ríos (188 mg/L) de la Ensenada de Tumaco. Tomando como referencia los valores propuestos por [CONAGUA \(2015\)](#), la mayoría de estaciones se clasifican en el rango de calidad buena; con excepción de las estaciones Patianga + Satinga y río Chagüí que se clasifican como aguas de calidad aceptable ($>75 \leq 150$ mg de SST/L); y la estación frente a ríos que se clasifican como aguas contaminadas ($>150 \leq 400$ mg de SST/L; Figura 14-5). Cabe destacar que durante el monitoreo realizado en junio del 2016, las concentraciones bajaron por efecto de dilución, debido a que se tomaron durante la marea alta, encontrándose valores entre 4,06 y 60,3 mg de SST/L en todas las zonas de muestreo, que corresponden a aguas de buena calidad (>25 y <75 mg de SST/L; [CONAGUA, 2015](#)).

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

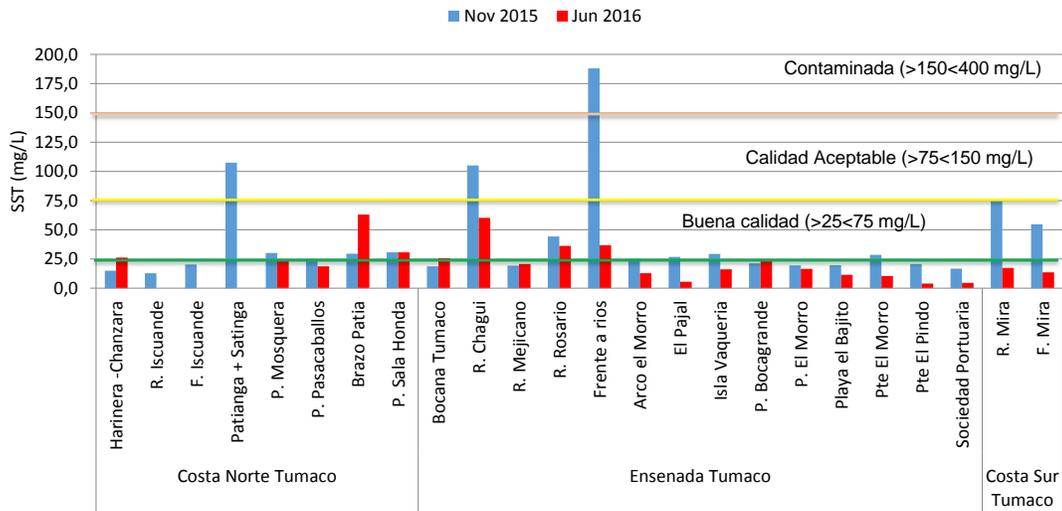


Figura 14-5. Sólidos suspendidos totales en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Nariño, en los muestreos de noviembre de 2015 y junio de 2016. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

Históricamente las concentraciones de SST en estas zonas han sido, en algunos casos, muy elevadas (Figura 14-6), alcanzando valores típicos de agua fuertemente contaminada con aguas residuales (>400 mg de SST/L; CONAGUA, 2015), lo cual se confirma con las altas concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal (4,5-160.400 NMP de CTE/100 mL) que se detallarán más adelante. Los ríos son los que mayor carga de SST (~4,8x10⁶ ton/año) aportan a la Ensenada de Tumaco y a la zona costera del departamento en general (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2016a), lo cual, además se podría relacionar con los procesos de erosión por la deforestación en las cuencas de los ríos para cultivos agrícolas industriales, y para cultivos ilícitos (DANE, 2013; Gobierno de Colombia y UNODC, 2016).

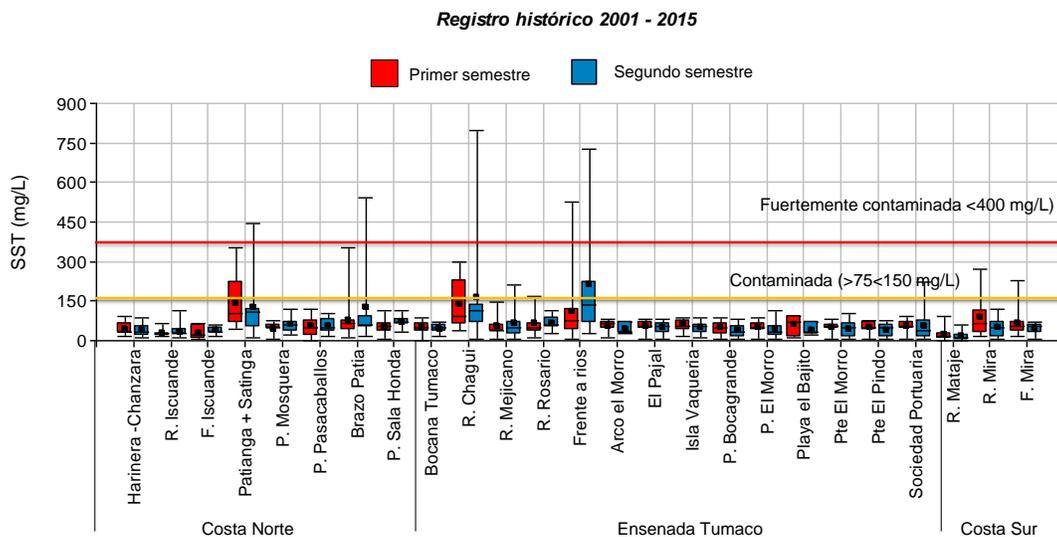


Figura 14-6. Registro histórico de Sólidos suspendidos totales (SST) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Nariño, en los muestreos de noviembre de 2015 y junio de 2016. Las líneas de color indican los rangos de clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo a los SST propuesto por CONAGUA (2015).

En la Figura 14-7 se presentan los resultados de los nutrientes inorgánicos disueltos: amonio (N-HN_4^+), nitritos (N-NO_2^-), nitratos (N-NO_3^-) y ortofosfatos (P-PO_4^{3-}) medidos en las zonas y estaciones de muestreo. Estos nutrientes son de interés ambiental debido a que pueden causar eutrofización y deterioro de la calidad del agua.

En la zona Ensenada de Tumaco se registraron las concentraciones más elevadas de los nutrientes evaluados, en comparación con las demás zonas (Figura 14-7), lo cual está relacionado con la presencia de mayores fuentes de contaminación en esta zona, donde se encuentra la mayor área agrícola del departamento ([DANE, 2013](#)), donde se usan plaguicidas y nutrientes para mejorar el rendimiento de los cultivos. Las concentraciones de amonio y nitrito (Figura 14-7), pueden estar relacionadas con vertimientos recientes de aguas residuales en los ríos Chagüí, Mejicano y Rosario, debido a que estos nutrientes son rápidamente asimilados por el fitoplancton (en el caso del amonio) o son rápidamente oxidados a nitratos en el proceso de nitrificación (en el caso del nitrito; [Cárdenas y Sánchez, 2013](#)). Esta hipótesis se corrobora con las concentraciones de microorganismos indicadores de contaminación fecal que estuvieron en altas concentraciones, las cuales se describen más adelante. Los valores de nitratos encontrados en estos ríos guardan mucha relación con las concentraciones de nitritos (Figura 14-7).

Los ortofosfatos oscilaron entre el 2,4 $\mu\text{g/L}$ y 14,1 $\mu\text{g/L}$, encontrándose en la mayoría de las estaciones valores más altos en junio de 2016 durante marea alta. En los ríos Chagüí y Rosario, frente a ríos y sociedad portuaria se registraron los valores más altos en noviembre de 2015 durante la marea baja, asociado a vertimientos de aguas residuales (Figura 14-7). Otras fuentes importantes de ortofosfatos y de los compuestos nitrogenados son las escorrentías agrícolas de las áreas de cultivo en las principales cuencas ([Escobar, 2002](#)), y el posible flujo desde el sedimento al ser estos resuspendidos por la dinámica y corrientes de las mareas altas (flujo) y bajas (reflujo) en la región.

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS EN EL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANOS

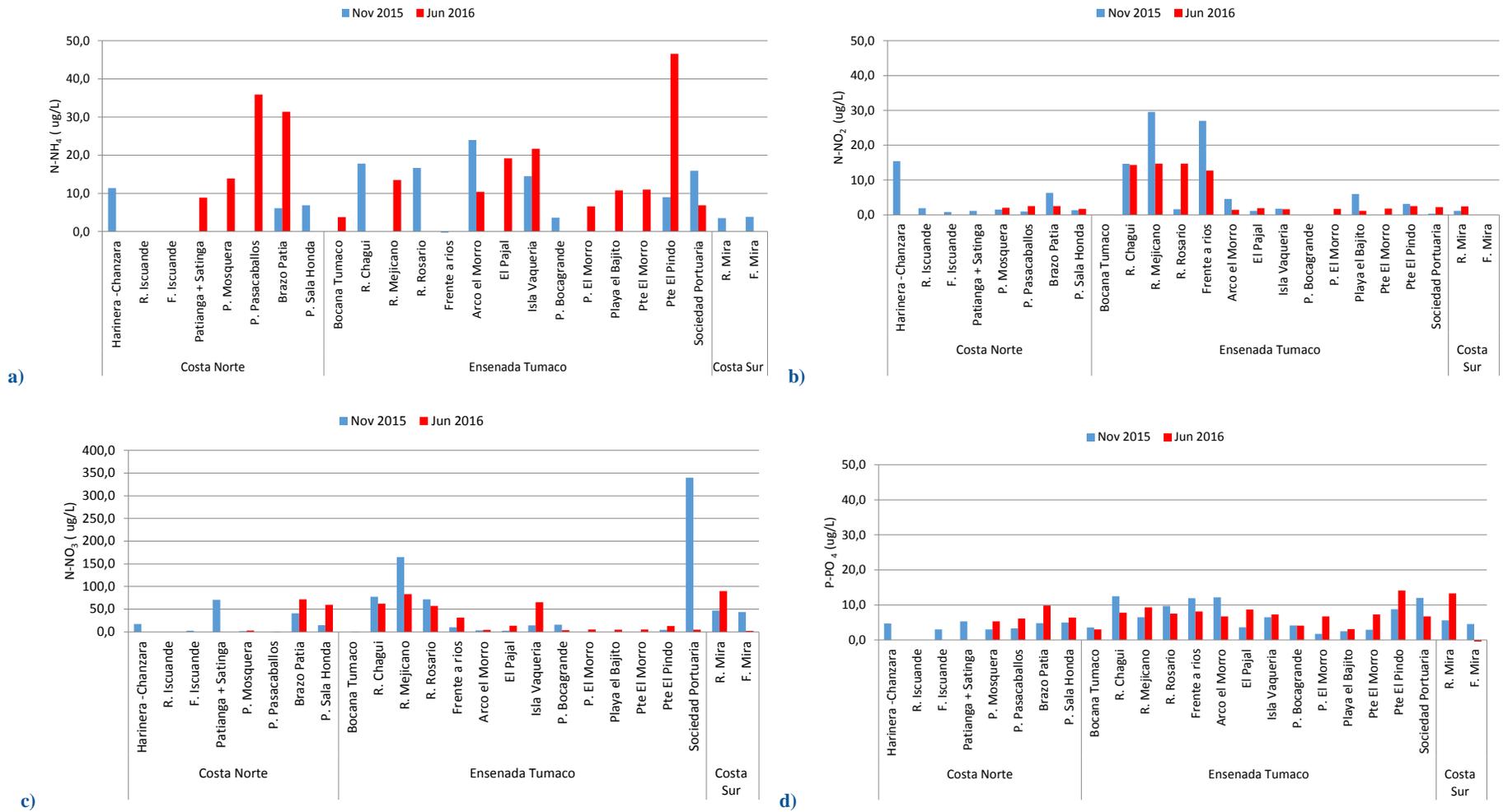


Figura 14-7. Nutrientes inorgánicos disueltos: a) amonio (N-NH₄⁺), b) nitrito (N-NO₂⁻), c) nitrato (N-NO₃⁻) y ortofosfato (P-PO₄³⁻), medidos en noviembre de 2015 y junio de 2016 en las estaciones y zonas de muestreo REDCAM del departamento de Nariño.

Las concentraciones más elevadas de coliformes totales (CTT), se registraron en el muestreo de noviembre de 2015 en marea baja, en comparación con el muestreo de junio de 2016 en marea alta en todas las zonas de muestreo (Figura 14-8). Adicionalmente, de acuerdo al Decreto 1594 de 1984, las concentraciones de CTT superan el límite máximo permisible para contacto primario y secundario (1.000 y 200 NMP/100 mL respectivamente; [MinSalud, 1984](#)) e indican contaminación microbiológica. En marea baja se hace evidente el problema de este tipo de contaminación, ya que es el momento en el cual los aportes continentales son mayores, esto incluye aguas residuales domesticas procedentes de las poblaciones ribereñas.

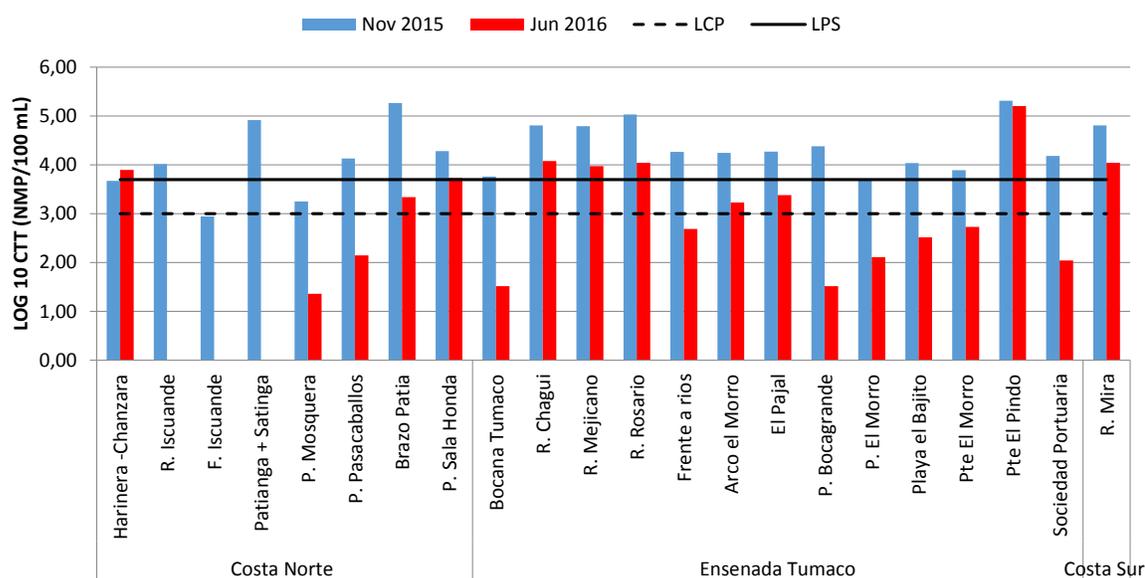


Figura 14-8. Coliformes totales en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Nariño, en los muestreos de noviembre de 2015 y junio de 2016. La línea negra continua es el máximo permisible para contacto secundario (5.000 NMP/100 mL), y la línea punteada el máximo permisible para contacto primario (1.000 NMP/100 mL) según MinSalud (1984).

De igual manera que los CTT, las concentraciones de otros microorganismos indicadores de contaminación fecal, como *Escherichia coli*, que representa en mayor proporción los coliformes termotolerantes (CTE), fueron más elevadas en el muestreo de noviembre de 2015 en marea baja, en comparación con el muestreo de junio de 2016 en marea alta (Tabla 14-1), y según el Decreto 1594 de 1984, superan ampliamente el límite máximo permisible para el uso recreativo por contacto primario. En junio de 2016, las concentraciones de Enterococos fecales registrados en las playas Pasacaballos, Salahonda y el Arco el Morro (Tabla 14-1) representaron un riesgo de >1% y de 0,3% de contraer enfermedades Gastrointestinales y Respiratoria Febril Aguda respectivamente según la [OMS \(2003\)](#).

Tabla 14-1. Microorganismos indicadores de contaminación fecal medidos en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño en los muestreos de noviembre de 2015 en la marea baja y junio de 2016 en la marea alta. *Criterio de calidad para el uso recreativo por contacto primario en base a coliformes termotolerantes (CTE; *Escherichia coli*) de MinSalud (1984), y **valor de referencia de la OMS (2003) para el riesgo >1% y de 0,3% de contraer enfermedades Gastrointestinales y Respiratoria Febril Aguda respectivamente. (-) no medido.

Zona	Estación	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	CTE (NMP/100mL)	EFE (UFC/100 mL)	
		Nov. 2015	Jun. 2016	Nov. 2015	Jun. 2016
Costa Norte Tumaco	Playa Mosquera	587,0	1,0	33,5	24,0
	Playa Pasacaballos	1.022,5	20,0	32,0	88,0
	Brazo Patía	6.630,0	1.100,0	-	-
	Playa Salahonda	2.237,0	1.700,0	16,0	56,0
Ensenada Tumaco	Bocana Tumaco	1.566,0	4,5	-	-
	Río Chagüi	3.905,0	180,0	-	-
	Río Mejicano	2.975,0	200,0	-	-
	Río Rosario	2.100,0	400,0	-	-
	Frente a ríos	2.150,0	110,0	-	-
	Arco el Morro	1.354,0	630,0	68,0	56,0
	El Pajal	645,0	170,0	-	-
	Playa Bocagrande	2.241,0	11,0	11,0	16,0
	Playa El Morro	1.015,0	27,0	10,0	10,0
	Playa el Bajito	1.024,0	330,0	8,5	39,0
	Puente El Morro	1.421,0	4,5	-	-
	Puente El Pindo	12.180,0	22.000,0	-	-
	Sociedad Portuaria	887,0	20,0	-	-
Costa Sur Tumaco	Río Mira	6.360,0	2.400,0	-	-
Valores de referencia		200*	200*	40**	

En junio de 2016 debido a la marea alta, las concentraciones de estos microorganismos se redujeron en algunas estaciones de las zonas de muestreo. En la Costa Norte, en las estaciones brazo del río Patía y en la playa Salahonda, se determinaron valores de 1.100 y 1.700 NMP de CTE/100 mL respectivamente, los cuales se encuentran por encima de la norma nacional y se clasifican como aguas contaminadas bacteriológicamente, tomando como referencia la escala de calidad de aguas de [CONAGUA \(2015\)](#). Estas estaciones están muy cerca de la cabecera municipal de Francisco Pizarro, en donde no existe cobertura de alcantarillado y los residuos son vertidos directamente al canal Salahonda (concentración de 155.310 NMP de *E. coli* /100 mL registrada en este canal en noviembre de 2015) que desemboca en el brazo del río Patía y llega a la playa Salahonda. En la Ensenada de Tumaco, la piscina natural del Arco el Morro, también mantuvo una concentración de CTE por encima de 200 NMP/100 mL (Tabla 14-1), siendo inadecuada para el uso recreativo, debido al aporte constante de aguas residuales que llega por el estero Los Tulicios, lo cual requiere de atención por parte de las autoridades ambientales para reducir el riesgo sanitario para los bañistas, debido a que este sitio es de importancia turística. Históricamente (2001-2015) en las estaciones de estas zonas se han registrado altas concentraciones de coliformes totales (20 – 206.855 NMP de CTT/100 mL), coliformes termotolerantes incluyendo *E. coli* (20 – 160.000 NMP de CTE/100 mL; Figura 14-9) y enterococos fecales (1 – 195 UFC/100 mL), esta última variable se mide solamente en las playas. Cerca de 60% de las 535 ± 46 mediciones de CTT y CTE realizadas en las estaciones están por encima de 1.000 y 200 NMP/100 mL respectivamente, lo cual indica que no son adecuadas para que la población local como principal usuario, realice actividades

actividades de tráfico fluvial con lanchas a motor, inadecuada venta de combustibles, disposición de residuos y la posible influencia de los derrames de crudo que son transportados por las corrientes hacia la Costa Norte del departamento.

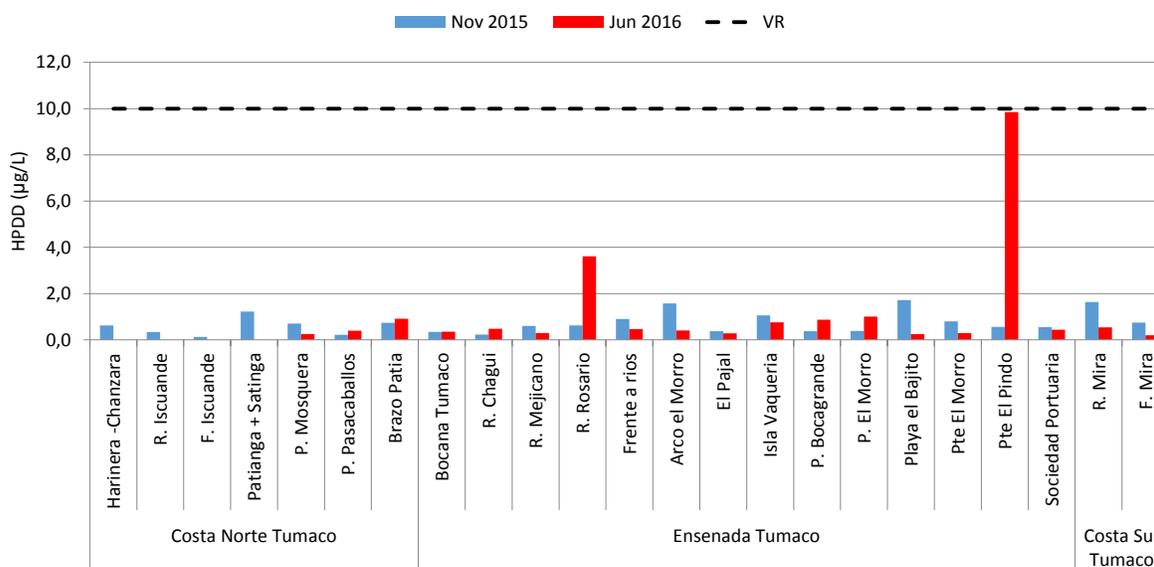


Figura 14-10. Hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de crisenol (HPDD) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Nariño en los muestreos de noviembre de 2015 y junio de 2016. La línea negra punteada indica el valor de referencia para aguas contaminadas con HPDD (Unesco, 1984; Acuña-González *et al.*, 2004).

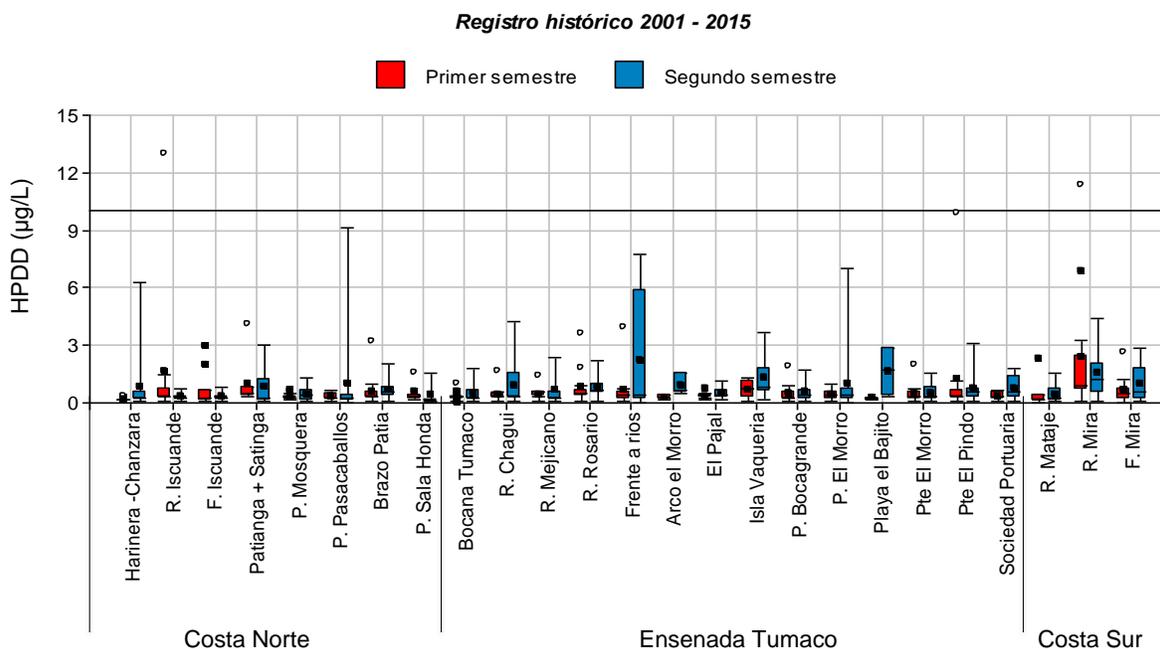


Figura 14-11. Histórico de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de crisenol (HPDD) en el agua superficial en las estaciones de muestreo REDCAM en Nariño. La línea negra punteada indica el valor de referencia para aguas contaminadas con HPDD (Unesco, 1984; Acuña-González *et al.*, 2004).

En la zona Ensenada de Tumaco, los HPDD oscilaron entre 0,23 y 9,85 $\mu\text{g/L}$ (Figura 14-10), sin sobrepasar el valor de referencia para aguas no contaminadas (10 $\mu\text{g/L}$; [UNESCO, 1984](#); [Acuña-González et al., 2004](#)). El valor más elevado se registró en junio de 2016 en la estación puente El Pindo, en donde se encuentran expendios de gasolina que podrían ser la fuente principal. De acuerdo a los registros históricos de la REDCAM, en el agua superficial de esta zona, siempre se ha registrado la presencia de HPDD, no obstante, las concentraciones nunca han estado por encima de la referencia (Figura 14-11). Sin embargo, en el muestreo realizado por el grupo de respuestas a emergencias ambientales (GAMA) en julio de 2015, tras el derrame de crudo como consecuencia de los atentados al oleoducto Transandino, se registraron altas concentraciones de HPDD en frente al río Rosario (19 $\mu\text{g/L}$) y en el estero Vaquería (100 $\mu\text{g/L}$), valores que superaron la referencia y que indicaron contaminación ([INVEMAR, 2015c](#)).

En sedimentos de las estaciones frente a ríos y en la desembocadura del río Rosario se registraron concentraciones de hidrocarburos del petróleo equivalentes de criseno (HP) de 0,25 y 0,16 $\mu\text{g/g}$ respectivamente, los cuales no superan la referencia para sedimentos no contaminados (15 $\mu\text{g/g}$; [Mora et al., 2010](#)). En monitoreos de años anteriores y como consecuencia de los derrames de crudo ([Cabrera y Reyna, 1997](#); [INVEMAR, 2015c](#)) se han registrado concentraciones de HP que en algunos casos superan las referencias. En marzo de 2006 en la estación estero El Pajal se reportó una concentración de 122 $\mu\text{g/g}$ considerado altamente contaminado con HP, y en ese mismo muestreo en la estación puente El Pindo se registró 16,91 $\mu\text{g/g}$. En el 2014 en sedimentos de la estación frente a ríos se determinaron 58 $\mu\text{g/g}$, y en julio de 2015 en la desembocadura del río Rosario se registraron 3,8 μg de HP/g, y 0,007 $\mu\text{g/g}$ de benzo(a)pireno, hidrocarburo aromático polinuclear de elevado peso molecular altamente tóxico ([INVEMAR, 2015c](#)). Estos resultados se deben a la permanente ruptura del oleoducto transandino tanto por atentados como por la extracción ilegal del combustible, lo cual ha afectado las actividades productivas de la zona como el turismo en las playas, la extracción de la piangüa por los daños al manglar, la pesca, acuicultura, agricultura, entre otros. Además deterioro del recurso hídrico para el consumo humano, pérdida de biodiversidad y sus servicios ambientales ([INVEMAR, 2015c](#)). Por lo anterior es necesario aumentar el número de estaciones de sedimentos, y aumentar los esfuerzos técnicos y económicos hacia mediciones más detalladas de los tipos de hidrocarburos presentes, que permita dimensionar el impacto de los derrame de crudo en la zona y hacer seguimiento a este tipo de contaminantes.

En la zona Costa Sur, en el río Mira y su frente se determinaron concentraciones de HPDD entre 0,2 y 1,64 $\mu\text{g/L}$ en el agua superficial, sin sobrepasar el valor de referencia para aguas contaminadas (Figura 14-10). A pesar de que este cuerpo de agua en junio de 2015 fue afectado por el derrame de aproximadamente 10.000 barriles de crudo, los HPDD en el agua se han encontrado en concentraciones muy bajas, incluso en julio de 2015, un mes después de ocurrido el derrame de crudo, los HPDD estuvieron en una concentración de 1,42 $\mu\text{g/L}$, condición puede atribuirse a la hidrodinámica y las características hidrofóbicas de los hidrocarburos ([INVEMAR, 2015c](#)). Sin embargo en los sedimentos de la estación frente a río Mira, la concentración de 78,33 μg de HP/g registrada en noviembre de 2015 evidencia el impacto del derrame de crudo en esta zona. Esta concentración supera el valor de referencia para sedimentos contaminados (>50 $\mu\text{g/g}$; [Mora et al., 2010](#)), lo cual representa un riesgo para

los organismos bentónicos y una fuente probable de hidrocarburos al agua por la resuspensión del sedimento.

El registro histórico de esta zona muestra que en los ríos Mira y Mataje se han registrado concentraciones de HPDD que indican contaminación (Figura 14-12). Las concentraciones más altas se registraron en el primer semestre del año 2001, 11,35 µg/L en el río Mira y de 21,24 µg/L en el río Mataje, lo cual está asociado a los residuos de hidrocarburos de los derrames ocurridos en 1976 y 1998 en el sector del río Mataje y en Esmeralda, Ecuador ([El Tiempo, 2001](#)). Hay que destacar que después del año 2012, la estación del río Mataje no se ha podido monitorear por orden público.

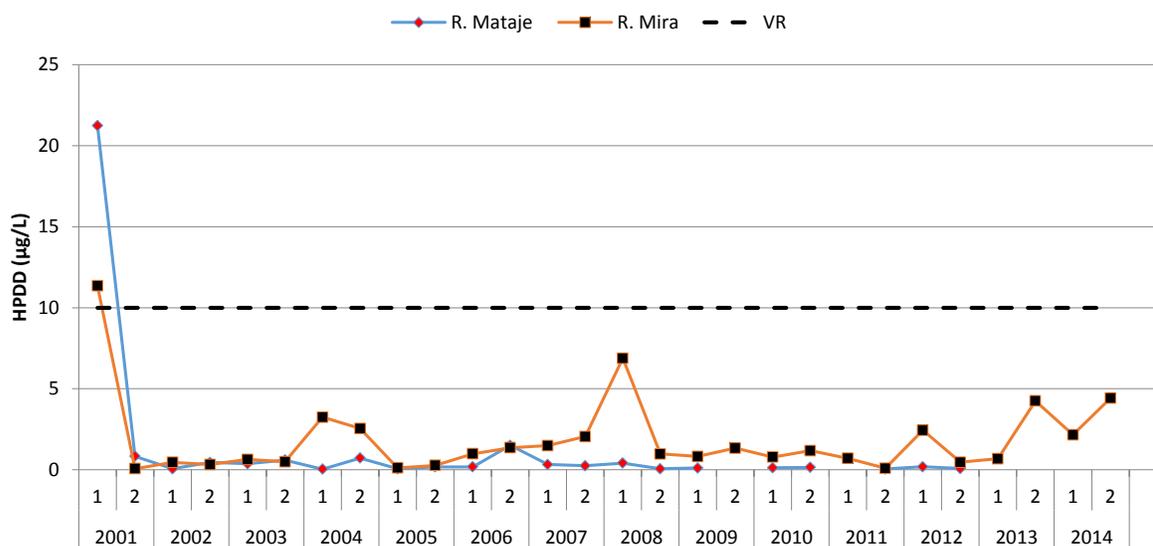


Figura 14-12. Registro histórico (2001-2014) de hidrocarburos del petróleo disueltos y dispersos equivalentes de criseno (HPDD) en el agua superficial en dos estaciones de muestreo en los ríos Mira y Mataje.

Con respecto a los plaguicidas, en la zona Costa Norte en el muestreo de junio de 2016 se determinó en la estación Patianga + Satinga la presencia del organofosforado Metil Paratión en una concentración de 23,1 ng/L, superando el valor de referencia de 13 ng/L del Paratión (el cual incluye el Metil Paratión) para efectos crónicos en especies dulceacuícolas ([EPA, 2016](#); [Buchman, 2008](#)). Cabe aclarar que en seguimiento de este plaguicida en la zona inició en el año 2010 y este es el primer registro de este plaguicida. Por otra parte, los plaguicidas organoclorados en estos últimos muestreos no fueron detectados. Sin embargo, compuestos como Aldrin, DDT, Heptacloro y Hexaclorociclohexano han sido detectados en muestreos anteriores de la REDCAM, evidenciando el uso de estos compuestos o su permanencia en esta zona en años posteriores a la restricción y prohibición de estos plaguicidas en el país (Decreto 305 de 1988).

En el muestreo de junio de 2016, en la estación frente a la sociedad portuaria de la Ensenada de Tumaco, se registró por primera vez el organoclorado DDT, en una concentración de 82,8 ng/L, indicando su uso reciente a pesar de estar prohibido en Colombia (Decreto 704 de 1986; Resolución 10255 de 1993). Este valor no supera la referencia para efectos agudos (130 ng/L) propuesta por la [EPA \(2016\)](#), pero si supera la referencia para efectos crónicos (1 ng/L). Es necesario que las autoridades ambientales identifiquen la fuente probable, para tomar las

medidas de control. En la zona Costa Sur no se detectaron plaguicidas organoclorados ni organofosforados en las aguas superficiales del río Mira en los muestreos actuales.

Los metales pesados (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni y Fe) disueltos medidos en las zonas de muestreo, en su mayoría estuvieron por debajo del límite de detección de las técnicas utilizadas. Cabe destacar que las concentraciones de los metales que se pudieron cuantificar estuvieron por debajo de las referencias para efectos crónicos y agudos en aguas dulces y marinas (Buchman, 2008), por lo tanto no representan ningún riesgo para la biota acuática (Tabla 14-2). En los sedimentos tampoco se registraron valores que puedan tener efectos probables en la biota (Tabla 14-3).

Tabla 14-2. Metales disueltos medidos en el agua superficial de las estaciones REDCAM del departamento de Nariño en noviembre de 2015 y junio de 2016. Los valores de referencia corresponde a Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008) y el valor con dos asteriscos () corresponde a la referencia para cromo (CONAMA, 2005).**

Zona	Estación	Metales en noviembre 2015 (µg/L)							Metales en junio 2016 (µg/L)						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
Costa Norte Tumaco	Brazo Patía	<0,42	<0,97	1,6	225,8	<1,0	5,6	56,8	<0,42	<0,97	2,1	75,20	<1,0	<3,1	<6,9
Ensenada Tumaco	Bocana Tumaco	<0,42	<0,97	<0,9	15,8	<1,0	6	8,4	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Chagüí	<0,42	<0,97	1,8	153,7	<1,0	<3,1	13,7	<0,42	<0,97	2,1	8,00	4,1	<3,1	<6,9
	R. Mejicano	<0,42	<0,97	1,4	21,7	<1,0	<3,1	27,2	<0,42	<0,97	2,1	5,40	2,6	<3,1	<6,9
	R. Rosario	<0,42	<0,97	1,7	190,1	<1,0	<3,1	73,0	<0,42	<0,97	<0,9	5,80	4	<3,1	<6,9
	Frente a ríos	<0,42	<0,97	<0,9	13,1	<1,0	<3,1	65,9	<0,42	<0,97	1,1	<4,7	<1,0	<3,1	27,5
	Sociedad Portuaria	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	3,7	<3,1	<6,9
Costa Sur Tumaco	F. Mira	<0,42	<0,97	1,8	108,6	<1,0	<3,1	45,3	<0,42	<0,97	<0,9	<4,7	<1,0	<3,1	<6,9
	R. Mira	<0,42	<0,97	<0,9	34,6	<1,0	<3,1	28,0	<0,42	<0,97	1,8	33,60	<1,0	<3,1	<6,9
Referencia Efectos crónicos agua marina		8,8	50*	1,3	50	8,2	8,1	81	8,8	50*	1,3	50	8,2	8,1	81
Referencia Efectos crónicos agua dulce		0,25	50*	9	350	52	2,5	120	0,25	50*	9	350	52	2,5	120

Tabla 14-3. Metales totales en los sedimentos de la estación Frente a ríos en la zona de la Ensenada de Tumaco medidos en los muestreos de noviembre de 2015 y junio de 2016. Los valores de referencia para efectos probables se tomaron de Screening Quick Reference Tables (Buchman, 2008).

Metal	Unidad	Muestreo de Nov 2015	Muestreo de Jun 2016	Referencia PEL*
Pb	µg/g	12,15	<4,00	112,0
Cd	µg/g	<0,50	<0,50	4,2
Cr	µg/g	61,82	55,82	160,0
Cu	µg/g	27,30	13,11	108,0
Zn	µg/g	66,05	103,51	271,0
Ni	µg/g	26,18	13,23	42,8
Fe	mg/g	33,73	38,45	-
Hg	ng/g	-	21,67	700,0

14.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ICAM_{PFF}

Los resultados de la aplicación del ICAM_{PFF} muestran que en el muestreo realizado en noviembre 2015 durante la marea baja subiendo, el 58% de las estaciones evaluadas tuvieron aguas con calidad aceptable, el 32 % de aguas inadecuadas y un 11% de calidad adecuada (Figura 14-13a). Esta gran proporción de estaciones en condiciones inadecuadas y aceptables responden a la alta contaminación microbiológica que se evidencia en mayor medida durante la marea baja. En junio de 2016 la calidad de las aguas mejoró, el 53% de las estaciones tuvieron una calidad adecuada, el 42% aceptables y 5% pésimas, lo cual se atribuye al estado de marea alta, en la cual los contaminantes y microorganismos están en menor concentración por el efecto de la dilución. Para el muestreo actual, la zona Ensenada de Tumaco es la que mayor número de estaciones con aguas aceptable e inadecuada tiene en comparación con las demás zonas, lo cual concuerda con el mayor número de actividades productivas y fuentes de contaminación.

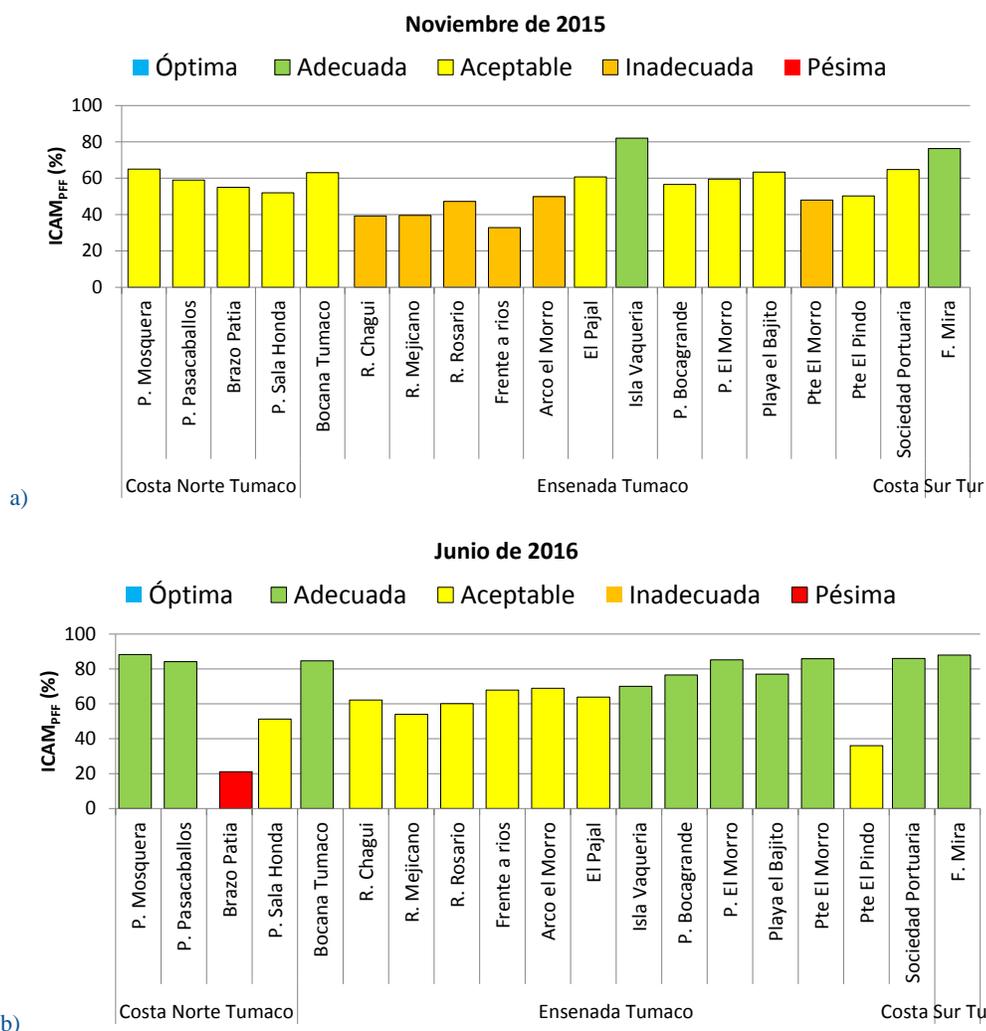


Figura 14-13. Calidad de las aguas marino costeras en las estaciones REDCAM del departamento de Nariño en los muestreos de noviembre de 2015 (a) y junio de 2016 (b), evaluadas con el del ICAM_{PFF}.

Históricamente la gran proporción de las estaciones REDCAM del departamento de Nariño han tenido aguas con calidad adecuada y aceptable (Figura 14-14) de acuerdo a las variables que se consideran en el ICAM_{PF}. En algunos años se han presentado pequeñas proporciones de estaciones con calidad óptima como en los años 2001 (3%), 2002 (8%), 2007 (15%), 2011 (4%) y 2013 (3%), así mismo se han registrado estaciones con calidad pésima en el 2012 (6%) y 2013 (6%), y estaciones con calidad inadecuada asociadas a la contaminación microbiológica y altos contenido de materia orgánica y de SST. Es de resaltar que para el año 2015 la proporción de estaciones con calidad adecuada disminuyó e incrementaron las estaciones con condición inadecuada.

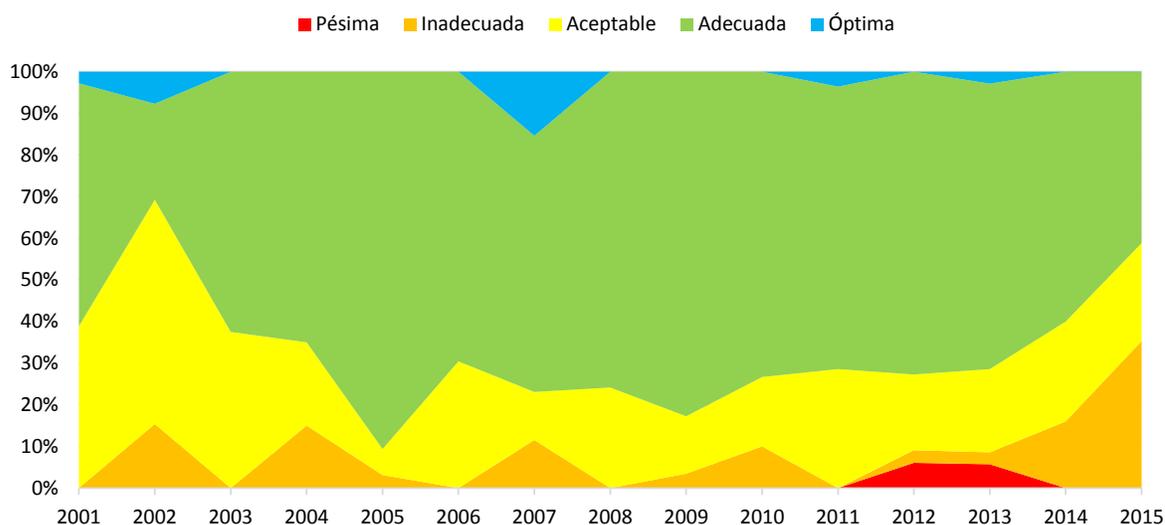


Figura 14-14. Proporción histórica (2001-2015) de estaciones de monitoreo REDCAM Nariño con aguas de calidad óptima, adecuada, aceptable, inadecuada y pésima de acuerdo al ICAM_{PF}.

En los últimos tres años, las zonas con mayor proporción de estaciones con calidad inadecuada ha sido la zona costa Norte, mientras que la Ensenada de Tumaco y la costa Sur son la de mayor estaciones con calidad aceptable y adecuada (Tabla 14-4).

Tabla 14-4. Distribución porcentual (%) de las condiciones de las aguas marino-costeras evaluadas con el ICAM_{PF} en el las zonas del departamento de Nariño en el periodo desde el 2013 al 2015.

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
2013	Costa Norte Tumaco			14%	86%	
	Ensenada Tumaco	8%	4%	23%	62%	4%
	Costa Sur Tumaco				100%	
2014	Costa Norte Tumaco		33%	33%	33%	
	Ensenada Tumaco		14%	24%	62%	
	Costa Sur Tumaco				100%	
2015	Costa Norte Tumaco		67%	33%		

Año	Zona	Pésima	Inadecuada	Aceptable	Adecuada	Óptima
	Ensenada Tumaco		31%	15%	54%	
	Costa Sur Tumaco			100%		

14.4 CONCLUSIONES

- ❖ La calidad del agua en las estaciones marinas y costeras del departamento de Nariño, está afectada por los cambios del régimen pluvial y la marea. Durante el muestreo de noviembre de 2015, la calidad del agua estuvo entre aceptables e inadecuadas, debido a las elevadas concentraciones de SST y materia orgánica aportados por los ríos y altos contenidos de microorganismos de origen fecal que indican vertimientos de aguas residuales; en tanto que en junio de 2016, las condiciones en general fueron aceptables y adecuadas por la condición de marea alta, que favorece la dilución de los contaminantes.
- ❖ La presencia del organoclorado DDT en agua de la estación Frente Sociedad Portuaria, indica que esta sustancia está siendo utilizada a pesar de su prohibición (Decreto 704 de 1986). Si bien la concentración registrada no sobrepasa el valor propuesto por la EPA (1980) para efectos agudos, si sobrepasa el valor de referencia para efectos crónicos (1ng/L). Este resultado muestra la necesidad de identificar y hacer seguimiento a la fuente, con propósitos de control del vertimiento.
- ❖ El agua superficial de la zona costera del departamento de Nariño, no presentan contaminación por metales pesados (Pb, Cd, Cr, Ni y Zn) ya que las concentraciones registradas están por debajo de los valores referenciados en guías internacionales.
- ❖ Los sedimentos de la estación ubicada frente al río Mira se consideran contaminados por Hidrocarburos de petróleo, debido a que la concentración registrada supera ampliamente el valor de referencia para sedimentos contaminados (>50 µg/g), debido al evento de derrame presentado en junio de 2015.

AVANCES EN EL PLAN DE ACCIÓN Y ESTRATEGIAS DE FORTALECIMIENTO DE LA REDCAM

Ostin Garcés Ordóñez, Paola Sofía Obando-Madera, Lizbeth Janet Vivas-Aguas, Juan Manuel Rodríguez y Carlos Oliveros



15. AVANCES EN EL PLAN DE ACCIÓN Y ESTRATEGIAS DE FORTALECIMIENTO DE LA REDCAM

Dada la importancia de la REDCAM, como herramienta de gestión ambiental del SINA, que durante los últimos 16 años viene aportando información técnico-científica sobre el estado de la calidad de las aguas y sedimentos marinos y costeros del país, a través de la articulación de las CAR que tienen injerencia en las zonas costeras e insulares, el MADS y el INVEMAR, como nodos principales del sistema; además de algunos centros de investigaciones, departamentos técnicos administrativos del medio ambiente distritales y Universidades que han participado eventualmente en algunas actividades de la REDCAM.

En el año 2015 se realizó el análisis y evaluación de la REDCAM, evidenciando sus debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas, y con ello se plantearon proyecciones de corto, mediano y largo plazo en un Plan de Acción a cinco años, con líneas de acción generales que propenden por mejorar el desempeño de la REDCAM y que le permitirán al país y las autoridades ambientales competentes contar permanentemente con información técnica actualizada como insumo para atender los requerimientos de la legislación nacional relacionados con la gestión integral del recurso hídrico marino y costero, a una escala local, regional y nacional.

En el 2016 se logró avanzar en 6 de las 9 acciones propuestas en el corto plazo (1 año) del plan de acción formulado, tales como la renovación tecnológica de la base de datos, capacitaciones del personal, entrenamiento en técnicas de laboratorio, alianzas estratégicas entre entidades y nuevos convenios. Cabe aclarar que muchas de las acciones iniciaron satisfactoriamente y son un trabajo articulado entre todos los nodos, el cual requiere de gestión permanente de la coordinación de la REDCAM. De igual forma, es necesario seguir trabajando en los proyectos e indicadores de gestión del plan de acción para lograr alcanzar las metas propuestas en los cinco años.

15.1 ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN

15.1.1 *Curso - taller REDCAM 2016: Calidad Ambiental Marina*

En el marco de la REDCAM, se desarrolló en la ciudad de Santa Marta, el Curso-Taller Calidad Ambiental Marina, del 19 al 21 de septiembre de 2016. Este curso-taller se enfocó en el aprendizaje y aplicación de *Metodologías para la evaluación de la contaminación y de los impactos ambientales en zonas marino-costeras*, y tuvo como objetivo principal “Brindar conceptos sobre temas de Calidad Ambiental Marina, y aplicaciones en casos prácticos para fortalecer las capacidades técnicas de las entidades responsables de la gestión, vigilancia, control e investigación de la calidad ambiental en los espacios marinos y costeros de Colombia.

Al curso - taller asistieron 51 representantes de las CAR costeras del Caribe y Pacífico colombianos, del MADS, de los Departamentos técnicos administrativo del medio ambiente de Barranquilla (DAMAB) y de Santa Marta (DADMA), de los Centros de Investigación de la

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

Dirección General Marítima (CIOH), de la Fiscalía General de la Nación, Aquabiosfera, Parques Nacionales Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Cartagena e investigadores del INVEMAR (Figura 15-1).



Figura 15-1. Asistentes al curso-taller REDCAM 2016 desarrollado en la sede principal de INVEMAR

Durante el desarrollo del curso se abordaron temáticas como la Contaminación Marina, Atención de Emergencias Ambientales Marinas y Costeras, Ecotoxicología y la Evaluación de Impacto Ambiental como un instrumento para identificar, describir y valorar los impactos directos e indirectos en el ambiente. Y contó con instructores de larga trayectoria como el PhD. en Toxicología Ambiental, Jesús Olivero Verbel, Vicerrector de Investigaciones de la Universidad de Cartagena, el PhD. en Ingeniería Ambiental, José Javier Toro Calderón, profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia, la PhD. Oceanografía Química, Luisa Fernanda Espinosa, Coordinadora del Programa Calidad Ambiental Marina del INVEMAR y el MSc. en Ingeniería Ambiental, Julián Betancourt, Coordinador de Servicios Científicos del INVEMAR.

El curso fue acogido muy bien por los asistentes, por la calidad y relevancia de la información aportada, el conocimiento de los instructores, la metodología utilizada, la contribución académica y la aplicabilidad de lo aprendido en el área de trabajo de los participantes.

15.1.2 *Fortalecimiento del Laboratorio Ambiental de CARSUCRE*

En el marco de los Otrosí al convenio interadministrativo No. 009 de 2012 y Otrosí No. 2 suscrito entre CARSUCRE y el INVEMAR, se realizaron dos actividades para fortalecer el laboratorio ambiental de CARSUCRE, que consistieron en el acompañamiento en el proceso de auditoría interna y una estancia de los técnicos de CARSUCRE para conocer y aprender de los procesos que desarrolla el laboratorio LABCAM del INVEMAR.

Auditoría Interna

Entre el 18 y 22 de abril 2016, se realizó la auditoria interna al sistema de gestión de calidad del Laboratorio de Calidad Ambiental Morrosquillo de CARSUCRE, donde se evaluó el cumplimiento de los requisitos de gestión y técnicos descritos en la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005, aplicados a algunas de las variables definidas entre la corporación y el INVEMAR para este acompañamiento.

En el proceso, se desarrollaron entrevistas al personal involucrado, se realizó revisión documental, se observó el desempeño de los analistas en el laboratorio y en campo, mientras realizaron diferentes actividades técnicas (Figura 15-2).



Figura 15-2. Entrevistas y revisión documental (a y b), observación de actividades en laboratorio y en campo (c y d).

Estancia de técnicos de CARSUCRE en la Unidad de laboratorios (LABCAM) del INVEMAR

Tres (3) analistas técnicos de CARSUCRE realizaron una estancia en las instalaciones de la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina – LABCAM del INVEMAR, entre el 13 y 15 de abril de 2016 en la ciudad de Santa Marta con el propósito de conocer y aprender de los procesos internos que desarrolla el LABCAM, los cuales les servirán de referencia para implementar en el laboratorio de la Corporación. Durante la visita se realizaron varias sesiones de trabajo que incluían una parte conceptual y práctica en los temas de i) validación de técnicas para los ensayos de nitrito, nitrato, ortofosfato, amonio, grasas y aceites; ii) revisión del Sistema gestión de calidad del LABCAM, bajo la norma NTC-ISO/IEC 1705:2005; iii) aseguramiento de la calidad analítica de ensayos y iv) estimación de incertidumbre.

Las sesiones prácticas se realizaron en el área de fisicoquímica y contaminantes orgánicos, donde los investigadores del INVEMAR explicaron detalladamente los controles de calidad analítica necesarios en cada ensayo, los respectivos procedimientos de cada técnica y los documentos de validación del LABCAM (Figura 15-3).

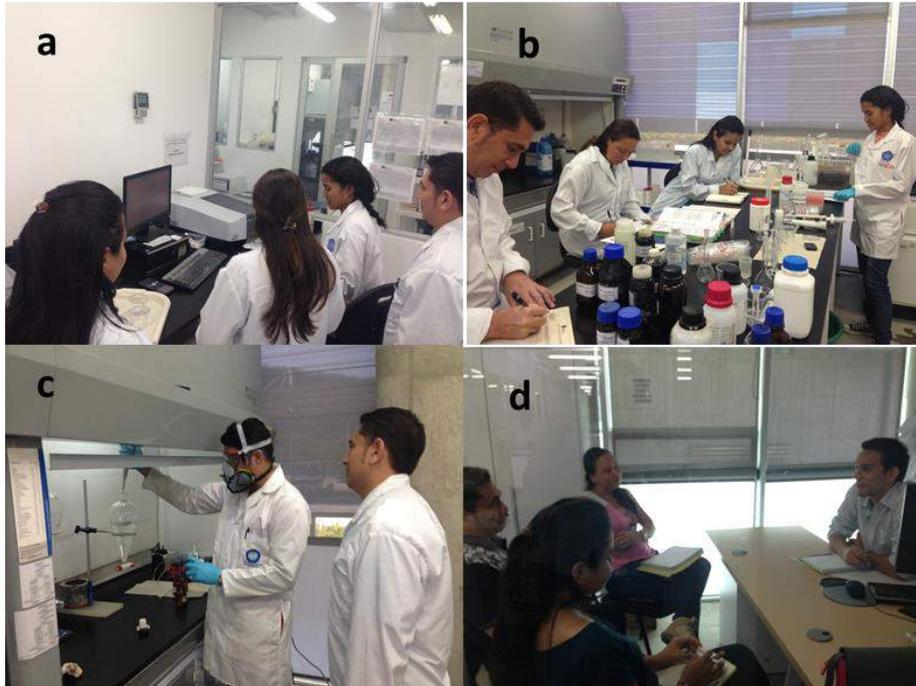


Figura 15-3. Explicación de métodos (a, b y c), capacitación validación y estimación de incertidumbre (d).

15.1.3 *Fortalecimiento del Laboratorio de Análisis de Aguas de CORPOURABÁ*

En el marco del convenio con CORPOURABA para el desarrollo de actividades de investigación para la gestión ambiental de la zona marino costera del departamento de Antioquia y fortalecimiento del Laboratorio de Aguas de la Corporación, se desarrollaron entrenamientos para el análisis de variables microbiológicas y metales pesados.

El entrenamiento en validación del método microbiológico SM 9221B-E para la cuantificación de coliformes totales y termotolerantes por la técnica fermentación por tubos múltiples se llevó a cabo entre el 11 y 15 de julio de 2016 en el laboratorio de la Corporación, realizando una revisión de los procedimientos y controles de calidad que deben ser aplicados según lo establecido en el Standard Methods.



Figura 15-4. Actividades de entrenamiento en técnicas microbiológicas. a) Montaje del banco de cepas de referencia, b) análisis de estándares.

Por otra parte, entre los días 03 y 07 de octubre de 2016 se realizó el entrenamiento en procesamiento de muestras de aguas marinas para análisis de metales pesados y manejo de Analizador Directo de Mercurio a una funcionaria de la corporación, en las instalaciones de la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina-LABCAM del INVEMAR en la ciudad de Santa Marta. Se revisaron procedimientos para la extracción de muestras y el análisis de metales pesados en aguas y sedimentos marinos. Adicionalmente, se realizó una inducción sobre el principio fundamental, las partes y consumibles del instrumento Analizador Directo de Mercurio (DMA-80) para su adecuada operación.

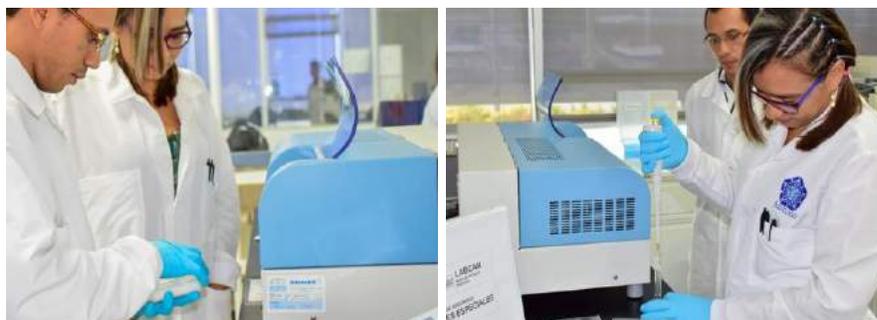


Figura 15-5. Explicación sobre el fundamento, partes y consumibles del DMA-80 a funcionaria de Corpourabá.

15.1.4 *Participación del INVEMAR en el curso de entrenamiento sobre Evaluación de Microplásticos en Recursos Pesqueros promovido, coordinado y financiado por la CPPS, El PNUMA y la universidad católica del Norte*

El investigador científico del Programa Calidad Ambiental Marina del INVEMAR, Ostin Garcés Ordóñez, participó como asistente y representante de Colombia, en el *Taller Internacional sobre Evaluación de Microplásticos en Recursos Pesqueros de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS)*, realizado del 01 al 05 de agosto de 2016, Coquimbo, Chile, el cual tuvo como objetivo principal “Evaluar la presencia de partículas de plástico y microplásticos en peces de importancia ecológica y comercial en los países del Pacífico Sudeste”, mediante la capacitación de investigadores y la implementación de estudios piloto, con énfasis en recursos pesqueros de consumo humano, agua y playas.

En este evento participaron representantes de los países miembros de la Comisión (Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Chile), e invitados de Puerto Rico (Figura 15-6). Se abordaron aspectos conceptuales introductorios sobre basura marina y microplásticos, fuentes, sumideros e impactos en el ambiente marino y la fauna asociada. Se explicaron las metodologías para evaluar microplásticos en aguas, playas de arena y en el contenido estomacal de peces, y se desarrollaron actividades prácticas que facilitaron el aprendizaje y la destreza de los participantes. Los instructores del taller fueron el PhD. Martin Thiel y PhD. Nicolas Ory de la Universidad Católica del Norte, Chile.



Figura 15-6. Actividades y participantes en el curso de entrenamiento sobre microplásticos de la CPPS, realizado en Coquimbo, Chile, en agosto de 2016.

Como parte de las actividades del curso, con el fin de poner en práctica la metodología aprendida y poder analizar un número mayor de muestras de estómago de peces para complementar la evaluación regional, se acordó que cada país hiciera un estudio piloto. Colombia, como parte de los países de la región propuso hacer el análisis de microplásticos en agua marina y en el contenido estomacal del pez caduma (*Cetengraulis mysticetus*), de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano, para lo cual se capturaron con atarraya 30 carduma a los cuales se les examinó el contenido estomacal con la metodología aprendida. Para conocer si existen microplásticos en el agua marina de la bahía, que puedan ser consumidos por los peces, se realizaron muestreos en el agua superficial, cubriendo la zona donde se capturaron los peces.

El análisis realizado a estos especímenes mostró que estos peces están consumiendo microplásticos. Del total de muestras analizadas, el 10% contenía microplásticos en su estómago, situación que podría asociarse a la disponibilidad (0,04 - 0,12 artículos de plástico m^{-3}), por el inadecuado manejo de los residuos sólidos de las poblaciones de Buenaventura.

Esta actividad de capacitación, fue de gran importancia para los investigadores participantes y para los países del Pacífico Sur, debido a que dio inicio a la creación de capacidad técnica para adelantar estudios sobre la problemática de microplásticos en zonas costeras y marinas de la región, que contribuirán a los esfuerzos globales para conocer las fuentes, abundancia, distribución e impactos de los microplásticos.

15.2 ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

15.2.1 *Socialización de resultados del convenio REDCAM-CARSUCRE*

El día 21 de abril del 2016 en las instalaciones de la Corporación Autónoma Regional de Sucre – CARSUCRE en Sincelejo, se realizó la socialización de los resultados del convenio Interadministrativo No. 09 de 2012 y Otrosí No. 2 suscrito entre CARSUCRE y el INVEMAR, para realizar el monitoreo de calidad de las aguas marino costeras del departamento de Sucre y las actividades de fortalecimiento del Laboratorio de Calidad Ambiental Morrosquillo. En la socialización se presentaron las generalidades de la REDCAM y del sistema de información a cargo de la investigadora Paola Obando.

De igual forma, el investigador Ostin Garcés presentó los resultados del monitoreo de calidad de aguas marinas y costeras del departamento de Sucre, relacionado con los tensores

ambientales que afectan la calidad del agua y la tendencia histórica en sitios críticos. A la reunión asistió el supervisor del convenio y Jefe del Laboratorio, Tulio Ruíz y otros profesionales de CARSUCRE (Figura 15-7).



Figura 15-7. Socialización de los resultados del convenio en CARSUCRE, Sincelejo, el 21 de abril de 2016.

15.2.2 *Socialización de resultados del convenio REDCAM-CRA*

El día 7 de junio de 2016 en las instalaciones de la Corporación Autónoma Regional del Atlántico - CRA en Barranquilla, se realizó la socialización de los resultados de las actividades técnicas desarrolladas durante el convenio No. 027-2015.

En la socialización se presentaron las generalidades del programa REDCAM, el sistema de información y los resultados del monitoreo de calidad de aguas marinas y costeras del departamento del Atlántico a cargo de la supervisora del convenio y Jefe de Línea, Janet Vivas, dando relevancia a los aportes y trabajo conjunto por 15 años de la Corporación como nodo de la Red de vigilancia. Así mismo, los investigadores Ostin Garcés y Mary Ríos presentaron los resultados de la evaluación de la Calidad Ambiental de los Manglares en la ciénaga de Mallorquín y de impacto ambiental generado por los tensores y factores de degradación ambiental. Durante la presentación se hizo retroalimentación y preguntas por parte de los asistentes en la reunión como el supervisor del convenio por CRA, Efraín Leal y otros profesionales de la Corporación (Figura 15-8).



Figura 15-8. Socialización de los resultados del convenio en CRA, Barranquilla, el 07 de junio de 2016.

15.2.3 Socialización de resultados del convenio REDCAM-CORPAMAG

El día 06 de julio de 2016 en las instalaciones de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena -CORPAMAG en Santa Marta, se realizó la socialización de los resultados de las actividades técnicas desarrolladas durante el convenio No. 078 de 2015. En la socialización se presentaron las generalidades del programa REDCAM y del sistema de información, y los resultados del monitoreo de calidad de aguas marinas y costeras del departamento de Magdalena a cargo de la Jefe de línea PEM, Janet Vivas, y del investigador Ostin Garcés, dando relevancia a los aportes y trabajo conjunto entre la Corporación y el INVEMAR durante 15 años de funcionamiento de la REDCAM. En este evento se contó con la participación de los supervisores del convenio, Janet Vivas y Eliana Álvarez, profesionales especializados de CORPAMAG, jefes de Línea e investigadores del INVEMAR.

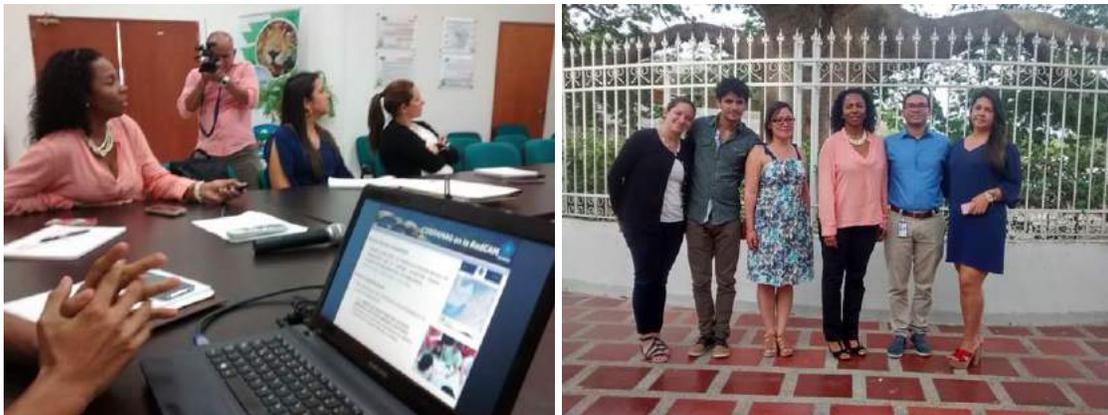


Figura 15-9. Socialización de los resultados REDCAM Magdalena en CORPAMAG, Santa Marta, 06 de julio de 2016

15.2.4 Socialización de resultados del convenio REDCAM-CORPONARIÑO

En las instalaciones de la Corporación Autónoma Regional de Nariño – CORPONARIÑO, sede Tumaco, se realizó el día 06 de diciembre de 2016, la socialización de los resultados del monitoreo de calidad de aguas marinas y costeras del departamento de Nariño y otras actividades técnicas desarrolladas en el marco del convenio No. 378-2016. Al evento asistieron profesionales responsables de la gestión ambiental del recurso hídrico de la Corporación, el coordinador del centro costero, Gerardo Arteaga, la supervisora del convenio, Marcela Cabiedes y el investigador Ostin Garcés del INVEMAR. Durante la presentación se hizo retroalimentación y preguntas por parte de los asistentes quienes estuvieron interesados en el tema de la calidad ambiental marina del departamento.



Figura 15-10. Socialización de los resultados del convenio en CORPONARIÑO, Tumaco, el 06 de diciembre de 2016.

15.3 ALIANZAS ESTRATEGICAS INVEMAR – CAR COSTERAS

15.3.1 *Mesas de trabajo de alta gerencia entre el INVEMAR y las Corporaciones costeras*

Las visitas de alta gerencia a las corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible con jurisdicción en la zona costera colombiana, surgió como una estrategia de la REDCAM, enmarcada en la matriz de proyección de acciones con un horizonte de 5 años, donde las líneas y ejes temáticos propenden por mejorar el desempeño de la REDCAM como herramienta técnica del SINA. Y una de las líneas de acción clave en el corto plazo es la *Articulación – Gestión* a través de las *Alianzas* entre los nodos, por ello, y teniendo en cuenta que durante el 2016 hubo cambio de directores en la mayoría de las Corporaciones, se consideró pertinente socializar las generalidades y actividades de la REDCAM con los directores de las Corporaciones, mostrando su importancia, logros y proyecciones a futuro para seguir avanzando de manera coordinada en la gestión integral del recurso hídrico marino.

El subdirector de la Coordinación de Investigaciones, Jesús Antonio Garay, la coordinadora del Programa Calidad Ambiental Marina, la Dra. Luisa Espinosa y la Jefe de Línea, Janet Vivas como delegados del INVEMAR realizaron durante el año 2016, 10 mesas de trabajo con los directores de las CAR con jurisdicción costera y su equipo de asesores o técnicos, para presentar el portafolio de actividades que se pueden desarrollar de manera conjunta e identificar las acciones prioritarias para trabajar en los próximos años, que permitan generar capacidades institucionales y mejoramiento en la gestión del territorio marino y costero. Durante el 2016 se lograron acercamientos y acuerdos interesantes con CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ y CRC, con los cuales se ha seguido trabajando en el diseño, y formulación de nuevos proyectos de investigación que respondan a las necesidades de información para la gestión de las autoridades ambientales en temas de calidad ambiental marina, erosión costera, biodiversidad marina, sistema de información ambiental y planificación costera. De igual manera, se gestionaron las visitas de CVC y CORPONARIÑO, pero quedaron para el próximo año.

15.4 SISTEMA DE INFORMACIÓN: RENOVACIÓN TECNOLÓGICA BASE DE DATOS Y GEOVISOR

El sistema de información soporte de la REDCAM, en sus 16 años de operación ha estado en construcción permanente por la misma dinámica del Programa de Monitoreo, los requerimientos de información del país y las necesidades puntuales de los nodos, también ha tenido que evolucionar conforme los avances de la tecnología, y es por ello, que dentro del análisis y evaluación de la REDCAM que se realizó en el marco del convenio MADS-INVEMAR 275 de 2015, donde se evidenciaron las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas, y por ello en el Plan de Acción se planteó como una de las líneas estratégicas; contemplando el fortalecimiento del Sistema de Información con proyecciones de corto, mediano y largo plazo que propenden por mejorar el desempeño del sistema y que le permitirán al país y las autoridades ambientales competentes contar permanentemente con información técnica actualizada para atender los requerimientos de la legislación nacional relacionados con la gestión integral del recurso hídrico marino y costero, a una escala local, regional y nacional.

En este sentido en el 2016, se dio inicio a las actividades de fortalecimiento con el objetivo de *“Renovar la tecnología del sistema de información de la REDCAM, utilizando como base el Sistema de Soporte Multitemático para el Monitoreo Ambiental (ARGOS) con mejoras en la funcionalidad, disponibilidad de servicios y una estructura más dinámica y versátil que se acople a las tecnologías emergentes”*. Las actividades estuvieron enfocadas en la renovación tecnológica de la base de datos que incluyó la renovación de la arquitectura del repositorio de datos y la actualización y depuración de los datos almacenados; a través del proceso se generó una nueva estructura de datos integrada al sistema multitemático ARGOS del INVEMAR, se identificaron las necesidades existentes de las plataformas y sus funcionalidades, definidas en dos componentes técnicos que agrupan los requisitos y metas para mejorar la estructura y disponibilidad de los servicios de la REDCAM.

Renovación de la arquitectura de la base de datos en la REDCAM

Durante el desarrollo del nuevo sistema para el ingreso de datos de monitoreo del recurso hídrico marino y costero, se implementó una integración del sistema de información de la REDCAM en el Sistema de Soporte multitemático para el monitoreo ambiental (ARGOS). La arquitectura de ARGOS está creada para dar soporte a cualquier monitoreo ambiental, permitiendo una versátil adopción de los parámetros y variables requeridos por la metodología de monitoreo. A nivel conceptual ARGOS se divide en tres ramas principales, mediante las cuales se organizan y almacenan correctamente los datos de monitoreo. En el diagrama (Figura 15-11), la primera rama en color verde, estructura la forma como se planea realizar los muestreos dentro de los proyectos, incluyendo metodologías y datos relacionados a las muestras, la rama en color morado, se refiere a la administración de usuarios que interactúan en el sistema, y la última rama en color rojo, establece la jerarquización entre las estaciones, nodos geográficos y localidades, con el fin de establecer relaciones en los puntos de muestreo y su distribución espacial.



Figura 15-11. Diagrama de la estructura de la base de datos de la REDCAM en ARGOS.

Se construyó un plan de migración automática a partir de *Scripts*, el cual está disponible para hacer la migración masiva de la información del sistema REDCAM, se creó el módulo que comprende una nueva estructura para la administración de los referentes, al cual se tiene acceso desde una plataforma Web y se compone de seis opciones que permiten el control sobre los referentes y estructura de la información de los monitoreos, además se creó un nuevo esquema de visualización almacenada a la cual tendrán acceso los nodos de la REDCAM, en donde podrán el ingresar la información para la gestión del recurso hídrico marino de sus jurisdicción, entrará en operación en 2017 y podrán acceder desde el enlace <http://cinto.invemar.org.co/argos/login.jsp> (Figura 15-12, Figura 15-13).



Figura 15-12. Página de entrada al nuevo módulo de administración de la REDCAM con las seis opciones.



Figura 15-13. Módulo de administración y visualización de información de la REDCAM en la plataforma ARGOS.

Cabe mencionar, que es importante contar con un soporte permanente de ARGOS pues es un sistema que se encuentra aún en desarrollo, y al cual se pueden agregar nuevas funcionalidades y características a sus consultas, mejorando constantemente el acceso a la información contenida en los datos de los proyectos y las diferentes instituciones que usen esta herramienta de Software.

Actualización y depuración de la base de datos

En el proceso de fortalecimiento del sistema de información de la REDCAM, se ha logrado mantener actualizado el reservorio de información, en donde se almacenan los datos ambientales de los monitoreos de las aguas marino-costeras, sedimentos y organismos marinos, colectados y reportados por los nodos de la Red. Siendo una herramienta de apoyo para las entidades SINA, la cual se puede consultar desde el portal del Sistema de Información Ambiental Marino – SIAM, en el módulo de los “Monitoreos de Ambientes Marinos”, seleccionando REDCAM (Figura 15-14), en donde los usuarios pueden visualizar la ubicación geográfica de las estaciones y datos de los muestreos, el módulo de estadística básica y el portal del índice de calidad de aguas marinas.

En la Tabla 15-1 y Figura 15-15, se muestra la actualización del sistema desde 2001 al presente, con la información de los monitoreos realizados en el segundo semestre 2015 y primer semestre 2016, se crearon 20 nuevas estaciones, para un total de 1.104, con un incremento en un 11 % del número de registros frente al 2015, con un total de 445.514 de datos almacenados medidos en 19.568 muestras analizadas en los 12 departamentos costeros entre los años 1993 y 2016, lo cual permite mantener integrados, organizados y centralizados todos los datos en el repositorio principal de información.



Figura 15-14. Ingreso al sistema de información de la REDCAM

Tabla 15-1. Crecimiento del Sistema de Información de la REDCAM a diciembre 2016

Año de operación	Estaciones	Muestras analizadas	Registros almacenados	VARIABLES
2001	276	361	4.515	42
2002	412	1.376	18.114	53
2003	779	5.164	109.230	56
2004	826	5.974	122.590	56
2005	826	6.860	137.042	57
2006	976	8.595	164.173	57
2007	976	9.229	173.734	57
2008	981	10.324	191.230	57
2009	981	11.282	277.564	57
2010	999	13.198	222.684	101
2011	1.008	13.293	239.873	101
2012	1.028	14.379	264.311	102
2013	1.032	15.823	285.846	104
2014	1.051	17.145	383.279	105
2015	1.084	18.164	401.750	105
2016	1.104	19.568	445.514	105

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

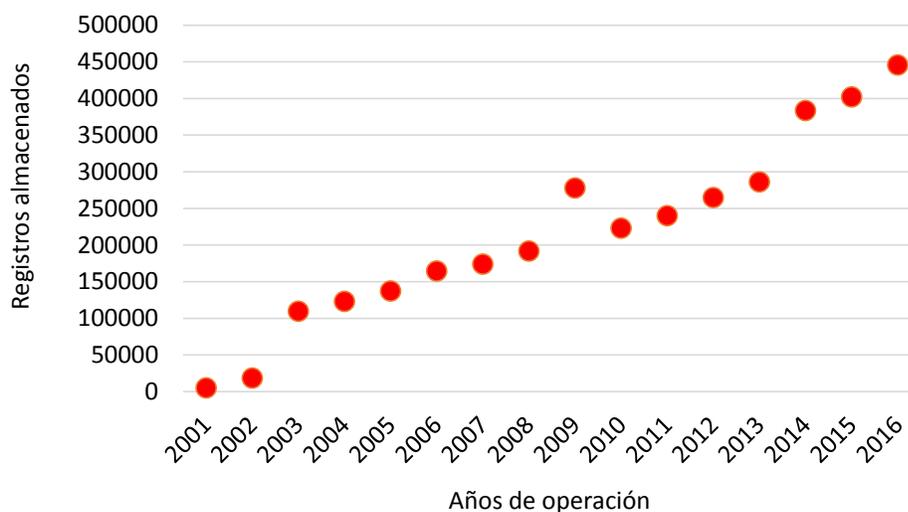


Figura 15-15. Número de registros almacenados en el sistema de información REDCAM.

Como base para el proceso de depuración de toda la base de datos, en 2016 se analizó el estado de los registros de la variable CTE, la cual a noviembre 2016 contaba con 7.265 registros, de los cuales el 43 % cuentan con asignación el código del método; con 741 observaciones que corresponden a valores menores al Límite de detección del método analítico utilizado. A partir de la revisión general, se hace necesaria una revisión más detallada de los datos, haciendo arqueología del almacenamiento de cada uno de ellos, teniendo en cuenta criterios de aceptación y patrones de correlación.

Adicionalmente, se realizó una actualización de los componentes espaciales del geovisor de la REDCAM, contando con información relacionada con la gestión para la conservación y protección de las aguas marino-costeras de Colombia, disponible para consulta en http://gis.invemmar.org.co/redcam_colombia/ (Figura 15-16).

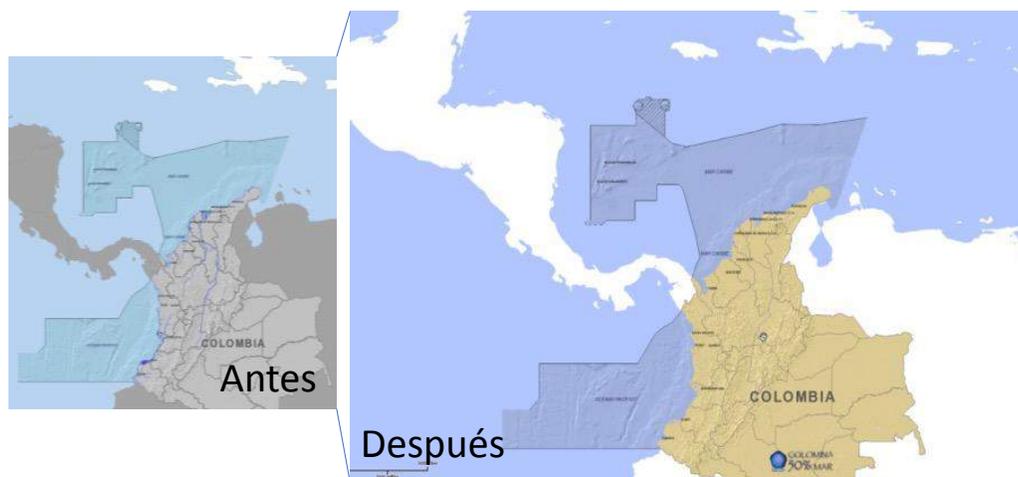


Figura 15-16. Visualización del Geovisor REDCAM con capas geográficas actualizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña-González, J., J. Vargas-Zamora, E. Gómez-Ramírez y J. García-Céspedes. 2004. Hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos, en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 52(2): 43-50.
- Alcaldía de Buenaventura. 2016. Información General de Buenaventura, Nuestro Distrito/Información General de Buenaventura. Disponible desde internet en: <http://www.buenaventura.gov.co> (con acceso el 29 de diciembre de 2016).
- Alcaldía de Cartagena de Indias, MADS, INVEMAR, CDKN y Cámara de Comercio de Cartagena. 2014. Plan 4C: Cartagena de Indias Competitiva y Compatible con el Clima. Zamora, A., A. López, V. Trujillo, C. Martínez, G. Llinás y M. Lacoste (Eds.). Cartagena. Serie de Publicaciones Generales del INVEMAR No. 63. Santa Marta, 130 p.
- Alcaldía de Coveñas. 2016. Plan de desarrollo municipal 2016-2019 “Por la Coveñas que queremos, desarrollada y en Paz”. Coveñas. 259 p.
- Alcaldía de Moñitos. 2014. Información general del municipio Moñitos – Economía. Disponible desde internet en: http://www.monitos-cordoba.gov.co/informacion_general.shtml#economia (con acceso el 18 de diciembre de 2016).
- Alcaldía Municipal de Moñitos. 2012. Plan de desarrollo 2012-2015 del municipal de Moñitos, Córdoba. Moñitos. 91 p.
- Alcaldía de San Bernardo del Viento. 2012. Información general del municipio San Bernardo del Viento – Economía. Disponible desde internet en: http://www.sanbernardodelviento-cordoba.gov.co/informacion_general.shtml#economia (con acceso el 18 de diciembre de 2016).
- Alcaldía de Santiago de Tolú. 2012. Plan de desarrollo municipal 2012-2015 “Oportunidad para todos”. Santiago de Tolú. 331 p.
- Alonso, A. 2005. Valoración de la degradación ambiental y efectos ecotoxicológicos sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. Doctoral Disertación, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares (Madrid), España.
- Alonso, D., H. Barbosa, M. Duque, I. Gil, M. Morales, S. Navarrete, M. Nieto, A. Ramírez, G. Sanclemente y J. Vásquez. 2015. Conceptualización del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas en Colombia. Documento de Trabajo (Versión 1.0). Proyecto COL75241 Diseño e implementación de un Subsistema Nacional de Áreas Marinas Protegidas (SAMP) en Colombia. Invemar, MADS, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No 80, Santa Marta. 80 p.
- Andrade, M. 2011. Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas: Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 35(137):491-507.

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

- 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.
- Andrade, C. y E. Barton. 2005. The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Research* 25: 1003-1022.
- Andrade, C., E. Barton y C. Mooers. 2003. Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast. *Journal of Geophysical Research* 108: 1-11.
- Anderson, D., P. Glibert y J. Burkholder. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition and consequences. *Estuaries*, 25 (4):704-726.
- ANH – Agencia Nacional de Hidrocarburos y PNUD – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2014. Diagnóstico socioeconómico de La Guajira. 102 p.
- APHA – American Public Health Association, AWWA – American Water Works Association y WEF – Water Environment Federation. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. United States of America. 1325 p.
- Arbeláez, N., C. Bernal, C. García y L. Espinosa. 2016. Evaluación de variables fisicoquímicas en un periodo de 24 horas en el sector de Pajarales, Ciénaga Grande de Santa Marta. INVEMAR. Disponible desde internet en: <http://www.invemar.org.co/-/resultados-preliminares-del-monitoreo-a-la-cienaga-grande-santa-marta> (con acceso el 27 de abril de 2017).
- ATSDR – Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades. 2008. Diazinon. CAS#:333-41-5. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU, División de Toxicología y Medicina Ambiental. 2 p. Disponible desde internet en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts86.pdf (con acceso el 21 de abril de 2017).
- ATSDR – Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades. 2007. Heptacloro y epóxido de heptacloro. CAS#:76-44-8 y 1024-57-3. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU, División de Toxicología y Medicina Ambiental. 8 p. Disponible desde internet en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs12.pdf (con acceso el 29 de diciembre de 2016).
- ATSDR – Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 2005. Reseña Toxicológica del Alfa-, Beta-, Gama- y Delta-Hexaclorociclohexano (versión actualizada) (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Disponible desde internet en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts43.pdf (con acceso el 24 de marzo de 2017).
- ATSDR - Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 2002. Reseña Toxicológica del metoxicloro. CAS#: 72-43-5. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Disponible desde internet en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts47.pdf (con acceso el 24 de marzo de 2017).

- ATSDR - Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. 2001. Reseña Toxicológica del metilparatión (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Disponible desde internet en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs48.html (con acceso el 24 de marzo de 2017).
- ATSDR – Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades. 1997. Endrina. CAS#: 72-20-8. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU, División de Toxicología y Medicina Ambiental. 2 p. Disponible desde internet en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts89.pdf (con acceso el 21 de abril de 2017).
- Baine, M, M. Howard, E. Taylor, J. James, A. Velasco, Y. Grandas y R. Hartnoll. 2007. The development of management options for the black island crab (*Geacarcinus ruricola*) catcher in the San Andres Archipelago, Colombia. *Ocean and Coastal Management*, 50: 564-589.
- Ballesteros, M., K. Miglioranza, M. Gonzalez, G. Fillmann, D.A. Wunderlin y M. Bistoni. 2014. Multimatrix measurement of persistent organic pollutants in Mar Chiquita, a continental saline shallow lake. *Science of the Total Environment*, 490: 73–80.
- Bastidas-Salamanca, M.L. y A. Ordóñez-Zúñiga. Capítulo 8 Región 7: Golfo de Morrosquillo (126-137). En Ricaurte-Villota, C y M.L Bastidas Salamanca (Eds). 2017. Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés (INVEMAR). Serie de publicaciones especiales de INVEMAR #14. Santa Marta, Colombia 180 p.
- Bernal, G., L.J. Montoya, C. Garizábal y M. Toro. 2005. La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del Golfo de Urabá, Colombia. *Gestión y Ambiente*. Volumen 8 No. 1. 13 p.
- Blanco-Libreros, J.F. 2016. Cambios globales en los manglares del golfo de Urabá (Colombia): entre la cambiante línea costera y la frontera agropecuaria en expansión. *Actu. Biol.*, 38(104): 53-70.
- Blanco-Libreros, J.F., A. Taborda-Marín, V. Amortegui-Torres, A. Arroyave-Rincón, A. Sandoval, E. Estrada, J. Leal-Flórez, J.G. Vásquez y A. Vivas. 2013. Deforestación y sedimentación en los manglares del golfo de Urabá: Síntesis de los impactos sobre la fauna macrobentónicos e íctica en el delta del río Turbo. *Gestión y Ambiente*, 16 (2): 19-36.
- 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.
- Cabrera, E. y J. Reyna. 1997. Evaluación del impacto por derrames de hidrocarburos en la ensenada de Tumaco. Comprobación de la efectividad de los planes de contingencia. *Boletín Científico CCCP*, 6:139-145.
- Cabrita, T., A. Silva, P. Oliveira, M. Angélico y M. Nogueira. 2015. Assessing eutrophication in the Portuguese continental Exclusive Economic Zone within the European Marine Strategy Framework Directive. *Ecological Indicators*. 58: 286–299.

- Camargo, J. y A. Alonso. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32: 831-849.
- Cañón, M., G. Tous, K. López, R. López y F. Orozco. 2007. Variación espaciotemporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH*, (25): 120-134.
- Cárdenas, G. y I. Sánchez. 2013. Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para la preservar el ambiente y la salud pública. *Rev. Univ. Salud*, 15 (1): 72-88.
- CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. 2003. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: nitrate ion. Winnipeg, Canada.
- CCCCP – Centro de investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. 2012. Panorama de la contaminación marina del Pacífico Colombiano 2005-2010. Ed. DIMAR. Serie de Publicaciones Especiales. Vol. 7, San Andrés de Tumaco. 158 p.
- CCCCP – Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. 2002. Compilación oceanográfica de la cuenca pacífica colombiana. ISBN: 958-33-3869-9.
- CIOH- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. 2005. Régimen de vientos y corrientes Bahía de Cartagena. Cartagena de Indias, 24 p.
- Co-L1125 – Programa de apoyo al Desarrollo Sostenible del Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 2013. Proyecto de Fortalecimiento Fiscal y del gasto en inversión pública Barranquilla y San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Componente agua potable y saneamiento. Disponible desde internet en: <http://www.iadb.org/Document.cfm?id=38185760> (con acceso el 26 de mayo de 2015).
- CONAGUA – Comisión Nacional del Agua. 2015. Monitoreo calidad del agua: escalas de clasificación de la calidad del agua superficial. Disponible desde internet en: <http://files.conagua.gob.mx/transparencia/CalidaddelAgua.pdf> (con acceso el 16 de diciembre de 2016).
- CONAMA – Consejo Nacional de Medio Ambiente. 2005. Resolución No. 357 de 2005. Dispone sobre la clasificación de los cuerpos de agua y los parámetros de lanzamiento de efluentes. *Brasil*. 58-63.
- Contraloría General de la República. 2015. Informe Actuación especial de fiscalización. Derrames de hidrocarburos zona de golfo de Morrosquillo. Disponible desde internet: http://www.contraloria.gov.co/documents/10136/194105154/INFORME_FINAL+ACE+62+DERRAME+HIDROCARBUROS+GOLFO+DE+MORROSQUILLO+-MADS.pdf/d41336f5-71dc-4fa2-8a10-2b88a461fb0a?version=1.0 (con acceso el 19 de diciembre de 2016).
- Concejo Municipal de San Onofre, 2012. Acuerdo 003 Plan de desarrollo municipal 2012-2015. San Onofre. 117 p.
- Concejo Municipal de Santiago de Tolú. 2016. Plan de Desarrollo del Municipio de Santiago de Tolú 2016 - 2019 “EL PLAN DE TODOS POR EL CAMBIO.” Santiago de Tolú.

- CORALINA – Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina e INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2012. Gómez-López, D.I. Segura-Quintero, P.C. Sierra-Correa y J. Garay-Tinoco (Eds). Atlas de la Reserva de Biósfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR No. 28. Santa Marta, Colombia 180 p.
- CRA – Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 2007. Documentación del estado de las cuencas hidrográficas en el departamento del Atlántico. Barranquilla. 114 p.
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2010. Caracterización Ambiental Plan Departamental de Aguas y Saneamiento Básico. Departamento del Cauca. PDA Cauca. Popayán, marzo 2010.
- Da Cuña, R., G. Vázquez, L. Dorelle, E. Rodríguez, R. Moreira y F. Nostro. 2016. Mechanism of action of endosulfan as disruptor of gonadal steroidogenesis in the cichlid fish *Cichlasoma dimerus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 187: 74-80.
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2013. Área, producción y rendimiento agrícola del área cosechada en el año 2013. Disponible desde internet en <http://geoportal.dane.gov.co/geocna/#> (con acceso el 13 de diciembre de 2016).
- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2017. Proyección nacional y departamental de la población para los años desde 2005 al 2020. Disponible desde internet en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion> (con acceso el 01 de febrero de 2017).
- Derraik, J. 2002. The pollution marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44 (9):842-852.
- Díaz, J. M., L. M. Barrios, M. H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G. H. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Angel, F. A. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 5, Santa Marta, 176p.
- Díaz, J.M., G. Díaz-Pulido, J. Geister, J. Garzón-Ferreira, J.A. Sánchez y S. Zea. 1996. Atlas de los Arrecifes Coralinos del Caribe Colombiano. I Complejos Arrecifales Coralinos. Serie Publicaciones Especiales No. 2. INVEMAR. Santa Marta, Colombia. 83 p.
- Dube, S., M. Lesoli y A. Fatunbi. 2009. The efficacy and safety of bromacil based herbicide for the control of the invasive Bush species in South African rangelands. *African Journal of Biotechnology* 8 (9): 1776 – 1781.
- El Tiempo. 2001. Revive derrame de crudo en Tumaco. Disponible desde internet en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-675473> (con acceso el 20 de diciembre de 2016).
- El Tiempo. 2015. Así se roban 16 mil barriles de petróleo al mes. Disponible desde internet en: <http://www.eltiempo.com/politica/justicia/robo-de-barriles-de-petroleo/16431573> (con acceso el 13 de diciembre de 2016).

- EPA – Environmental Protection Agency of US. 2016. National Recommended Water Quality Criteria. Disponible desde internet en: <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table> (con acceso el 16/12/2016).
- EPA – Environmental Protection Agency of US. 2009a. National Recommended Water Quality Criteria- Correction. U.S. EPA, 401 M. Street, S.W., Washington, USA. 26 p.
- EPA – United States Environmental Protection Agency. 2009b. Permethrin Facts. EPA 738-F-09-001.
- 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/>.
- Escobar, L. 2002. La Contaminación de los ríos y sus efectos en áreas costeras y el mar. División de recursos naturales e infraestructura. Naciones Unidas. Chile. 68 p.
- Espinosa, L. y J. Betancourt. 2011. Residuos de plaguicidas en las zonas marino costeras de Colombia. En: AUGURA. Experiencias en BPA y protección del medio Ambiente. AUGURA: GEF-REPCar, Medellín. 40 p.
- Fabricius, K.E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 125–146.
- Fort, D., J. Thomas, R. Rogers, A. Noll, C. Spaulding, P. Guiney, J. Weeks. 2004. Evaluation of the Developmental and reproductive Toxicity of Methoxychlor using a Anuran (*Xenopus tropicalis*) Chronic Exposure Model. *Toxicological Sciences* 81 (2): 443-453.
- Fontúrbel, F. 2005. Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del lago Titikaka (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4(1,2).
- Garay-Tinoco, J.A., D.I. Gómez-López y J. R. Ortíz-Galvis (Eds). 2006. Diagnóstico integral del impacto biofísico y socioeconómico relativo a las fuentes de contaminación terrestre en la bahía de Tumaco, Colombia y lineamientos básicos para un Plan de Manejo. Proyecto PNUMA - CPPS. INVEMAR, CCCP y CORPONARIÑO, Santa Marta. 262 p.
- Garay, J.A. y A.M. Vélez. 2004. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar – PNICM. INVEMAR, Santa Marta. 110 p.
- Garay, J., G. Ramírez; J. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, J. Lesmes, H. Sánchez y A. Franco. 2003. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta. 177 p.
- Garay, J., F. Castillo, C. Andrade, J. Aguilera, L. Niño, M. De La Pava, W. López y G. Márquez. 1988. Estudio oceanográfico del área insular y oceánica del Caribe

Colombiano – Archipiélago de San Andrés y Providencia y cayos vecinos. Boletín Científico CIOH 9, 3–73.

- Garcés-Ordóñez, O. 2016. Evaluación de la presencia de microplásticos en el contenido estomacal de *Cetengraulis mysticetus*, procedente de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. Convenio CPPS - INVEMAR, 2016. Informe técnico final. Santa Marta. 10 p.
- Garcés-Ordóñez, O., L.J. Vivas-Aguas, M. Martínez, T. Córdoba, A. Contreras, P. Obando, Y. Moreno, J. Muñoz, Y. Nieto, M. Ríos, J. Sánchez y D. Sánchez. 2016a. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No. 4 (2016). Informe técnico REDCAM 2015. INVEMAR, MADS y CAR costeras. Santa Marta. 377 p.
- Garcés-Ordóñez, O., E. Arteaga, P. Obando, L.J. Vivas-Aguas, L. Espinosa, M. González, C. Giraldo y C. Ricaurte. 2016b. Atención a eventuales emergencias ambientales en la zona marino-costera del departamento del Magdalena. Convenio CORPAMAG-INVEMAR No. 14 de 2014, código: PRY-CAM-011-14. Informe técnico final. Santa Marta. 79 p.
- Garcés-Ordóñez, O., M. Ríos-Mármol y J. Vivas-Aguas. 2016c. Evaluación de la calidad ambiental de los manglares de la ciénaga Mallorquín, departamento del Atlántico. Convenio CRA-INVEMAR No. 027 de 2015. Informe técnico final. Santa Marta. 32 p.
- García, H., A. Molina y J. Andrade. 2012. Beneficios de una red de reservas marinas para Colombia. Fedesarrollo, Bogotá. 62 p.
- García, J.M. y J. Palacio. 2008. Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo en las bahías Turbo y El Uno, Golfo de Urabá (Caribe colombiano). *Revista Gestión y Ambiente*, 3(11): 55-64.
- García-Valencia C. (Ed.) 2007. Atlas del Golfo de Urabá: Una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. INVEMAR y Gobernación de Antioquia. Serie de publicaciones especiales. No. 12, Santa Marta. 180 p.
- Gavio, B., S. Palmer-Cantillo y J.E. Mancera. 2010. Historical analysis (2000-2005) of the coastal water quality in San Andrés Island, SeaFlower Biosphere Reserve, Caribbean Colombia. *Mar. Poll. Bull.*, 60 (7): 1018-1030.
- Giraldo, A., E. Rodríguez y F. Zapata. 2008. Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia, *Latin american journal of aquatic research*, 36(1): 121-128.
- Glynn, R W., H. von Prael., 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 Antioquia. 2012. Diagnóstico técnico del municipio de Arboletes. Medellín, 104 p.
- Gobernación de Córdoba. 2015. Geografía del departamento de Córdoba. Disponible desde internet en: <http://www.cordoba.gov.co/cordoba/geografia.html> (con acceso el 28 de abril de 2017).

- Gobernación de Sucre. 2012. Ordenanza 006 de 2012. Plan departamental de desarrollo 2012 - 2016. Gaceta Departamental de Sucre N° 616. Sincelejo. 389p.
- Gobierno de Colombia y UNODC – Oficina de Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito. 2016. Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2015. Disponible desde internet en: https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Colombia/Monitoreo_Cultivos_ilicitos_2015.pdf (con acceso el 28 de abril de 2017).
- Gómez, A., A.F. Osorio, F.M. Toro, J.D. Osorio, y O.A. Álvarez. 2009. Efecto del cambio de los caudales del Canal del Dique sobre el patrón de transporte horizontal en la bahía de Barbacoas. Boletín Científico CIOH No. 27, ISSN 0120-0542, 90-111.
- Gómez-Cubillos, M.C., L. Licero, L. Perdomo, A. Rodríguez, D. Romero, D. Ballesteros, D. Gómez, A. Melo, L. Chasquí, M. Ocampo, D. Alonso, J. García, C. Peña, M. Bastidas y C. Ricaurte. 2015. Portafolio “Áreas de arrecifes de coral, pastos marinos, playas de arena y manglares con potencial de restauración en Colombia. Serie de publicaciones Generales del INVEMAR No. 79, Santa Marta. 69 p.
- Griffith, J., Schiff, K., Lyon, G. y J. Fuhrman. 2010. Microbiological water quality at non-human influenced reference beaches in southern California during wet weather. *Marine Pollution Bulletin* 60: 500-508.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2017. Atlas climatológico de Colombia. Disponible desde internet en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html> (con acceso el 17 de abril de 2017).
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2016a. Información hidrológica en 21 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. 2016b. El niño continúa en su fase de mayor intensidad. Disponible desde internet en: http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/el-nino-continua-en-su-fase-de-mayor-intensidad? (con acceso el 25 de febrero de 2016).
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2016c. Mapa de anomalías de precipitación (%). Disponible desde internet en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/anomalia-de-la-precipitacion-mensual-por-ano> (con acceso el 7 de diciembre de 2016).
- IDEAM – Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales. 2014. Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Bogotá, 134 p.
- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2005. Atlas Climatológico de Colombia: Part 2, Distribución espacio-temporal de las variables del clima. IDEAM, Bogotá. 74 p.

- IGAC – Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2014. Cartografía base 1:100.000.
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2008. Atlas básico de Colombia. 7 ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Imprenta Nacional, Bogotá. 704 p.
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1996. Diccionario Geográfico de Colombia, 3ª ed. (revisada y aumentada). 1: 288- 294.
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi), 1990. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. IGAC. Bogotá. 499 p.
- INVEMAR - Instituto de Investigación Marinas y Costeras. 2017a. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Técnico Final 2016, Volumen 15. Santa Marta 164p.+ anexos.
- INVEMAR - Instituto de Investigación Marinas y Costeras. 2017b. Evaluación de las condiciones ambientales de la Ciénaga Grande de Santa Marta en el marco del Plan de Acción para la atención de la Calamidad Pública. Informe Técnico Final. Convenio 131 de 2016 INVEMAR - CORPAMAG. PRY-CAM-017-16. Santa Marta. 63 p.
- INVEMAR - Instituto de Investigación Marinas y Costeras. 2016a. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2015. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta.186 p.
- INVEMAR - Instituto de Investigación Marinas y Costeras. 2016b. 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. INVEMAR. Disponible desde internet en: <http://www.invemar.org.co/siam/redcam> (con acceso el 04/12/2016).
- INVEMAR - Instituto de Investigación Marinas y Costeras. 2016c. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Técnico Final 2015, Volumen 14. Santa Marta 181p. + Anexos.
- INVEMAR- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2016d. Concepto técnico sobre la mortandad de peces en el sector Ciénaga Grande de Santa Marta municipio de Pueblo Viejo, Magdalena. CPT-CAM-015-16. Santa Marta. 12p.
- INVEMAR- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2016e. Concepto técnico sobre la mortandad de peces en el sector Ciénaga Grande de Santa Marta CGSM – Complejo Pajarales. CPT-CAM-026-16. Santa Marta. 12p.
- INVEMAR- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2015a. Concepto técnico sobre la mortandad de peces en el sector Pajara, Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena, en julio de 2015. CPT-CAM-015-15. Santa Marta, 11p.
- INVEMAR- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2015b. Concepto técnico sobre mortandad de peces en la Ciénaga Grande de Santa Marta (sector Caño Grande - Pajarales), ocurrida en noviembre de 2015. CPT-CAM-022-15. Santa Marta. 13p.

- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2015c. Concepto técnico sobre derrame de petróleo en el municipio de San Andrés de Tumaco (Nariño), en junio de 2015. Santa Marta. 20 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2014a. Concepto técnico para evaluar la calidad ambiental marina en diferentes áreas del golfo de Morrosquillo posiblemente afectadas por hidrocarburos tras el incidente ocurrido durante la operación de cargue del buque “Energy Challenger” en la boya tlu-1, terminal marítima de Coveñas. CPT-CAM-021-14. Santa Marta. 27 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2014b. Concepto técnico la evaluación del estado actual de las playas afectadas por los derrames de hidrocarburos en la zona costera de los municipios San Onofre, Tolú y Coveñas - Sucre. CPT-CAM-023-14. Santa Marta. 14 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” y MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2011. Desarrollo de Fundamentos para el Fortalecimiento de los Parámetros y los Límites Permisibles de los Vertimientos Puntuales a las Aguas Marinas en Colombia. Informe Final. Santa Marta. 189 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2006. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Informe Técnico REDCAM 2006. INVEMAR. Santa Marta. 344 p.
- INVEMAR – Instituto de investigaciones Marinas y Costeras, CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca y CORPONARIÑO - Corporación Autónoma Regional de Nariño. 2006. Unidad Ambiental Costera de la Llanura Aluvial del Sur: Caracterización, Diagnóstico Integrado y Zonificación Ambiental. A. López (Ed.). Santa Marta 383 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras. 2002. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia. Serie de Publicaciones Periódicas; No. 8, Servigráficas, Medellín: 178 p.
- INVEMAR - Instituto de investigaciones Marinas y Costeras, CARSUCRE – Corporación Autónoma Regional de Sucre y CVS – Corporación Autónoma Regional de los valles del Sinú y San Jorge. 2002. Formulación del Plan de Manejo Integrado de la Unidad Ambiental Estuarina del Río Sinú y Golfo de Morrosquillo, Caribe Colombiano. Informe Técnico Fase I- Caracterización y Diagnóstico. 188 p.
- Jaimes-Amorocho, H., R. Salazar, C. Pérez, A. Alviz, Y. Pérez y M. Baiz. 2013. Perfil Productivo Municipio de San Onofre. Insumo para el diseño de estrategias de inclusión sociolaboral de la población víctima del conflicto. Red Ormet. Ministerio de Trabajo, PNUD y Universidad de Sucre. Bogotá D.C. 106 p.
- Jaramillo, B., M. Marrugo, E. Duarte. 2010. Monitoreo de residuos de pesticidas organoclorados en camarón (*Penaeus vannamei*) del área costera de la bahía Cartagena (Colombia). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol 8 N°2. Julio- Diciembre 2010. 66 – 71 p.

- Javelaud, O. 1987. La Sedimentation du Plateau Continental de la Colombia Caraibe au Tours du Quaternaire Terminal. Tesis de doctorado. Institut de Géologie, L'Universite de Bordeaux I. Bordeaux, Francia. 382 p.
- Knox, G.A. 2001. The ecology of seashore. CRC Press. Boca Raton. 557 p.
- MADR – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2016. Sistema de Información. Disponible desde internet en: <https://www.minagricultura.gov.co/Paginas/Sisistemas-de-Informacion.aspx> (con acceso el 10 de diciembre de 2016).
- Manahan, S. 2007. Introducción a la química ambiental (primera Edición). Reverté Ediciones S. A., España. 150-152.
- Marín, B. 2001. Establecimiento de valores indicativos del grado de contaminación de tóxicos químicos y microorganismos de origen fecal, como base para la expedición de normativas de la calidad de las aguas marinas de Colombia. Informe Técnico Final de Proyecto. 45p.
- Martínez, J. 1992. Geomorfología de la costa Pacífico colombiano y aspectos relativos a su estabilidad. ORTOM – CONCYTEC, Lima. 193-196.
- MinSalud – Ministerio de Salud. 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del 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.
- MinTrabajo – Ministerio de Trabajo y PNUD – Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. 2013. Perfil Productivo del Municipio de Turbo. Bogotá. 128 p.
- Molina, M., E. García, E. Espigares, M. Espigares, M. Fernández y E. Moreno. 2014. Valoración del riesgo de contaminación de aguas recreativas: vigilancia sanitaria de las playas de España. Hig. Sanid. Ambient., 14 (2): 1191-1195.
- Mora, S., Tolosa, I., Fowler S., Villeneuve J., Cassi R. y C. Cattini. 2010. Distribution of petroleum hydrocarbons and organochlorinated contaminants in marine biota and coastal sediments from the ROPME Sea Area during 2005. Marine Pollution Bulletin, 60(12):2323-2349.
- Mvungi, E. F., Lyimo, T. J., Björk, M. 2012. When *Zostera marina* is intermixed with *Ulva*, its photosynthesis is reduced by increased pH and lower light, but not by changes in light quality. Aquatic Botany. 102: 44–49.
- Nivia, E. 1993. Peligros del Endosulfan (Thiodan). Red de acción en plaguicidas, Palmira. 20 p. Disponible desde internet en: http://www.rap-al.org/db_files/PlaguiAL_PpioAc_Endosulfan_FolletoPeligrosDel_1993.pdf (con acceso el 18 de abril de 2017).
- Noguera, K. y J. Olivero. 2010. Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso Colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 34(132):347-356.
- Ohrel, R.L. y K.M. Register (Eds.). 2006. Volunteer Estuary Monitoring. A Methods Manual. 2a. Edición. The Ocean Conservancy and EPA. Washington, D.C. 325 p.

- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2003. Directrices para ambientes de aguas recreativas seguras. Costa y aguas frescas. Vol. 1. Ginebra. 219 p.
- O'Neil JM y D.G. Capone. 2008. Nitrogen Cycling in Coral Reef Environments. In: Nitrogen in the Marine Environment. Elsevier, 949–89.
- OPS – Organización Panamericana de la Salud y OMS – Organización Mundial de la Salud. 2001. Fichas técnicas de plaguicidas a prohibir o restringir incluidos en el acuerdo No. 9 de la XVI Reunión del sector salud de Centroamérica y República Dominicana (RESSCAD). San José, Costa Rica. 200 p.
- Ospina, L. y D. Quintana. 2015. Variación espacio-temporal de la calidad del agua del Golfo de Morrosquillo durante el año 2013. Boletín Científico CIOH, No. 33, ISSN 0120-0542. Cartagena de Indias, Colombia. 19-38 p.
- Oviedo, M., S. Brú, V. Atencio y S. Pardo. 2013. Potencialidad de la región costera de Córdoba -Colombia- para el cultivo de tilapia nilótica. Rev.MVZ Córdoba 18(3):3781-3789.
- Oviedo, M., O. Puerta, S. Brú, V. Atencio y S. Pardo. 2012. Aptitud del Suelo de la Zona Costera del Departamento de Córdoba (Colombia) para la Piscicultura. Revista Facultad Nacional de Agronomía, 65(1): 6431-6438.
- Pinilla, G., A. Gutierrez y G. Ulloa. 2007. Estudio de la reducción de caudales en el Canal del Dique: efectos ecológicos de la derivación de las aguas y sedimentos hacia la bahía de Barbacoas. Convenio No. 1033-2007 entre LEH y CORMAGDALENA. Cartagena, 42 p.
- PNNC- Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2012. Datos Generales del Parque Nacional Natural Sanquianga. Disponible desde internet en: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales/parque-nacional-natural-sanquianga/> (con acceso el 28 de marzo de 2017).
- PNUMA – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2008. Guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales (agua, suelos/sedimentos y biota). Manual del Programa de Monitoreo Costero del Proyecto GEF-REPCar. PNUMA, Programa Ambiental de Caribe. Kingston, Jamaica. 121p.
- PNUMA – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1999. Documento de orientación para la adopción de decisiones en relación con un producto químico prohibido o rigurosamente restringido: Bromacil. CAS#314-40-9. 15 p. Disponible desde internet en: [http://www.pic.int/Portals/5/incs/INC6/6b\)/Spanish/6-A2S.PDF](http://www.pic.int/Portals/5/incs/INC6/6b)/Spanish/6-A2S.PDF) (con acceso el 21 de abril de 2017).
- Posada, B.O y W. Henao. 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR, Serie de publicaciones especiales No. 13, Santa Marta. 200 p.
- Poveda, G. y O.J. Mesa. 1999. La corriente de Chorro superficial del oeste (“del Chocó”) y otras dos corrientes de chorro atmosféricas sobre Colombia: climatología y variabilidad

- durante las fases del ENSO. En: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias, 23(89): 517-528.
- Proactiva Aguas del Archipiélago S.A. 2015. Información suministrada por la entidad sobre inventario de vertimientos puntuales de agua residuales, cobertura de alcantarillado, tratamiento, disposición final y cuerpo receptor de vertimientos, volúmenes de carga generada en oficio 20164230699691 del 20 de octubre de 2016.
- Ramírez A. y Viña G. 1998. Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Editorial de la Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 1ª edición. Santafé de Bogotá, Colombia. 293 p.
- Ramzi, A., K. Habeeb-Rahman, T. Gireeshkumar, K. Balachandran, J. Chacko y N. Chandramohanakumar. 2016. Dynamics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of Cochin estuary, India. Marine Environmental Pollution, 114(2):1081-1087.
- RAP – Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina. 1998. Clorpirifos. Publicado por primera vez en Pesticides New No. 41, septiembre 1998. Disponible desde internet en: http://www.rap-al.org/db_files/PlaguiAL_PpioAc_Clorpirifos_FichaPANUK_Sep98.pdf (con acceso el 29 de diciembre de 2016).
- RAP – Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina. 2009. Ficha técnica Permetrina. Disponible desde internet en: http://www.rap-al.org/articulos_files/Permetrina_Enlace_86.pdf (con acceso el 21 de abril de 2017).
- 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. y H. Escobar. 2016. Sediment load trends in the Magdalena River basin (1980–2010): Anthropogenic and climate-induced causes. Geomorphology, in press. Disponible desde internet en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X16311928> (con acceso: 23/03/2017).
- Rojas, X. 2014. Informe Final: Diagnóstico Integral de las Lagunas Costeras. Documento Fase II. Convenio 156 MADS-ASOCARS. Contrato ASOCARS Z009U-14. ASOCARS. Bogotá, Colombia.
- Roldán, G. y J. Ramírez. 2008. Fundamentos de Limnología Neotropical. 2da Edición. Universidad de Antioquia, Medellín. 442 p. ISBN: 978-958-714-144-3.
- Rueda, M., O. Doncel, E.A. Vilorio, D. Mármol, C. García, A. Girón, L. García, F. Rico, A. Rodríguez, C. Borda y C. Barreto. 2013. Atlas de la pesca marino-costera de Colombia: 2010-2011. Tomo Caribe. INVEMAR y ANH. Serie de publicaciones del INVEMAR: Santa Marta. 104 p.
- Rueda, G., G. Cotes., E. Carbonó., M. Cantillo., D. Serna., C. Tamaris., B. Cuadrado., F. Guerrero., B. Zúñiga., J. Deluque. 2005. Lineamientos de un programa de aseguramiento de la oferta hídrica del río Gaira a partir de la evaluación de la integralidad biológica de la cuenca, Serranía San Lorenzo, Sierra Nevada de Santa

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

- Marta, Magdalena, Colombia. Bogotá, Colombia, Convenio DADMA-UNIMAG. Informe final. 105 p.
- Ruíz-Ochoa, M., G. Bernal y J. Polanía. 2008. Influencia del río Sinú y el mar Caribe en el sistema lagunar de Cispatá. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 37(1): 31-51.
- Ruíz, T. 2011. Estado del Saneamiento ambiental en el golfo de Morrosquillo, Departamento de Sucre. CARSUCRE. Subdirección de Gestión Ambiental. Sincelejo. 19 p.
- Semana. 2013. Descubren robo de crudo en oleoducto Trasandino. Disponible desde internet en: <http://www.semana.com/nacion/articulo/descubren-robo-crudo-oleoducto-trasandino/340250-3> (con acceso el 13 de diciembre de 2016).
- 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 desde internet en: http://reportes.sui.gov.co/reportes/SUI_ReporteAlcantarillado.htm (con acceso el 28 de diciembre de 2016).
- Superservicios – Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2016. Información suministrada por la entidad sobre producción de residuos sólidos y sistemas de tratamiento de agua residuales en los municipios costeros en oficio 20164230699691 del 20 de octubre de 2016.
- Superservicios – Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2014a. Disposición Final de Residuos Sólidos. Informe Nacional. Bogotá. 66 p.
- Superservicios – Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2014b. Informe técnico sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Bogotá. 101 p.
- Thatheyus, A.J. y A. Gnana. 2013. Synthetic Pyrethroids: Toxicity and Biodegradation. *Applied Ecology and Environmental Sciences* 1 (3): 33-36.
- Tejada, C., L. Castro. A. Navarrete. T. Cardona, L. Otero, F. Afanador, A. Mogollón y W. Pedroza. 2003. Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano. DIMAR, Centro Control Contaminación del Pacífico Colombiano. Serie Publicaciones Especiales Vol. 3, San Andrés de Tumaco. 120 p.
- Troncoso, W., L. Vivas, J. Sánchez, S. Narváez, L. Echeverry y J. Parra. 2009. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Informe técnico REDCAM 2009. INVEMAR, Santa Marta. 185 p.
- Tuchkovenko, Y., y S. Rondón. 2002. Estudio del Comportamiento de la Contaminación Bacteriana en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH No. 20*. Cartagena de Indias. 56-67.
- UNEP – Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, IAEA – Organismo Internacional de la Energía Atómica y IOC – Comisión Oceanográfica Intergubernamental. 1992. Métodos y Materiales de referencia: un programa de apoyo integral para las evaluaciones regionales y globales de la contaminación marina. 75 p.

- 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.
- Usma-Rios, J., C. Villegas-Zuluaga, J. P. Arrubla-Vélez. 2008. Evaluación del grado de contaminación por pesticidas organoclorados del río Otín, mediante GC-MS. *Scientia et Technica* Año XIV, N° 40, Diciembre de 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. 234 – 239 p.
- Vélez-Agudelo, C y N. Aguirre-Ramírez. 2016. Influencia del río Atrato en el Golfo de Urabá durante el Holoceno tardía, Mar Caribe Colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*; 45: 73-9.
- Vivas-Aguas, L.J., P.S. Obando y A.F. Herrera. 2015a. Hoja metodológica del indicador. Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras - ICAM (Versión 1.0). INVEMAR-DANE. 16p.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra, J. Sánchez, M. Martínez, Y. Nieto, Y. Moreno, I. Cuadrado, P. Obando, O. Garcés-Ordóñez, D. Sánchez, M. Villarraga y O. Sierra. 2015b. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones del Invemar No. 4 (2015). Informe Técnico REDCAM 2014, INVEMAR, Santa Marta. 320 p.
- Vivas-Aguas, L.J., J. Sánchez., B. Cadavid., J. Betancourt, M. Quintero., Y. Moreno., C. Santana., I. Cuadrado., K. Ibarra., M. Ríos., P. Obando y D. Sánchez. 2014a. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de publicaciones No. 4. Informe Técnico REDCAM 2013, INVEMAR, Santa Marta. 314 p.
- Vivas-Aguas, L.J., M. Vargas, K. Guillen, M. Villarraga y J. Sánchez. 2014b. Vulnerabilidad de la población costera frente a la contaminación orgánica y microbiológica en la bahía de Buenaventura. Serie de Publicaciones Generales No. 76, INVEMAR, Santa Marta. 24 p.
- Vivas-Aguas, J.L., L. Espinosa, J. Sánchez, B. Cadavid, P. Bautista, M. Quintero, J. Betancourt, J. Parra, L. Parra, I. Cuadrado y K. Ibarra. 2012. Diagnóstico y Evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Informe técnico REDCAM 2012. INVEMAR, Santa Marta. 310 p.
- Vivas-Aguas, L., M. Tosic., 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. Informe Técnico REDCAM 2010. INVEMAR. Santa Marta. 208 p.
- Weber-Scannell, P. y L. Duffy. 2007. Effects of Total Dissolved Solids on Aquatic Organisms: A review of literature and recommendation for Salmonid species. *American Journal of Environmental Sciences* 3 (1):1-6.

*Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y
Pacífico colombianos*

- Wright, J. y A. Colling (Eds). 1995. Seawater: Its Composition, Properties and Behaviour. Second Edition. The Open University. 168 p.
- Zanardi, E., M. Caruso-Bícego y R. Weber. 1999. Dissolved/ dispersed petroleum aromatic hydrocarbons in the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. Mar. Pollut. Bull. 38(5): 410-413.
- Zapata, F. A., B. Vargas-Ángel y J. Garzón-Ferreira. 2001. Salud y conservación de las comunidades coralinas, p. 41-50. En: L.M. Barrios y M. López-Victoria (eds.). Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única. Ser. Pub. Esp. 7, INVEMAR, Santa Marta, 160 p.

ANEXOS

Anexo 1. Parámetros de calidad de aguas y metodologías utilizadas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR, y valores de referencia de calidad de aguas utilizadas para el análisis de la información.

Parámetros	Método	Límite de detección	Valores de referencia		Fuente bibliográfica
			Agua dulce	Agua marina y estuarina	
Salinidad (Unidad)	Medición electrométrica de la conductividad con electrodo acoplado a sonda (Standard Methods 2520-B, APHA <i>et al.</i> , 2012).	-	Tipos de agua Dulce: 0 - 0.5 Salobre oligohalina: 0,5-3,0 Salobre mesohalina: 3,0-10 Salobre polihalina: 10,0-17,0 Marina oligohalina: 17-30 Marina mesohalina: 30-34 Marina polihalina: 34-38 Salmuera: >38		Knox (2001)
Temperatura (°C)	Medición electrométrica con termocupla acoplada a sonda portátil (Standard Methods 4500-HB, APHA <i>et al.</i> , 2012).	-			
pH (Unidades)	Medición potenciométrica con sonda portátil (Standard Methods 4500-H B; APHA <i>et al.</i> , 2012).	-	Preservación de flora y fauna: 4,0-9,0	Preservación de flora y fauna: 6,5-8,5	MinSalud (1984)
Oxígeno disuelto (mg/L)	Medición en campo con electrodo de membrana (Standard Methods 4500-O G; APHA <i>et al.</i> , 2012).	-	Preservación de flora y fauna: >4,0 mg/L	Preservación de flora y fauna: >4,0 mg/L	MinSalud (1984)
DBO ₅ (mg/L)	Incubación sin dilución durante 5 días a 20 °C (Standard Methods N° 5210 B; APHA <i>et al.</i> , 2012).	<0,5	No contaminada: <3,0 mg/L Buena calidad: >3,0≤6,0 mg/L con indicios de contaminación: >6,0≤30 mg/L Contaminada: >30≤120 mg/L Fuertemente contaminada: >120 mg/L		MinSalud (1984)
SST (mg/L)	Filtración en membrana de fibra de vidrio, secado 103-105°C y gravimetría (Standard Methods N° 2540-D, APHA <i>et al.</i> , 2012)	<0,54	No contaminada: <25 mg/L Buena calidad: >25≤75 mg/L con indicios de contaminación: >75≤150 mg/L Contaminada: >150≤400 mg/L Fuertemente contaminada: >400 mg/L	No contaminada: <25 mg/L Buena calidad: >25≤75 mg/L Aceptable: >75≤150 mg/L Contaminada: >150≤400 mg/L Fuertemente contaminada: >400 mg/L *Preservación de corales 50 mg/L	CONAGUA (2015) *Fabricius (2005)
N-NO ₃ ⁻ (µg/L)	Método colorimétrico de la sulfanilamida (Garay <i>et al.</i> , 2003).	<0,7			
N-NO ₂ ⁻ (µg/L)	Método colorimétrico basado en la reducción con cadmio y reacción por sulfanilamida (Garay <i>et al.</i> , 2003).	<2,1			
N-NH ₄ ⁺ (µg/L)	Método colorimétrico del azul de indofenol (Garay <i>et al.</i> , 2003).	<3,1			
P-PO ₄ ⁻³ (µg/L)	Método colorimétrico del ácido ascórbico (Garay <i>et al.</i> , 2003).	<2,4			
Coliformes totales (NMP/100mL)	Fermentación en tubos múltiples método de números más probable (Standard Methods 9221-B; APHA <i>et al.</i> , 2012).	<1	Uso recreativo: Contacto primario <1000 NMP/100mL Contacto secundario <5000 NMP/100 mL	Uso recreativo: Contacto primario <1000 NMP/100mL Contacto secundario <5000 NMP/100 mL	MinSalud (1984)
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Fermentación en tubos múltiples método de número más probable (Standard Methods 9221-E, APHA <i>et al.</i> , 2012)	<1	Uso recreativo: Contacto primario <200 NMP/100mL	Uso recreativo: Contacto primario <200 NMP/100mL	MinSalud (1984)
Enterococos fecales (UFC/100mL)	Filtración por membrana (Standard Methods N° 9230 C, APHA <i>et al.</i> , 2012)	<1		Categoría, Concentración y Riesgo estimado por exposición:	OMS (2003)

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

Parámetros	Método	Límite de detección	Valores de referencia		
			Agua dulce	Agua marina y estuarina	Fuente bibliográfica
				A, ≤40 UFC/100 mL, <1% de contraer EGI y <0,3% de contraer ERFA. B, 41–200 UFC/100 mL, 1–5% de EGI y 0,3–1,9% de ERFA. C, 201–500 UFC/100 mL, 5–10% de EGI y 1,9–3,9% de ERFA. D, >500 UFC/100 mL, >10% de EGI y >3,9% de ERFA	
HPDD (µg/L)	Extracción líquido-líquido con diclorometano y cuantificación fluorométrica (UNESCO, 1984; Garay <i>et al.</i> , 2003)	<0,07		Aguas contaminadas: >10,0 µg/L Contaminación baja: 5,0 µg/L Contaminación no significativa: <1,0 µg/L	Zanardi <i>et al.</i> (1999) Acuña-González <i>et al.</i> (2004)
Aldrin (ng/L)	Extracción líquido – líquido con diclorometano y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM (PNUMA, 2008)	<25,0	Efectos crónicos: 17 ng/L* Efectos agudos: 3000 ng/L	Efectos agudos: 1300 ng/L	EPA (2016) * Buchman (2008)
Dieldrin (ng/L)		<28,2	Efectos crónicos: 56 ng/L Efectos agudos: 240 ng/L	Efectos crónicos: 1,9 ng/L Efectos agudos: 710 ng/L	EPA (2016)
Endrin (ng/L)		<26,3	Efectos crónicos: 36 ng/L Efectos agudos: 86 ng/L	Efectos crónicos: 2,3 ng/L Efectos agudos: 370 ng/L	EPA (2016)
Endrin Aldehído (ng/L)		<26,5	Efectos crónicos: 36 ng/L Efectos agudos: 86 ng/L	Efectos crónicos: 2,3 ng/L Efectos agudos: 370 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de Endrin de EPA (2016)
Endrin Cetona (ng/L)		<29,9	Efectos crónicos: 36 ng/L Efectos agudos: 86 ng/L	Efectos crónicos: 2,3 ng/L Efectos agudos: 370 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de Endrin de EPA (2016)
ppDDT (ng/L)		<35,8	Efectos crónicos: 1 ng/L Efectos agudos: 1100 ng/L	Efectos crónicos: 1 ng/L Efectos agudos: 1300 ng/L	EPA (2016)
ppDDD (ng/L)		<25,6	Efectos crónicos: 11 ng/L Efectos agudos: 190 ng/L	Efectos crónicos: 360 ng/L Efectos agudos: 3600 ng/L	Buchman (2008)
ppDDE (ng/L)		<27,4	Efectos crónicos: 105000 ng/L Efectos agudos: 1050000 µg/L	Efectos crónicos: 1400 ng/L Efectos agudos: 14000 ng/L	Buchman (2008)
α-HCH (ng/L)		<23,3	Efectos crónicos: 2200 ng/L Efectos agudos: 39000 ng/L	Sin referencia	Buchman (2008)
β-HCH (ng/L)		<23,8	Efectos crónicos: 2200 ng/L Efectos agudos: 39000 ng/L	Sin referencia	Buchman (2008)
γ-HCH (ng/L)		<24,3	Efectos crónicos: 80 ng/L Efectos agudos: 950 ng/L	Efectos agudos: 80 ng/L	Buchman (2008)
δ-HCH (ng/L)		<24,2	Efectos crónicos: 2200 ng/L Efectos agudos: 39000 ng/L	Sin referencia	Buchman (2008)
Heptacloro (ng/L)		<334,7	Efectos crónicos: 1,9 µg/L Efectos agudos: 260 µg/L	Efectos crónicos: 1,8 ng/L Efectos agudos: 26,5 ng/L	Buchman (2008)
Heptacloro Epoxido (ng/L)		<26,9	Efectos crónicos: 1,9 µg/L Efectos agudos: 260 µg/L	Efectos crónicos: 1,8 ng/L Efectos agudos: 26,5 ng/L	Buchman (2008)
α-Clordano (ng/L)		<10,7	Efectos crónicos: 4,3 ng/L Efectos agudos: 2400 ng/L	Efectos crónicos: 4 ng/L Efectos agudos: 90 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de clordano de EPA (2016)
γ-Clordano (ng/L)		<9,7	Efectos crónicos: 4,3 ng/L Efectos agudos: 2400 ng/L	Efectos crónicos: 4 ng/L Efectos agudos: 90 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de clordano de EPA (2016)
Endosulfan I (ng/L)	<24,8	Efectos crónicos: 28 ng/L	Efectos crónicos: 4,35 ng/L	Buchman (2008)	

Parámetros	Método	Límite de detección	Valores de referencia		
			Agua dulce	Agua marina y estuarina	Fuente bibliográfica
Endosulfan II (ng/L)	Extracción APDC-MIBK-HNO3 1N y cuantificación por absorción atómica con llama (Standard Methods N° 3111-C, APHA <i>et al.</i> , 2012, Garay <i>et al.</i> , 2003)	<25,8	Efectos agudos: 110 ng/L Efectos crónicos: 28 ng/L Efectos agudos: 110 ng/L	Efectos agudos: 17 ng/L Efectos crónicos: 4,35 ng/L Efectos agudos: 17 ng/L	Buchman (2008)
Metoxicloro (ng/L)		<27,1	Efectos crónicos: 30 ng/L	Efectos crónicos: 30 ng/L	EPA (2016)
Diazinon (ng/L)		<21,7	Efectos crónicos: 170 ng/L Efectos agudos: 170 ng/L	Efectos crónicos: 820 ng/L Efectos agudos: 820 ng/L	EPA (2016) Buchman (2008)
Clorotalonil (ng/L)		<43,8	Efectos crónicos: 180 ng/L	Efectos crónicos: 360 ng/L	Buchman (2008)
MetilParation (ng/L)		<21,3	Efectos crónicos: 13 ng/L Efectos agudos: 65 ng/L	Sin referencia	No hay referencia, pero se usa el valor de Paration en EPA (2016)
Bromacil (ng/L)		<18,5	Efectos crónicos: 5000 ng/L	Sin referencia	Buchman (2008)
Clorpirifos (ng/L)		<18,3	Efectos crónicos: 41 ng/L Efectos agudos: 83 ng/L	Efectos crónicos: 5,6 ng/L Efectos agudos: 11 ng/L	EPA (2016) Buchman, 2008
CIS-permetrina (ng/L)		<8,5	Efectos crónicos: 4 ng/L	Efectos crónicos: 1 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de Permetrina en Buchman (2008)
trans-permetrina (ng/L)		<13,8	Efectos crónicos: 4 ng/L	Efectos crónicos: 1 ng/L	No hay referencia, pero se usa el valor de Permetrina en Buchman (2008)
Plomo (Pb) disuelto (µg/L)		<3,1	Efectos crónicos: 2,5 µg/L Efectos agudos: 65,0 µg/L	Efectos crónicos: 8,1 µg/L Efectos agudos: 65,0 µg/L	Buchman (2008)
Cadmio (Cd) disuelto (µg/L)		<0,42	Efectos crónicos: 0,25 µg/L Efectos agudos: 2,0 µg/L	Efectos crónicos: 8,8 µg/L Efectos agudos: 40 µg/L	Buchman (2008)
Cromo (Cr) disuelto (µg/L)		<0,97	Efectos crónicos: 50 µg/L	Efectos crónicos: 50 µg/L	CONAMA, 2005.
Cobre (Cu) disuelto (µg/L)	<0,9	Efectos crónicos: 9,0 µg/L Efectos agudos: 13,0 µg/L	Efectos crónicos: 1,3 µg/L Efectos agudos: 2,0 µg/L	Buchman (2008) EPA (2016)	
Zinc (Zn) disuelto (µg/L)	<6,9	Efectos crónicos: 120 µg/L Efectos agudos: 120 µg/L	Efectos crónicos: 81,0 µg/L Efectos agudos: 90,0 µg/L	Buchman (2008)	
Níquel (Ni) disuelto (µg/L)	<1,0	Efectos crónicos: 52,0 µg/L Efectos agudos: 470,0 µg/L	Efectos crónicos: 8,2 µg/L Efectos agudos: 74 µg/L	Buchman (2008)	
Hierro (Fe) disuelto(µg/L)	<4,7	Efectos crónicos: 350 µg/L (Disuelto)	Efectos crónicos: 50,0 µg/L Efectos agudos: 300,0 µg/L	Buchman (2008)	

Anexo 2. Parámetros de calidad de sedimentos y metodologías utilizadas en la Unidad de Laboratorios de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR, y valores de referencia de calidad de aguas utilizadas para el análisis de la información.

Parámetro	Método	Límite de detección	Valores de referencia		
			Sedimentos fluviales	Sedimento marino y estuarino	Fuente bibliográfica
Materia Orgánica (mg/g)	Digestión en frío con dicromato de potasio, método de Walkley y Black (IGAC, 1990)	<0,7			Sin referencia
Hidrocarburos del petróleo p.s. (µg/g)	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona y cuantificación fluorométrica (UNEP et al., 1992; Garay et al., 2003).	<0,07	*Muy bajo: 0-20 µg/g (propio de aguas puras y quizá con algún aporte biogénico). *Bajo: >20-40 µg/g (con leve incidencia antrópica). *Medio: >40-80 µg/g (notable actividad antrópica). *Alto: >80-200 µg/g (áreas contaminadas - vertimientos). *Muy alto: >200 (áreas muy contaminadas - derrame o contingencia)	Niveles naturales <15 µg/g Ligeramente contaminados <50 µg/g Altamente contaminados >50 µg/g	*Ramírez y Viña, (1998) Mora <i>et al.</i> (2010)
Diazinon (ng/g)	Extracción soxhlet con diclorometano: acetona, fraccionamiento en columna de sílica-álumina y cuantificación por GC-MSD modo SIM (UNEP/IOC/IAEA, 1992)	<11,5			Sin referencia
Clorotalonil (ng/g)		<24,3			Sin referencia
Methyl Parathion (ng/g)		<12,9			Sin referencia
Bromacil (ng/g)		<13,1			Sin referencia
Clorpirifos (ng/g)		<14			Sin referencia
Fenaminphos (ng/g)		<26,4			Sin referencia
Cis-permetrina (ng/g)		<5,7			Sin referencia
a-HCH (ng/g)		<2,0			Sin referencia
Heptacloro (ng/g)		<2,0			Sin referencia
Aldrin (ng/g)		<2,0			Sin referencia
g-Clordano (ng/g)		<6,0	TEL: 4, 5ng/g PEL: 8,9 ng/g	TEL: 2,26 ng/g PEL: 4,79 ng/g	Valor de referencia para Clordano en Buchman (2008)
Endosulfan I (ng/g)		<6,0			Sin referencia
Endrin Aldehido (ng/g)		<2,0	*TEL: 2,67 ng/g *PEL: 6,24 ng/g		*Valor de referencia para Endrin en Buchman (2008)
Endosulfan sulfato (ng/g)	<6,0				
pp-DDT (ng/g)	<4,0	TEL: 1,19 ng/g PEL: 4,77 ng/g	TEL: 1,19 ng/g PEL: 4,77 ng/g	Buchman (2008)	
Endrin Cetona (ng/g)	<2,0	*TEL: 2,67 ng/g *PEL: 6,24 ng/g		*Valor de referencia para Endrin en	

Parámetro	Método	Límite de detección	Valores de referencia		
			Sedimentos fluviales	Sedimento marino y estuarino	Fuente bibliográfica
Metoxicloro (ng/g)		<6,0			Buchman (2008)
Plomo (Pb) total p.s. (µg/g)	Digestión asistida por microondas (Método EPA 3052, 1996) y cuantificación por espectrometría de absorción atómica con llama (Standard Methods N° 3500, APHA et al., 2012)	<4,0	TEL: 35 µg/g PEL: 91,3 µg/g	TEL: 30,2 µg/g PEL: 112 µg/g	Buchman (2008)
Cadmio (Cd) total p.s. (µg/g)		<0,5	TEL: 0,596 µg/g PEL: 3,53 µg/g	TEL: 0,680 µg/g PEL: 4,21 µg/g	Buchman (2008)
Cromo (Cr) total p.s. (µg/g)		<6,4	TEL: 37,3 µg/g PEL: 90 µg/g	TEL: 52,3 µg/g PEL: 160 µg/g	Buchman (2008)
Cobre (Cu) total p.s. (µg/g)		<1,9	TEL: 35,7 µg/g PEL: 197 µg/g	TEL: 18,7 µg/g PEL: 108 µg/g	Buchman (2008)
Zinc (Zn) total p.s. (µg/g)		<4,3	TEL: 123 µg/g PEL: 315 µg/g	TEL: 124 µg/g PEL: 271 µg/g	Buchman (2008)
Níquel (Ni) total p.s. (µg/g)		<2,0	TEL: 18 µg/g PEL: 36 µg/g	TEL: 15,9 µg/g PEL: 42,8 µg/g	Buchman (2008)
Hierro (Fe) total p.s. (µg/g)		<0,2			Sin referencia
Mercurio (Hg) total p.s. (µg/g)		Mercurio en sólidos y solución por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica (EPA, 2007).	<3,0	TEL: 0,174 µg/g PEL: 0,486 µg/g	TEL: 0,130 µg/g PEL: 0,70 µg/g