



COLOMBIA
SANTAMARÍA Y
50% MAR

MAR CARIBE

Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico Colombiano 2012

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



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
“José Benito Vives De Andrés-INVEMAR”
Vinculado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Santa Marta, 2012

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL MARINA EN EL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANO 2012

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



**Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible**
República de Colombia

Libertad y Orden



**COLOMBIA
50% MAR**

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

coralina



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

Santa Marta 2012

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
GENERALIDADES	3
1. ÁREA DE ESTUDIO	5
2. METODOLOGÍA.....	6
2.1 FASE DE CAMPO Y LABORATORIO	6
2.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN: BASE DE DATOS Y CARTOGRAFÍA.....	8
2.3 CURSO DE CAPACITACIÓN Y TALLER REDCAM 2012	13
3. DIAGNÓSTICO NACIONAL	21
4. DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA CARIBE	33
4.1 CASO ESTUDIO: FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA COSTERA DE CÓRDOBA	39
Diagnostico de los Departamentos del Caribe.....	55
4.2 SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA.....	57
4.3 LA GUAJIRA	71
4.4 MAGDALENA.....	97
4.5 ATLÁNTICO	129
4.6 BOLÍVAR	147
4.7 SUCRE	175
4.8 CÓRDOBA	191
4.9 ANTIOQUIA	209
5. DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA PACÍFICA.....	227
Diagnostico de los Departamentos del Pacífico	233
5.1 CHOCÓ.....	235
5.2 VALLE DEL CAUCA	251
5.3 CAUCA.....	263
5.4 NARIÑO	279
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	297

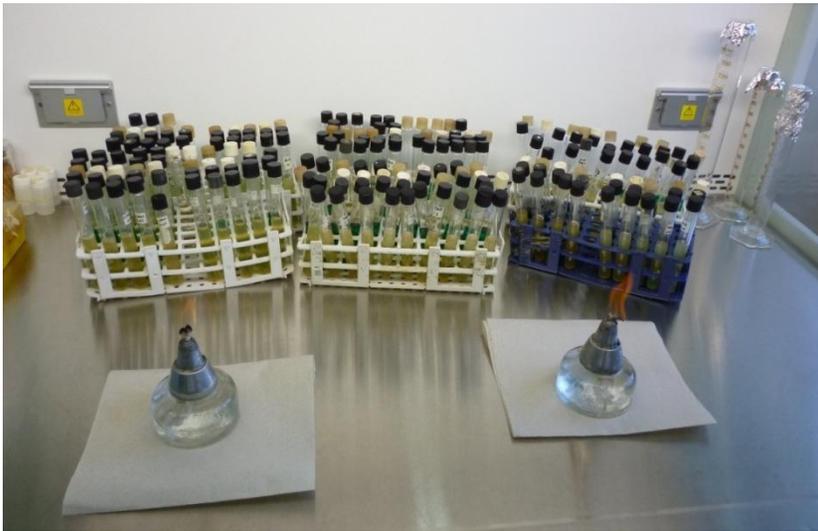
INTRODUCCIÓN

Con una posición estratégica al norte de Sur América y por tener costas sobre el Mar Caribe y el Océano Pacífico, además de sus zonas marinas y costeras que ocupan cerca del 50% del territorio nacional, con ecosistemas y ambientes de excepcional valor natural y económico, hacen que la gestión ambiental para su conservación y protección sea cada vez más valorada en los últimos años en Colombia. Por ello, el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), viene formulando varias políticas y estrategias que soportan el desarrollo sostenible de los recursos naturales, entre ellos los marinos y costeros como son la Política Nacional para el Desarrollo Sostenible de los espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia (2000), la Política Nacional del Océano y Espacios Costeros, el Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de las Fuentes Marinas y Terrestres de Contaminación al Mar (PNICM), que plantea dentro de sus objetivos “*Evaluar los efectos de actividades humanas sobre los ecosistemas marinos y costeros, con miras a disponer en forma permanente de un diagnóstico actualizado de las condiciones ambientales*”. Objetivo que se ha materializado a través de la Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras - REDCAM, que hace un seguimiento permanente de la calidad de las aguas marinas y costeras y ha mantenido el Diagnóstico Nacional actualizado.

Bajo el liderazgo del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –INVEMAR, la REDCAM inició sus actividades desde el año 2001, y se ha sostenido con recursos provenientes del MADS, contando para su ejecución con el apoyo logístico y en algunos casos financiero de las entidades que actúan como nodos del programa de monitoreo nacional REDCAM, entre las que se cuentan las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) de los doce departamentos costeros, algunos Departamentos Administrativos del Medio Ambiente, otros Institutos de Investigación y la Universidad de la Guajira. La REDCAM sirve de soporte del Sistema de Información Ambiental para Colombia – SIAC y es parte integral del Sistema de Información del Recurso Hídrico Marino – SIRH (Decreto 1323/2007), además atiende compromisos internacionales y las metas de país que se canalizan en los lineamientos del PNICM y de la PNGIRH, entre otros.

El presente informe contiene el diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombiano entre el período lluvioso de 2011 y el período seco de 2012. Este diagnóstico 2012 contiene el análisis de los resultados del monitoreo de las cerca de 350 estaciones de muestreo ubicadas en las zonas marino-costeras de ambos litorales, haciendo una descripción espacial y temporal del comportamiento de variables fisicoquímicas, microbiológicas y contaminantes (hidrocarburos del petróleo, plaguicidas y metales pesados), en un contexto nacional, regional y departamental. Se muestra la actualización del inventario nacional de fuentes terrestres de contaminación con los aportes en términos de carga contaminante de las cuencas bajas de ríos que drenan al mar Caribe y al océano Pacífico, y también el análisis integral del Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras (ICAM) que permite cuantificar el estado de conservación o deterioro del agua marino-costera para la preservación de flora y fauna.

Generalidades



Análisis microbiológico por fermentación en tubo múltiple mediante la técnica de número más probable-NMP. Laboratorio Microbiología LABCAM INVEMAR.



Toma de muestras de agua en campo. Ciénaga de Mallorquín – Atlántico.

GENERALIDADES

1 ÁREA DE ESTUDIO

Los resultados del monitoreo de calidad de aguas marinas y costeras de Colombia que se muestra en el presente informe corresponde a la época lluviosa de 2011 y la época seca de 2012. En este período se midieron 205 estaciones en el Caribe, las cuales se ubican en sitios de interés de línea de costa de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Bolívar, Córdoba, Antioquia y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. En el litoral Pacífico se monitorearon 121 estaciones en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño, incluidas la isla de Gorgona y Gorgonilla. Las estaciones de muestreo REDCAM se han definido entre las CARs y el INVEMAR según las prioridades de seguimiento a la contaminación y calidad ambiental marina. Estos sitios incluyen en cada departamento lugares de interés como golfos, bahías, lagunas costeras, Parques Nacionales Naturales, ciénagas, playas y los frentes y la cuenca baja de los principales ríos que drenan al mar Caribe y al Océano Pacífico (Figura 2.1–1).



Figura 2.1–1. Estaciones y regiones de muestreo de la REDCAM en las diferentes zonas costeras de Colombia.

2 METODOLOGÍA

2.1 FASE DE CAMPO Y LABORATORIO

Durante el 2012 se realizaron dos campañas de muestreo en cada semestre del año, una en época seca entre febrero y junio, y la otra en temporada de lluvias entre agosto y noviembre; aunque en el Pacífico las condiciones climáticas son diferentes. Los muestreos se realizaron entre el INVEMAR y las corporaciones costeras de acuerdo al área de cada jurisdicción, cabe resaltar que en los departamentos de San Andrés, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca las corporaciones realizaron el muestreo de forma autónoma. En las salidas de campo se midieron las variables *in situ* y se recolectaron muestras de agua para los análisis en el laboratorio (Tabla 2.1-1), que son realizados por el laboratorio de Calidad Ambiental Marina de INVEMAR y los laboratorios de CORALINA, CVC, CARDIQUE y CORPOURABÁ que poseen la logística, equipos y profesionales competentes para analizar este tipo de muestras ambientales.

Aunque cada laboratorio tiene sus propios metodologías de análisis implementadas, los análisis de laboratorio se realizaron en general siguiendo las metodologías estandarizadas que se describen en el Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos (Garay et al., 2003a), que contiene las técnicas y procedimientos referenciados en el libro “*Métodos de Referencia Estándar*”, los manuales de referencia de la UNESCO, guías del PNUMA y el manual de Strickland y Parsons (1968) utilizados internacionalmente ya que sus conceptos técnicos aún se mantienen vigentes para muestras de aguas marinas. A manera de ejemplo se presentan las técnicas empleadas en Invemar.

Tabla 2.1-1. Listado de las variables mínimas, métodos de análisis y unidades de medida del monitoreo de la REDCAM. Ejemplo de las técnicas empleadas en el laboratorio de Calidad Ambiental Marina de Invemar.

Tipo Variable	Nombre Variable	Método	Unidades medida
Fisicoquímicas	Salinidad	Electrométrico	
	Conductividad	Electrométrico	mS/cm
	pH	Potenciométrico	Unidad
	Oxígeno disuelto		mg/L
	% Saturación de Oxígeno	Membrana permeable	%
	Temperatura	Electrométrico	°C
	Transparencia secchi	Disco Secchi	m
	Sólidos Suspendedos Totales	Gravimetría	mg/L
	Turbidez	Nefelométrico	NTU
	Amonio, Nitritos, Nitratos, Fosfatos	Colorimetría	µg/L
DBO ₅	Incubación directa a 20 °C por 5 días	mg/L	
Plaguicidas organoclorados	Hexaclorociclohexano total, Aldrín, Heptacloro, Organoclorados totales, Sumatoria DDT y sus metabolitos	Cromatografía de gases	ng/L
Plaguicidas de uso actual	Diuron, Diazinon, Clorotalonil, Metil Paration, Bromacil, Clorpirifos, Fenamifos, Cis-Permetrina y trans-Permetrina,	Cromatografía de gases	ng/L
Hidrocarburos	Hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos	Fluorimetría	µg/L
Metales Traza	Cadmio, Zinc, Hierro, Cromo, Cobre Plomo, Niquel	Espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (EAA)	µg/L µg/L µg/L
Microbiológicos	Coliformes fecales y totales, Enterococos fecales, E. coli	Número más probable Filtración por membrana	NMP/100 mL UFC/ 100 mL

2.1.1 Nutrientes

Los nutrientes medidos son compuestos disueltos inorgánicos de nitrógeno y fósforo, los cuales se miden por metodologías de colorimetría. Entre los compuestos de nitrógeno, se analizan los compuestos amonio (nitrógeno amoniacal, NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3); la suma de estos compuestos se representa con el término Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID), una medición utilizada en los análisis de este informe debido a que todos los diferentes compuestos de NID (siendo NH_4 , NO_2 , NO_3) son disponibles para asimilación en el proceso de fotosíntesis (producción primaria) y pueden causar eutrofización, dando importancia a la suma de los compuestos (NID) en la evaluación del riesgo potencial de eutrofización. El compuesto de fósforo medido es fosfato (PO_4) que técnicamente se llama fosforo reactivo soluble (FRS) debido a que la medición del parámetro integra todo el fósforo que sea reactivo y suficiente minúsculo para pasar un filtro de $0.45 \mu\text{m}$, incluyendo en la gran mayoría los ortofosfatos que son compuestos inorgánicos disueltos pero también unas fracciones particuladas menos que $0.45 \mu\text{m}$ en tamaño y varios poli-fosfatos disueltos (Brodie y Mitchell, 2005). Todas las concentraciones de nutrientes se expresan con respecto a la masa del elemento (N o P) en lugar de la masa del compuesto completo.

2.1.2 Indicadores de contaminación microbológica

Si bien se expidió el decreto 3930 en 2010 que busca actualizar los criterios de calidad, aún en Colombia se siguen midiendo las condiciones de contaminación microbiana con los indicadores de contaminación fecal “*Coliformes fecales o termotolerantes*” de acuerdo al Decreto 1594 (MinSalud, 1984) que sigue vigente. De igual manera se usaron los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003) para “*Enterococos*” que son ampliamente utilizados como grupos de elección para determinar la calidad microbológica de cuerpos de agua. La OMS no establecen límites obligatorios, sino medidas de seguridad para un ambiente de aguas recreativas seguras, basados en múltiples estudios epidemiológicos y evaluaciones de riesgo de contraer enfermedades dependiendo del tipo de exposición, directa o indirecta.

La determinación de Coliformes totales y termotolerantes (fecales) se realizó por el método del recuento indirecto por tubos múltiples de fermentación expresado en el Número Más Probable (NMP) en 100 mililitros de agua, siguiendo las recomendaciones de métodos estándar (APHA/AWWA/ WEF, 2005) y el Decreto 1594/1984 que establece niveles permisibles en las aguas colombianas para la destinación del recurso hídrico con fines recreativos por contacto primario (p.e. la natación y el buceo), de máximo 200 NMP/100 mL Coliformes termotolerantes y 1000 NMP/100 mL Coliformes totales, y para contacto secundario (p.e. deportes náuticos y la pesca) un máximo de 5000 NMP/100 mL Coliformes totales.

2.1.3 Residuos de plaguicidas

Los análisis de plaguicidas organoclorados y algunos de uso actual se siguieron según la metodología descrita en la guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales: agua, suelos/sedimentos y biota del PNUMA (2008). El procedimiento consiste en la extracción de la muestra con diclorometano, una vez ajustado el pH y adicionado los estándares de recuperación. Los extractos orgánicos se concentran en rotavapor a $\approx 10 \text{ mL}$ y se purifican en una columna de sílica-gel/alúmina utilizando 250 mL de diclorometano:hexano. La cuantificación se realizó en un cromatógrafo de gases asociado a un detector de espectrometría de masas (Shimadzu QP-2010S) operando en el modo SIM; con un sistema de inyección “split/splitless” con una columna capilar de 30 m de longitud x $0,25 \text{ mm}$ de diámetro interno y una fase líquida HP5-MS de $0,25 \mu\text{m}$ de espesor, gas de arrastre Helio 5,0 a 1,0 mL/min, temperatura del inyector de 275°C e interface de 300°C ; el programa de temperatura en el horno de: 60°C (1 min); $12^\circ\text{C}/\text{min}$ hasta 150°C (0 min); $7^\circ\text{C}/\text{min}$ hasta 230°C (3 min); $5^\circ\text{C}/\text{min}$ hasta 265°C (0 min) y $20^\circ\text{C}/\text{min}$ hasta 300°C (4 min).

Los métodos analíticos estuvieron sujetos a procedimientos de control de calidad, en cada lote de análisis se incluyeron muestras de referencia (en el caso de organoclorados), blancos de reactivos y una serie de muestras fortificadas con cantidades conocidas de los analitos.

2.1.4 Hidrocarburos disueltos y dispersos

Las muestras de agua fueron tratadas, siguiendo los lineamientos establecidos en el manual de técnicas analíticas del INVEMAR (Garay et al., 2003a) y los manuales de la UNESCO (UNESCO/COI, 1984). El procedimiento se basó en dos extracciones sucesivas (líquido – líquido) con n-hexano y una separación posterior de la fase orgánica. El extracto obtenido se limpió con silica gel para eliminar interferencias y grasas. Los hidrocarburos aromáticos totales (HAT) se midieron fluorométricamente en un Espectrofluorómetro Shimadzu RF-5301 PC. Los resultados se cuantificaron con base a una curva de calibración externa generada a partir de soluciones estándar de criseno; las lecturas se realizaron con longitudes de onda de excitación de 310 nm y de emisión de 360 nm.

2.1.5 Metales traza

Para el análisis de metales pesados en aguas se aplicaron los procedimientos descritos en “Manual de Técnicas Analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos” (Garay et al., 2003a). Cada muestra de agua se trató con APDC (Amonio pirrolidin ditiocarbamato) y MIBK (Metilisobutil cetona) para extracción selectiva de los metales, seguido de re-extracción en fase acida con HNO₃ 2N. El extracto acuoso resultante, se transfirió a un balón volumétrico de 25 mL, aforando con solución de HNO₃ 2N. La cuantificación de agua se realizó mediante la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica con llama en un equipo marca Shimadzu, AA 6300.

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

En los 12 años de trabajo del Programa Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM, el sistema ha evolucionado pasando por varias etapas de lecciones aprendidas, que le han permitido al sistema REDCAM posicionarse como uno de los sistemas pioneros en su estilo no sólo en el país, sino que ha servido de modelo en otras iniciativas de cooperación, proyectos y países de Latinoamérica. En el 2012, se consolidaron las actualizaciones y mejoras que se venían realizando en los últimos años donde se mejoró la interfaz de estadísticas, las consultas de datos, el Geovisor de cartografía y se logró la vinculación del cálculo del indicador de calidad de aguas marinas – ICAM al sistema.

De igual forma se actualizaron en la base de datos los resultados del monitoreo 2012 con la información que generan todas las entidades nodos de la REDCAM, lo cual permite mantener integrados, actualizados, organizados y centralizados los datos del programa de monitoreo nacional de calidad del recurso hídrico marino-costero de Colombia, en un gran repositorio de datos central. La ventaja del sistema es que cada nodo desde su departamento puede ingresar y consultar datos de manera autónoma, porque está disponible en internet a través del portal del INVEMAR (www.invemar.org.co; Figura 2.2–1) y puede tener acceso a un escenario local, regional o nacional. Se puede ingresar a todos los servicios directamente desde portal del Sistema de Información Ambiental Marina – SIAM, para consultar sobre las estaciones de muestreo, listado de variables, módulo de estadísticas básicas y cartografía dinámica en línea, para ver la representación espacial de la calidad de aguas marinas y costeras de Colombia y calidad microbiológica de las playas, a través del link <http://siam.invemar.org.co/siam/redcam/index.jsp> (Figura 2.2–2).

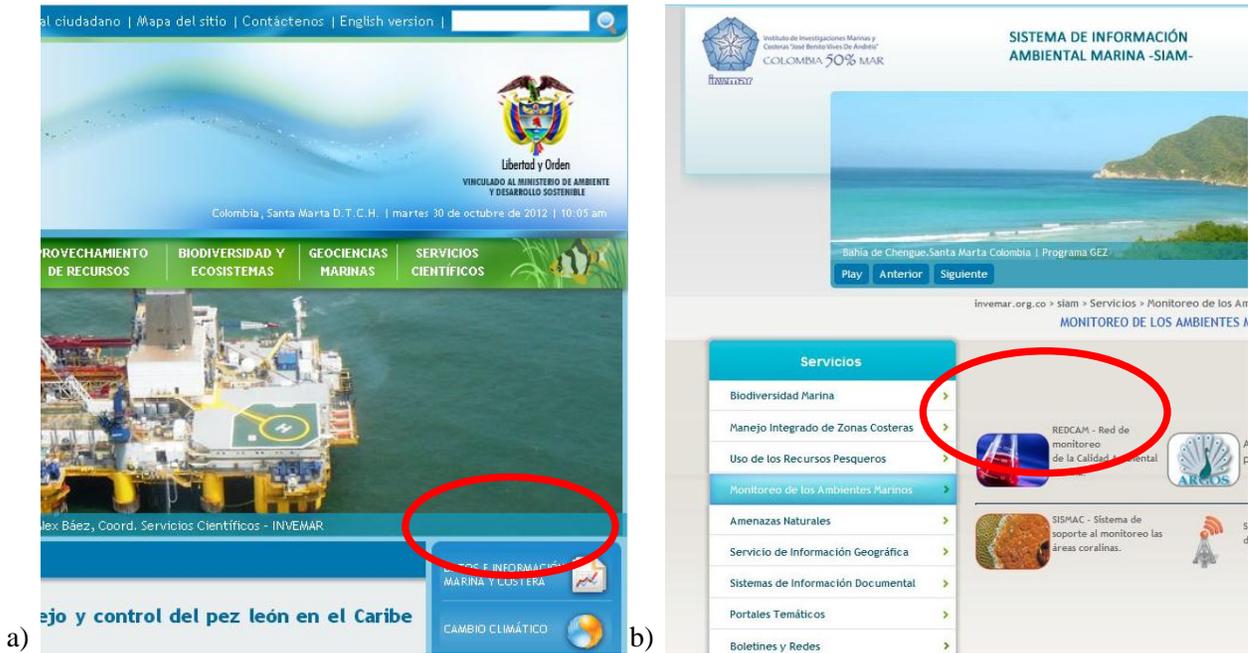


Figura 2.2-1. Página de acceso a los servicios del portal del Sistema de información ambiental marina (SIAM) de Colombia, donde se incluye la REDCAM

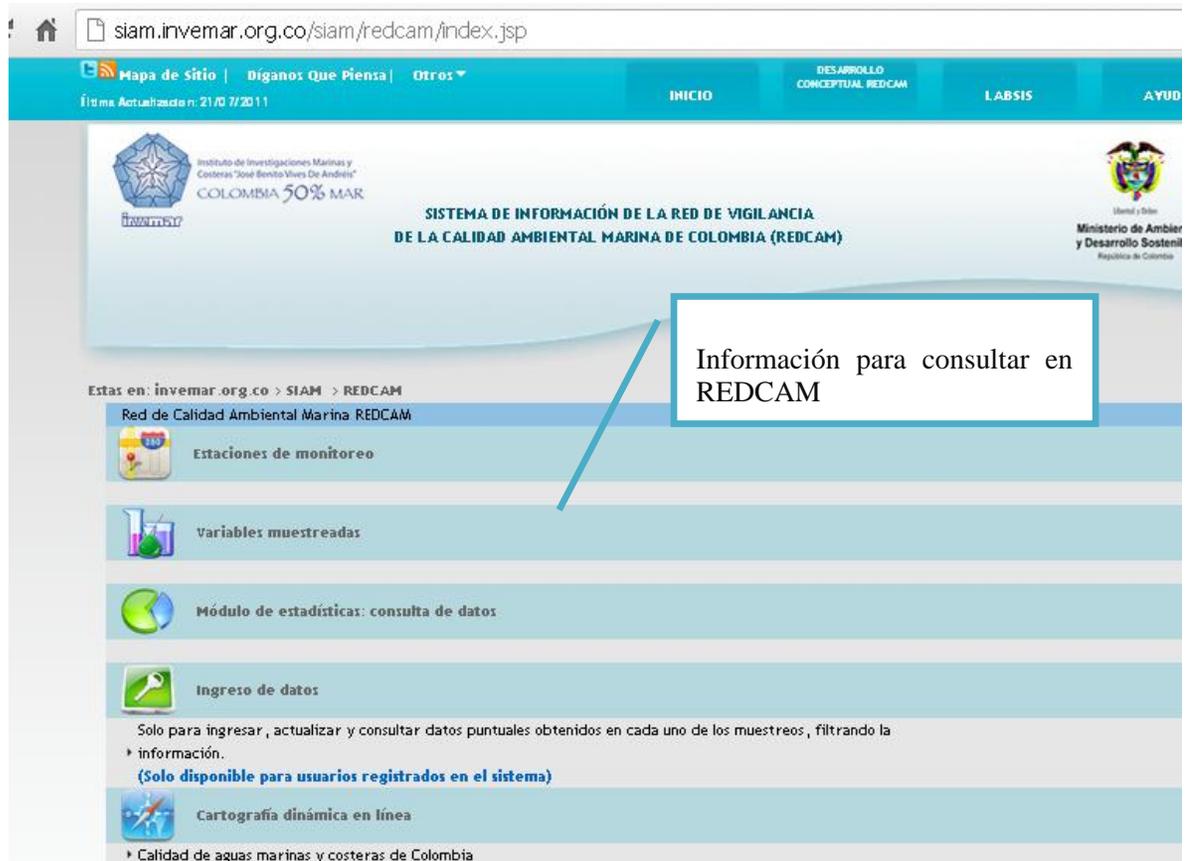


Figura 2.2-2. Consultas de información y productos de la Red de Vigilancia de la Calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM, vía Internet. www.invemar.org.co/siam.

A partir de septiembre de 2012 se consolidó una plantilla para la carga de datos, con la cual cada nodo puede ingresar sus propios datos desde cada corporación y con independencia del nodo central de INVEMAR, lo cual ayuda a optimizar el proceso y garantiza la cadena de custodia y seguridad de los datos (Figura 2.2–3).

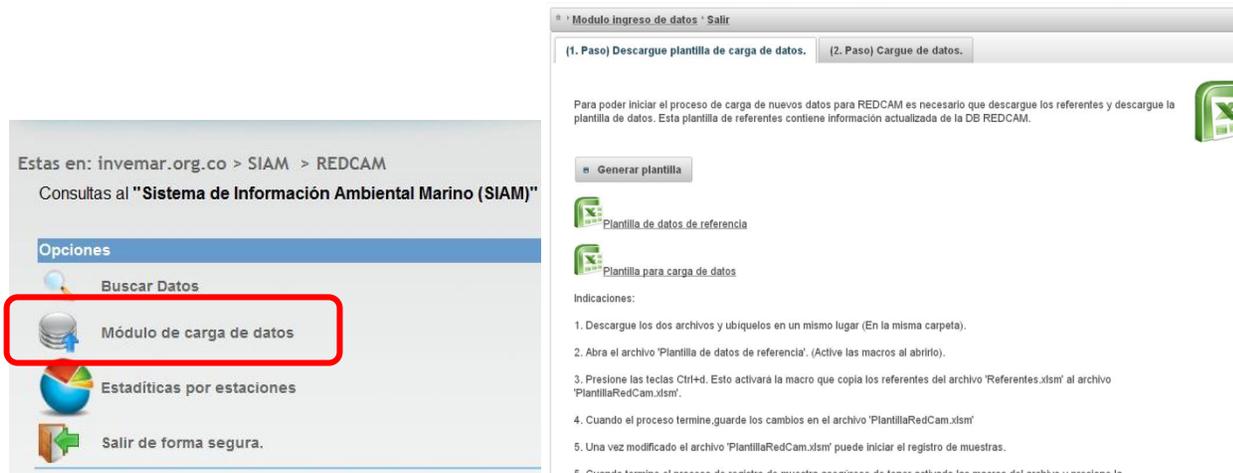


Figura 2.2–3. Nuevo módulo donde se baja y carga la plantilla para la carga de datos de los muestreos.

El sistema de información de la REDCAM contiene en la actualidad 264.311 registros de 102 variables reportadas en 14379 muestras correspondientes a 18 años de monitoreo no solo desde la operación del programa nacional en 2001, sino información aportada por los diferentes nodos que tenían información anterior a la REDCAM, en las 1028 estaciones de muestreo históricas y vigentes de los 12 departamentos costeros del Caribe y Pacífico colombiano (Tabla 2.2-1). Comparado con el año 2011 los registros almacenados incrementaron en un 9 % en la base de datos, dos puntos más que el año anterior, que creció el 7 %.

Tabla 2.2-1. Crecimiento del Sistema de información de la REDCAM en el 20012

Año de operación	Estaciones de muestreo	Muestras analizadas	Registros almacenados	Variables
2001	276	361	4515	42
2002	412	1376	18114	53
2003	779	5164	109230	56
2004	826	5974	122590	56
2005	826	6860	137042	57
2006	976	8595	164173	57
2007	976	9229	173734	57
2008	981	10324	191230	57
2009	981	11282	277564	57
2010	999	13198	222684	101
2011	1008	13293	239873	101
2012	1028	14379	264311	102

Toda la información que se refleja en el crecimiento de la base de datos (Tabla 2.2-1), se puede consultar en los servicios del sistema, el cual viene evolucionando con mayor agilidad en los últimos años, gracias a los avances y la ventaja de los nuevos paquetes tecnológicos. El sistema REDCAM ha venido actualizando los servicios de cartografía dinámica en el Geovisor para ofrecer a los usuarios una herramienta más operativa y amigable, y se cambió este año la interfaz del geoservicio y la de los parámetros monitoreados de *Calidad de Aguas Marinas y Costeras* (Figura 2.2-4). En el Geovisor REDCAM Colombia, se puede escoger la zona de estudio deseada en cualquier escala (nacional, regional, departamental o local), y sobre el mapa se puede incluir de forma interactiva las diferentes capas disponibles como las variables monitoreadas, estaciones de muestreo, coberturas terrestres, sistemas fluviales, ecosistemas marinos y costeros, la batimetría y los parques y reservas.



Figura 2.2-4. Geovisor REDCAM Colombia, mostrando la presentación de la nueva interfaz de búsqueda y selección de información.

En la consulta de las estaciones de monitoreo ahora se agregó el uso del visor de estaciones de GOOS, donde se visualiza la ubicación espacial de los sitios de muestreo, así como conocer cuáles de estas estaciones están activas/vigentes en la REDCAM diferenciadas con banderas de dos colores (Figura 2.2-5), además se puede descargar el listado de estaciones en formato Excel (Figura 2.2-6).

El módulo de estadísticas básicas también se actualizó, teniendo en cuenta como objetivo brindar al usuario una manera más ágil de evaluar las tendencias espaciales y temporales de los datos. Aunque esta información ya estaba clasificada y procesada en la base de datos desde el año 2005, no estaba disponible al público de manera comprensible, desde el 2012 el usuario puede revisar la clasificación de agregación de datos en una escala espacial y temporal, como se muestra en la Figura 2.2-7. Esta clasificación facilita la búsqueda en el módulo y le muestra en una ventana de ayuda para generar las estadísticas REDCAM, cual es el nivel que debe escoger el usuario dependiendo de la información que desee consultar (Figura 2.2-8).

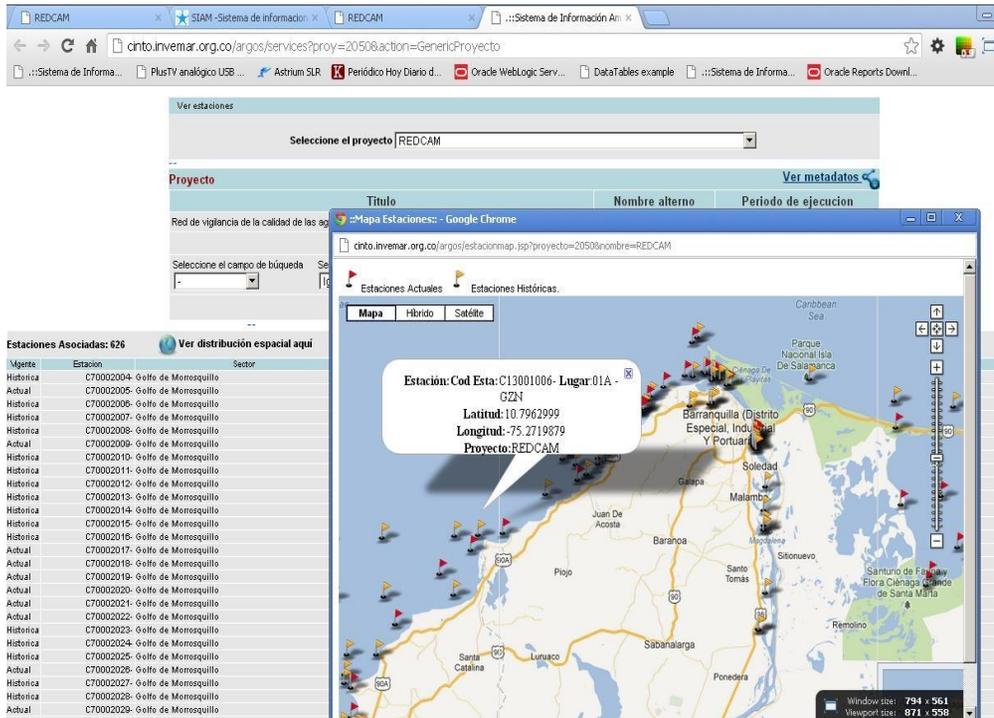


Figura 2.2-5. Visor de estaciones de GOOS.

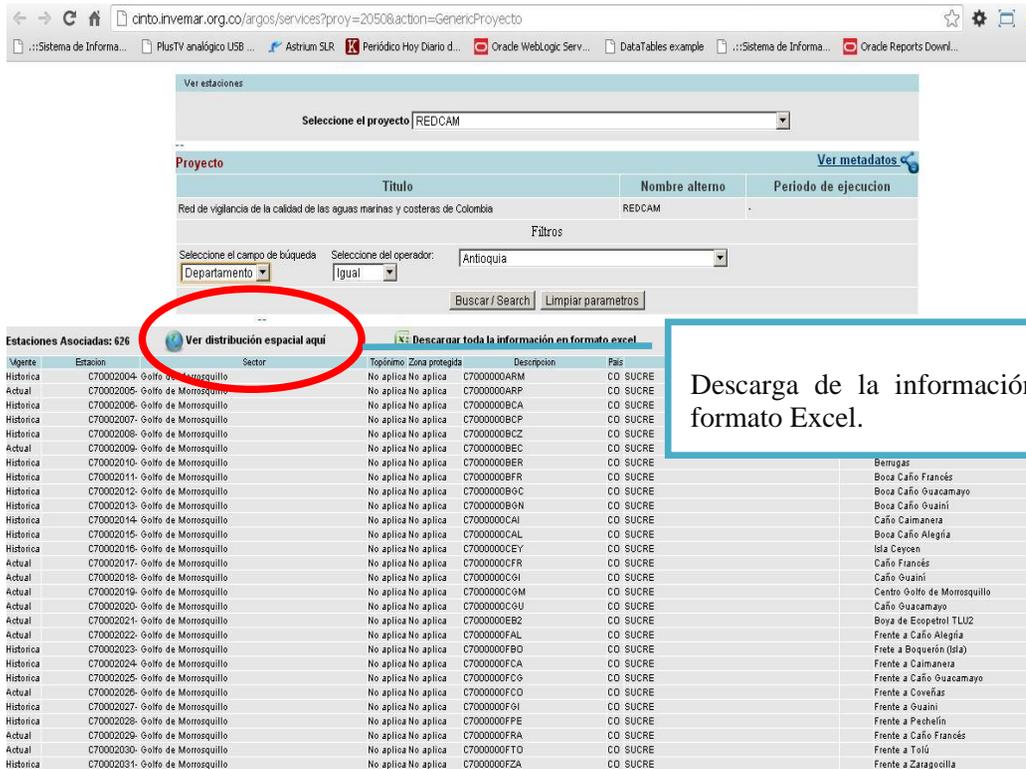


Figura 2.2-6. Link para descargar los datos en formato Excel.



Figura 2.2–7. Clasificación de niveles por agregación temporal y espacial.

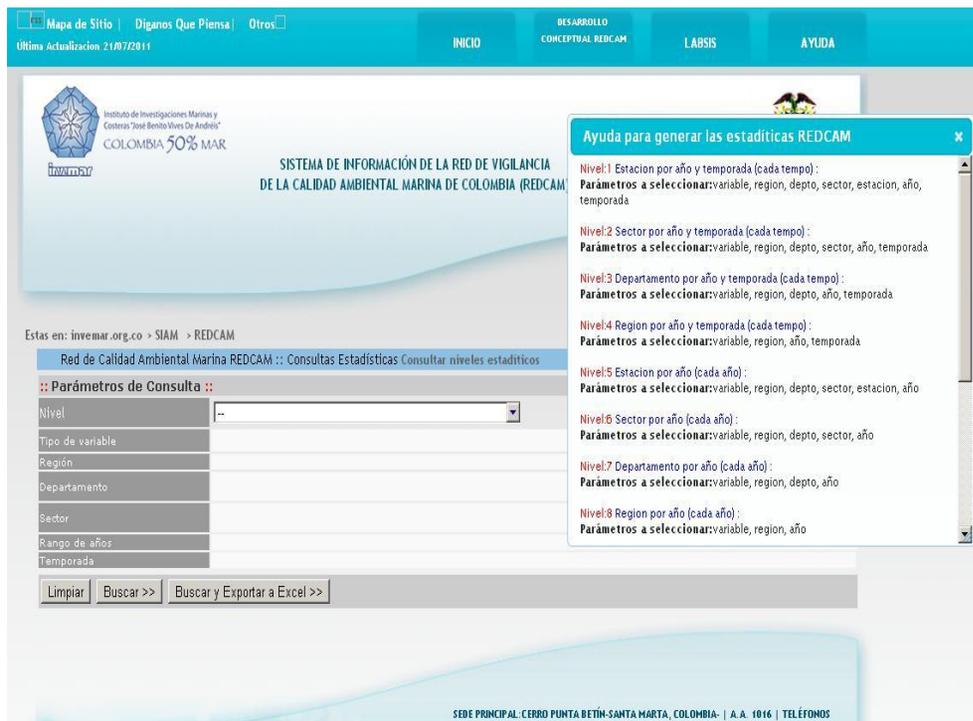


Figura 2.2–8. Módulo de estadísticas y ventana con la clasificación de niveles de agregación temporal y espacial disponibles para consulta de datos

2.3 CURSO DE CAPACITACIÓN Y TALLER REDCAM 2012

2.3.1 Curso-Taller REDCAM

Para el año 2012 se realizó el curso-taller “*Aplicaciones Estadísticas para el Análisis de Datos de la Calidad de Aguas*” dictado por el Lic. Sergio Chesniuk entre el 2 y 4 de octubre de 2012 en Santa Marta (Figura 2.3–1). El objetivo del curso fue capacitar al personal técnico involucrado con el monitoreo de

calidad de aguas nacional REDCAM, sobre la aplicación de técnicas estadísticas para el análisis de datos de calidad de aguas.

El día 5 de octubre, se llevó a cabo el taller de discusión de las actividades técnicas que se han venido desarrollando por cada una de las Entidades socias de la REDCAM y sobre las opciones de sostenimiento y planes de acción para cada uno de los departamentos costeros.



Figura 2.3-1. Desarrollo del curso “Aplicaciones Estadísticas para el Análisis de Datos de la Calidad de Aguas”.

El primer día se inició con la presentación del papel de la estadística en el ambiente, los fundamentos estadísticos y se mostraron ejemplos. Seguido a esto, se presentó la preparación de los datos, como se procede cuando hay problemas con los límites de detección y valores o datos faltantes; cuáles son los métodos estadísticos para detectar valores extremos, los resultados discrepantes cuando no pertenecen a un grupo de datos; y sobre la robustez de los datos que intentan proporcionar métodos que emulan a los métodos clásicos, pero que no son afectados por valores atípicos u otras pequeñas discrepancias respecto de la aceptación del modelo. Para finalizar el primer día se realizaron ejercicios y aplicaciones prácticas de los datos de la REDCAM usando el programa InfoStat.

El segundo día, se continuó con ejemplos de aplicaciones a los datos de la REDCAM, usando el programa InfoStat. Se explicaron los modelos y métodos de regresión que es una técnica para investigar y modelar la relación entre variables que pueden ser utilizadas para ajustar los datos. También se utilizaron pruebas estadísticas para explorar datos entre la media, mediana, promedio o desviación estándar y la desviación de las diferencias; así como pruebas estadísticas para evaluar la distribución normal de los datos.

Para finalizar el curso, se siguió con la temática de transformaciones de datos no lineales como son la raíz cuadrada, raíz de potencia, logarítmica, transformaciones lineales: Adición/sustracción, multiplicación/división, transformación del rango y correlaciones; los análisis de componentes principales (PCA) que es el paso inicial para un análisis multivariantes y análisis de factores que explican la variación en un conjunto de datos con múltiples dimensiones como los datos obtenidos en la REDCAM y se aprovecharon estas aplicaciones y conceptos a datos del monitoreo REDCAM.

2.3.2 Lanzamiento de nuevas herramientas en línea de la REDCAM (Geovisor y Estadísticas)

En el marco del curso taller 2012, INVEMAR presentó un resumen de la evolución del sistema de información que se viene desarrollando en los 11 años de trabajo del Programa Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM (Figura 2.3-2). El primer diseño

teórico se realizó en el año 2000, pero solo hasta el 2001 se creó el primer sistema operativo con los formularios de ingresos y consulta. Con todas las limitaciones de la tecnología de la época se avanzó en proporcionar estrategias para trabajar de forma coordinada entre los nodos y hacia el 2004 se desarrollaron los primeros módulos de consulta en línea y se implementó el primer geovisor dinámico; aunque este era poco robusto y poco amigable para el usuario, fue el primer prototipo de su clase en el país.

En el 2005 se desarrolló el módulo estadístico para evaluar las tendencias en varios niveles de agregación de información, en lo espacial desde estaciones de muestreo, sector, departamento, región y país, y en lo temporal desde la temporada o época climática, años y agregación histórica, teniendo en cuenta los tipos de agua (marina, estuarina o fluvial). Entre el 2005 y el 2010 se mejoró la interfaz de consulta de datos se inició la vinculación del cálculo del indicador de calidad de aguas marinas - ICAM (tablas y mapas) con la base de datos. Y por último, entre el 2011 y 2012 se actualizan y mejoran los servicios creando un nuevo módulo de cálculo del ICAM vinculado a los servicios de Manejo Integrado Costero y se reestructuró el portal del sistema de información SIAM y varios módulos, tanto el estadístico como el geovisor, mejorando su uso y funcionalidad.

En este mismo espacio, se hizo una demostración dinámica de los servicios de la REDCAM, consultando información como las estaciones de muestreo, las variables monitoreadas y el módulo de estadísticas donde se pueden consultar los diferentes tipos de agregación de información y clasificación de datos de la REDCAM. Para los nodos REDCAM se creó un servicio de acceso exclusivo restringido. Por último, se mostró el uso y funcionalidad del del geovisor donde se pueden consultar todos los servicios cartográficos que brinda el sistema de la REDCAM.



Figura 2.3–2. Lanzamiento de las nuevas herramientas y servicios del sistema de información del programa de monitoreo nacional REDCAM.

2.3.3 Socialización de actividades de los socios de la REDCAM

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Choco – CODECHOCO

CODECHOCO ha estado vinculada a la REDCAM desde el año 2001. En la zona costera del departamento del Chocó se tenían implementadas 22 estaciones de muestreo, a las cuales se sumaron 5 estaciones adicionales en Bahía Solano a partir del 2012. En la actualidad la Corporación no está llevando a cabo monitoreos en el Darién por dificultades de transporte, pero se tiene un convenio con CORPOURABA para abarcar esta zona. Adicional a las actividades de la REDCAM, CODECHOCO está desarrollando los siguientes proyectos relacionados con la Calidad Ambiental Marina y Costera (Figura 2.3–3a):

- Identificación y caracterización de vertimientos en Triganá, Capurganá, Acandí.

- Certificación de playas en conjunto con el sector hotelero (Bahía Solano, Triganá).
- Ampliación de zonas de monitoreo (Bahía Solano y Juradó).
- Capacitación del personal para realizar los propios análisis en campo.
- Certificación de playas en Bajo Baudó a largo plazo.

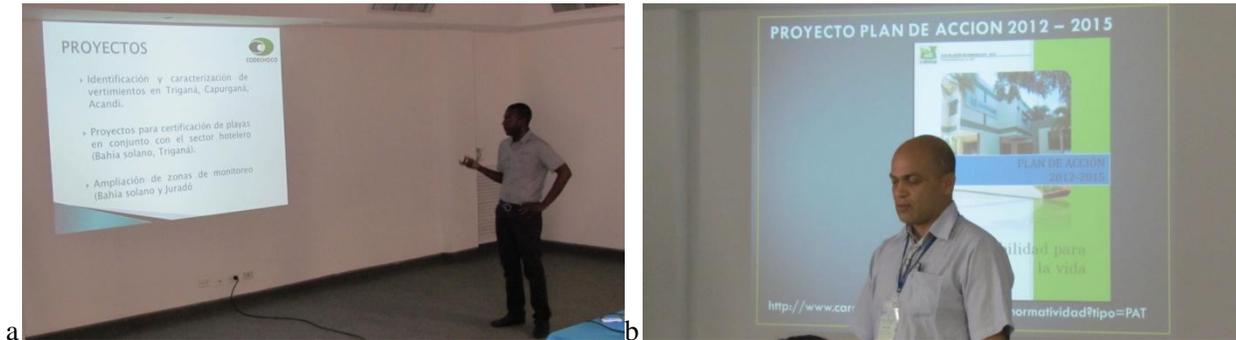


Figura 2.3-3. Socialización de proyectos (a) COECHOCO y (b) CARDIQUE

Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE

CARDIQUE se encuentra vinculada a la REDCAM desde el año 2001. En la zona costera del departamento de Bolívar hay 36 estaciones de muestreo. En este departamento la corporación realiza las actividades de campo y cuenta con laboratorios donde se realizan la mayoría de los análisis, con excepción de hidrocarburos y plaguicidas, los cuales se miden en INVEMAR.

A continuación se listan otros proyectos y actividades que viene realizando CARDIQUE (Figura 2.3-3a):

- Unidad Ambiental Costera y su Plan de Manejo Ambiental.
- Plan de Ordenamiento Ambiental de la bahía de Cartagena
- Modelo de Desarrollo Sostenible – AMP insular (Administración de CARDIQUE-Gobernabilidad- CS-CV)
- Programa de Humedales Insulares
- Programa de Restauración de Bosque Seco Insular
- POMCAS faltantes (vertiente bahía y vertiente Caribe)
- Actualización de POMCAS - Ciénaga de la Virgen, Canal del Dique
- Administración de la Ecorregión Estratégica costera Marina e Insular
- Recuperación Ambiental de Caños y Lagos de Cartagena Seguimiento al Emisario Submarino

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas – CIOH

El CIOH fue uno de los socios fundadores de la REDCAM en el 2001, sin embargo la actualidad no existe convenio de cooperación con INVEMAR, por lo cual los datos que genera el CIOH no están siendo ingresados a la base de datos REDCAM. El CIOH está desarrollando los proyectos de monitoreos y caracterización de cuerpos de agua en la bahía de Portete y desembocadura del emisario submarino de Punta Canoa, entre otros sitios (Figura 2.3-4a).

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge – CVS

La CVS ha estado vinculada a la REDCAM desde el 2001, cuenta con 34 estaciones. Adicionalmente, tiene otras estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales ubicadas en la cuenca de los ríos Sinú, San Jorge, Canalete, Broqueles. Desde el 2006, la CVS cuenta con el laboratorio de calidad de aguas, acreditado bajo la norma ISO 17025 ante el IDEAM, no obstante los análisis de calidad de aguas marinas y costeras los hace INVEMAR (Figura 2.3–4b).



Figura 2.3–4. Socialización de los proyectos (a) CIOH y (b) CVS

Corporación para el desarrollo sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina – CORALINA.

CORALINA está vinculada a la REDCAM desde el año 2001. Actualmente tiene 25 estaciones de monitoreo para hacer seguimiento a la calidad del agua marina y costera, con 15 estaciones en la isla de San Andrés y 10 estaciones en Providencia. A futuro esperan tener monitoreadas 18 estaciones en San Andrés, 12 estaciones en Providencia, 7 en Bolívar, 6 estaciones en Albuquerque, Roncador y Serrana, 5 en Quitasueño y 3 en Serranilla. CORALINA, cuenta con un laboratorio de calidad de aguas en el que se realizan mediciones básicas, los contaminantes (hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados) los realiza Invemar (Figura 2.3–5a).



Figura 2.3–5. Socialización de los proyectos de (a) CORALINA y (b) CARSUCRE

Corporación autónoma regional del Sucre – CARSUCRE

CARSUCRE se encuentra integrada en el programa REDCAM desde el año 2001. Sucre tiene 34 estaciones de muestreo en la zona marino-costera (Figura 2.3–5b). Adicionalmente a los muestreos de la REDCAM, CARSUCRE viene desarrollando los proyectos que se listan a continuación:

- Fortalecimiento del programa regional del recurso hídrico. (Aguas marino-costeras, aguas subterráneas, aguas meteóricas, aguas superficiales continentales)
- Manejo integrado de la UAC río Sinú – Golfo de Morrosquillo, Jurisdicción de CARSUCRE

Corporación para el desarrollo sostenible de Urabá – CORPOURABÁ

CORPOURABA está vinculado a la REDCAM desde el 2001. Cuenta con 26 estaciones de muestreo incluida una nueva estación en el DMI de Río Negro. Adicionalmente muestrea en 5 estaciones de la costa chocoana en el Caribe por el convenio con CODECHOCÓ y la ensenada de río Negro. CORPOURABA tiene su propio laboratorio, realiza la mayoría de análisis y el INVEMAR realiza los análisis de hidrocarburos. También, CORPOURABA cuentan con un grupo de apoyo mutuo por derrame de hidrocarburos y está realizando del plan de manejo de la UAC- Darién (Figura 2.3–6a).



Figura 2.3–6. Socialización de los proyectos de (a) CORPOURABA y (b) CORPOGUAJIRA

Corporación autónoma regional de La Guajira – CORPOGUAJIRA

CORPOGUAJIRA viene haciendo parte de la REDCAM desde el 2001. Tiene 32 estaciones de muestreo y cuenta con un laboratorio ambiental en el que se han venido realizando las mediciones de los parámetros básicos. A partir del 2012, se inició la medición de parámetros microbiológicos y se ha avanzado con las capacitaciones del cuerpo técnico del laboratorio y la validación de técnicas para de esta manera asumir de forma independiente, el monitoreo de la REDCAM (Figura 2.3–6b).

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC

La CVC se vinculó a la REDCAM desde el 2001. En la actualidad está monitoreando la calidad del agua en la Bahía de Buenaventura en 30 puntos, en otros 10 puntos de las playas de Juanchaco y Ladrilleros y en 15 puntos de los tributarios. Cuenta con laboratorio acreditado bajo la norma ISO 17025 y realizan sus propias mediciones. Adicionalmente a la REDCAM, la CVC realiza monitoreos intensivos en aguas continentales y sedimentos; monitoreo de calidad de vertimientos; y la determinación de bioacumulación de metales en organismos marinos en la Bahía de Buenaventura (Figura 2.3–7a).



Figura 2.3–7. Socialización de los proyectos de (a) CVC y (b) CORPONARIÑO

Corporación Autónoma Regional de Nariño – CORPONARIÑO

CORPONARIÑO hace parte de la REDCAM desde el 2001. Tiene 27 estaciones de monitoreo las cuales son muestreadas por INVEMAR con el acompañamiento de funcionarios de la Corporación que además apoyan logísticamente las salidas de campo. CORPONARIÑO no cuenta con laboratorios, por lo cual todos los análisis son realizados por INVEMAR (Figura 2.3–7b).

3. DIAGNOSTICO NACIONAL

3.1 FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN AL MAR

Uno de los problemas ligados al desarrollo sostenible de los países está relacionado con la escasez relativa del agua y el deterioro por parte del hombre, que en busca del desarrollo económico, no prioriza la protección del recurso hídrico, sino por el contrario maximiza su explotación desmesurada (IDEAM, 2010; IAvH, IDEAM, IIAP, INVEMAR, SINCHI, 2011). Dada esta situación, es obvio que la contaminación marina, está estrechamente relacionada con el aumento creciente de las poblaciones que habitan las zonas costeras y por ende el incremento de sus actividades socioeconómicas, juegan un papel importante en el deterioro de los recursos naturales (Vivas-Aguas et al, 2011), ya que afectan en menor o mayor medida la dinámica del medio marino, los ecosistemas, pobladores costeros y otras actividades conexas (Garay et al, 2001).

Las principales fuentes terrestres de contaminación al mar que se han identificado son los residuos domésticos, municipales, industriales, portuarios y las aguas de escorrentía agrícola procedentes de las cuencas hidrográficas a través de fuentes puntuales y fuentes no puntuales de contaminación, entre otros, que llegan a la zona costera en mayor proporción en temporadas de lluvias (Figura 3-1). Aunque no son una fuente propiamente dicha, los ríos que desembocan en el mar son una vía importante de transporte de los contaminantes que generan diversas actividades humanas en el continente y que por un inadecuado manejo, disposición o por procesos de escurrimiento llegan a las zonas costeras de Colombia (Garay y Vélez 2004; Tous et al, 2007; Vivas-Aguas et al., 2012). Otra actividad que ha cobrado gran importancia en los últimos años es la explotación, cargue y transporte marítimo de carbón, el cual ha generado diversas preguntas de investigación sobre su impacto, especialmente, en el corredor Ciénaga - Santa Marta donde confluyen cuatro puertos o terminales de carbón, alternados con actividades tan incompatibles como el turismo y el propio urbanismo, ya que se desarrollan muy cerca de la población (Tabla 3-1).

Tabla 3-1. Actividades humanas, usos de la zona costera, fuentes terrestres de contaminación y contaminantes que afectan la calidad del agua en Colombia. Fuentes de información: CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CIOH, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCO, CORPOURABÁ, CVC, CRC, CORPONARIÑO e INVEMAR.

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
San Andrés, Providencia y Santa Catalina	Dos asentamientos humanos costeros (San Andrés y Providencia), plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD), relleno sanitario y botadero a cielo abierto, pozos sépticos, explotación de acuíferos, actividad hotelera y turística intensiva, residuos sólidos, escorrentía superficial, planta eléctrica, transporte y tráfico marítimo, puertos y muelles, manejo de hidrocarburos, actividad pecuaria de pequeña escala, estaciones de servicio, mantenimiento de automotores, pequeños arroyos en las microcuencas de McBean, Baley y Fresh Water, los cuales aumentan sus caudales durante la temporada de lluvias.	Materia orgánica, nutrientes, aceites lubricantes, detergentes, microorganismos, residuos sólidos y aguas residuales domésticas.
La Guajira	Cuatro asentamientos humanos costeros (Riohacha, Dibulla, Manaure y Uribia), residuos sólidos, ARD, minería intensiva explotación y transporte de carbón, puerto carbonero (Puerto Bolívar), agricultura, termoeléctrica, transporte marítimo, estaciones de servicio, matadero de vacunos, alcantarillado de Riohacha, ríos Ranchería, Jerez, Cañas, Palomino, botaderos satélite a cielo abierto.	Materia orgánica, sólidos, agroquímicos, nutrientes microorganismos, residuos de carbón, aguas de sentinas, aceites y grasas, aguas térmicas hidrocarburos.
Magdalena	Cuatro asentamientos humanos costeros (Santa Marta, Ciénaga, Sitio Nuevo, Pueblo Viejo), actividad marítima y portuaria, transporte terrestre de carbón,	Materia orgánica, residuos sólidos, aguas residuales municipales, residuos de

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
	cargue y transporte marítimo de carbón en el corredor Ciénaga - Santa Marta, transporte y manejo de hidrocarburos, agricultura (banano), actividad turística y hotelera, emisario submarino, relleno sanitario, ríos Manzanares, Gaira, Córdoba, Toribio, Buritaca, Don Diego, Guachaca, Piedras y Mendihuaca, además del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta.	carbón, hidrocarburos, aceites lubricantes, microorganismos, sólidos en suspensión y disueltos agroquímicos.
Atlántico	Cinco asentamientos humanos costeros (Barranquilla, Puerto Colombia, Juan de Acosta, Piojó, Tubará), plantas de tratamiento de ARD, puerto fluvial, y marítimo, alcantarillado, relleno sanitario, aguas residuales domésticas, zona industrial vía 40 (metalúrgicas, químicas, farmacéuticos, cementeras, curtiembres, agroquímicos, procesadoras de alimentos y bebidas, textiles, etc), zona Franca, El río Magdalena recoge más del 70% de los desechos del país, con un alto arrastre de sedimentos y sustancias contaminantes. Las ciénagas de Mallorquín, Balboa y del Totumo son los principales cuerpos de agua de la zona costera del departamento.	Materia orgánica, residuos sólidos, nutrientes, desechos industriales, hidrocarburos, microorganismos, aceites lubricantes, sólidos en suspensión y disueltos agroquímicos.
Bolívar	Dos asentamientos humanos costeros (Cartagena y Santa Catalina), plantas de tratamiento de ARD, emisarios de emergencia, relleno sanitario, sector industrial de Mamonal y zona comercial de El Bosque, actividad marítima y portuaria, refinería, manejo de hidrocarburos, aportes de Canal del Dique.	Residuos sólidos, aguas residuales municipales, materia orgánica, arrastre de sedimentos, hidrocarburos, residuos oleosos, aceites y grasas, metales pesados, microorganismos, desechos industriales.
Sucre	Tres asentamientos humanos costeros (Tolú, Coveñas y San Onofre), 3 rellenos sanitarios con licencia ambiental (en Sincelejo, Corozal y Toluviejo) y un relleno manual en Sincé, minería (Piedra Caliza en Toluviejo y Palmito), actividad agropecuaria (arroz; pastos, coco, ganadería), maderera, fuentes municipales (aguas residuales domésticas, residuos sólidos), industria pesquera, camaronerías, zoológicos, actividad portuaria, terminal marítimo de Ecopetrol, muelle de Tolcemento, Zona de cargue de cemento y klinker, manejo y transporte de hidrocarburos, mataderos, estaciones de servicio. Aportes por corrientes naturales (Arroyos Pechelin, Villeros, Ciénaga la Caimanera, Caño Guainí, Zaragocilla, Guacamaya, Alegría.	Materia orgánica, sólidos en suspensión, agroquímicos, heces, residuos sólidos, aguas residuales, microorganismos, aguas de sentina, hidrocarburos, aceites y residuos oleosos, residuos de carbón, Klinker y yeso, metales pesados.
Córdoba	Seis asentamientos humanos costeros (Canaletes, San Antero, San Bernardo del Viento, Moñitos, Puerto Escondido, Los Córdoba), pozos sépticos, basurero a cielo abierto, agricultura (arroz) y ganadería intensiva, distrito de riego de Moncarí y Montería, turismo, residuos sólidos, aguas residuales domésticas, aportes por los ríos Sinú, Canaletes y Los Córdoba.	Materia orgánica, agroquímicos, heces, residuos sólidos, aguas residuales, microorganismos, sedimentos, nutrientes.
Antioquia	Cuatro asentamientos humanos costeros (Arboletes, San Juan de Urabá, Turbo y Necoclí), lagunas de oxidación, Residuos sólidos, aguas residuales domésticas, actividad portuaria en Turbo, cultivo de banano, aportes por corrientes naturales (Río Atrato), minería de oro, aportes de los ríos Caimán, Turbo, León y Atrato.	Materia orgánica, nutrientes, agroquímicos, plaguicidas, sólidos suspendidos, microorganismos, hidrocarburos, mercurio, sedimentos, residuos líquidos y sólidos
Chocó	Siete asentamientos humanos costeros (Acandí, Ungía, Triganá y Capurganá en el Caribe; Juradó, Bahía Solano, Nuquí, Bajo Baudó, San Juan en el Pacífico), minería de oro, turismo, transporte de pequeñas embarcaciones, actividad portuaria de menor escala, turismo, industria maderera, estaciones de servicio, comercio de combustible, aportes de los ríos San Juan, Valle, Nuquí, Jella y la quebrada Chocolatal.	Microorganismos, materia orgánica, nutrientes, agroquímicos, hidrocarburos, aguas residuales domésticas, residuos sólidos, plaguicidas, aceites usados, alquitranes para la inmunización de la madera, mercurio.
Valle del Cauca	Un asentamiento humano costero (Buenaventura), botadero a cielo abierto, actividad marítima y portuaria intensiva, Muelle petrolero, manejo y transporte de hidrocarburos y derivados del petróleo, industria maderera, pesquera, lixiviados, alcantarillado, emisarios de emergencia, turismo en La Bocana, Juanchaco y Ladrilleros, aportes de los ríos Anchicayá, Potedó, Raposo, Dagua, pequeños cultivos de pancoger, chontaduro y coco (Dagua).	Microorganismos, materia orgánica, residuos sólidos, sólidos, nutrientes, aguas residuales domésticas, desechos del procesamiento de productos pesqueros, plaguicidas, hidrocarburos, metales pesados, residuos oleosos, aguas de sentinas y slops.

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
Cauca	Tres asentamientos costeros (López, Timbiquí y Guapi), fuentes municipales, sistema de saneamiento básico precario, minería de oro, agricultura, aserrios, cocoteras, trapiches artesanales, industria maderera, producción de harina de pescado, almacenamiento y expendio de combustible, aportes de los ríos Timbiquí, Bubuey, Micay, Saija, Guajui y Guapi.	Microorganismos, materia orgánica, residuos sólidos, lixiviados, sólidos suspendidos, metales, nutrientes, agroquímicos, pesticidas, aceites y grasas, residuos de madera, aserrín, bagazo de caña, sedimentos.
Nariño	Siete asentamientos humanos costeros (El Charco, La Tola, Mosquera, Olaya Herrera, Santa Bárbara, Francisco Pizarro, San Andrés de Tumaco), fuentes municipales, alcantarillado, sistema de saneamiento básico precario, minería, agricultura (palma aceitera, coco), ganadería, transformación madera, industria pesquera, mataderos, camaronerías, extracción de material de arrastre de ríos, actividad marítima y portuaria, transporte de petróleo, aportes de los ríos Mira, Mejicano, Chagui, Rosario, Mira, iscuandé, Patía, Tapaje, Mataje y La Tola)	Residuos líquidos y sólidos, materia orgánica, aguas residuales (palma, camarones, productos pesqueros) estopa de coco, heces, sólidos en suspensión, microorganismos, nutrientes hidrocarburos, derivados de petróleo, aguas de sentinas, agroquímicos, plaguicidas, aceites y grasas, residuos de madera, aserrín.

Diferentes son los usos de la zona costera y las actividades de desarrollo económico y social presentes en cada departamento y que se relacionan con la contaminación de acuerdo a lo recopilado por la REDCAM (Tabla 3-1). Los residuos provenientes de estas actividades y las sustancias encontradas en el monitoreo de calidad de aguas han demostrado mayor incidencia sobre las aguas de la zona costera y los ecosistemas marinos. Por otro lado, la mayoría de los municipios costeros carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales, la cobertura de alcantarillado es baja y las alternativas de disposición más utilizadas son pozos sépticos, vertimiento directo sobre cuerpos de agua o canales de desagüe construidos sin mayor especificación técnica, limitando así la calidad del recurso hídrico y restringiendo su uso (SSPD, 2009b; DIRPEN, 2011; Vivas-Aguas *et al.*, 2012). Otra de las fuentes identificadas y más visible, son los residuos sólidos que en algunos municipios se disponen en rellenos sanitarios, en basureros a cielo abierto u otro tipo inadecuado de sistemas de disposición final como enterramiento y quema (Troncoso *et al.*, 2009).

3.1.1 Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas (ARD) son el tipo de vertimiento más común al mar en los municipios costeros de Colombia (MADS e INVEMAR, 2011). Estos residuos líquidos domésticos contienen material disuelto, en suspensión, materia orgánica, detergentes, sólidos, microorganismos de tipo fecal que aumentan la DBO₅ y su inadecuada recolección, tratamiento y disposición ha generado una creciente problemática de contaminación ambiental y sanitaria en el país (Troncoso *et al.*, 2009; IDEAM, 2010).

Los 4.8 millones de habitantes asentados en la zona costera (DANE, 2012) producen cerca 714.000 m³/d de ARD según la metodología UNEP-RCU/CEP (2010), de este volumen se estima que el 34% es vertido sin un adecuado tratamiento previo directamente en cuerpos de agua superficial, y su impacto sobre el ambiente depende en cierta medida de los sistemas de tratamiento de agua residual (STAR) instalados en cada municipio y la cobertura de alcantarillado. No obstante, la gran mayoría de poblaciones costeras no cuentan con STAR y su cobertura de alcantarillado es baja (Figura 3-2; Tabla 3-2), incrementando la problemática de contaminación hídrica en las zonas costeras, dado que las ARD vienen cargadas de diversos tipos de sustancias contaminantes (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

La carga estimada en el 2012 proveniente de los municipios fue de 30.270 t/año de materia orgánica representada en DBO₅ y 60.539 t/año de DQO; además de 7.265 t/año de Nitrógeno; 484 t/año de fosfatos; 30.269 t/año de Sólidos Suspendidos y 1,2 E + 20 NMP/año de Coliformes, donde la costa Caribe aporta

el 70,76 % y el Pacífico aporta el 29,24 %. Cartagena de Indias en el Caribe aportó la mayor carga con 3.433 t/año de DBO₅; 6.866 t/año de DQO; 824 de Nitrógeno; 54,93 t/año de Fosforo; 3.424 t/año de Sólidos Suspendedos Totales y 1,4 E + 19 de NMP/año de coliformes; en orden de importancia le sigue Tumaco, Buenaventura y Santa Marta.

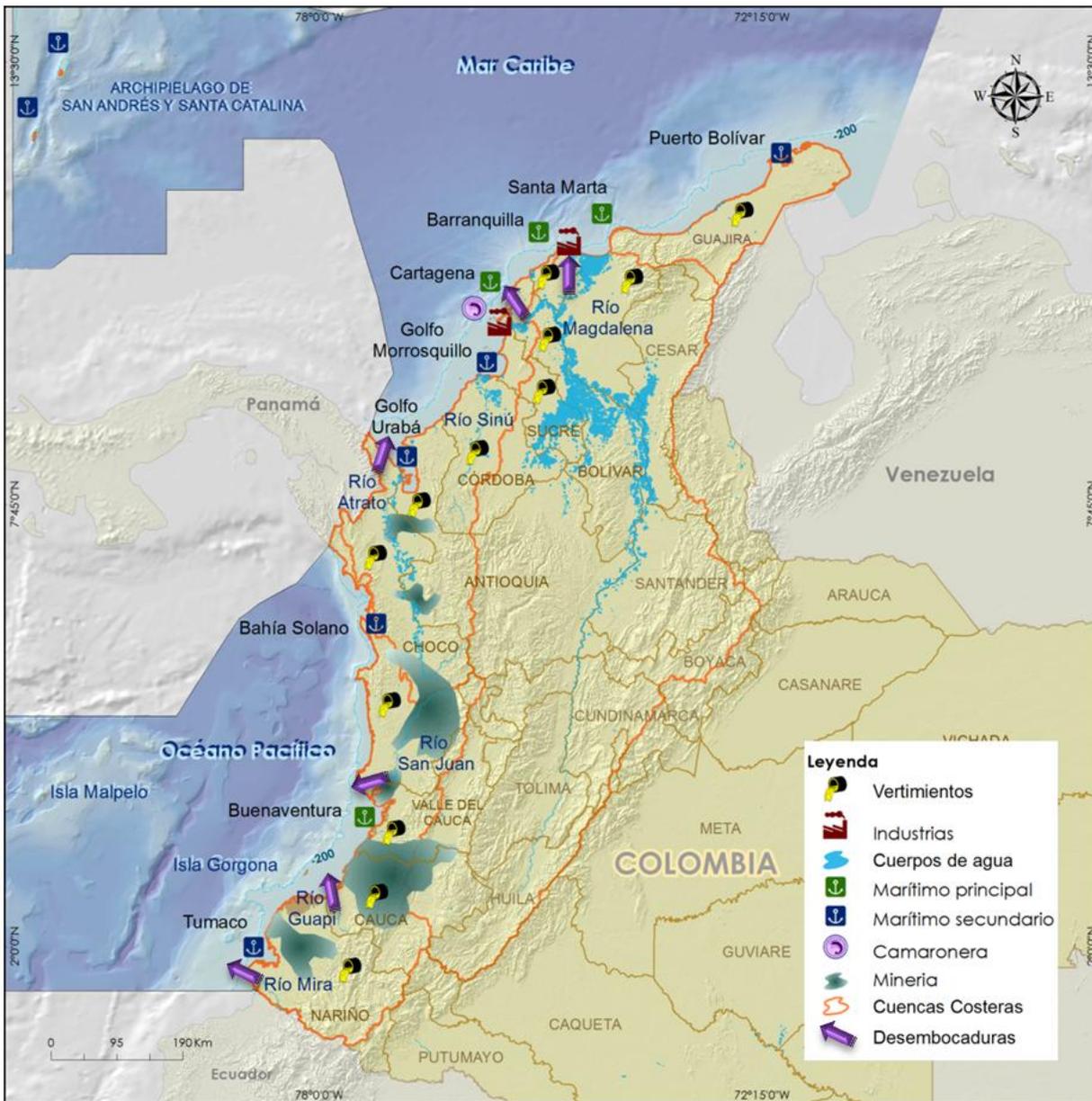


Figura 3-1. Principales fuentes terrestres de contaminación que llegan a las aguas marinas y costeras de Colombia. Fuente: IGAC, 2002; Supertransporte, 2008; DANE, 2011.

En la Tabla 3-2 se identifican los sistemas de tratamiento en los municipios costeros del Caribe colombiano donde el tipo de STAR predominante son las lagunas de oxidación y estabilización, el cual se emplea en comunidades rurales o pequeñas, que por su flexibilidad, bajo costo de inversión, operación y mantenimiento es una opción para el tratamiento de aguas residuales (Mindesarrollo, 2000).

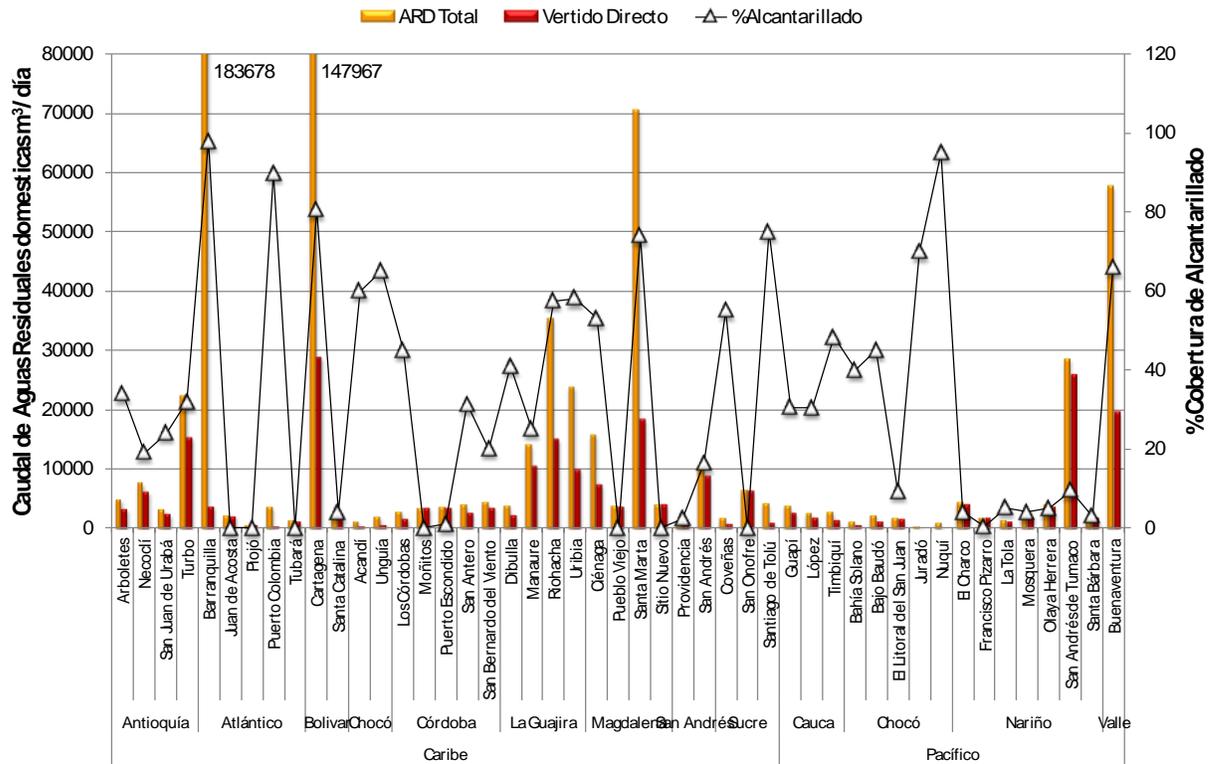


Figura 3-2. Caudal estimado de vertido de aguas residuales domésticas – ARD y cobertura de alcantarillado en los municipios costeros del Caribe y Pacífico colombiano, es de resaltar los picos en grandes centros urbanos. Fuente caudal: cálculo Invepar, UNEP/UCR/2010. Población y cobertura alcantarillado: DANE 2011, SSPD según censo 2005, Federación Colombiana de Municipios, 2012; CORPOGUAJIRA, 2012; CORPOURABA, 2012; CORPAMAG, 2012.

Tabla 3-2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes en diferentes municipios costeros del Caribe. Fuente: Consejo municipal de Los córdobas, 2008; Consejo municipal de Puerto Escondido, 2008; Vivas-Aguas et al., 2010; INVEMAR y MADS, 2011; Consejo municipal de Canaletes, 2012; Consejo municipal de San Antero, 2012; SUI, 2012; CORPOGUAJIRA, 2012; CORPOURABA, 2012; CORPAMAG, 2012; CARSUCRE, 2012; CVS, 2012.

Municipio	Producción residuos sólidos (t/mes)	Cobertura de Aseo %	Cobertura de Acueducto %	Cobertura de Alcantarillado %	Sistema de tratamiento de Aguas Residuales
San Andrés	-	-	45,6	12,5	Emisario Submarino
Providencia	-	-	73,1	5,2	PTAR
Riohacha	176	60,4	72,1	57,6	PTAR
Dibulla	-	-	54,6	14,6	Laguna de Retención
Manaure	-	-	10,6	13,5	Laguna de Oxidación
Uribia	-	-	3,5	5,2	Laguna de Oxidación
Santa Marta	11.482	99	87	74	Emisario Submarino
Ciénaga	1800	93	87	53	Laguna de Oxidación
Sitio Nuevo	91	0	0	0	poza septica
Pueblo Viejo	159	40	0	0	poza septica
Barranquilla	1184	100	99	98	Laguna de Oxidación
Puerto Colombia	16,23	99	99	90	Laguna de Estabilización
Juan de Acosta	4,7	95	83	0	No tiene
Piojó	2,03	85	99	0	No tiene
Tubará	4,39	95	99	0	No tiene
Cartagena	*21900	100	89,6	76,7	Emisario Submarino

Municipio	Producción residuos sólidos (t/mes)	Cobertura de Aseo %	Cobertura de Acueducto %	Cobertura de Alcantarillado %	Sistema de tratamiento de Aguas Residuales
Santa Catalina	*60	0	82	0	No tiene
Tolú	750	89	92	75	Laguna de Estabilización
Coveñas	186,6	90	85	55	Laguna de Estabilización
San Onofre	480	89	92	75	Laguna de Estabilización
San Antonio de Palmito	60	91	95	87	Laguna de Estabilización
San Antero	32,4	-	61,8	31,3	Laguna de Oxidación
San Bernardo del Viento	16,2	-	31,1	20	Laguna de Oxidación
Moñitos	6,3	-	32,6	0	No tiene
Puerto Escondido	5,1	-	24,2	1	No tiene
Canaletes	4,1	-	36,8	45	Laguna de Oxidación
Los Córdoba	9,3	-	21,8	45	Laguna de Oxidación
Arboletes	243	45	52,4	33,8	Laguna de Oxidación
Necoclí	348	80	38,4	18,9	Laguna de Oxidación
San Juan de Urabá	-	95	39	24,1	Reactor UASB
Turbo	1646	50	44,3	30,9	Laguna de Oxidación
Acandí	-	-	69	29,3	-
Bahía Solano	-	-	83,4	32,1	-
Bajo Baudó	-	-	28,6	10,6	-
Juradó	-	-	20,6	2,5	-
Nuquí	-	-	74,1	12,8	-
San Juan	-	-	27,3	16,7	-
Ungía	-	-	48,5	21,7	-
Buenaventura	-	-	76,1	59,9	-
Guapi	-	-	17,2	16,1	-
López	-	-	30,4	29,5	-
Timbiquí	-	-	25,4	15,7	-
El Charco	-	-	5,1	1,2	No tiene
Francisco Pizarro	-	-	41	1	No tiene
La Tola	-	-	3,3	0,4	No tiene
Mosquera	-	-	4,7	1,1	No tiene
Olaya Herrera	-	-	23,8	5,1	No tiene
San Andrés de Tumaco	-	-	29,2	5,7	No tiene
Santa Bárbara	-	-	1,2	0,4	No tiene

3.1.2 Vertimientos Industriales

Los principales sitios de descarga de vertimientos industriales y portuarios al mar se encuentran en Cartagena (zona industrial de Mamonal), Buenaventura y Tumaco; pero no se pueden desconocer otras áreas de interés industrial como Barranquilla (vía 40) que aunque su principal receptor es el Río Magdalena, el área de influencia es muy cercana al mar, Santa Marta (corredor portuario) la zona noroccidental del departamento de La Guajira, el municipio de Ciénaga en el Magdalena y el Golfo de Urabá en Antioquia (INVEMAR-MADS, 2011).

Según la información del proyecto de vertimientos al mar (INVEMAR-MADS, 2011), de las 157 empresas analizadas que descargan sus efluentes residuales a las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico, el 20,4% realizan la actividad de disposición de aguas residuales municipales y el 24,2% son un conjunto de actividades como el manejo de carnes (3,8%), productos pesqueros (4,5%), cría de animales (7,6%), cultivos (3,8%), y de servicios conexos al suministro de combustible (4,5%; Figura 3-3), todas estas pertenecientes a 46 grupos de actividades económicas diferentes según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme-CIIU.

Adicionalmente, se identificó que el 9,5 % de los vertimientos provienen de la actividad hotelera y turística (7 %), centros vacacionales y balnearios turísticos (2,5 %); y que el 6,4 % lo producen las industrias petroleras y sus derivados de efluentes de la extracción de petróleo crudo (3,2 %) y de industrias derivadas como la elaboración de formas básicas de plástico (3,2 %).

3.1.3 Descarga de ríos

Los ríos y las escorrentías urbanas son la principal vía de entrada de contaminantes hacia las costas y mares que pueden ocasionar cambios en el litoral (sedimentos) y ecosistemas (nutrientes y elementos tóxicos) debido al impacto de las actividades humanas que se generan al interior del continente y en la parte alta de las zonas hidrográficas (Escobar, 2002; Restrepo *et al.*, 2005; Restrepo *et al.*, 2006). Los resultados del monitoreo en el año 2011 mostraron que 40 de los tributarios más importantes por su caudal descargaron un total de 16.027 m³/s de aguas cargadas con diferentes residuos y sustancias contaminantes (Tabla 3-3). Siendo los ríos Magdalena, el Atrato, el Canal del Dique y el Sinú, en el Mar Caribe, y el San Juan, el Mira, el brazo Patía y el Guapi en el Océano Pacífico, los tributarios más importantes por las amplias zonas de drenaje de sus cuencas, caudal y las descargas contaminantes a las aguas costeras.

Los 40 tributarios en conjunto descargaron en total 240.980 t/año de nitrógeno inorgánico disuelto, 22.928 t/año de fósforo inorgánico, 999 t/año de residuos de hidrocarburos, 8,9 x 10⁸ t/año de sólidos suspendidos totales y 5,5 x 10²⁴ de microorganismos fecales. En el 2011 los mayores aportes de nitrógeno inorgánico disuelto se reportaron en los ríos San Juan (111.859 t/año), Magdalena (50.322 t/año) y Atrato estación Matuntugo (52.368 t/año), debido al caudal que aportan, las amplias áreas de drenaje, la cantidad de sedimentos transportados, los fertilizantes utilizados en las riveras del río Magdalena y por las descargas de aguas residuales que son fuente principal de nitrógeno (Restrepo *et al.*, 2006; CORMAGDALENA, 2007).

La carga de fósforo inorgánico fue más alta en los ríos Magdalena (12.047 t/año), San Juan (2.617 t/año) y Canal del Dique (1.684 t/año). Así mismo la mayor carga de sólidos se registraron en los ríos Magdalena (5 x 10⁷ t/año), por el área de drenaje de la cuenca que influye en el aumento de la concentración de sedimentos y por los aportes que recibe de los tributarios que desembocan en su cuenca a lo largo del país, por ejemplo el río Cauca que es la segunda arteria fluvial más importante del país (Restrepo *et al.*, 2005 y CORMAGDALENA, 2007); seguido del río San Juan y el León con 2 x 10⁷ y 4 x 10⁶, respectivamente. La mayor contaminación fecal la aporta los ríos Atrato Matuntugo (2,1 x 10²⁴ NMP/año), Magdalena (9,4 x 10²² NMP/año) y el río León (3,9 x 10²¹ NMP/año), probablemente los altos valores se asocian a los vertimientos no controlados de las aguas residuales domésticas las cuales se caracterizan por tener altas cargas de Coliformes termotolerantes y totales. En términos de hidrocarburos el río Magdalena es el que mayor carga aportó con 659,7 t/año, cuya descarga puede estar asociada al transporte de este material a través del río, desde la refinería de Barrancabermeja hasta el canal del Dique (CORMAGDALENA, 2009), seguido del río Sinú (249,74 t/año) y el río San Juan (41,10 t/año).

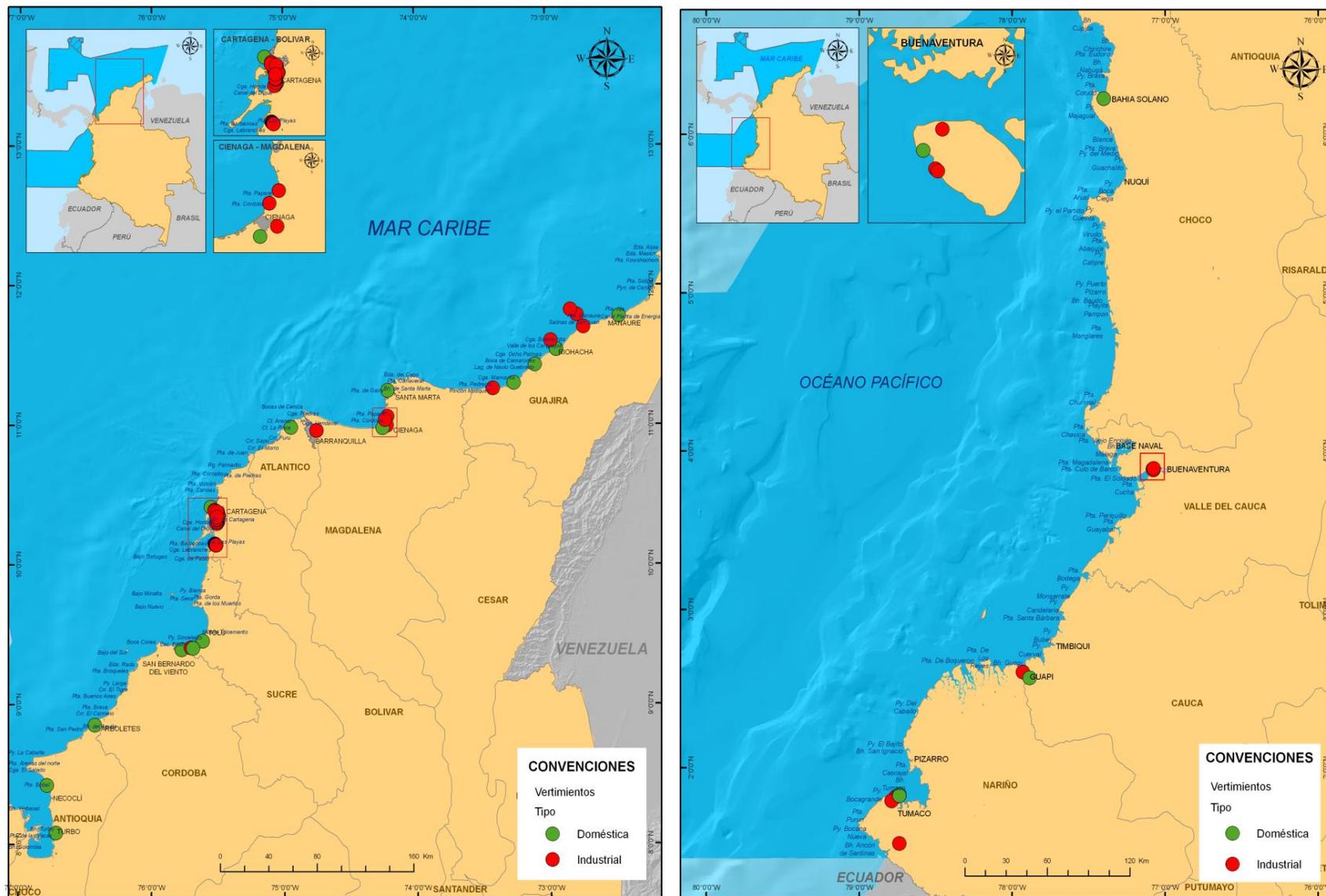


Figura 3-3. Distribución geográfica de los vertimientos puntuales al medio marino reportados por las Autoridades Ambientales Costeras competentes en la zona costera del Mar Caribe (a) y Océano Pacífico (b) colombiano. Tomado de INVEMAR-MADS, 2011.

3.2 CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

En los últimos años el uso de indicadores para facilitar la interpretación de los resultados de calidad del agua es más utilizado y divulgado a nivel masivo. En el caso del recurso hídrico marino-costero la Red de vigilancia REDCAM viene evaluando los cambios en la calidad hace varios años, con el índice de calidad marinas y costeras (ICAM), el cual permite cuantificar el estado de conservación o deterioro de este tipo de aguas, de acuerdo a sus características medidas en un lugar y tiempo específico. Desde el 2011 se está utilizando una nueva formulación del ICAM con sólo ocho variables, asumiendo un mayor alcance regional y nacional, acorde con las metas de la Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la Gestión Integrada del Área Costera (SPINCAM) implementada en los países de Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Chile (INVEMAR, 2011b).

El nuevo ICAM utiliza de manera integral (ecuación 1) las ocho variables mínimas oxígeno disuelto, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos, hidrocarburos disueltos y dispersos, y Coliformes termotolerantes (Vivas-Aguas, 2011), como determinantes de procesos naturales y antropogénicos en aguas marino-costeras. Cada variable se califica por la concentración medida, según sus valores de aceptación o de rechazo que debe cumplir con los estándares preestablecidos y considerados aptos para proteger el hábitat de una especie o ecosistema costero (Beamonte *et al.*, 2004; Bianucci *et al.*, 2005). Esta calificación se ajusta a las curvas de calidad con valores entre 0 y 100 de acuerdo a la escala de descriptiva para preservación de flora y fauna (ICAM_{PF}) en aguas marino-costeras (Tabla 3-4).

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

Donde:

ICAM = es la calidad del agua en función de la concentración e importancia de cada una de las variables.

X_i = subíndice de calidad de la variable i

W_i = factor de importancia para cada subíndice i , según su importancia en el ICAM, el cual se pondera entre cero y uno (valor de importancia).

Tabla 3-4. Escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas – ICAM. Tomado de Vivas-Aguas, 2011.

Escala de calidad	Categorías	Descripción
Óptima	100-90	Calidad del agua deseada
Adecuada	90-70	Buenas condiciones y pocas limitaciones
Aceptable	70-50	Conserva buenas condiciones pero muchas limitaciones
Inadecuada	50-25	Presenta muchas limitaciones y desventajas
Pésima	25-0	Las desventajas superan las ventajas

En el muestreo de la época de lluvias 2011 los 162 índices calculados mostraron que el 2 % (3) de los ICAM_{PF} estuvieron dentro de la calificación de calidad *óptima*, de los cuales dos casos se presentaron en Sucre y Chocó (Figura 3-4). El 80 % (131) de los ICAM_{PF} estuvo en las categorías *adecuada* y *aceptable*; el 12 % (19) mostraron características *inadecuadas* y sólo el 6 % (9) una *pésima* calidad en estaciones ubicadas en los departamentos de Antioquia (5), Atlántico (1), Bolívar (2) y La Guajira (1). Mientras que

En la región Pacífica, aunque no se presentaron sitios con *pésima calidad* del agua como en el Caribe, varios sitios si presentaron características *inadecuadas* con índice entre 33.9 y 46.7 en los frentes de los ríos Anchicayá, Dagua y San Juan sobre la Bahía de Buenaventura (Valle del Cauca) en la época lluviosa de 2011, recurrentes con los índices de muestreos anteriores. En Nariño las estaciones del puente el Pindo y la playa de Sala Honda en ambas épocas climáticas; en los esteros Jurubidá (ambas épocas) y Tribugá, la playa Nuquí y en Bahía Solano en la época seca de 2012; y en el Cauca la estación frente al río Saija fue la única con inadecuada calidad del agua. Conociendo que las características oceanográficas del pacífico son diferentes al Caribe, el análisis mostró que son las mismas variables las que determinaron los sitios con inadecuada calidad como altas concentraciones de coliformes termotolerantes, sólidos suspendidos y nitratos (INVEMAR, 2012).

Costa Caribe



Parque Nacional Natural Corales del Rosario – Foto. Janet Vivas

4. DIAGNÓSTICO REGIONAL COSTA CARIBE

La zona costera del Caribe colombiano, se encuentra entre los 78.5° y 74.5° de longitud Oeste, y los 13° y 10° de latitud Norte (Tous-Herazo et al., 2007). Comprende una zona costera continental que incluye los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia; y una zona costera insular representada por el Departamento de San Andrés y Providencia.

La zona costera del Caribe colombiano se caracteriza por presentar unas condiciones ambientales específicas que la hacen actualmente centro de las principales industrias y puertos colombianos, lo cual la convierte en un área de gran importancia desde el punto de vista ambiental y de características únicas para las comunidades que allí se desarrollan (Tous-Herazo et al., 2007).

El Caribe colombiano posee casi en su totalidad todos los ambientes y ecosistemas marinos de la región del Atlántico occidental tropical como los arrecifes coralinos, praderas de pastos marinos, manglares, estuarios, lagunas costeras, fondos sedimentarios, playas, costas rocosas y arenosas que constituyen sus principales fuentes de vida y productividad. No obstante, estos ecosistemas se han visto alterados por las actividades humanas, tanto en las zonas costeras como en el sistema marino mismo, que se planifican y ejecutan sin suficiente manejo ambiental de los impactos que generan sobre la base ambiental, convirtiéndose en las principales causas de pérdida de la biodiversidad (Posada et al., 2012).

El clima del Caribe colombiano, es modulado por la posición geográfica de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que es un cinturón semicontinuo de bajas presiones que rodea el planeta cerca al Ecuador y ejerce control importante en los campos de viento y precipitación (Andrade, 2001). El ZCIT se ubica entre los 10° a 12° de latitud Norte, cuando el hemisferio norte se encuentra en verano (junio), hasta los 05° de latitud Sur, cuando el hemisferio norte se encuentra en invierno (diciembre). Por esta razón, en el Caribe se presenta la época seca de diciembre a abril, cuando la ZCIT reside en su posición más al sur y los vientos Alisios del noreste dominan el área, con velocidades medias diarias de 8 nudos. La época de transición, entre abril y junio, en la cual los vientos del este se debilitan y aparecen algunas precipitaciones en las costas colombianas. Y la época lluviosa, desde mediados de agosto hasta noviembre, cuando la ZCIT se ubica hacia los 12 grados de latitud Norte, permitiendo que vientos del sur que son débiles en el mar Caribe, crucen el Istmo de América Central, alcanzando el litoral continental del Caribe colombiano. Estos vientos se encuentran asociados a la tasa más alta de precipitación durante el año (Tous-Herazo et al., 2007).

Con el propósito de hacer el seguimiento a la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe colombiano durante las épocas climáticas lluviosa 2011 y seca 2012, se midieron las variables de calidad in situ temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH y se recolectaron muestras de agua para los análisis de nutrientes inorgánicos disueltos, sólidos suspendidos totales y contaminantes microbiológicos y químicos (hidrocarburos del petróleo, plaguicidas y metales pesados) en una red de 205 estaciones (ver mapas departamentales).

La temperatura superficial del mar en la zona costera del Caribe colombiano, osciló entre 22 y 34 °C. Las mayores temperaturas se registraron durante las épocas de lluvia y las más bajas en la época seca principalmente en la zona costera de los departamentos de La Guajira y Magdalena, donde se presentan los dos focos de surgencia más importantes del Caribe colombiano. En las demás zonas costeras del Caribe los valores de temperatura más bajos no superaron los 25°C. Cabe destacar que en las zonas de San Andrés y Providencia, el Parque Tayrona (departamento del Magdalena) y en las Islas del Rosario, donde hay formaciones coralinas, la temperatura durante la época de lluvias del 2011 estuvo por encima de los 30°C, que puede tener efectos negativos sobre los corales, ya que el blanqueamiento está asociado a aumentos de temperatura por encima de dicho valor (Vega-Sequeda et al., 2011; Hoegh-Guldberg, 1999).

La salinidad en las zonas costeras es altamente variable ya que depende de los cambios en el régimen de lluvias y periodos de sequía, y de procesos oceanográficos como la surgencia que se activa por acción de los vientos Alisios, produciendo el desplazamiento de la masa de agua superficial y el ascenso de aguas subsuperficiales que tienen mayor salinidad (García *et al.*, 2012). Durante la época lluviosa del 2011 y seca del 2012, se observaron cambios significativos de la salinidad en aquellas estaciones influenciadas por descargas de aguas dulces, como los frentes de los ríos en todos los departamentos del Caribe continental, desde cero hasta 38,3. En la zona de San Andrés, si bien se observó una pequeña variación de la salinidad entre la época lluviosa y la época seca, este cambio no sobrepasó 1 unidad en ninguna estación.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua de mar está regulada por el intercambio con la atmósfera y la producción y consumo durante los procesos biológicos de la fotosíntesis y degradación de la materia orgánica (Emerson y Hedges, 2008). Debido a su importancia en estos procesos biológicos, las aguas naturales deben tener un contenido de oxígeno disuelto de entre 4 y 5 mg/L, por debajo de estos valores los organismos acuáticos más sensibles se ven afectados en sus procesos biológicos (EPA, 2002). Adicionalmente, de acuerdo con la Legislación Nacional (Decreto 1594 de 1984), la menor concentración de oxígeno disuelto permitida con propósitos de preservación de fauna y flora es (4 mg/L). En el Caribe colombiano, las concentraciones de oxígeno disuelto durante las épocas climáticas lluviosa 2011 y seca 2012, oscilaron entre valores entre 5 y 9 µg/L, con algunos valores por debajo del límite permisible (4 µg/L) en estaciones influenciadas por descargas de aguas residuales domésticas, principalmente durante las épocas lluviosas (ver departamentales). Este resultado se debe a que el aumento de materia orgánica, aumenta las poblaciones bacterianas que consumen grandes cantidades de oxígeno durante el proceso de degradación, disminuyendo de esta forma los niveles de oxígeno disuelto (Emerson y Hedges, 2008) y deteriorando la calidad de las aguas.

Debido a que el pH es más ácido en las aguas fluviales que en las aguas marinas, el análisis de esta variable se hizo por tipo de agua. En las aguas de los ríos que desembocan en la zona costera del Caribe colombiano, en la época lluviosa del 2011 y seca del 2012, el pH fluctuó en el rango de 6,4 a 8,9; en las zonas donde el agua es de tipo estuarino, es decir donde hay una mezcla de aguas dulces con aguas saladas, el pH osciló entre 6,9 y 8,9; y en las aguas netamente marinas el pH osciló 7,8 y 8,9. Para todo los tipos de agua analizados, los valores de pH se encontraron dentro del rango establecido por el Decreto 1594 de 1984 para preservación de fauna y flora (6,5-8,5; Minsalud, 1984). El pH del agua de mar, no tiene fluctuaciones amplias (7,8 – 8,2), ya que esta funciona como una solución buffer por efecto del sistema de los carbonatos (Emerson y Hedges, 2008), por lo tanto, la mayoría de estaciones marinas de la zona del Caribe colombiano tienen condiciones normales de pH con algunas excepciones de estaciones puntuales que están influenciadas por descargas de aguas residuales, donde los valores de pH se salieron de estos rangos, en general fueron más ácidos de lo esperado (6,5 a 7,6). Esto se debe a que en dichas estaciones hay un consumo elevado de materia orgánica, con la consecuente producción de dióxido de carbono que tiene características ácidas (Boyd, 2001).

Los nutrientes inorgánicos disueltos están representados por moléculas nitrogenadas (nitratos NO_3^- , nitritos NO_2^- y amonio NH_4^+) y ortofosfatos (PO_4^{3-}) o fósforo reactivo soluble. Estas moléculas son requeridas para los procesos fotosintéticos y por lo tanto, son los principales limitantes para el crecimiento del fitoplancton (Boyd, 2001, EPA, 2002). No obstante, cuando hay un incremento de las concentraciones naturales de estas moléculas, se incrementa la actividad fotosintetizadora, aumentando las concentraciones de materia orgánica y como consecuencia generando condiciones de hipoxia por la actividad de degradación bacteriana de esta materia orgánica, proceso conocido como Eutrofización (EPA, 2002). En las 205 estaciones de la zona costera del Caribe colombiano, se midieron los nutrientes NID (ΣNO_3^- , NO_2^- y NH_4^+) y el fósforo reactivo soluble (FRS).

El NID en la zona costera del Caribe Colombiano, fue muy variable. En las zonas netamente marinas (San Andrés, Alta Guajira, zonas Norte y Sur del Magdalena, Atlántico —sin influencia del río Magdalena—, Sucre y Antioquia), las concentraciones oscilaron desde no detectables hasta 165 $\mu\text{g/L}$; en tanto que en las zonas influenciadas por ríos o descargas de aguas residuales domésticas, las concentraciones alcanzaron valores hasta de 2670 $\mu\text{g/L}$, destacándose las concentraciones más altas, en el periodo de lluvias del 2011. Este resultado es producto de los aportes de nitrógeno de fuentes continentales producto de las escorrentías desde campos agrícolas y las descargas de aguas residuales domésticas que en general tienen niveles elevados de amonio (NH_4^+).

El FRS al igual que el nitrógeno inorgánico disuelto es un nutriente esencial para el fitoplancton que puede incrementar en los ecosistemas acuáticos por fuentes naturales como los fertilizantes o las descargas de aguas residuales. En la zona costera del Caribe colombiano las concentraciones de FRS oscilaron entre 0,8 y 640,1 $\mu\text{g/L}$. Al igual que el NID, las concentraciones de fósforo más elevadas se midieron en las estaciones influenciadas por las descargas directas de los ríos y donde se producen aportes de aguas residuales domésticas. Las concentraciones más bajas se presentaron en las estaciones netamente marinas como San Andrés, la zona del Parque Tayrona en el departamento del Magdalena, las Islas del Rosario en Bolívar y la zona de San Bernardo en Córdoba, con valores que no sobrepasaron el valor de referencia para impactos potenciales a la fisiología de corales (62 $\mu\text{g/L}$; Fabricius, 2005).

Los sólidos suspendidos totales (SST) corresponden a la materia suspendida o disuelta en un medio acuoso, desde organismos vivos, hasta partículas orgánicas e inorgánicas. Durante las épocas lluviosas los SST en el agua de los ríos incrementan, debido a que el aumento del caudal produce un incremento de la erosión de los suelos, por lo tanto las zonas costeras del Caribe colombiano que reciben aportes de ríos mostraron un incremento de las concentraciones de SST durante la época lluviosa del 2011. Las zonas en las que se encontraron las mayores concentraciones de SST fueron las zonas de influencia del Canal del Dique en la bahía de Cartagena donde se encontraron concentraciones de hasta 265 mg/L y el Golfo de Urabá, donde se encontraron concentraciones de SST > a 5000 mg/L . Las zonas que presentaron los contenidos de SST más bajos fueron las representadas por estaciones netamente oceánicas como las de San Andrés, Norte de la Guajira y las estaciones de Magdalena, con excepción de las desembocaduras de los ríos, principalmente el Manzanares, Mendihuaca, Gaira y Toribio.

Los indicadores de contaminación microbiológica, coliformes termotolerantes (CTE) determinados en las zonas de interés turístico del Caribe colombiano muestran que en casi todos los departamentos de la costa Caribe, excepto San Andrés, hay algunas playas que superan el límite establecido por la Legislación Nacional (< 200 NMP/100 mL; Decreto 1594 de 1984) para actividades de contacto primario (Minsalud, 1984), principalmente en las épocas lluviosas en las cuales aumenta la escorrentía de los ríos y por lo tanto las descargas en la zona costera. No obstante, en algunas playas de los departamentos del Magdalena (B. Concha, P. Cristal, Taganga, P. Municipal, Aeropuerto y Alcatraces), Atlántico (playas de Puerto Colombia, P. Dulce y Santa Verónica), Córdoba (Moñitos) y Sucre (Francés, playas de Tolú y Coveñas) el incumplimiento del límite permisible se presentó tanto en la época seca como en la época lluviosa.

Dentro de los contaminantes químicos orgánicos, se determinaron los Hidrocarburos Dispersos y Disueltos (HDD) que ingresan a los ecosistemas marino-costeros fundamentalmente por las actividades antropogénicas que involucran el manejo de combustibles, como la actividad de explotación de petróleo, la actividad portuaria, el transporte marítimo, los expendios informales de combustible y los lavaderos de vehículos entre otras. En la zona costera del Caribe colombiano, las concentraciones de HDD oscilaron desde No detectables (ND, menor al límite de detección 0,07 $\mu\text{g/L}$) hasta 5,6 $\mu\text{g/L}$ con excepción de las estaciones F. Emisario, M. Oceanográfico Roja F. Corelca y Sur Bocana (Bolívar) y frente al río Don Diego (Magdalena), donde se encontraron concentraciones entre 9,44 y 16,4 $\mu\text{g/L}$. De estas estaciones solamente 3 superan el valor de referencia de 10 $\mu\text{g/L}$ establecido por la UNESCO (1984) para aguas no

contaminadas, lo cual indica que salvo en la bahía de Cartagena las zonas costeras del Caribe Colombiano no están en riesgo de contaminación por HDD.

Otro grupo de contaminantes orgánicos son los plaguicidas. Al inicio del programa de monitoreo y hasta el 2008 solo se determinaban moléculas de plaguicidas organoclorados (OC), los cuales fueron prohibidos hace mas de 10 años (Espinosa y Betancourt, 2011), en general lo que se ha observado es una disminución de concentración de estas moléculas en el agua superficial de las zonas costeras del Caribe colombiano. Desde el 2009, se incluyeron al monitoreo otro tipo de plaguicidas, dentro de los cuales está el Endosulfán que es un OC que no determinaba antes, por lo cual a partir de este año se observó un incremento de los organoclorados totales debido a que en la sumatoria se incluye esta molécula que se usó hasta hace poco tiempo; adicionalmente se está haciendo seguimiento a otros plaguicidas que son usados actualmente, entre los que se cuentan algunos organofosforados y piretroides. Dentro de estas moléculas de uso actual, el Clorpirifos compuesto que es de amplio uso en la agricultura, se ha detectado en estaciones de los departamentos del Magdalena, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia. Es de resaltar que en algunas estaciones de los departamento de Bolívar y Antioquia, se han encontrado concentraciones que superan el nivel de referencia de la NOAA para efectos agudos (83,0 ng/L; Buchman, 2008), por lo cual deben seguirse evaluando y se debe determinar la fuente de este contaminante. Adicionalmente se han encontrado en estaciones aisladas otros compuestos como Clorotalonil y metil-Paration, los cuales se deben seguir monitoreando.

En el agua superficial de la zona costera del Caribe colombiano se determinaron los metales cadmio (Cd), como (Cr) y plomo (Pb). En todas las estaciones de muestreo, tanto de la época lluviosa 2011 como seca 2012 las concentraciones de los metales Cd y Cr estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada (0,25 µg/L y 0,50 µg/L, respectivamente). Las concentraciones de Pb en general se incrementaron durante la época de lluvias, no obstante en ninguna estación se encontraron concentraciones que superaran a los valores considerados como de riesgo para efectos agudos, propuestos en la guía internacional de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA; 210 µg/L; Buchman, 2008). Si bien estos resultados no indican contaminación por metales en las aguas costeras del Caribe colombiano, cabe resaltar que las concentraciones en el agua son muy variables, por lo cual para determinar contaminación es más adecuado usar la matriz sedimento que conserva además la historia de la contaminación.

La información colectada en los periodos lluvioso 2011 y seco 2012, muestra que en algunas zonas del Caribe colombiano las variables fisicoquímicas como la temperaturas aumenta en las zonas coralinas durante los eventos de alta precipitación; los nutrientes inorgánicos disueltos, que aumentan generando cambios en el pH y descensos de las concentraciones de oxígeno disuelto, principalmente en aquellas zonas donde se producen descargas de aguas residuales, deteriorando la calidad de las aguas y generando efectos negativos sobre la fauna y flora que allí habitan. Estos resultados muestran que es imprescindible continuar con el monitoreo y en algunos casos intensificarlo, para mantener una información permanente que permitan por ejemplo predecir algún evento de mortandad de organismos.

Por otra parte, cabe destacar que especialmente en la época de lluvias, la calidad de algunas playas de interés turístico no es apta para actividades de contacto secundario, lo cual igualmente amerita un permanente seguimiento con fines de implementar medidas de control.

4.1 CASO ESTUDIO: FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA COSTERA DE CÓRDOBA

La salida de campo realizada entre el 3 y 8 de septiembre de 2012 permitió explorar los diferentes municipios costeros del departamento de Córdoba para identificar la problemática de la contaminación que viven las poblaciones de esta zona del Caribe. Los diferentes asentamientos y actividades domésticas en estas zonas generan residuos sólidos, materia orgánica y aguas residuales que se convierten en fuentes de contaminación al medio ambiente u los cuerpos de agua si éstos residuos no son manejados manejan de una forma adecuada (Tabla 4.1-1). Adicionalmente, es importante tener en cuenta que lo consignado en este informe, es producto de la revisión bibliográfica y recopilación de información primaria resultado de observaciones y estimaciones.

El Departamento de Córdoba situado en el norte del país, en la región de la llanura del Caribe; localizado entre los 09°26'16'' y 07°22'05'' de latitud norte y los 74°47'43'' y 76°30'01'' de longitud oeste, cuenta con una superficie de 23.980 km² lo que representa el 2.1 % del territorio nacional (IGAC, 2002). Los municipios costeros Los córdobas, Puerto Escondido, Moñitos, San Bernardo del Viento y San Antero, Canaletes y aunque no es un municipio costero Santa Cruz de Lorica, ejerce influencia directa en la cuenca baja del río Sinú que desemboca en el mar Caribe. En varios de los municipios costeros visitados se realizan actividades socioeconómicas de ganadería extensiva, agrícola, comercio, pesquerías y turismo (Figura 4.1-1). De igual forma, la mayoría de los municipios presentaron un inadecuado manejo de residuos sólidos y baja cobertura de saneamiento básico, generando vertidos directos de contaminantes sobre el suelo y los cuerpos de agua, convirtiéndose en tensores que pueden modificar las características químicas, físicas y biológicas del agua y causar la degradación de los recursos o ecosistemas.

Tabla 4.1-1. Principales actividades, fuentes contaminante y cuerpos de aguas afectado en el departamento de Córdoba. Fuente: INVEMAR-MADS, 2011; CVS, 2012.

Actividad/Fuente de Contaminación	Tipo de Contaminación	Tributario Afectado
Disposición de Residuos sólidos y vertimientos de aguas domesticas	Vertimiento de lagunas de oxidación de los municipios de Canaletes, San Antero, Los córdobas, San Bernardo del Viento y Lorica, Canal de desagüe en Puerto Escondido y Moñitos	Materia orgánica, microorganismos fecales y sólidos en suspensión
Agricultura y pecuaria	Cultivo de arroz, maíz y plátano	Agroquímicos, heces de animales, fertilizantes, contaminantes orgánicos
Turismo	Hotel Cispatá Marina	Materia orgánica, microorganismos fecales y sólidos en suspensión

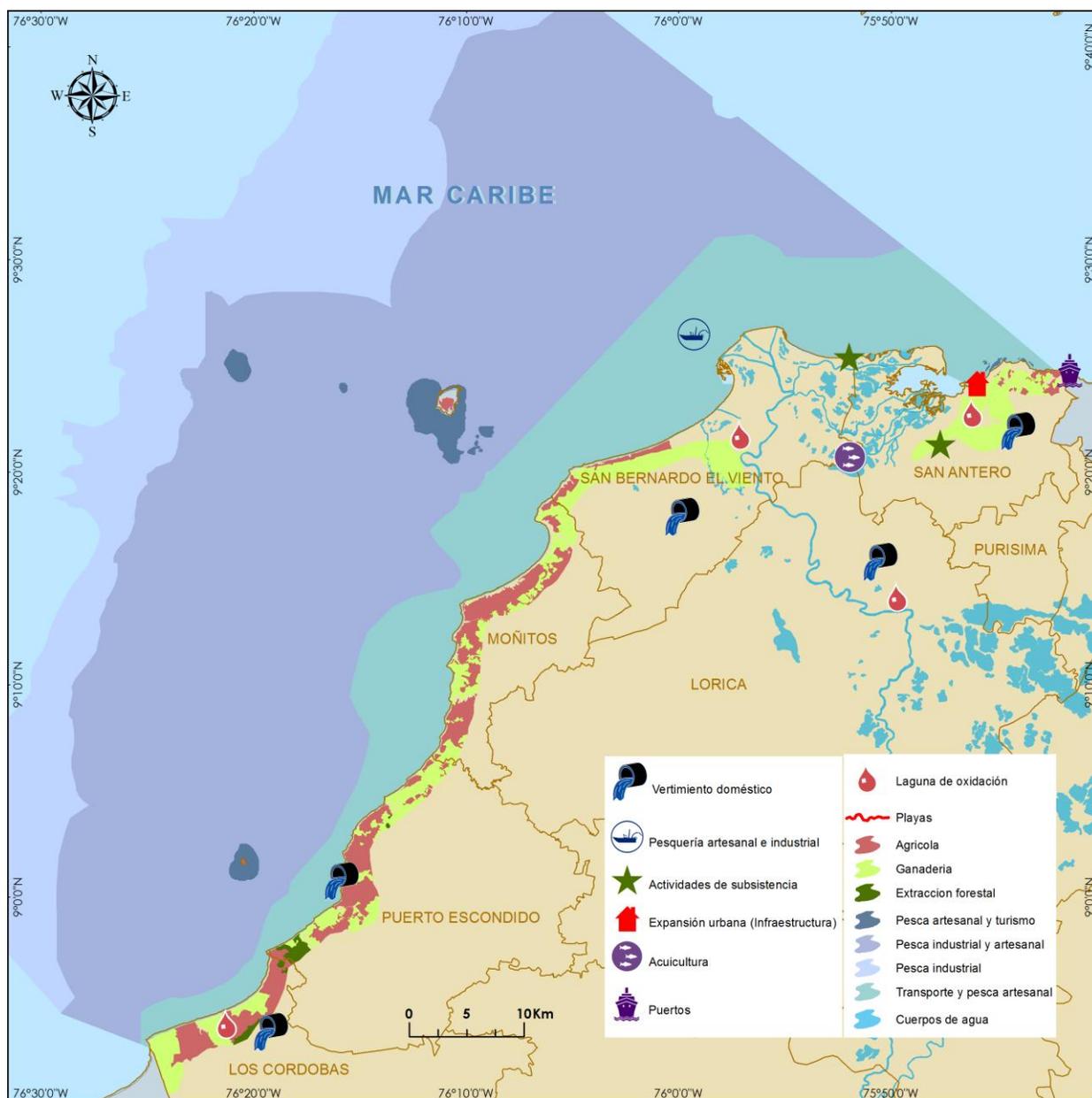


Figura 4.1-1. Principales actividades socioeconómicas, residuos y usos del suelo en la zona costera del departamento de Córdoba.

4.1.1 Asentamientos Humanos

Los siete municipios que conforman el área de estudio tienen una población total proyectada al año 2012 de 273.919 habitantes (DANE, 2012), de los cuales el 42,3% de la población reside en Lorica, el 12,3% en San Bernardo del Viento, 10,8% en San Antero, 9,7% Puerto Escondido, 9,6% Moñitos, 7,9% Los Córdoba y el 7,3% Canalete (Figura 4.1-2).

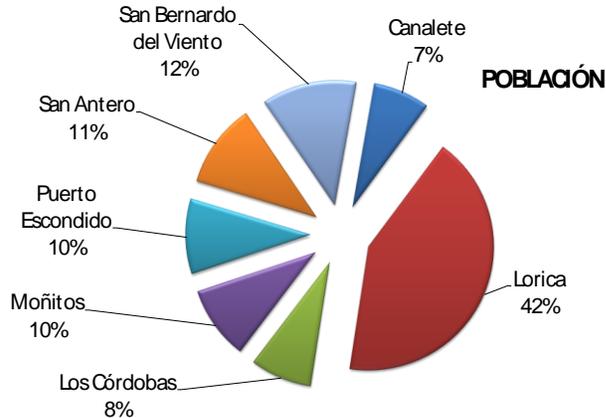


Figura 4.1-2. Población de los municipios del área de estudio, proyectada 2012. Fuente DANE, 2012.

El sistema de acueducto que predomina en estos municipios costeros y en sus corregimientos es por gravedad, captan el agua desde embalses, la cual es transportada a tanques elevados por medio de estaciones de bombeo que se distribuye a los habitantes. Algunos corregimientos no cuentan con un sistema de abastecimiento de agua potable, lo cual conlleva a que el agua sea transportada en diferentes medios desde los embalses hasta el lugar donde residen. En la mayoría de estos municipios el tratamiento del agua no es óptimo, con condiciones de con alta dureza y catalogada como inadecuada o no apta para el consumo humano, lo cual está relacionado según la CVS con algunas enfermedades gastrointestinales como salmonelosis, amebiasis y enfermedades diarreicas agudas, entre otras, debido a la ubicación de la captación del agua en sitios al aire libre o sin protección, permitiendo que animales y personas tengan acceso directo sin restricciones, lo cual pone en riesgo la calidad del agua con excretas y residuos que potencialmente contaminan el agua (Figura 4.1-3; CVS, 2006).



Figura 4.1-3. Fuentes de abastecimiento del corregimiento Cristo Rey, Puerto escondido (tomada de CVS, 2006) y Planta de Agua Potable San Bernardo del Viento.

Del total de habitantes de los municipios coteros del Caribe Colombiano el 7 % (273.919) reside en el área de estudio, y se calculó que producen 38.684 m³/d de aguas residuales domésticas (ARD), de las cuales realizan un vertido directo de 23.791 m³/d, teniendo en cuenta el porcentaje de cobertura de alcantarillado y los sistemas de tratamiento de aguas residuales –STAR- existentes en cada municipio (Figura 4.1-4; Mindesarrollo, 2000; UNEP-RCU/CEP, 2010), cargadas con 3.157 t/año de materia orgánica representada en DBO₅ y 6.315 t/año de DQO; además de 758 t/año de Nitrógeno; 51 t/año de fosfatos; 3.157 t/año de sólidos suspendidos y 1,3 x 10¹⁹ de NMP/año de Coliformes, se debe tener en cuenta que las altas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y Coliformes pueden afectar la calidad del agua y representa un riesgo para la salud humana (Vivas et al., 2012; Figura 4.1-5).

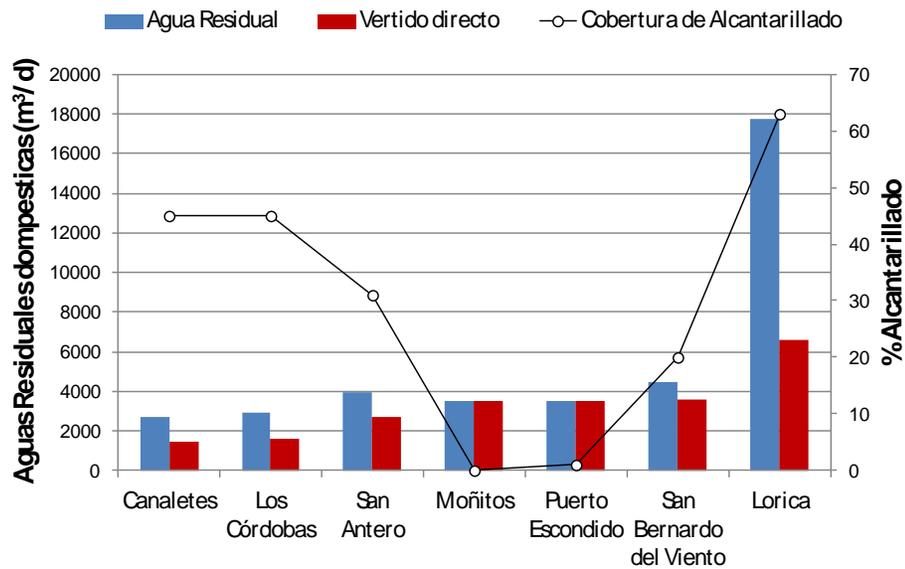


Figura 4.1-4. Caudal estimado de vertidos de agua residuales domésticas y distribución de la cobertura de alcantarillado en los municipios coteros de Córdoba. Fuente caudal: cálculo INVEMAR, metodología Mindesarrollo, 2000. Fuente de población Censo General 2005 proyecciones DANE 2012. Cobertura de alcantarillado, Consejo Municipal de los municipios, 2012 y CVS, 2006.

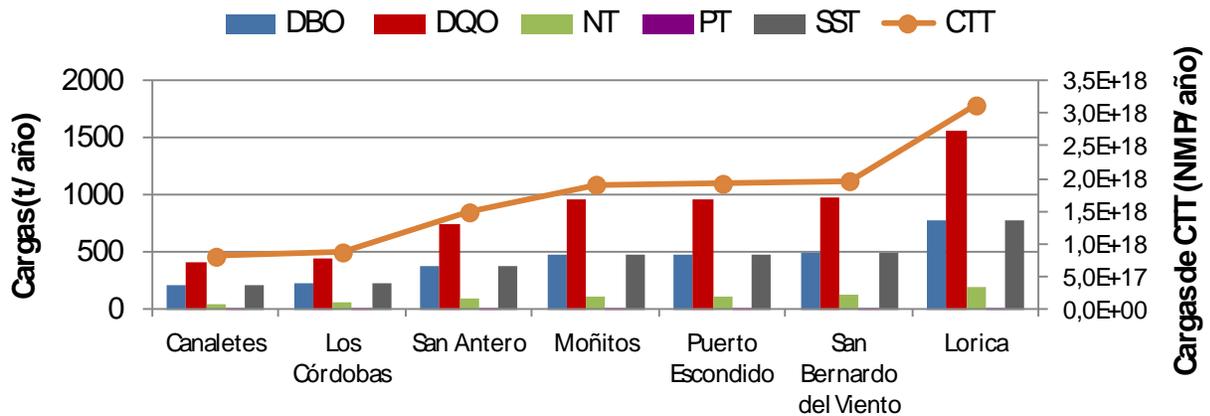


Figura 4.1-5. Carga anual vertida estimada de contaminantes domésticos aportados por la población de los municipios coteros del Departamento de Córdoba.

Las ARD de los municipios de Canaletes, Los córdobas, San Bernardo del Viento, San Antero, Lorica son manejadas por medio de Lagunas de Oxidación; en el municipio de Puerto Escondido se vierten en pozas sépticas y canales que desembocan en el mar Caribe, en Moñitos las ARD son vertidas en los caños que atraviesan la ciudad y que desembocan en la zona costera. Actualmente, tanto en Moñitos como en San Bernardo del Viento se están construyendo las Plantas de Tratamiento de Agua Residual-PTAR (Tabla 4.1-2). A continuación se realiza un diagnostico detallado de la situación de las ARD en cada municipio.

Tabla 4.1-2. Servicios públicos y producción de residuos sólidos en los municipios costeros de Córdoba. Fuente: ¹Integrated Solid Waste Management (1993); ^{2,3,4 y 5} Consejos Municipales de municipios; CVS, 2006; DANE, 2005.

Municipio	Residuos Sólidos (t/día) ¹	Aseo cabecera municipal (%) ²	Alcantarillado (%) ³	STAR	Cuerpo receptor de ARD después del STAR ⁵
Canaletes	10	0	37	Laguna de Oxidación	Río Canaletes
Los Córdoba	10,8	-	40	Laguna de Oxidación	Río Los córdobas
Puerto Escondido	13,3	80	0	No tiene	Mar Caribe
San Bernardo del Viento	16,8	-	4	Laguna de Oxidación PTAR*	Mar Caribe
Moñitos	13,1	0	0	PTAR*	Mar Caribe
San Antero	14,8	100	31,3	Laguna de Oxidación	Arroyo Cardales
Lorica	81	92	64	Laguna de Oxidación	Ciénaga Juan Lara

* Planta de Tratamiento de Agua Residual en Construcción.

Canalete: Este municipio tiene un porcentaje de alcantarillado del 37% el porcentaje restante dispone sus aguas residuales en cuerpos de aguas cercanas o en pozas sépticas (Consejo Municipal de Canalete, 2012). Durante la inspección realizada se visitó a la laguna de oxidación (Figura 4.1-6), lugar donde se disponen las aguas residuales provenientes del alcantarillado del municipio la cual no cuenta con un operador, por lo tanto no está cumpliendo con la remoción del 80% para la cual fue diseñada y realiza un vertimiento directo sin tratamiento alguno de las aguas residuales al río Canalete (Figura 4.1-7) el cual según una simulación realizada por la CVS, la capacidad de asimilación de carga orgánica por parte de la corriente hídrica es pobre, teniendo en cuenta la poca dilución, afectando la calidad del agua no pudiendo responder adecuadamente a los usos actuales y potenciales del recurso hídrico (Feria y Buelvas, 2006).



Figura 4.1-6. Lagunas de Oxidación del Municipio de Canaletes.

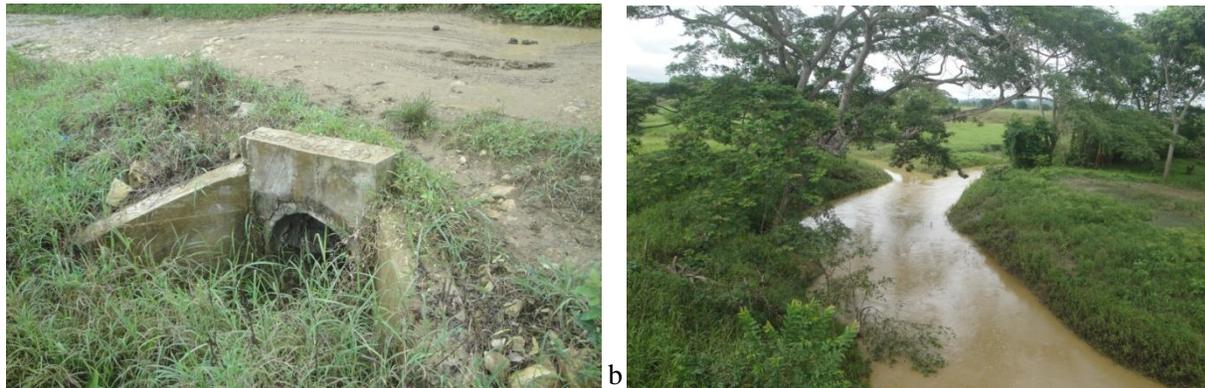


Figura 4.1-7. a) Antigo punto de vertimiento de la Laguna de Oxidación b) Río Canalete.

Los córdobas: Durante el salida de campo se visitó la estación de bombeo de aguas residuales (Figura 4.1-8a), la cual no cuenta con un operario fijo, presenta malos olores y las albercas no cuentan con la capacidad suficiente de almacenamiento, ocasionando que periódicamente las aguas residuales sean vertidas directamente en un arroyo que desemboca en al río Los Córdoba (Consejo Municipal de Los córdobas, 2008; Figura 4.1-8b).

Otro sitio visitado fue el sistema de tratamiento de aguas residuales que consiste en dos lagunas facultativas en paralelo seguidas de dos estanques de maduración conformando dos líneas en serie (Figura 4.1-9), al igual que las lagunas del municipio de Canaletes, esta tampoco cuenta con un operario y el vertimiento final de aguas residuales es realizado al río Los Córdoba (Figura 4.1-10) con altas cargas contaminantes, debido a la poca remoción realizada por el tratamiento (Consejo Municipal de Los córdobas, 2008).



Figura 4.1-8. a) Estación de bombeo de aguas residuales del municipio Los córdobas b) canal de agua donde se vierte agua residual de la estación de bombeo en emergencias el cual desemboca en el Río Los córdobas.



Figura 4.1-9. Sistema de tratamiento de Aguas residuales por lagunas de Oxidación en el municipio de Los Córdoba.



Figura 4.1-10. Punto de vertimiento de la laguna de Oxidación hacia el Río Canaletes.

Puerto Escondido: El alcantarillado en el municipio es incipiente, lo cual lleva a que la mayoría de las viviendas utilicen pozos sépticos o desagües a los canales urbanos que finalmente desembocan en el mar, como fue observado durante la visita (Figura 4.1-11).



Figura 4.1-11. Canales de desagüe del municipio de Puerto Escondido que desembocan en el mar.

San Bernardo del Viento: El tratamiento de las aguas residuales, cuenta con un sistema de lagunas (Figura 4.1-12a), las cuales se encuentran en regular estado, se desconoce su eficiencia en la remoción de carga contaminante, ya que no realizan caracterizaciones del agua residual, antes y después del tratamiento, ni tampoco en la fuente receptora (Contraloría, 2011). Actualmente no se está operando ni realizando mantenimiento a la laguna y si bien este no requiere de mano de obra intensiva, sí se necesita controlarse adecuadamente la biomasa del mismo, de manera que pueda lograr el objetivo primordial de sanear el efluente para ser volcado a los cuerpos receptores sin contaminar (Dinámica Ambiental, 2012), por lo tanto se puede inferir que el cuerpo de agua receptor (Mar Caribe), está siendo contaminado por las aguas residuales provenientes del sistema de tratamiento, En estos momentos están construyendo una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales a través del Plan Departamental de Aguas (Figura 4.1-12b).



Figura 4.1-12. Sistema de tratamiento de San Bernardo del Viento a) Laguna de Oxidación b) Construcción de la nueva PTAR.

El municipio cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP; Figura 4.1-13c), en este momento está siendo optimizada y se está ampliando, ya que la cobertura no es del 100%. Actualmente ocurre un inconveniente con el mantenimiento de la PTAP, ya que los lodos que resultan son arrojados directamente al Río Sinú (Figura 4.1-13a y b).

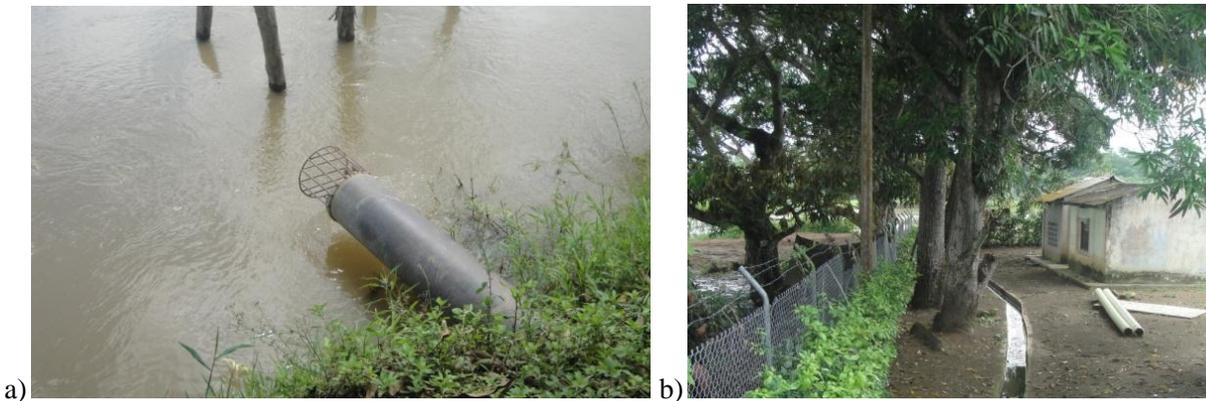




Figura 4.1-13. a) Punto de descarga de los lodos de la PTAP. b). Canal de desagüe de los lodos. c) PTAP San Bernardo del Viento.

Moñitos: Este municipio es uno de los más atrasados en infraestructura de saneamiento básico, hay inexistencia de sistema de tratamiento de agua potable, alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas residuales, aunque actualmente se está construyendo una PTAR (Figura 4.1-14a). El municipio lo atraviesan cinco caños o canales, que son utilizados por los habitantes como receptor final de residuos líquidos y sólidos (Figura 4.1-14b) debido a la carencia de alcantarillado y lugar de disposición final de los residuos. La cabecera municipal de Moñitos cuenta con un mercado, el cual se encuentra desorganizado y no se le hacen tratamiento a las aguas residuales producto de las actividades que se desarrollan en el mismo (CVS, 2006; Figura 4.1-14d).



Figura 4.1-14. a) Construcción de la PTAR en Moñitos; b) canal o caño que desemboca en el mar; c) aguas domesticas en las calles del municipio que son conducidas a los canales o caños; d) contaminación producto del mercado público (tomada de CVS, 2006).

San Antero: Según la investigación realizada entre INVEMAR y MADS en el 2011, se identificó el hotel Marina Cispatá como el único vertimiento directo a la zona costera después de tratar ser al agua residual por la PTAR, cuyo caudal fluctúa dependiendo de la ocupación del hotel (Figura 4.1-15a)

El vertimiento del alcantarillado del municipio se hace a una laguna de oxidación (Figura 4.1-15b), la cual se encuentra dentro del perímetro urbano, muy próxima a los asentamientos urbanos con una distancia menor a 500 metros lineales, contradiciendo a la norma RAS 2000, en la actualidad no está en operación ni mantenimiento, como consecuencia de ello, se presentan malos olores y su nivel de eficiencia es bajo contaminando las aguas del arroyo Cárdales el cual desemboca en el mar (Consejo Municipal de San Antero, 2012).

La mayoría de las viviendas cercanas a caños o que tienen acceso a ellos no están conectadas al sistema de alcantarillado, sino que sus aguas residuales son vertidas directamente a los caños generando contaminación (CVS, 2006).



Figura 4.1-15. a) Cabañas del hotel Marina Cispatá, b) Laguna de oxidación del municipio de San Antero.

Lorica: La cobertura de alcantarillado en el municipio del 64% urbano y del 0% en el área rural. Cabe mencionar que a nivel de saneamiento básico (existencia de letrinas y pozos sépticos) se tiene cubierto el 46% del territorio rural (Consejo Municipal de Lorica, 2012).

Las lagunas de oxidación, sistema de tratamiento donde actualmente se tratan las aguas residuales, se evidenció el mal funcionamiento y falta de operación, ya que las características físicas del agua en las lagunas presentan un color negro y mal olor (Figura 4.1-16a), por lo anterior la remoción del 80% de acuerdo al decreto 1594 de 1984 de la DBO, los SST y las grasas y Aceites antes de realizar el vertimiento a un cuerpo de agua no se está cumpliendo, contaminando la ciénaga Juan Lara la cual tiene un intercambio con el Río Sinú que desemboca en el mar Caribe (Figura 4.1-16b).

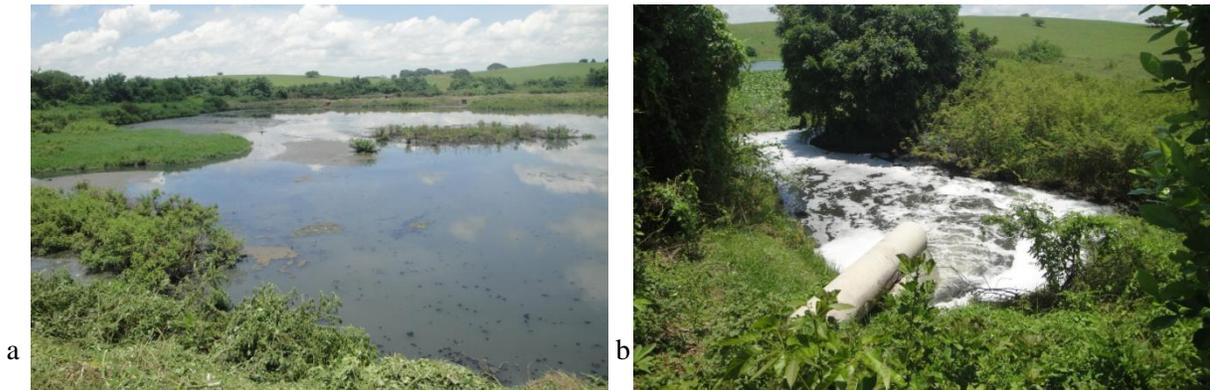


Figura 4.1-16. a) Laguna de oxidación del municipio de Lorica, b). Punto de vertimiento de la laguna de oxidación hacia la ciénaga Juan Lara.

4.1.2 Actividades Productivas y Socioeconómicas

4.1.2.1 Agricultura

La agricultura es la actividad predominante en los municipios costeros del departamento de Córdoba, donde en general los cultivos sobresalientes por área cultivada y producción son el plátano, siendo el producto más representativo de esta zona. Otros cultivos como la yuca, ñame, maracuyá y el maíz tradicional, se cosechan en pequeñas cantidades, pero, no existen muchas familias o comunidades que se dedican a estas labores; mientras tanto el coco y el arroz son los productos que menos cosechan generaron, lo cual se relaciona directamente con las extensiones cultivadas y no con los rendimientos que cada uno de estos pueda producir (CVS, 2006; Figura 4.1-17).

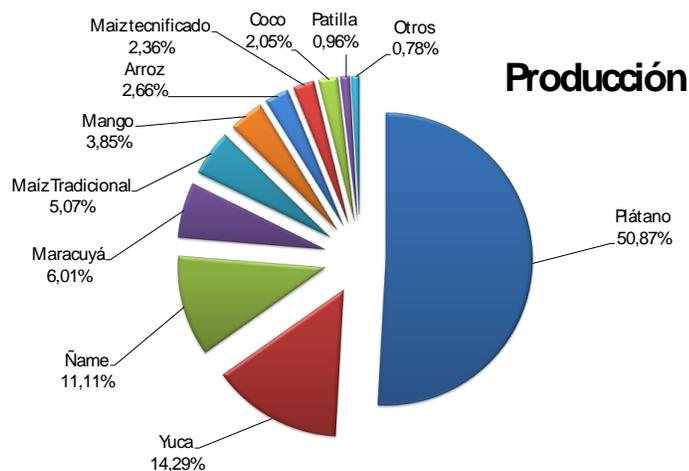


Figura 4.1-17. Producción agrícola de los municipios costeros durante el periodo 2006-2011. Fuente: Secretaría de Desarrollo Económico y Agroindustrial del Departamento de Córdoba. Consolidado 2006 y 2011. En: Plan de Desarrollo Municipal de Canaletes. 2012 y Plan de Desarrollo Municipal Los Córdoba. 2008. Secretaría de Desarrollo Departamental. Equipo Técnico Agenda Ambiental 2011. En: Plan de Desarrollo Municipal de San Antero. 2012.

Las áreas cosechadas (hectáreas) de los municipios costeros de Córdoba según el INCODER (2012), en los últimos seis años han venido presentando variaciones significativas, y en 2011 la mayoría de los municipios, excepto Moñitos se presentó un descenso importante con la menor área cosechada (Tabla 4.1-3). Debido a esto, los diferentes municipios presentan problemas como la falta de siembra industrializada, con la maquinaria adecuada, falta de tierras para el pequeño agricultor (banco de tierras), altos costos en la producción, poca asesoría al productor y malas vías de acceso, lo anterior hace que la producción agrícola no cubra las demandas de productos alimenticios de la población, razón por la cual se convierte en una actividad de subsistencia y requiere que los municipios se abastezcan de otros para suplir la demanda (CVS, 2006; Consejo Municipal de Los córdobas, 2008; Consejo Municipal de Puerto Escondido, 2008; Consejo Municipal de Canaletes, 2012; Consejo Municipal de San Antero, 2012 y Consejo Municipal de Moñitos, 2012).

Tabla 4.1-3. Áreas cosechadas en los municipios costeros de Córdoba Periodo: 2005-2011. Fuente: Instituto Colombiano de Desarrollo Rural INCODER. 2012. En: Plan de Desarrollo del Municipio de Canalete.

Municipio	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Moñitos	8309	6256	5774	5439	4996	9847	8268
Los córdobas	5329	5637	5518	5231	5240	5327	4214
San Bernardo del Viento	3011	2550	2724	3084	2414	2677	3086
Puerto Escondido	4277	2709	3767	2896	2992	3886	2719
Canalete	6558	4301	3772	3848	3722	4175	2176
Total	27484	21453	21555	20498	19364	25912	20463

4.1.2.2 Pecuaría

La principal fuente de la economía del departamento de Córdoba es la ganadería, siendo uno de los más importantes centros ganaderos del país (Gobernación departamental de Córdoba, 2008), pero también es uno de los sectores que genera menor empleo, porque demanda muy poca mano de obra en las labores de la hacienda. Además presenta conflicto en el uso del suelo, ya que usa suelos con aptitud agrícola generando impactos ambientales negativos, ya que utilizan para la limpieza de los terrenos para pastorear el ganado agroquímicos que contaminan quebradas, caños, arroyos y ríos deteriorando el recurso hídrico del departamento (CVS, 2006; Consejo Municipal de Los córdobas, 2008; Consejo Municipal de Canalete, 2012).

En ninguno de los municipios costeros del departamento hay mataderos, lo que conlleva a que se sacrifiquen animales en fincas de una manera no controlada (CVS, 2006). La raza predominante es la Cebú (Figura 4.1-18), y el cruce predominante es el Cebú x Holstein, que se utiliza para producción de leche, carne y doble propósito. Según la Secretaría de Desarrollo Económico y Agroindustrial del departamento de Córdoba (2011) el municipio costero con mayor cantidad de bovinos es Puerto escondido con 58.258 cabezas de ganado, representando el 30,27 % del total de ganado.



Figura 4.1-18. Raza predominante de ganado en los municipios costeros del Departamento de Córdoba.

4.1.2.3 Turismo

De los municipios costeros el único que tiene un gran desarrollo de la actividad turística es el de San Antero el cual cuenta con un gran complejo hotelero y turístico con más de 120 apartamentos, piscinas, canchas y juegos náuticos deportivos y puede perfilarse como uno de los atractivos turísticos de la región, organizando la actividad, satisfaciendo las necesidades de los turistas y mejorando los servicios públicos (Figura 4.1-19; Consejo Municipal de San Antero, 2012). Caso contrario ocurre con los municipios de Canaletes, San Bernardo del Viento, Moñitos, Puerto Escondido y Los córdobas, los cuales no cuentan con una infraestructura hotelera adecuada, restaurantes, vías adecuadas y tiene debilidades en los servicios públicos, además del poco cuidado de las playas encontrándose en ellas almacenamiento de basuras (Figura 4.1-20; Consejo Municipal de Los córdobas, 2008; Consejo Municipal de Puerto Escondido, 2008; Consejo Municipal de Canalete, 2012).



Figura 4.1-19. a) Sector hotelero Bahía Cispatá y b) Playa Blanca - San Antero.



Figura 4.1-20. Mala disposición de residuos en las playas. a) Playa San Bernardo del Viento y b) Playa Puerto Escondido.

4.1.2.4 Minería

Los recursos mineros de los municipios costeros del departamento de Córdoba, son esencialmente no metálicos, su explotación consiste en la extracción de rocas silíceas y calcáreas para la industria de la construcción específicamente. En el área las actividades mineras son básicamente de subsistencias. En el 2005 había catorce sitios para la explotación minera, todas a cielo abierto e ilegal, distribuidas en los municipios de Canaletes (4), Puerto Escondido (2), Moñitos (4), San Bernardo del Viento (2), San Antero (1) y Lorica (1).

El recurso ambiental mayormente afectado es el suelo y la cobertura vegetal, ya que está siendo destruida y en la mayoría de las explotaciones por no tener un control de maquinaria y medidas correctivas no se tiene en cuenta el desgaste de los suelos y su deterioro aumenta con el paso de los años dejando como consecuencia zonas desérticas en los sitios donde antes se realizaron explotaciones (Figura 4.1-21; CVS, 2006; Consejo Municipal de Canaletes, 2012).



Figura 4.1-21. Explotación minera en Moñitos. CVS, 2006.

4.1.2.5 Residuos Sólidos

Según lo reportado por la CVS, el área urbana de los municipios costeros del departamento de Córdoba generan un total de 489 t/mes de residuos donde solo el 85 % (416 ton) se disponen en rellenos sanitarios y el 15 % (73 ton) restante se dispone de forma inadecuada a cielo abierto, son enterradas, quemadas o dispuestas en cuerpos de agua donde del total de residuos sólidos dispuestos inadecuadamente San Antero dispuso el 44,19 %, San Bernardo del Viento 22,1 %, Moñitos 12,64 %, Puerto Escondido 8,53 %, Canaletes 7 % y Los córdobas el 5,54 % (Figura 4.1-22; CVS, 2012). Residuos que no solo deterioran el entorno paisajístico sino que se convierte en un riesgo para la salud, seguridad humana y para el medio ambiente en general, por la generación de olores desagradables, lixiviados de basura y vectores que transmiten enfermedades infecciosas (SSP, 2010; Figura 4.1-23).

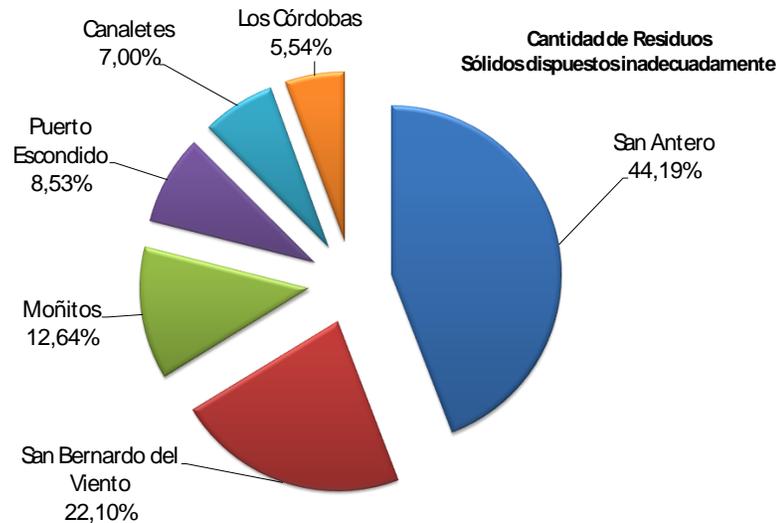


Figura 4.1-22. Cantidad de residuos sólidos dispuestos inadecuadamente por los municipios costeros del Departamento de Córdoba. Fuente: CVS, 2012.



Figura 4.1-23. Inadecuada disposición de residuos sólidos. a) Quema de residuos sólidos en el Municipio de Canalete y b) Disposición inadecuada de residuos sólidos cercanos a cuerpos de agua superficial.

Diagnóstico Departamentos del Caribe

San Andrés y Providencia



Muelle de San Andrés. Foto: Juan Pablo Parra



Fotografía aérea Providencia. Foto: Juan Pablo Parra

4.2 ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina está situado en el norte del país, en el Mar Caribe entre los 12° y 16° de latitud norte y los meridianos 78° y 82° de longitud oeste (Figura 4.2-1). Posee una superficie de 44 km², que incluye las dos islas principales y una serie de cayos (*Vivas-Aguas et al., 2010*). En el año 2000, la UNESCO otorgó al Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, el título de Reserva de Biósfera Seaflower, lo cual lo convirtió en la reserva de mayor área marina en el mundo y su inclusión en el programa MAB que le permite al departamento insular colombiano promover un modelo de desarrollo sostenible mediante el cual se puedan desarrollar actividades comerciales e industriales que apunten hacia el progreso y al mismo tiempo a conservar su frágil ecosistema (*INVEMAR, 2006*).

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, tiene una población proyectada de 77084 habitantes (*DANE, 2009*), y la principal actividad industrial en la isla es el turismo, y asociada a esta economía coexisten otras actividades como la navegación y el buceo. La disposición final de residuos sólidos y los vertimientos de aguas servidas son los factores que generan el mayor riesgo de deterioro ambiental de sus ecosistemas (*INVEMAR, 2006*). La isla sólo posee red de acueducto en la cabecera municipal (North End), donde se encuentra la zona residencial, comercial y hotelera de mayor densidad (*Barrera et al., 2001*). Por su parte el alcantarillado representa aproximadamente un 30% de cobertura y anteriormente, las aguas residuales eran descargadas directamente sobre la zona costera, pero en el 2008 la disposición de las aguas se mejoró con la puesta en operación del emisario submarino al noroccidente de la isla. Las escorrentías terrestres juegan un papel importante en la calidad de las aguas marinas, sin embargo, en la isla de San Andrés no existen cursos permanentes de agua, sólo arroyos temporales asociados a la época de lluvias (*Vivas-Aguas et al., 2010*).

4.2.1 Variables Físicoquímicas

4.2.1.1 *In situ*

Temperatura

La temperatura superficial del agua de este departamento osciló entre 29,5 y 33,4 °C durante la época lluviosa de 2011, y entre 28,1 y 32,1 °C durante la época seca de 2012. Entre estaciones y épocas de muestreo se observó que las variaciones de temperatura no fueron mayor a 2,0 °C, con valores similares a las de aguas oceánicas y litorales (28,1 ± 2,0 °C; *Romero y Polanía, 2008*). En general, se observó que se presentó un patrón de distribución relacionado con la época climática, así durante la época seca cuando la influencia de los vientos alisios es mayor permitiendo la mezcla de la capa superficial del agua, la temperatura disminuyó en todas las estaciones de muestreo. Contrariamente durante la época lluviosa la temperatura del agua aumentó, debido a la posible disminución de la influencia de los vientos alisios (Figura 4.2-2).

Adicional a esto, también es posible que la aparición de la capa de mezcla (alrededor de 45-50 m de profundidad) durante este periodo evite la ascensión de aguas profundas, contribuyendo con el aumento de temperatura en la superficie (*Garay et al., 1988; Campos et al., 2011*). Pese a los cambios observados entre épocas y estaciones de muestreo, los valores registrados en el periodo estudiado coinciden con la tendencia y el rango de valores promedio históricos presentado por esta variable en las costas del archipiélago, que es de 27,4 ± 1,9 a 30,8 ± 1,5 °C en época lluviosa y 27,8 ± 1,5 a 30,3 ± 2,0 en época seca (*Invemar, 2011*).

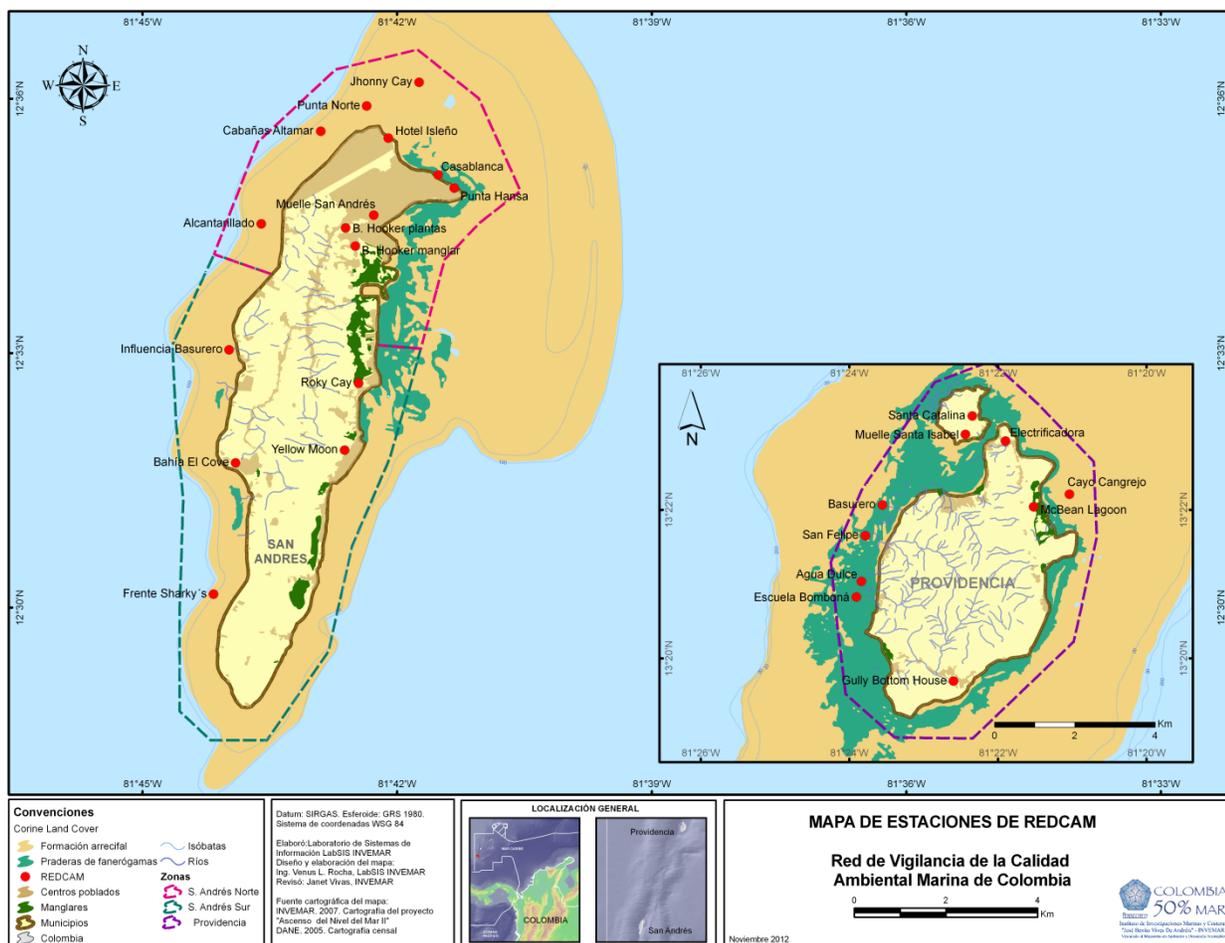


Figura 4.2-1. Estaciones de muestreo en el departamento del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

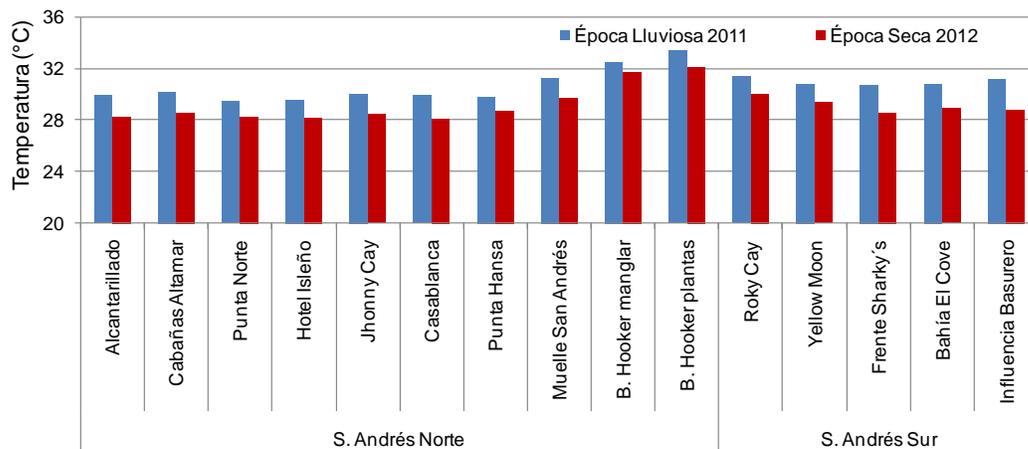


Figura 4.2-2. Temperatura (°C) medida en aguas superficiales de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Salinidad

La salinidad del agua superficial no mostró grandes variaciones entre épocas climáticas y estaciones de muestreo (Figura 4.2-3), y los valores fueron muy cercanos a 35,0, característicos de aguas marinas (Cifuentes *et al.*, 2009). En la época lluviosa las leves variaciones estuvieron dadas por valores que oscilaron entre 33,7 y 35,0 mientras que en época seca los valores estuvieron entre 34,4 y 35,3. En general, la salinidad, al igual que la temperatura, mostró un comportamiento diferenciado con las épocas climáticas, observándose valores de salinidad ligeramente mayores durante la época seca (Figura 4.2-3), debido a los pocos aportes de origen continental, a la baja pluviosidad (Márquez, 1987, Campos *et al.*, 2011) y a la evaporación que ocurren durante el primer periodo del año. Por el contrario, durante la época de lluvias se observó una leve disminución dada por el aumento de la pluviosidad, la escorrentía y la influencia que para esta época climática pueden tener las Aguas superficiales del Caribe (Garay *et al.*, 1988, Campos *et al.*, 2001).

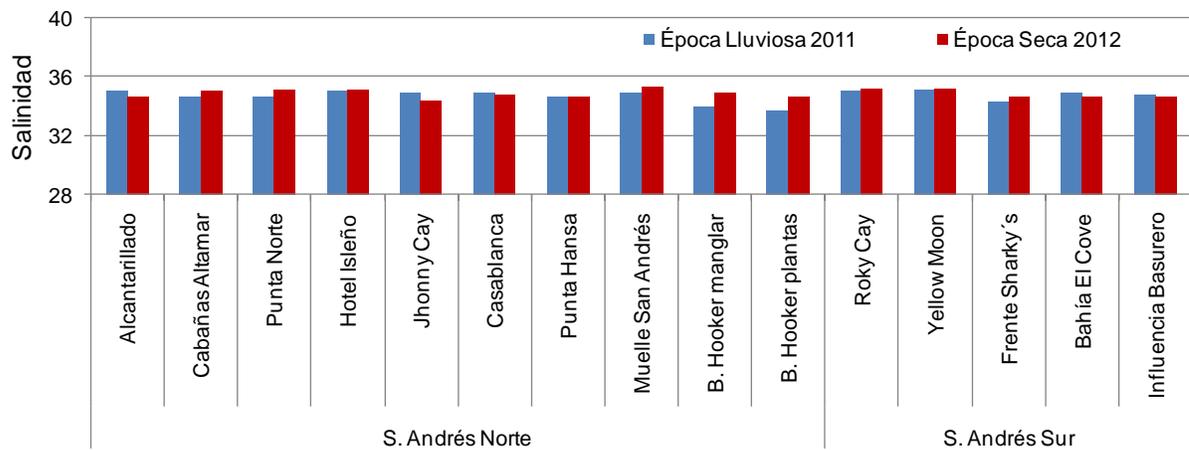


Figura 4.2-3. Salinidad medida en aguas superficiales de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

pH

Durante la época lluviosa de 2011 y seca de 2012 se monitorearon 15 estaciones en el departamento de San Andrés, la variación en el pH fue mínima entre épocas climáticas y estaciones lo cual es normal para este tipo de aguas que corresponden a aguas marinas y este tipo de aguas se comportan como una solución buffer principalmente por el sistema carbónico (Libes, 1992). La estación con mayor variación temporal fue Casablanca, que en época lluviosa de 2011 registró un valor de 8,14 y en época seca de 2012 de 7,04 unidades de pH, (Figura 4.2-4).

De manera general, el pH permaneció dentro del rango establecido por la norma colombiana para la preservación y conservación de la vida acuática (6,5-8,5). (Minsalud, 1984). El análisis histórico del comportamiento de esta variable indica que no hay tendencia estacional permaneciendo en el rango de $7,92 \pm 0,19$ a $8,26 \pm 0,22$.

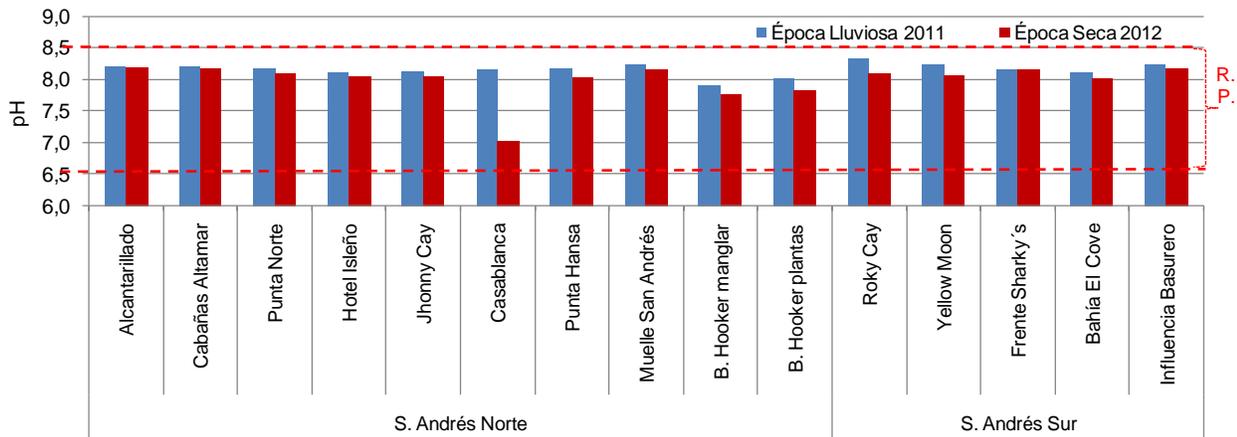


Figura 4.2-4. pH medido de aguas superficiales de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. Las líneas rojas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

Oxígeno Disuelto

Las aguas marino-costeras del departamento de San Andrés presentaron buenas condiciones de oxigenación (valores superiores a 4,0 mg/L), con excepción de la estación Bahía Hooker Manglar, que en época seca de 2012 registró una concentración de oxígeno disuelto (OD) de 3,3 mg/L, (Figura 4.2-5). Esta concentración se debe a las características de la zona que tiene comportamiento estuarino y que por descomposición de la hojarasca se genera una demanda considerable de oxígeno. En general, para la época lluviosa de 2011 el OD fluctuó entre 5,14 mg/L y 7,05 mg/L mientras que para la época seca de 2012 este valor fluctuó entre 3,3 mg/L y 6,93 mg/L.

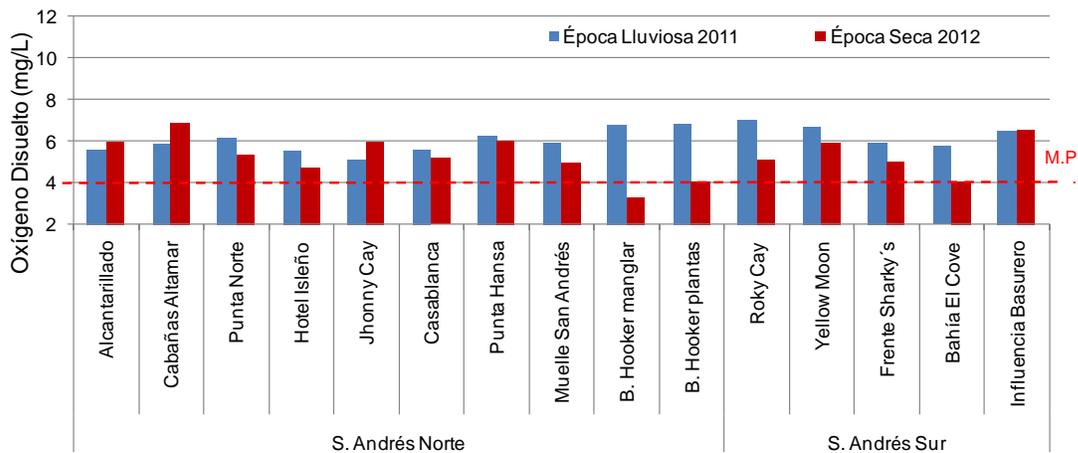


Figura 4.2-5. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) medidas en aguas superficiales de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

El análisis histórico, desde el 2001 hasta el periodo correspondiente al presente informe, las concentraciones de OD en el departamento de San Andrés mostró que las aguas marinas y costeras han presentado buenas condiciones de oxigenación con valores promedio por encima de 4,0 mg/L, mínimo establecido en la norma colombiana para la preservación y conservación de la flora y fauna (decreto 1594 de 1984; MinSalud, 1984).

4.2.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendidos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las épocas lluviosa del 2011 se encontraron en el rango de 1,0 – 7,0 mg/L y en la seca del 2012 se encontraron en el rango de 3,0 – 9,0 mg/L. Cabe destacar que en la estación Bahía Hooker manglar se presentan las concentraciones son más altas de SST tanto en época de lluvias como seca (7,0 y 9,0 mg/L respectivamente, Figura 4.2-6), no obstante el promedio de los SST en los muestreos del 2011 ($3,47 \pm 1,77$ mg/L) y 2012 ($4,60 \pm 1,88$ mg/L), no alcanzaron a superar los valores promedio histórico de la REDCAM en San Andrés en la época de lluvias y seca ($7,77 \pm 7,85$ y $6,74 \pm 8,19$ mg/L respectivamente).

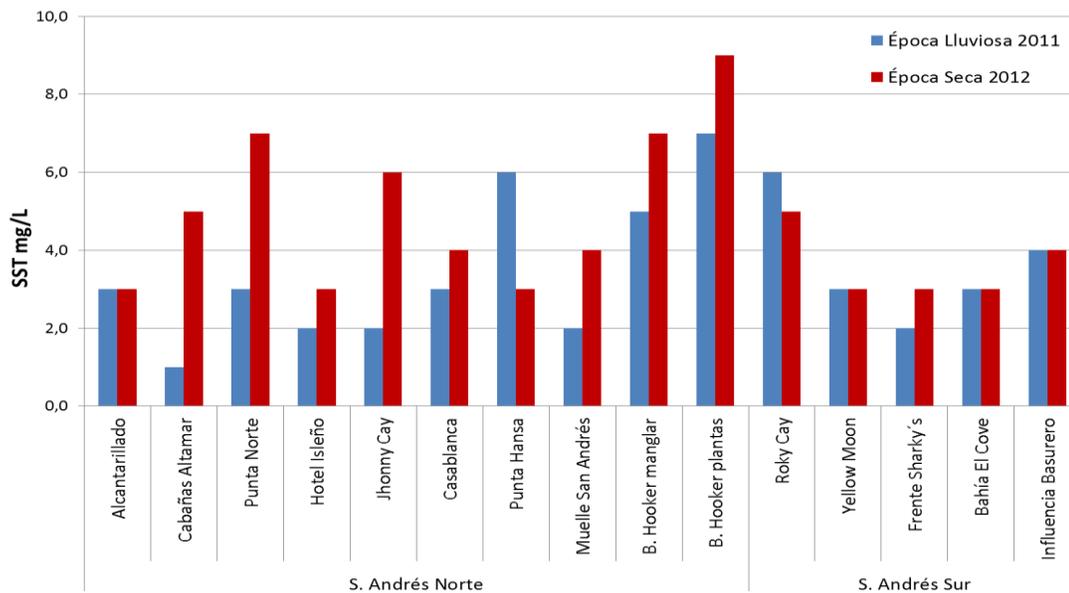


Figura 4.2-6. Concentraciones de sólidos suspendidos totales SST (mg/L) medidas en el agua superficial del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Los SST no muestran una clara diferenciación entre las zonas establecidas, en la zona de Providencia la estación que presenta el mayor valor promedio es la estación Escuela Bomboná ($23,02 \pm 37,43$ mg/L) en la época seca este valor promedio está influenciado por un valor puntual de 98 mg/L que se presentó en esta estación en la época seca de 2009; mientras en la zona San Andrés norte las mayores concentraciones de SST se registran en las estaciones Bahía Hooker manglar ($12,89 \pm 9,64$ y $8,94 \pm 4,79$ mg/L, en la época de lluvias y seca respectivamente) y Bahía Hooker plantas ($10,11 \pm 7,69$ y $11,96 \pm 6,75$ mg/L, en la época de lluvias y seca respectivamente) al mostrar una desviación estándar más baja muestra una entrada constante de sólidos en estas estaciones que se presenta por ser una bahía cerrada con poco intercambio de hídrico.

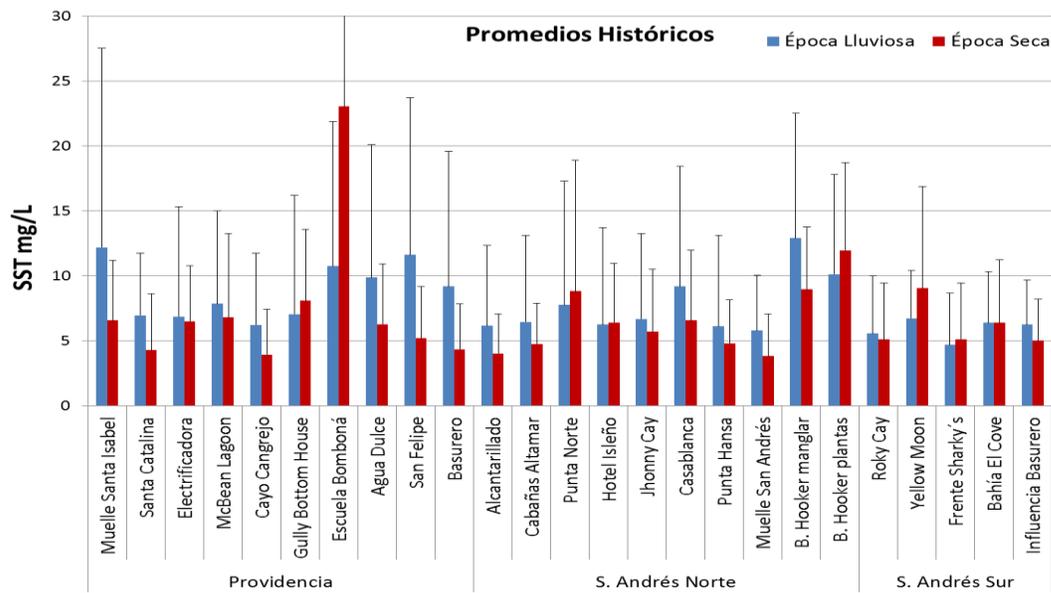


Figura 4.2-7. Promedios de las concentraciones de Sólidos Suspendedos Totales SST (mg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

Los SST en las aguas marinas tienen efectos sobre la salud de los ecosistemas coralinos, el aumento de SST afecta la penetración de la luz, afectando los procesos fotosintéticos de las algas asociadas a los corales. Además, la acumulación de sedimentos en el fondo de un arrecife puede perturbar la reproducción de los corales. Los datos reportados por la REDCAM, en las estaciones en el departamento de San Andrés islas están por debajo del valor de referencia de 50 mg/L (Fabricius, 2005), sugiriendo que los niveles SST permiten un buen nivel de salud para el ecosistema de coral.

Nitrógeno Inorgánico Disuelto

El nitrógeno inorgánico disuelto (NID), es la suma del nitrógeno en las formas de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+). En general las mayores concentraciones de NID durante la época lluviosa de 2011 se registraron en las estaciones Bahía Hooker Manglar (65 $\mu\text{g/L}$), Muelle de San Andrés (55 $\mu\text{g/L}$) y Bahía Hooker plantas (54 $\mu\text{g/L}$, Figura 4.2-8).

Históricamente, las mayores concentraciones de NID se han reportado en las estaciones Alcantarillado y Punta Norte ($129,7 \pm 71,8$ y $111,6 \pm 69,8$ $\mu\text{g/L}$ respectivamente Figura 4.2-9) en la época seca, mientras en la época de lluvias las estaciones con mayores concentraciones de NID son las estaciones Alcantarillado y Bahía Hooker manglar ($100,8 + 39,4$ y $112,2 + 53,9$ $\mu\text{g/L}$, respectivamente). Los datos muestran que la escorrentía en la época de lluvias no han sido fuentes importantes de NID al mar, los datos no muestran alta variación espacial aunque algunas estaciones en el norte de San Andrés muestran mayores niveles de NID, cerca del área más poblada siendo los vertimientos directos como los que se presentan por el alcantarillado y en la zona de Bahía Hooker aportes de NID dados por las actividades porcícolas que se presentan en la rivera de esta bahía.

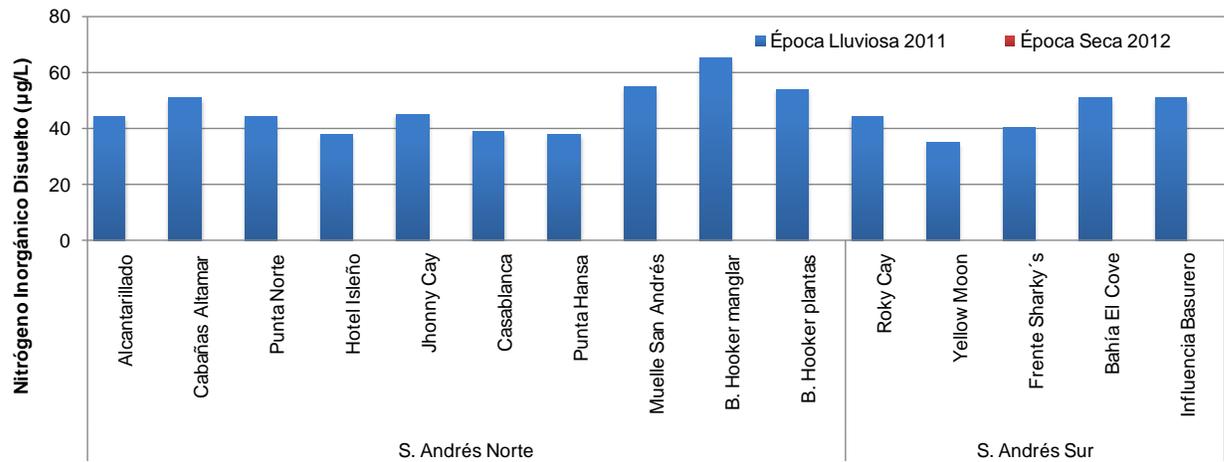


Figura 4.2-8. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto NID (µg/L) medidas en agua superficial del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en la época lluviosa 2011.

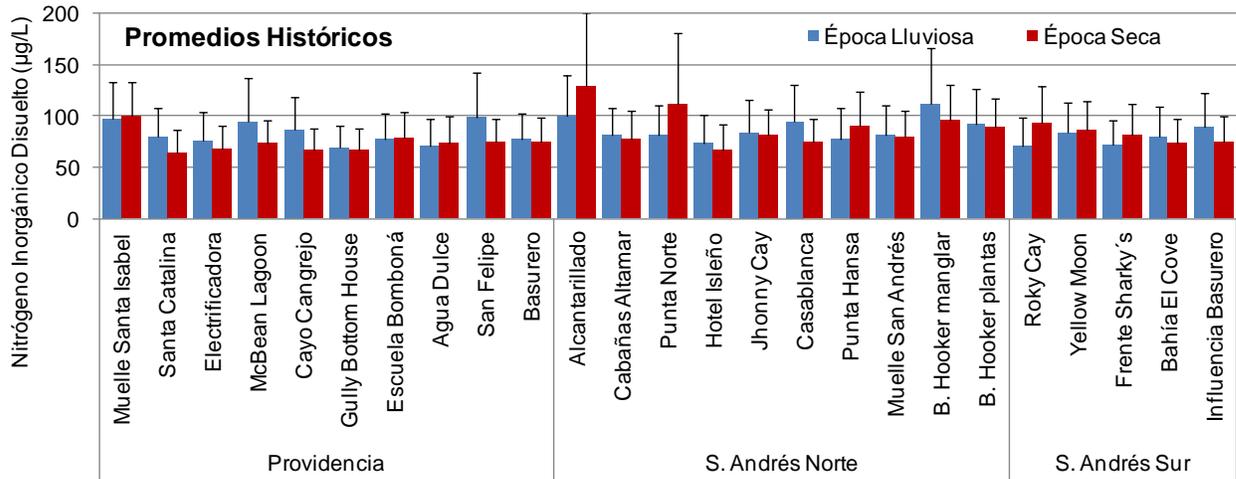


Figura 4.2-9. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto NID (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en la época lluviosa 2011

Fósforo Reactivo Soluble

Durante los muestreos de la época de lluvias del 2011, los registros más altos de fósforo reactivo soluble (FRS; también conocido como fósforo inorgánico disuelto, o simplemente ortofosfato) se presentaron en las estaciones Yellow Moon (22 µg/L) y en Cabañas Altamar (21 µg/L; Figura 4.2-10), con excepción del Punta Hansa (13 µg/L) las concentraciones de FRS En el departamento de San Andrés estuvieron por debajo de 10 µg/L, valores que están muy por debajo de los considerados que pueden generar impactos potenciales a la fisiología de corales (62,0 µg/L; Fabricius, 2005).

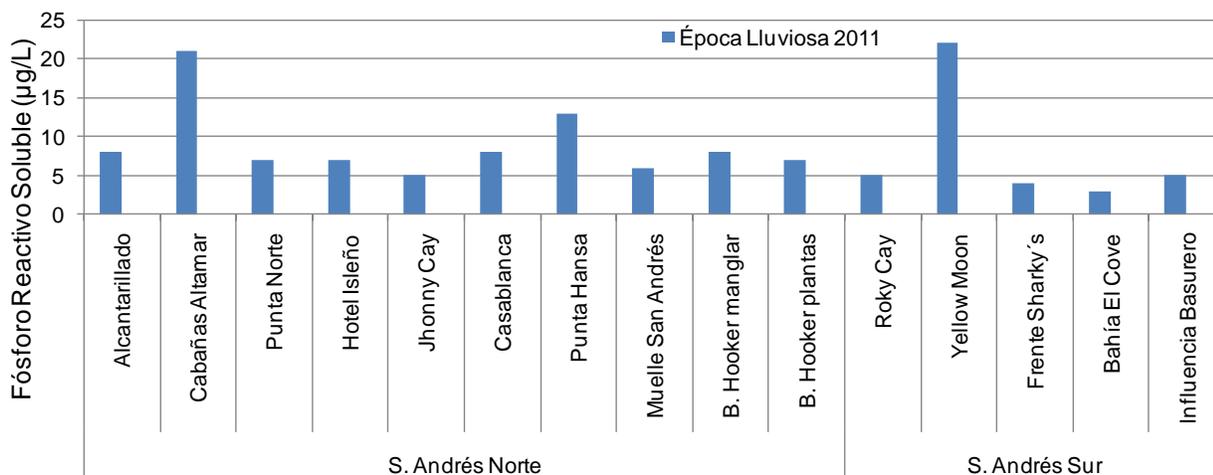


Figura 4.2-10. Concentraciones de fósforo reactivo soluble FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

El análisis histórico de FRS en las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, muestra que las concentraciones de las nutrientes en este departamento ha sido generalmente altas en comparación con los valores reportados en las zonas costeras del resto del país y corroboran análisis anteriores que muestran que las concentraciones de estos compuestos han presentado una tendencia a incrementar a través de los años (Vivas-Aguas *et al.*, 2010). Sin embargo, en el muestreo de la época de lluvias de 2011 se evidenció un importante descenso en la concentración de estos elementos se debe continuar indagando sobre las posibles fuentes que incrementarían los nutrientes que será muy pertinentes para la conservación de los ecosistemas coralinos que son importantes como recursos naturales y turísticos del departamento.

4.2.2 Contaminación Microbiológica

Aunque en San Andrés y Providencia históricamente se realizan análisis microbiológicos en 25 estaciones de las cuales 12 son playas y 6 ubicadas en la isla de San Andrés, para el monitoreo del último periodo de la época lluviosa de 2011 y seca 2012 solo se tienen registros para San Andrés y en esto se enfoca el informe, además el análisis de la información hace énfasis a la calidad de las playas para el uso frecuente de los turistas y locales. Los resultados mostraron que las aguas de uso recreativo en la isla de San Andrés presentan pocos casos que superaron los niveles de coliformes termotolerantes establecidos por la legislación nacional para actividades de contacto primario como es la natación (CTE < 200 NMP/100mL; Minsalud, 1984); únicamente durante la época seca de 2012 se presentó un caso en Rocky Cay, y en general históricamente no se presentan un porcentaje de casos que supere el 20% (Tabla 4.2-1), mostrando una buena calidad a nivel microbiológico. La detección de microorganismos indicadores como son los CTE en un cuerpo de agua de uso recreativo permite estimar el riesgo para la salud de los usuarios de contraer enfermedades de tipo gastrointestinal (Abdelzاهر *et al.*, 2010; Pond *et al.*, 2005).

Tabla 4.2-1 Coliformes Termotolerantes (CTE NMP/100mL) en las épocas climáticas lluviosa 2011 y seca 2012.

Playa	Época lluviosa 2011			Época seca 2012		
	(NMP/100mL)	% casos*	n	(NMP/100mL)	% casos*	n
Hotel Isleño	2	9	11	1	9	11
Jhonny Cay	17	9	11	1	18	11
Casablanca	9	0	7	110	13	8

departamento se encontraron en 12,0 ng/L (Bahía Hooker manglar) y 14,4 ng/L (Alcantarillado) respectivamente. Sólo en el 2005-2006 se registraron valores de OC por encima del valor de referencia adoptado (30 ng/L; EPA, 1999). En el 2005 en la estación Muelle Santa Isabel el valor superó las concentraciones encontradas en el territorio nacional 59,0 ng/L; y en el 2006 se registró el valor más alto de OC incluso para el país (148,0 ng/L) nuevamente en el Muelle Santa Isabel. Desde el 2007 las concentraciones de OC han sido inferiores al límite de detección de la técnica.

Lo anterior ha generado discusión sobre el origen de estos compuestos en el agua costera del departamento, se han presentado varias hipótesis como si provenían de otros países centroamericanos por efectos de corrientes o se utilizaron o estaban usando aun en las islas, ya que el desarrollo agrícola en ellas es escaso y por ende el consumo de agroquímicos también. Sin embargo, también estuvo en cuestionamiento el uso doméstico local, dado que los analitos detectados en mayor proporción correspondieron al aldrin y lindano (γ - HCH), empleados domésticamente para la eliminación de hormigas y piojos respectivamente.

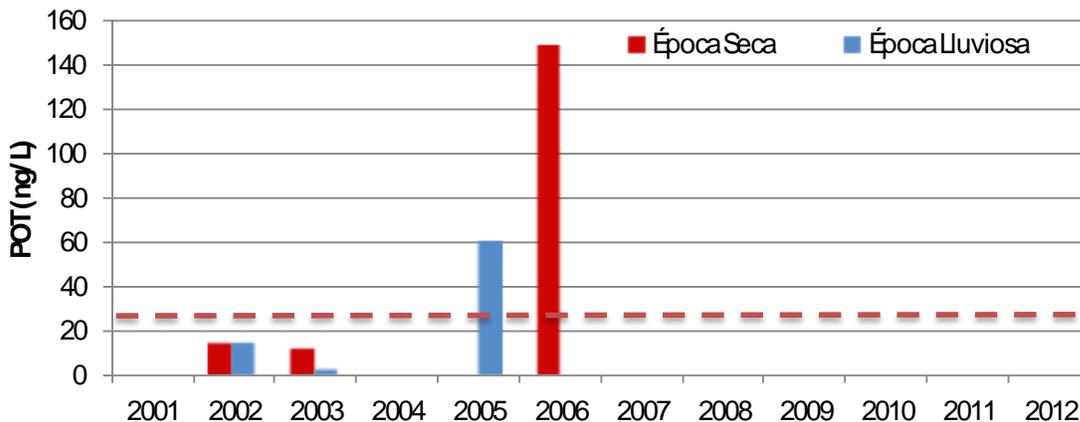


Figura 4.2-12. Concentraciones de plaguicidas organoclorados (ng/L) medidas en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en San Andrés y Providencia. La línea roja representa el Valor de Referencia (EPA, 1999).

En el 2009 se inicio el monitoreo de un nuevo grupo de moléculas que conforman plaguicidas que se usan actualmente. De las nueve moléculas analizadas (diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenaminfos, Cis y Trans-permetrina), en los tres años de monitoreo sólo se han detectado clorpirifos y permetrina (cis y trans). El clorpirifos se detectó en las dos épocas del 2009 en el sector sur de Providencia (Tabla 4.2-2), que de acuerdo a los relatos de los habitantes es el sector de la isla donde se practica la agricultura; y posiblemente este sea el origen de los mismos debido a los muchos usos que tiene este compuesto. También se detectó en el sector norte de providencia durante la época de lluvias del 2010 donde pudo llegar por escorrentía y corrientes, y en la zona norte de San Andrés en dicha zona coincide con la de mayor población, su uso puede ser domestico ya que también se detectó permetrina que es de aplicación doméstica.

Tabla 4.2-2. Concentraciones de plaguicidas encontradas en aguas superficiales en San Andrés en la época seca 2009-2012 y valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).

Temporada	Estación	Clorpirifos (ng/L)	Permetrina (ng/L)
-----------	----------	--------------------	-------------------

Seca 2009	San Andrés -Norte	17,5	<8,0
	Providencia Sur	24,3	<8,0
Lluvias 2009	San Andrés -Norte	<16,0	14,5
	Providencia Sur	70,3	9,0
Lluvias 2010	Providencia Norte	31,1	<8,0
<i>Valores de referencia para efectos agudos</i>	<i>Aguas dulces</i>	83	
	<i>Aguas marinas</i>	11	

4.2.5 Metales Pesados

En el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina no existe industria que pueda contribuir a la contaminación por metales pesados en las aguas costeras, sin embargo el vertimiento de aguas residuales y lixiviados de residuos sólidos pueden influir en la calidad de las aguas del departamento, debido a la creciente expansión de las zonas urbanas; las condiciones del acueducto y alcantarillado que se ven reducidas, la disposición de los residuos sólidos producidos cuyos lixiviados finalmente son vertidos al mar, pueden alterar las condiciones ambientales generando posibles fuentes de contaminación por tóxicos químicos como es el caso de los metales pesados.

El análisis de metales pesados en la época de lluvias de 2011 y seca de 2012 mostro bajas concentraciones de cadmio y cromo obteniéndose datos por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada en la mayoría de estaciones monitoreadas, mientras el plomo mostro valores en el rango de <0,08 a 12,60 µg/L, siendo en la estación de Alcantarillado donde se presento la mayor concentración (12,60 µg/L) no obstante esta valor está muy por debajo del límite considera como riesgo de efectos probables para os organismos en agua marina (210 µg/L, [Buchman, 2008](#)).

El análisis de metales en este departamento se inició en el 2001 hasta la actualidad, los rangos de los elementos monitoreados han estado por debajo de los valores considerados como de riesgo, el cadmio ha prestado un rango desde el límite de detección hasta un máximo de 5,00 µg/L, mientras el cromo mostro valores desde el límite de detección hasta un máximo de 1,36 µg/L, sin embargo estas concentraciones se encuentran muy por debajo de los referenciados en normas internacionales como de riesgo (40 µg/L Cd [Buchman, 2008](#) y Cr 50 µg/L [Conama, 1986](#)). En cuanto al plomo las diversas actividades antropogénicas que se efectúan en la zona Sur y Norte del archipiélago pueden ejercer un efecto en la concentración y movilidad de plomo, constituyéndose este elemento en el de mayor presencia para el archipiélago. El rango registrado de concentración de este elemento a lo largo del monitoreo es de 1,20 a 56,49 µg/L, sin embargo las mayores concentraciones se han registrado al inicio del monitoreo 2001-2002 a partir de esta fecha la tendencia general ha sido a disminuir. Los resultados muestran que en general la zona de Providencia presenta las menores concentraciones de los elementos analizados.

No obstante las bajas concentraciones de estos elementos, siendo el vertimiento de aguas residuales domesticas y lixiviados las mayores fuentes identificadas de contaminantes en la zona costera de este departamento se siguiere ampliar el número de metales analizados a otros relacionados con las actividades que se presentan en la zona costera de este departamento como es el Hierro, Níquel y Zinc; además de ampliar el análisis a otras matrices como los sedimentos.

4.2.6 Conclusiones

De acuerdo a los resultados del periodo evaluado (época de lluvias 2011 y época seca de 2012) las variables fisicoquímicas como temperatura y salinidad mostraron valores con pequeños intervalos de variación que se enmarcan dentro de los promedios históricos y son considerados normales para esta región insular. De igual manera las condiciones de pH y OD son aptas para la preservación y

conservación de la vida acuática y para uso recreativo, con excepción de la estación Bahía Hooker Manglares que en época seca de 2012 registró un valor de OD por debajo del límite permisible.

En la actualidad las concentraciones de HDD en aguas de este departamento son muy inferiores al valor de referencia ($<10 \mu\text{g/L}$), registrando las concentraciones más altas en la época seca de 2012 y no reflejan los impactos sobre las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estos ecosistemas. Por otra parte la reducción de la presencia de compuestos organoclorados es evidente en las aguas del departamento, desde el 2006 no se detectan. Sin embargo, se detectan algunos compuestos organofosforados como el Clorpirifos cerca a zonas de cultivos que pueden conducir a efectos en los organismos acuáticos lo cual ameritan un seguimiento.

En general las concentraciones promedio obtenidas para los metales pesados analizados (Cd, Cr, Pb) durante el periodo de muestreo en este departamento son bajas y están por debajo de los referenciados en normas internacionales como de riesgo.

La Guajira



Boca de Camarones y actividad de pesca. Foto: Janet Vivas-Aguas

4.3 LA GUAJIRA

El departamento de La Guajira está situado en la parte más septentrional de Colombia y del continente suramericano y limita con el Mar Caribe, entre los 10° 20' y 12° 30' de latitud norte; 71° 01' y 73° 41' de longitud oeste, con una superficie total de 20.848 km², 1.458 km² de área costera y 789 km de línea de costa desde el río Palomino hasta terminar en punta Castilletes (Posada y Henao, 2008; Corpoguajira e Invemar, 2012). Se caracteriza por con un clima árido y semiárido con una temperatura promedio de 30 ± 2 y humedad relativa entre el 80 al 90% (Posada y Henao, 2008).

La REDCAM cuenta actualmente con 27 estaciones de muestreo agrupadas en 3 zonas: La Alta Guajira donde se presentan lluvias escasas con valores que no sobrepasan los 500 mm/año y donde se localizan las áreas de muestreo del Cabo de la Vela, Manaure, Puerto Bolívar y Puerto Nuevo. La Baja Guajira por donde los vientos alisios transportan hacia el costado noreste de la Sierra Nevada de Santa Marta las nubes, convirtiéndola en la zona de mayor precipitación en el departamento, con valores que sobrepasan los 1.500 mm (río Tapias 1.528 mm) (IGAC, 1996; Andrade, 2000); y donde se ubican los ríos Palomino, Cañas, Jerez; las playas de Dibulla y Camarones, así como el área de influencia de Termoguajira. La zona de Riohacha como el área que presenta mayor influencia urbana con puntos de muestreo en el vertimiento de aguas residuales, el muelle, la parte baja y frente del río Ranchería y las playas de Mayapo y de Riohacha (Figura 4.3-1). Y por último, las cuatro estaciones muestreo de la Laguna de Navío Quebrado en el centro, sur, boca y extremo sur occidental (Figura 4.3-16).

La península de La Guajira tiene unas características climáticas y oceanográficas especiales por tener aguas cálidas a poca profundidad y una orientación general de las corrientes en superficie de este a oeste (Andrade, 2000). En la época seca, el oleaje se dirige perpendicularmente a la línea de costa (noroeste), mientras en la de lluvias se dirige de noreste a suroeste (Javelaud, 1987). Bajo la presencia de lluvia y chubascos se generan cambios bruscos y de corta duración, en ráfagas, con magnitudes de tormenta, donde el oleaje alcanza hasta dos metros de amplitud con periodos cortos (entre 2 o 3 segundos), que persisten únicamente durante el tiempo de duración del fenómeno (Molares et al., 2001). El presente informe incluye los resultados de los muestreos realizados entre el 24 y 26 de noviembre del 2011 (época lluviosa) y los días 06 y 08 de febrero de 2012 (época seca), en las tres zonas costeras de La Guajira Alta, Baja y Riohacha, y adicionalmente, las mediciones en aguas y sedimentos de la laguna de Navío Quebrado.

4.3.1 Variables Físicoquímicas

4.3.1.1 *In situ*

Temperatura

La temperatura superficial del agua costera fluctuó entre 22,3 y 33,5 °C en la época lluviosa de 2011 y entre 22,4 y 28,1 °C en época seca de 2012, evidenciando variaciones principalmente en el grupo de estaciones de Riohacha y la Alta Guajira. Las aguas fueron más cálidas en la época de lluvias de 2011 y más frías hacia la época seca de 2012 (Figura 4.3-2), coincidiendo con el período en que los vientos Alisios alcanzan su mayor influencia y se desarrolla la surgencia (Posada et al., 2012). En la Baja Guajira no se observaron cambios relevantes debido a que no se tuvo acceso a algunos puntos de muestreo; sin embargo, frente a Palomino el contraste entre épocas fue evidente con una diferencia de 5 °C. La variabilidad histórica que ha presentado la temperatura del agua en La Guajira y los cambios entre épocas climáticas son consistentes con la climatología y oceanografía de esta región, mostrando relación de la presencia estacional de los reconocidos eventos de surgencia causados por transporte de Ekman y la acción de vientos continentales en el Caribe colombiano durante la época seca (Arévalo y Franco, 2008), que causan disminución de la temperatura superficial del agua

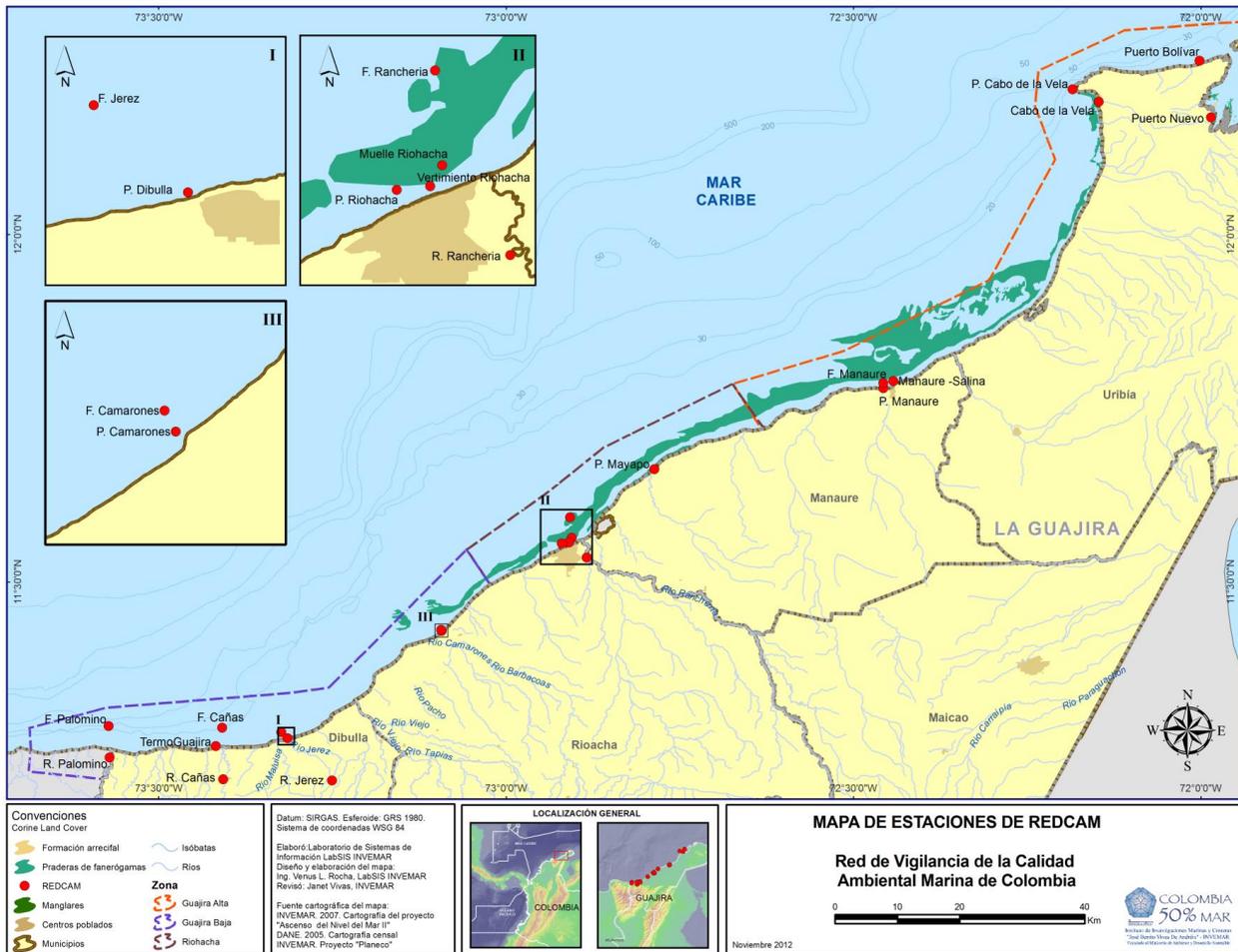


Figura 4.3-1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de La Guajira

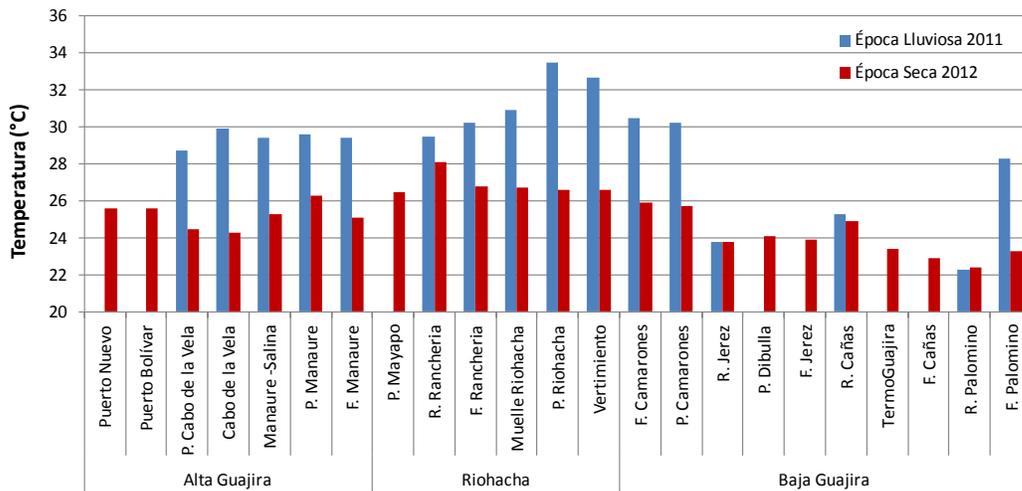


Figura 4.3-2. Temperatura (°C) medida en aguas superficiales de La Guajira en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Salinidad

Se observaron cambios de salinidad que explican el régimen hidrológico con valores que oscilaron entre 9,9 y 34,3 para la época lluviosa de 2011 y entre 34,3 y 37,9 para la época seca de 2012. Pese a que los cambios más sobresalientes fueron observados en las estaciones de Riohacha, particularmente en el muelle y la playa de Riohacha, además fue notorio el aporte de los ríos sobre los frentes de los ríos Ranchería y Palomino donde son propicios los procesos de mezcla y variaciones con un descenso de la salinidad en las épocas de lluvias (Figura 4.3-3) con una tendencia general de aumento hacia la época seca de 2012.

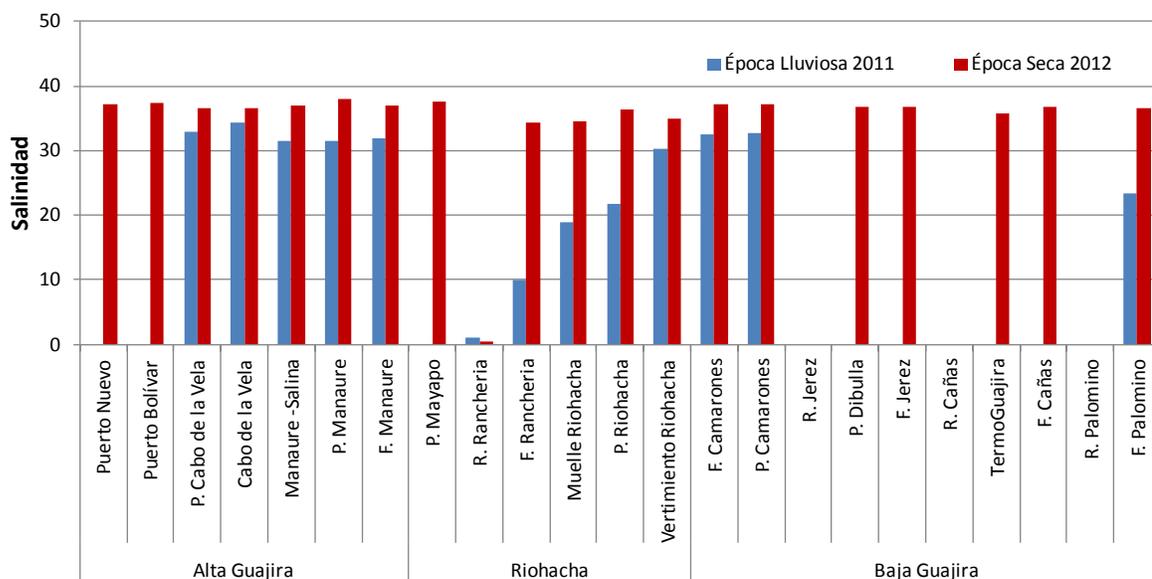


Figura 4.3-3. Salinidad medida en estaciones de aguas superficiales de La Guajira en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Históricamente la salinidad superficial ha mostrado cambios hidrológicos importantes relacionados por un lado con eventos climáticos (El Niño y La Niña) y por otro con fenómenos oceanográficos como la surgencia que caracterizan la época seca (García *et al.*, 2012) y en especial en La Guajira es un evento estacional, recurrente cada año y confinado a la cuenca sur del Caribe (Posada *et al.*, 2012). Los resultados REDCAM demuestran que en los años 2007, 2010 y 2011(años La Niña) se presentaron durante la época de lluvias salinidades promedios más bajas, principalmente en las estaciones de la baja Guajira ($21,0 \pm 14,8$; $14,5 \pm 13,7$ y $14,7 \pm 16,5$, respectivamente), mientras que durante los eventos de surgencia el ascenso de aguas subsuperficiales favorece salinidades más alta.

pH

El pH en las aguas de los ríos de La Guajira registró valores entre 6,39 y 8,52, los cuales generalmente son adecuados para la vida acuática en este tipo de aguas según la legislación nacional (4,5 – 9,0 para ríos), aunque el pH de 6,39 medido en el río Cañas fuera el más bajo del muestreo. En aguas marinas fue ligera la variación temporal de pH (7,82 – 8,3) y cumplieron la norma, ya que estas funcionan como soluciones buffer por su composición en el par iónico carbonato-bicarbonato que regula los cambios de pH (Libes, 1992; Emerson y Hedges, 2008).

El análisis histórico REDCAM mostró que en los últimos 11 años, el pH de las aguas marinas no tiene fluctuaciones amplias entre épocas ni años, mientras que en los ríos las oscilaciones son más evidentes. Los valores históricos más bajos para las aguas fluviales se han presentado en el río palomino (época lluviosa: $7,31 \pm 0,35$; época seca: $7,29 \pm 0,41$). En general, los valores de pH registrados durante las épocas lluviosa 2011 y seca 2012, se enmarcaron dentro del rango permisible (6,5 a 8,5) establecido en el Decreto 1594 de 1984 para preservación de fauna y flora (Minsalud, 1984) y dentro de valores de referencia para la conservación de los arrecifes coralinos (7,6 - 8,4; Wild et al., 2011).

Oxígeno Disuelto

Durante la época lluviosa de 2011 y la época seca de 2012 las aguas del departamento de la Guajira presentaron buenas condiciones de oxigenación en un rango de 5,4 a 7,7 mg/L de oxígeno disuelto, donde el mínimo valor de 5,4 mg/L se midió en el Cabo de la Vela y el más alto se obtuvo en la playa de Riohacha ambos durante la época lluviosa de 2011 (Figura 4.3-4). Históricamente los promedios de oxígeno disuelto se han mantenido entre $5,47 \pm 1,66$ y $7,50 \pm 1,22$ mg/L para época lluviosa y entre $5,59 \pm 2,02$ y $7,69 \pm 2,25$ mg/L para la época seca, indicando de manera general, que estas aguas tienen buenas condiciones de acuerdo a los lineamientos de calidad establecidos por la legislación colombiana para la preservación de la vida acuática (MinSalud, 1984).

4.3.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 5 y 123 mg/L en la época lluviosa de 2011 y en la seca de 2012 en el rango de 1,89 y 130,4 mg/L, equivalentes a los registros históricos del departamento (6 – 285 mg/L), sin tener en cuenta un valor extremo de 434,5 que se midió en la playa Mayapo durante la época seca de 2012. Este dato puntual medido en febrero de 2012, puede estar relacionado con los vientos que dominan la cuenca Caribe para estas épocas y que se manifiestan con la intensidad y extensión de la surgencia que inicia en diciembre y continúa hasta el mes febrero (Posada et al., 2012), evento que favorece el oleaje y resuspensión de los sólidos. Especialmente, la zona que presentó las concentraciones de SST más altas fue Riohacha para ambas épocas climáticas (Figura 4.3-5); influenciada esta zona no solo por los Alisios, sino que también recibe la carga del río Ranchería y el vertimiento de las aguas residuales de la ciudad (Figura 4.3-1).

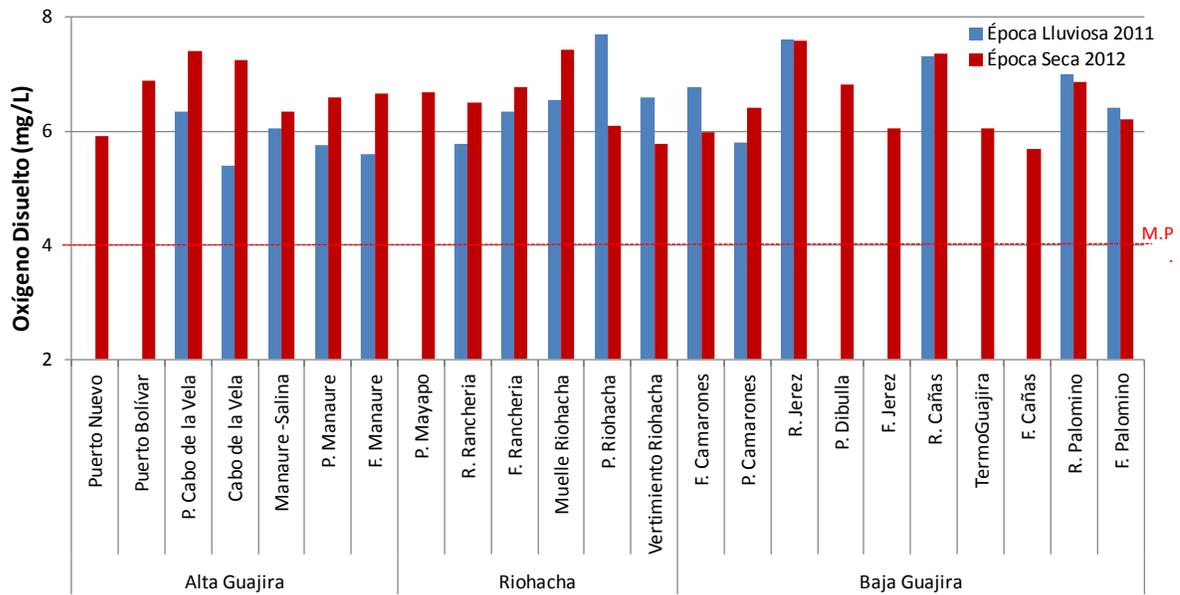


Figura 4.3-4. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) medidas en aguas superficiales de La Guajira en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

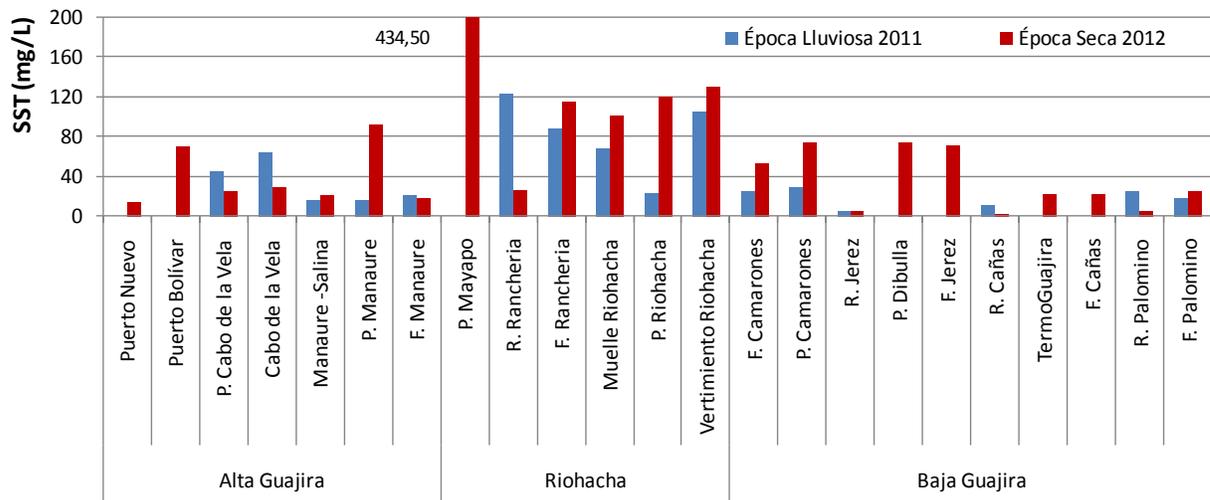


Figura 4.3-5. Concentraciones de sólidos suspendidos totales SST (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de La Guajira en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Los SST en los ríos de la Baja Guajira históricamente son más bajos y su rango promedio osciló entre $5,71 \pm 2,85$ y $37,6 \pm 86,1$ mg/L en las épocas lluviosa y seca, respectivamente, comparados con el río Ranchería que ha alcanzado promedios de $86,46 \pm 97,1$ y $60,25 \pm 44,9$ mg/L en las épocas lluviosa y seca, respectivamente (Figura 4.3-6). Por otra parte, en las estaciones marinas de las 3 zonas los SST oscilaron en promedio entre 22,6 y 149,3 mg/L, siendo el vertimiento de aguas residuales de Riohacha el sitio que mayor cantidad de SST aporta a la zona costera en ambas épocas climáticas (Figura 4.3-6). Durante el monitoreo 2001-20012 se ha demostrado que para La Guajira, generalmente los SST aumentan durante la época seca en la mayoría de las estaciones (Figura 4.3-6), debido al fenómeno de surgencia que se

Históricamente, las concentraciones de NID han oscilado entre 20,2 a 412 $\mu\text{g/L}$ en época de lluvias y entre 11,5 y 171,6 $\mu\text{g/L}$ en época seca, con una tendencia clara al aumento en épocas lluviosas, particularmente en la zona de Riohacha en las estaciones de playa Riohacha, río Ranchería y el vertimiento de aguas residuales, así como en la Baja Guajira, en los ríos Palomino, Cañas y Jerez (Figura 4.3-8). Es de resaltar que las estaciones con el NID más alto, presentaron una mayor proporción de nitratos (NO_3^-), lo que demuestra la influencia que tiene la entrada de fuentes antropogénicas como actividades agropecuarias en los ríos Ranchería, Palomino, Cañas y Jerez y el vertido de aguas residuales domésticas sobre la zona costera. Además, en el río Palomino el NID está representado en mayor proporción por el amonio (NH_4^+).

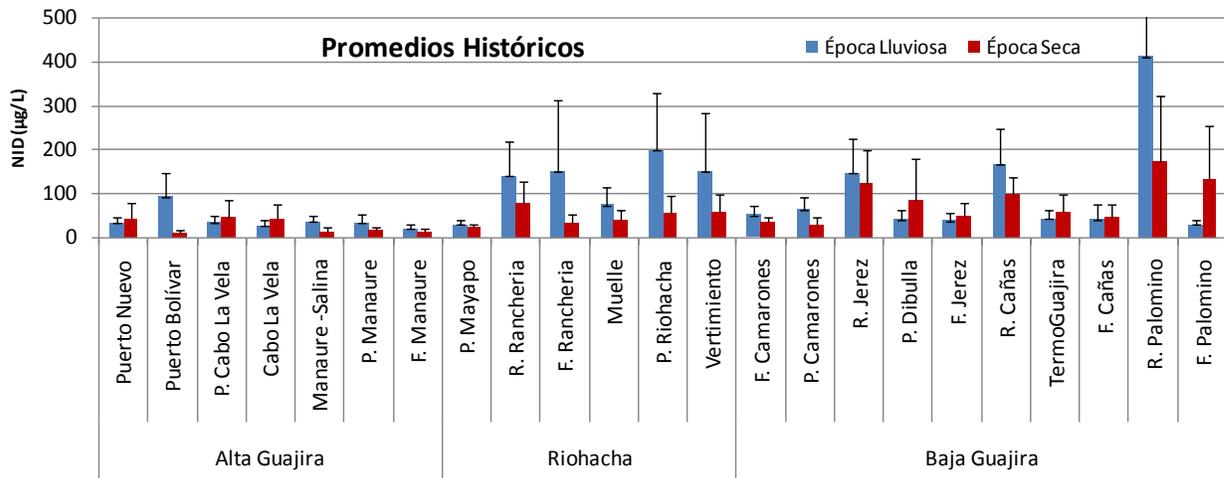


Figura 4.3-8. Concentraciones promedio de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 y 2012 en el agua superficial de las estaciones de La Guajira. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

Los resultados muestran además, que los ríos son fuentes importantes de NID al océano, particularmente en la época lluviosa cuando aumentan las precipitaciones y la escorrentía transporta los nutrientes de los suelos hacia la cuenca baja de los tributarios que de allí son descargadas al mar. En este departamento la cuenca del río Ranchería se considera la más importante gracias a que alberga la mayor cantidad de actividades productivas y de población, pero no se puede desconocer al río Palomino que hace altos aportes de NID a la zona costera (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

Fósforo Reactivo Soluble

Los registros más altos de fósforo reactivo soluble (FRS; también conocido como fósforo inorgánico disuelto, o simplemente ortofosfato se presentaron en la época lluviosa 2011 en la zona de Riohacha con valores muy contrastantes con respecto a la época seca en el río Ranchería (121,8 $\mu\text{g/L}$), su frente (90,1 $\mu\text{g/L}$; Figura 4.3-9) y en el muelle de Riohacha, debido a la influencia de las escorrentías de la cuenca del río Ranchería. El resto de estaciones del departamento no superaron los 45 $\mu\text{g/L}$ y las menores concentraciones se obtuvieron en la Alta Guajira en un rango entre 2,74 y 14,5 $\mu\text{g/L}$.

El análisis histórico demuestra que los mayores aportes de FRS a la zona costera de La Guajira vienen a través de los ríos y aumentan generalmente en las épocas de lluvias (Figura 4.3-10). Según los datos promedio el río Ranchería trae el mayor aporte promedio (138,9 \pm 78 $\mu\text{g/L}$), seguido de los ríos Palomino (79,2 $\mu\text{g/L}$) y Cañas (34,7 $\mu\text{g/L}$), debido al lavado del suelo y al escurrimiento de fertilizantes en las temporadas de altas precipitaciones.

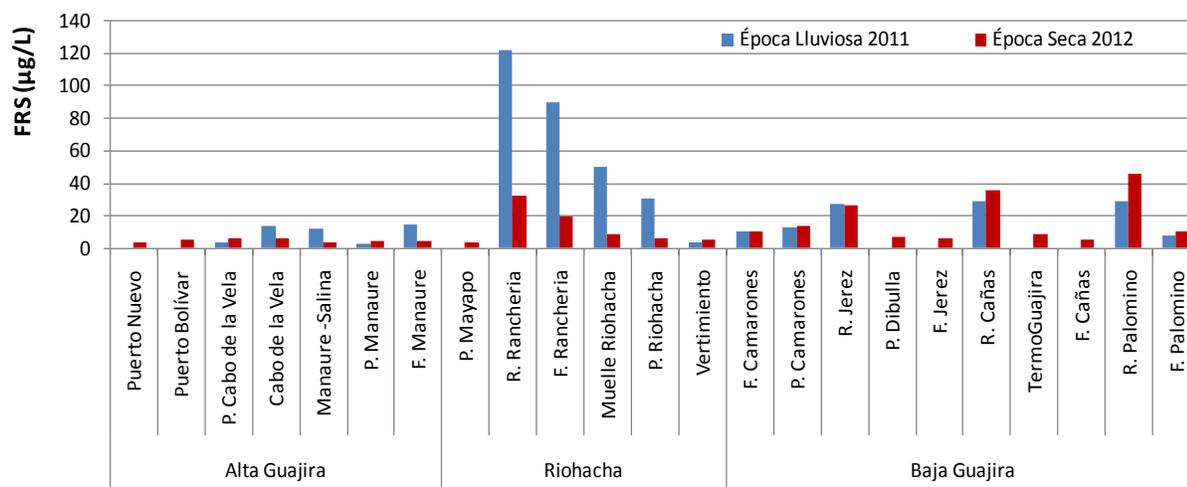


Figura 4.3-9. Concentraciones de fósforo reactivo soluble FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones de La Guajira en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

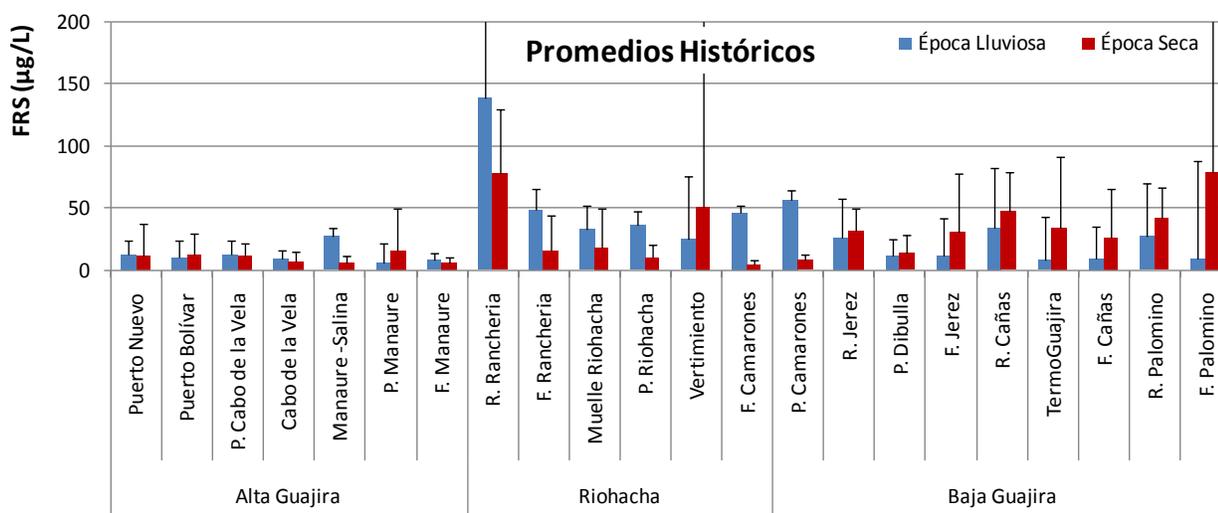


Figura 4.3-10. Concentraciones promedio de fósforo reactivo soluble FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 y 2012 en el agua superficial de las estaciones de La Guajira. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

4.3.2 Contaminación Microbiológica

Las muestras microbiológicas se toman en 16 estaciones que incluyen ríos y áreas marinas desde el año 2001, sin embargo en el presente informes se hace énfasis en los cuatro ríos principales y en las playas como sitios de interés y uso frecuente por turistas y personas de la región. Durante este periodo de monitoreo, la cuenca baja de los ríos han presentado las mayores concentraciones de Coliformes Totales (CTT), especialmente en la época de lluvias de 2011, donde los valores oscilaron entre 1.400 NMP/100 mL en río Jerez y 35.000 NMP/100 mL en el río Palomino (Figura 4.3-11a), siendo ésta ultima la mayor concentración de la época, y el segundo valor más alto reportado después de la época de lluvia del año 2002 (54.000 NMP/100 mL). Aunque en La Guajira las lluvias fueron moderadas, en octubre cuando se realizó el muestreo, este resultado posiblemente se debe a la cercanía del río Palomino con el

departamento del Magdalena donde las precipitaciones excedieron el 120% del promedio histórico para la zona (IDEAM, 2011).

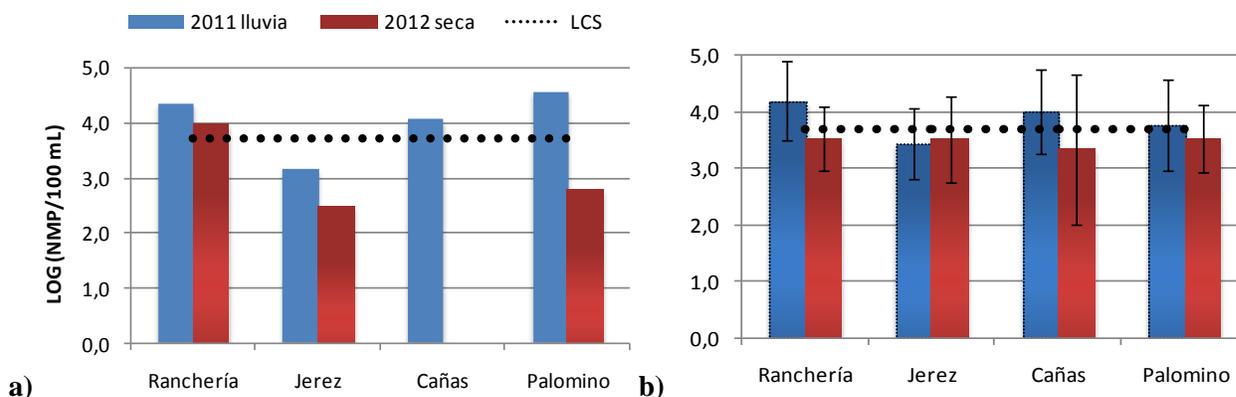


Figura 4.3-11 Concentraciones de Coliformes Totales (LOG NMP/100mL) medidas en aguas superficiales de los ríos que desembocan en las zona costera del departamento de La Guajira. (a) época lluviosa de 2011 y seca de 2012. (b) promedios históricos en la época lluviosa y la época seca entre 2001 y 2012. La línea punteada equivale al valor de referencia para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (LOG < 5000 NMP/100 mL; MinSalud, 1984).

El aumento de la escorrentía con el fenómeno de “La Niña” y el vertido directo de aguas domésticas de las poblaciones ribereñas en los ríos Ranchería, Cañas y Palomino generó una carga importante de CTT que redundó en el incumplimiento del decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984) para el desarrollo de actividades recreativas de contacto secundario (<5000 NMP/100mL) durante la época de lluvias. Por otro lado, en las muestras tomadas en febrero (época seca 2012), se midieron concentraciones inferiores de CTT, con respecto a la época de lluvia, consecuente con el debilitamiento notable del fenómeno “La Niña” (IDEAM, 2012).

Según los registros históricos, el comportamiento promedio en época lluviosa para los ríos Ranchería ($16.000 \pm 0,71$ NMP/100mL), Cañas ($10.000 \pm 0,75$ NMP/100mL) y Palomino ($6.400 \pm 0,80$ NMP/100mL) ha sido recurrente por el detrimento de la calidad de sus aguas con concentraciones de CTT altas (Figura 4.3-11b) que pueden provenir de fuentes no puntuales como las actividades agrícolas y de aguas residuales sin previo tratamiento (Cho *et al.*, 2010; Dorfamn *et al.*, 2009). Pero por el contrario en la época seca las concentraciones promedios en los 4 ríos han permanecido dentro de lo establecido en la legislación nacional (MinSalud, 1984).

En cuanto a las aguas de uso recreativo, en el departamento se presentaron diferencias significativas entre las épocas climáticas ($p < 0,05$), pero no entre las 3 zonas. Los casos de incumplimiento de Coliformes Termotolerantes (CTE) se presentaron en la época lluviosa 2011 en 3 playas (Tabla 4.3-1) que superaron la legislación nacional para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario (CTE < 200 NMP/100 mL; Minsalud, 1984); mientras que en la época seca de 2012 ningún balneario mostró incumplimiento.

El análisis histórico mostró que los mayores casos de incumplimiento se presentaron en las temporadas de lluvia, particularmente en la playa de Manaure, que tiene influencia los residuos del municipio de su mismo nombre, el cual no cuenta con un adecuado sistema de saneamiento y cuenta con sólo el 25 % en cobertura de alcantarillado (CORPOGUAJIRA e INVEMAR, 2012), situación que favorece las escorrentías urbanas superficiales que aumentan el arrastre de aguas servidas en épocas de lluvias hacia la zona costera afectando directamente la calidad del agua de esta playa.

que se evidenció variación interanual ($p < 0,05$) y algunos años como en el 2001 se detectaron concentraciones de 7,32 $\mu\text{g/L}$ en las estaciones frente a los ríos Cañas y de 8,80 $\mu\text{g/L}$ en Palomino; durante el 2003 se midió 8,63 $\mu\text{g/L}$ en el Cabo de la Vela y en el 2011 de 5,59 $\mu\text{g/L}$ también en el Cabo de la Vela, ninguno de estos datos sobrepasó la referencia para aguas contaminadas (UNESCO, 1984).

4.3.4 Plaguicidas

Es evidente la reducción en el tiempo de la presencia de plaguicidas organoclorados (OC) en las aguas costeras del departamento (Figura 4.3-13). En los últimos monitoreos no se han detectado residuos de estos compuestos, pese a que anteriormente se registraban con cierta frecuencia, y no se habían medido valores que superaran la referencia adoptada de 30 ng/L establecida por la EPA (1999), a excepción de los años 2008 y 2009 (Figura 4.3-13). No obstante, los resultados de estos dos años obedecieron a la implementación del análisis de nuevas moléculas en el monitoreo, ya que se incrementó la capacidad de determinación de 12 a 22 moléculas, lo que significa que se cuantifican moléculas que antes no se tenían en cuenta, generando por ende valores más altos.

Por tanto, es relevante destacar la reducción en la presencia de OC, ya que en los primeros seis años de monitoreo el promedio de aparición de estos compuestos era del 60 % y en la actualidad es de 0 % como consecuencia de la prohibición en su uso y comercialización. La tendencia variable que han presentado las concentraciones de OC es un indicador de que los suelos estuvieron drenando sustancias que fueron aplicadas hace mucho tiempo y que aún se encuentran en el medio debido a su persistencia.

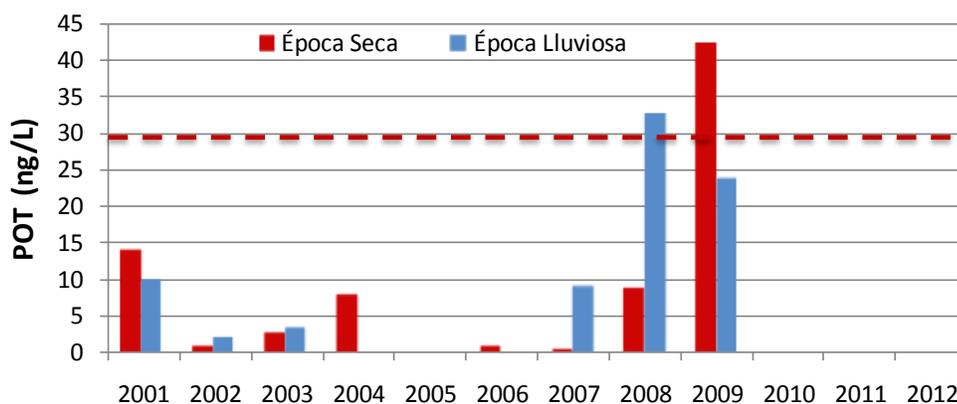


Figura 4.3-13. Rangos de concentraciones de plaguicidas organoclorados (ng/L) medidas en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en la Guajira. La línea roja representa el Valor de Referencia (EPA, 1999).

Adicionalmente, en el 2009 se inició el monitoreo de un nuevo grupo de moléculas de plaguicidas que se usan actualmente y de las nueve moléculas analizadas (diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenamifos, Cis y Trans-permetrina), en estos últimos tres años sólo se han detectado clorotalonil, metil paration y clorpirifos en la zona de influencia de descargas de los ríos Ranchería, Palomino y en Riohacha, debido posiblemente a que en estas cuencas se practica la agricultura ya que son de uso generalizado en ella. No obstante, los niveles medidos para estas moléculas han estado por debajo del valor de referencia según la EPA (Buchman, 2008) y no representan riesgo para los organismos acuáticos (Tabla 4.3-2), pero en el caso de los clorpirifos podrían llegar a afectar cerca de 8 veces más al medio marino porque es más sensible a este compuesto con respecto a los organismos de agua dulce.

Tabla 4.3-2. Concentraciones de plaguicidas encontradas en aguas superficiales de La Guajira entre el 2009 y 2012 y valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).

Época climática	Estación	Clorotalonil (ng/L)	Clorpirifos (ng/L)	Metil paration (ng/L)
Lluvias 2009	Cabo de la vela	20,7	–	–
	Río Ranchería	115,6	–	–
Seca 2010	Río Cañas	–	–	32,3
	Frente a Cañas	–	–	65,9
	Río Cañas	–	–	37,1
Lluvias 2010	Frente a Cañas	–	–	57,5
	Frente a	–	–	19,7
	Río Cañas	–	27,9	–
Seca 2011	Río Palomino	–	52,2	–
	Río Ranchería	–	22,1	–
	Playa Riohacha	–	16,5	–
	No detectables	–	–	–
Seca 2012	No detectables	–	–	–
Valor de referencia para efectos agudos	Aguas dulces	180	83	CL ₅₀ : 1,9 - 8,9 mg/L*
	Aguas marinas	360	11	

* Ecotoxenet, (2012). – No detectado

4.3.5 Metales Pesados

El monitoreo de los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) en las aguas superficiales marino costeras de la Guajira medidos entre la época de lluvias de 2011 y la época seca de 2012 estuvieron muy por debajo de los niveles de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados en guías internacionales (Pb 210 µg/L, Cd 40 µg/L Buchman, 2008; y Cr 50 µg/L Conama, 1986). Entre estos elementos analizados el Pb es el que ha presentado mayores concentraciones en un rango promedio de $5,39 \pm 3,70$ y $8,04 \pm 2,34$ µg/L en la época de lluvias y seca, respectivamente), y con los registros más altos en las estaciones de frente a Manaure (9,73 µg/L) y río Jerez (9,77 µg/L) durante la época de lluvias de 2011 y en Manaure salina (12,67 µg/L) y Termoguajira (12,21 µg/L) en la época seca de 2012. Generalmente se evidenció un leve incremento de Pb en la mayoría de las estaciones en época seca de 2012 comparado con la época de lluvias de 2011 (Figura 4.3-14), sin embargo los valores no superaron la referencia de riesgo para efectos agudos en la guía internacional de la NOAA (210 µg/L, Buchman, 2008).

El Cd disuelto presentó valores inferiores al límite de detección (0,25 µg/L) en la mayoría de las estaciones, excepto frente a Camarones (0,83 µg/L) para la época seca de 2012, pero este valor es muy inferior al considerado de riesgo para efectos agudos de la NOAA (40 µg/L; Buchman, 2008). En cuanto a la concentraciones de cromo (Cr) disuelto estuvo por debajo del límite de detección (0,50 µg/L). Durante todo el monitoreo entre el 2001 y 2012 en la estación de Termoguajira se han medido las mayores concentraciones promedio ($12,97 \pm 16,81$ µg/L; en épocas de lluvia) y en el río Palomino ($12,06 \pm 19,02$ µg/L; en la época seca), sin embargo, el promedio general de Pb disuelto se ha mantenido inferior a 13 µg/L (Figura 4.3-15) muy por debajo de la referencia (Pb 210 µg/L, Buchman, 2008), y no hay una clara tendencia temporal ni espacial en las estaciones de muestreo.

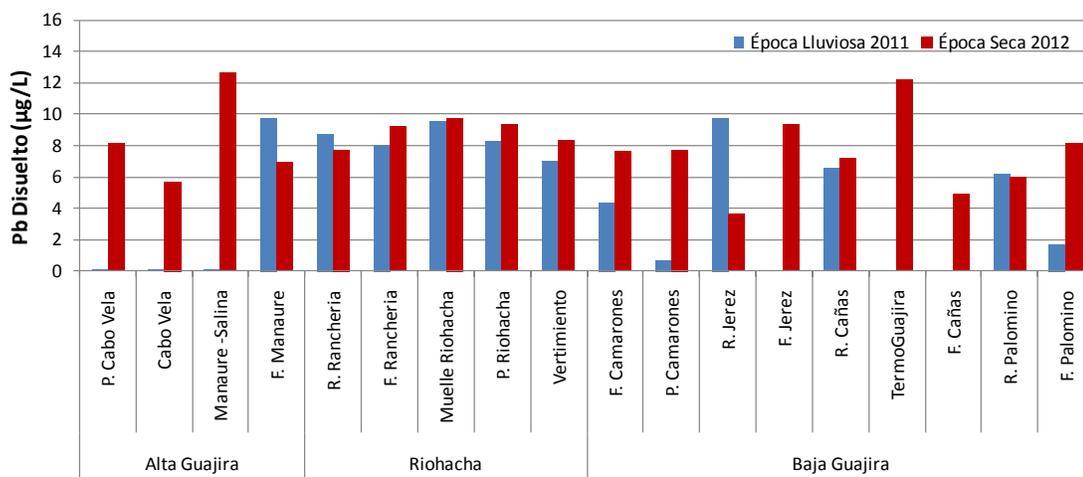
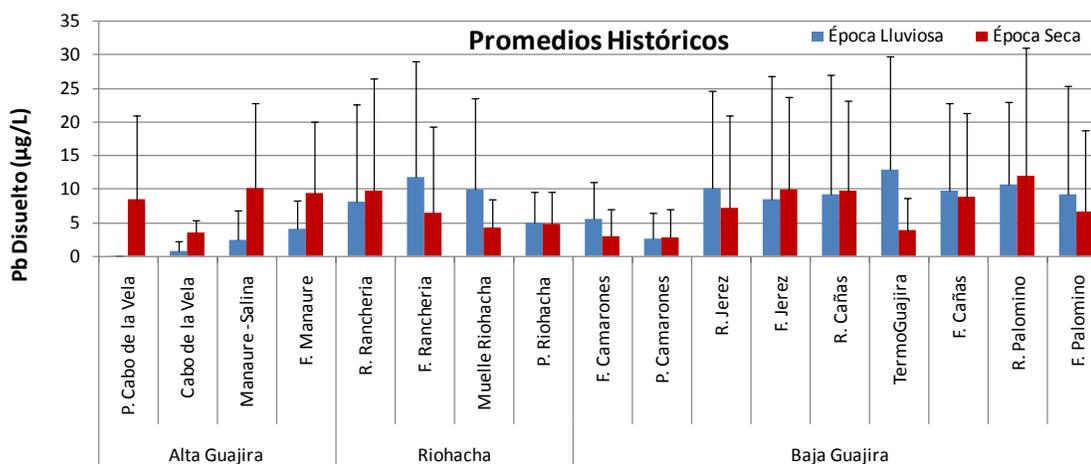


Figura 4.3-14 Concentraciones de plomo disuelto (Pb, µg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de la Guajira, en la época lluviosa de 2011 y seca de 2012.

Por otra parte, el Cd disuelto si mostró una tendencia temporal con un claro aumento en épocas de lluvia en la mayoría de las estaciones (Figura 4.3-15), demostrando que su presencia en la zona costera se debe a las escorrentías pluviales principalmente, aunque los niveles siguen estando muy por debajo del valor de riesgo para efectos agudos de la NOAA ($40 \mu\text{g/L}$; [Buchman, 2008](#)), ya que el mayor promedio histórico se presentó en punta Cabo de la Vela ($1,11 \pm 0,87 \mu\text{g/L}$) en época de lluvias y en el río Palomino ($0,83 \pm 0,98 \mu\text{g/L}$) en la época seca. En el caso del Cr disuelto la mayor concentración promedio se presentó en punta Cabo de la Vela ($3,49 \pm 4,74 \mu\text{g/L}$) en época de lluvias, mientras que en época seca fue en la playa Camarones ($3,13 \pm 4,36 \mu\text{g/L}$) (Figura 4.3-15), y al igual que los otros metales Pb y Cd, los valores medidos de Cr están muy por debajo de la referencia para aguas marinas ($50 \mu\text{g/L Cr}$, [Conama, 1986](#)) y el 60% de las mediciones más altas se han registrado en la época de lluvias, comprobando la entrada de este elemento a la zona costera a través de las escorrentías.



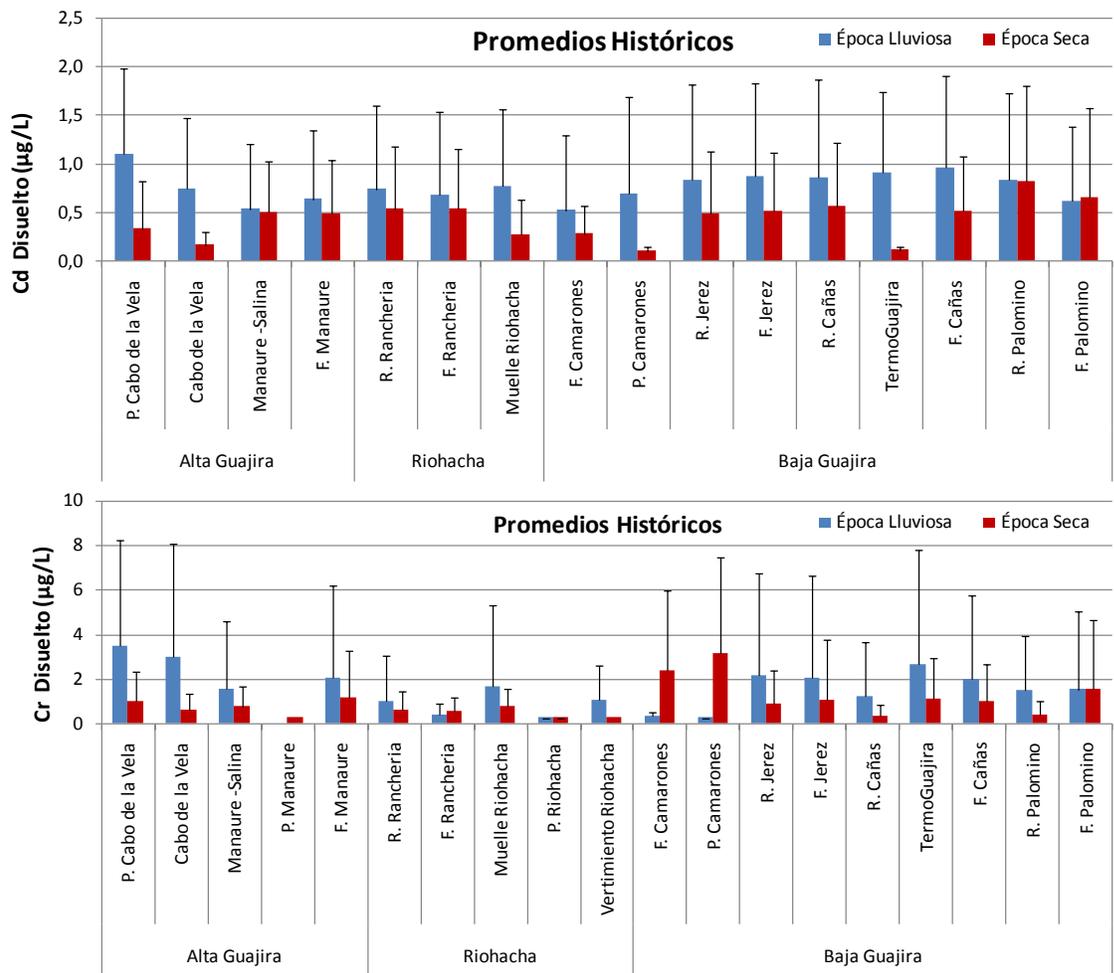


Figura 4.3-15. Concentraciones promedio de plomo, cadmio y cromo disuelto (µg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca de 2001 a 2012, en estaciones de aguas superficiales del departamento de La Guajira. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

El análisis histórico de los metales muestran que en general las mayores concentraciones de Pb se registraron en la época de lluvias de 2001 y en la época seca de 2002, y una leve tendencia a disminuir y concentraciones menores a 10 µg/L a partir de la época seca de 2008, y luego todos los valores de Pb han sido inferiores a la referencia de la NOAA (210 µg/L, Buchman, 2008). Las concentraciones de Cd han mostrado una tendencia a disminuir, excepto en la época de lluvias del año 2009 donde se evidenció un leve incremento en las tres zonas. No obstante, desde la época seca de 2010 las concentraciones no han superado los 0,9 µg/L a excepción de la época de lluvias de 2009 donde se presentaron valores entre $8,06 \pm 4,95$ y $9,59 \pm 1,09$ µg/L en las 3 zonas y en la época seca de 2010 con concentraciones de $2,69 \pm 2,39$ y $4,66 \pm 4,05$ en la zona de Alta y Baja Guajira respectivamente, no obstante, estas no superan los valores de riesgo de 50 µg/L según Conama (1986).

Según las características socioeconómicas de la zona costera de La Guajira, los resultados reflejan que la presencia de metales como cadmio cromo y plomo en las aguas costeras, aunque en muy bajas concentraciones que no revisten peligro al medio marino, se debe posiblemente a los aportes de los tributarios y las actividades antropogénicas desarrolladas cuenca arriba, por lo tanto, se sigue ampliando la

gama de metales que se relacionan con actividades de la zona costera como es el Hierro, Níquel y Zinc; y además ampliar el análisis a los sedimentos.

4.3.6 Laguna Navío Quebrado

La Laguna de Navío Quebrado se encuentra ubicada en el corregimiento de San Lorenzo de Camarones cerca al municipio de Riohacha ($11^{\circ}27'24''$ - $11^{\circ}22'24''$ N y $73^{\circ}11'19''$ - $73^{\circ}7'01''$ W), es un humedal costero con una superficie de inundación de 9 km^2 y debido al régimen hídrico y a las condiciones climáticas de la zona durante el año por ser un sistema dinámico y abierto, que pasa de ser una salina a una laguna estuarina temporal de alta productividad biológica y reconocido valor económico y ambiental (Rosado y Marquez, 2004) el cual tiene contacto con la zona marina, el río Camarones y otros arroyos perennes e intermitentes de la región (Figura 4.3-16). Durante el periodo de datos analizados entre mayo y septiembre de 2012 se monitorearon 4 estaciones en el interior de la laguna donde se midieron variables fisicoquímicas in situ, nutrientes, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), microbiológicas y metales pesados en aguas y sedimentos

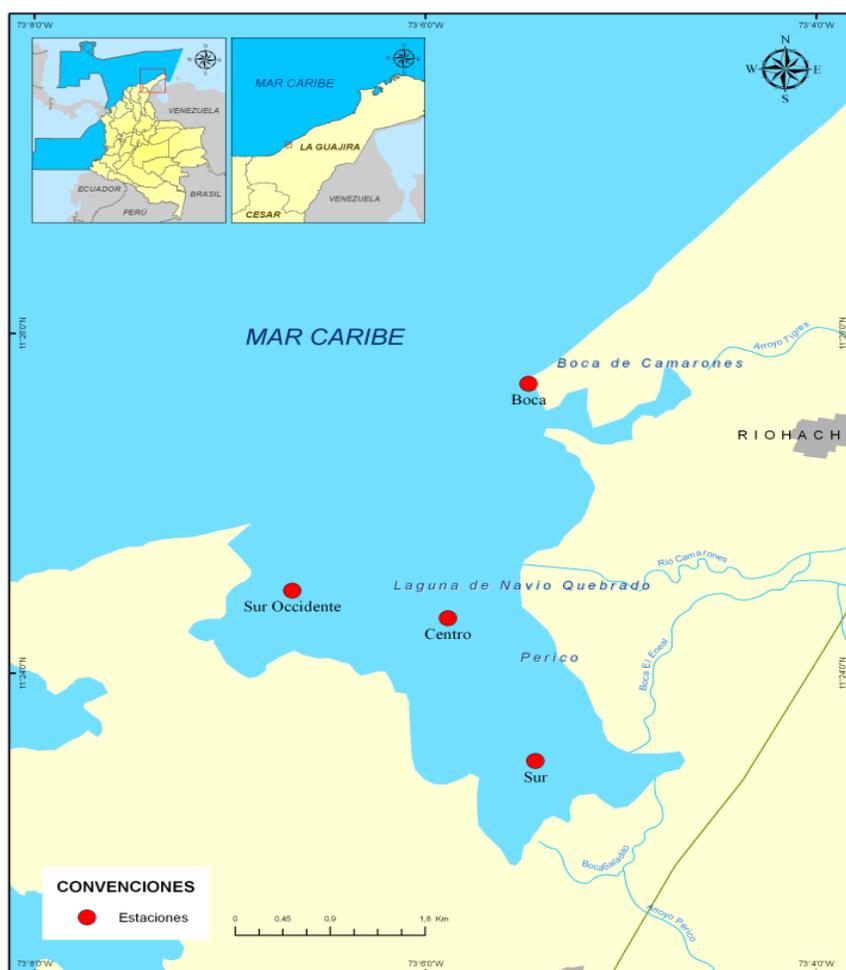


Figura 4.3-16. Estaciones de muestreo en aguas y sedimentos de la Laguna de Navío Quebrado – La Guajira.

4.3.6.1 Calidad de aguas

Temperatura

La temperatura superficial del agua osciló entre 25 y 31,8 °C y presentó intervalos de variación entre 1,7 - 6,8 °C, con el punto más cálido en la estación de la Boca (31,8 °C) y menos cálido en el Centro (25,0 °C), ambos valores medidos en el mes de mayo de 2012 (Figura 4.3-17) que se mostró como el mes ligeramente más cálido comparado con agosto y septiembre, excepto en la estación del Centro donde se presentó un aumento progresivo de la temperatura de mayo a septiembre quizás por ser el punto donde confluyen las corrientes inducidas por régimen de vientos y mareas, y le otorga una distribución superficial diferente (Figura 4.3-17).

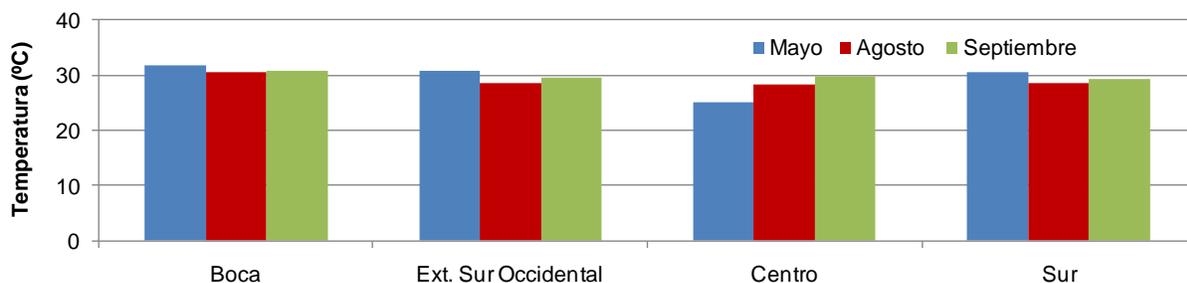


Figura 4.3-17. Temperatura (°C) medida en estaciones de aguas superficiales de La Laguna Navío Quebrado-Guajira en los meses de mayo, agosto y septiembre de 2012.

Salinidad

Dadas las condiciones estuarinas de la laguna su dinámica, se presentaron variaciones de la salinidad entre 16,4 y 37,1, con los cambios más notorios en la estación de la Boca por tener mayor intercambio directo con el mar, y en donde los procesos de mezcla inducen a que la salinidad varíe principalmente en los meses de lluvias. No obstante se observó una tendencia de disminución de la salinidad generalizada de mayo a septiembre, lo cual representó el ingreso de agua dulce al sistema, como consecuencia del régimen hidrológico en esta región (Figura 4.3-18).

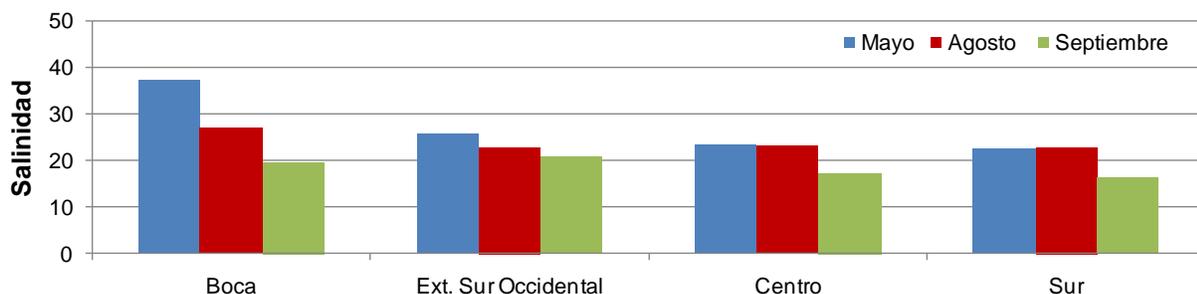


Figura 4.3-18. Salinidad medida en estaciones de aguas superficiales de La Laguna Navío Quebrado- Guajira en los meses de mayo, agosto y septiembre de 2012.

pH

El pH medido en mayo, julio y septiembre en la laguna de navío Quebrado estuvo dentro del rango establecido por la norma colombiana para aguas marinas y estuarinas adecuadas para el desarrollo adecuado de la vida acuática (6,5 – 8,5; MinSalud, 1984), con fluctuaciones entre 7,5 y 8,5, aunque las

diferencias entre estaciones fue mínima la Boca de la Laguna presentó los pH ligeramente más altos, debido a la mayor influencia que recibe de las aguas marinas que a la vez le confieren mayor capacidad tampón (Emerson y Hedges, 2008).

Oxígeno Disuelto - OD

El OD presentó condiciones adecuadas para preservación y conservación de la vida acuática según la norma colombiana (mínimo permisible de 4,0 mg/L; MinSalud, 1984) con valores entre 4,8 y 10,7 mg/L (Figura 4.3-19). Las concentraciones de OD mostraron que aunque se presentaron diferencias entre los muestreos y las estaciones (Figura 4.3-19) las condiciones de oxigenación en la Laguna no ponen en riesgo el desarrollo de los organismos acuáticos, gracias al contacto con el mar que origina una renovación permanente de estas aguas y que se vio reflejado en la fluctuación de OD durante los tres meses de monitoreo, siendo julio el mes de las mayores concentraciones, especialmente en la Boca y al Sur de la laguna con valores superiores a 10 mg/L, lo cual indica sobresaturación de oxígeno en el agua y que no es una buena condición si se torna permanente en el sistema lagunar.

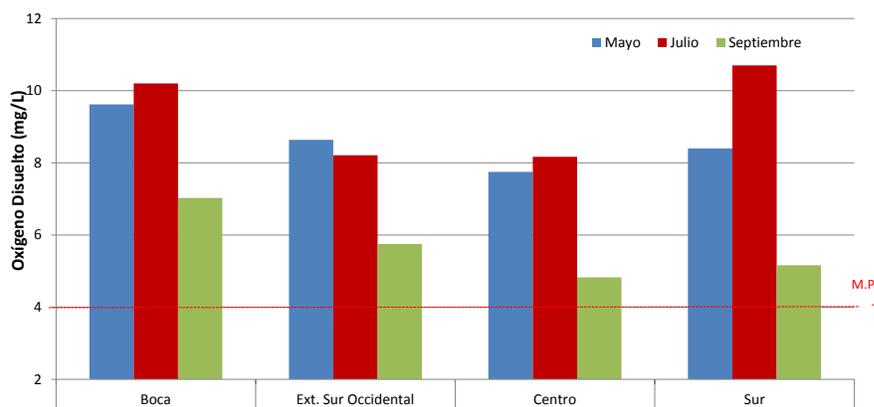


Figura 4.3-19. Concentraciones de oxígeno disuelto OD (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones de la Laguna Navío Quebrado en los meses de mayo, julio y septiembre de 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permisible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

DBO₅

La demanda biológica de oxígeno se usa para medir el carbono orgánico biodegradable, en términos de la cantidad de oxígeno que se requiere para descomponerlo. En el análisis realizado en las cuatro estaciones de la Laguna Navío Quebrado, se encontraron en los tres meses de monitoreo, valores inferiores a 3,0 mg/L, evidenciando bajas concentraciones de materia orgánica (Kiely, 1999). Como se muestra en la Figura 4.3-20, la estación Extremo Sur Occidental presentó en mayo y julio los valores máximos de todo el período de estudio, 2,8 mg/L.

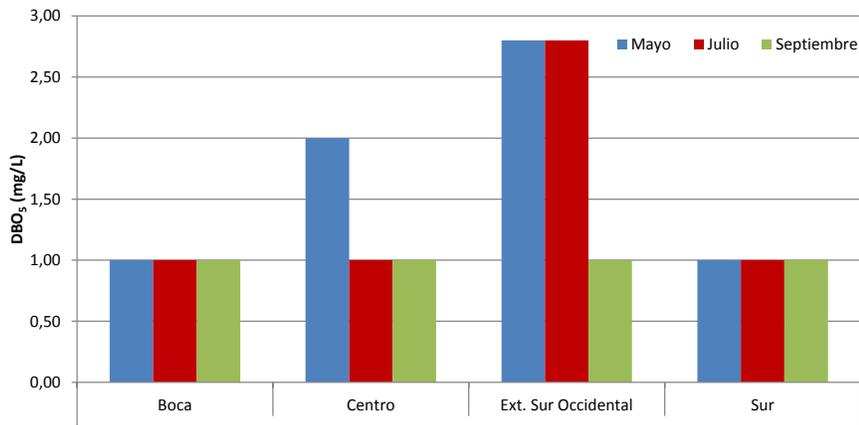


Figura 4.3-20. Valores de DBO₅ medidos en el agua superficial de la Laguna Navío Quebrado, en los meses de mayo, julio y septiembre de 2012.

Sólidos Suspendedos Totales

Los sólidos suspendidos totales (SST) fluctuaron entre 13,8 y 76,0 mg/L y estuvieron dentro de los registros históricos del departamento de La Guajira (6 a 285 mg/L). Los SST más altos se presentaron en mayo (promedio de 46,3±20,0 mg/L) en las estaciones de la Boca (76,0 mg/L) y el extremo Sur Occidental (40,0 mg/L; Figura 4.3-21), precisamente porque en este mes iniciaron las lluvias en el departamento, las cuales presentaron un incremento entre 40 y 70 % de las precipitaciones comparado con el promedio histórico de la época (IDEAM, 2012), condición que conlleva al aumento del caudal del río Camarones y los caños que desembocan en la laguna, incrementando la carga de sólidos en suspensión y a la resuspensión de sedimentos.

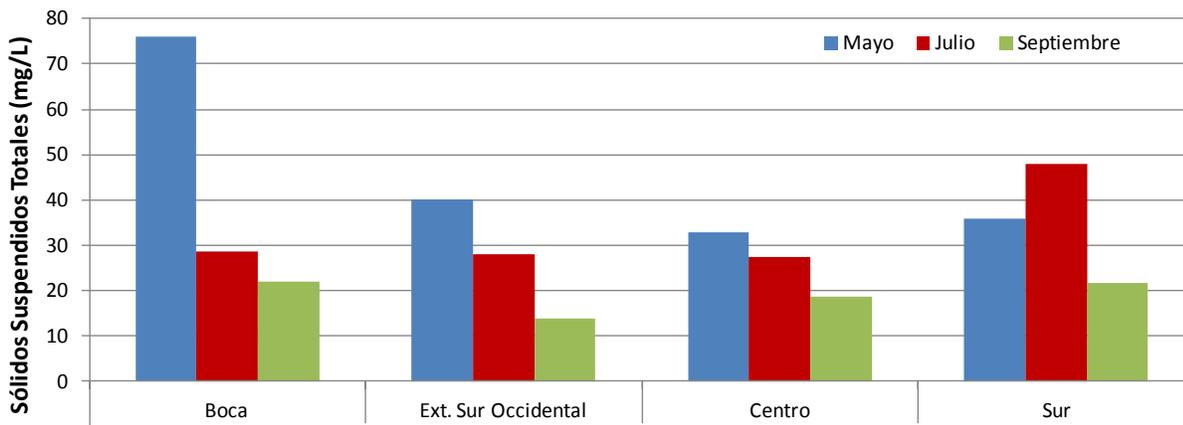


Figura 4.3-21. Concentraciones de sólidos suspendidos totales SST (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones de la Laguna de Navío Quebrado del departamento de La Guajira en los meses de mayo, junio y septiembre de 2012.

Nitrógeno Inorgánico Disuelto

El nitrógeno inorgánico disuelto (NID) aquí analizado es la sumatoria del nitrógeno en las formas de nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻) y amonio (NH₄⁺). Los NID oscilaron entre 5,64 y 85,87 µg/L, y los valores más altos se registraron en septiembre con un promedio de 42,98 ± 35,90 µg/L, especialmente en las estaciones del Sur (85,87 µg/L) y extremo Sur Occidental (57,34 µg/L), valores que están dentro del rango histórico reportado para el departamento de La Guajira.

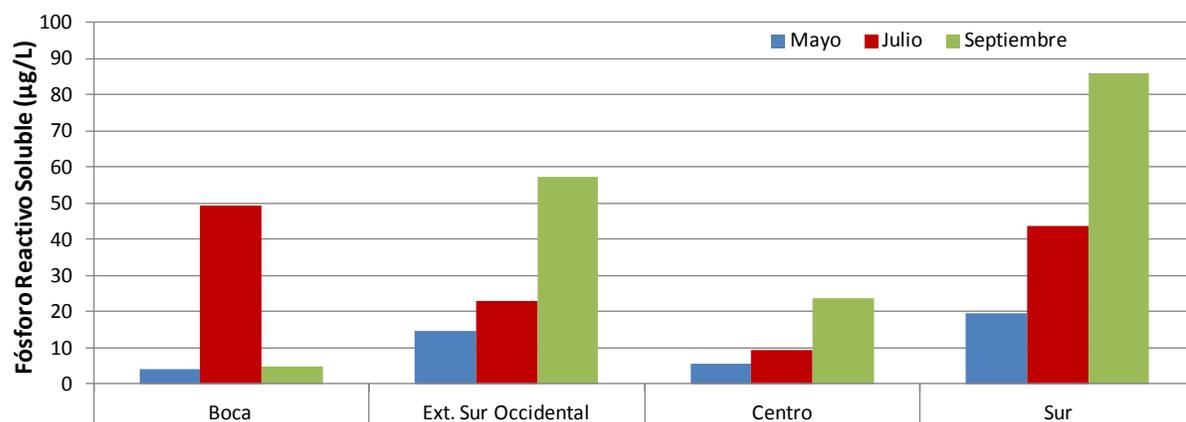


Figura 4.3-22. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto NID (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones de la Laguna de Navío Quebrado en el departamento de La Guajira, en los meses de mayo, junio y septiembre de 2012.

Fósforo Reactivo Soluble

Los registros más altos de fósforo reactivo soluble (FRS) también conocido como fósforo inorgánico disuelto, o simplemente ortofosfato) oscilaron entre 0,2 y 74,5 µg/L, los cuales presentaron un comportamiento similar al NID, con valores más altos en el mes de septiembre con un promedio de $43,07 \pm 24,88$ µg/L, y las concentraciones más altas en las estaciones del Sur (74,50 µg/L) y Boca (51,50µg/L), debido posiblemente a la influencia del río Camarones (Figura 4.3-23).

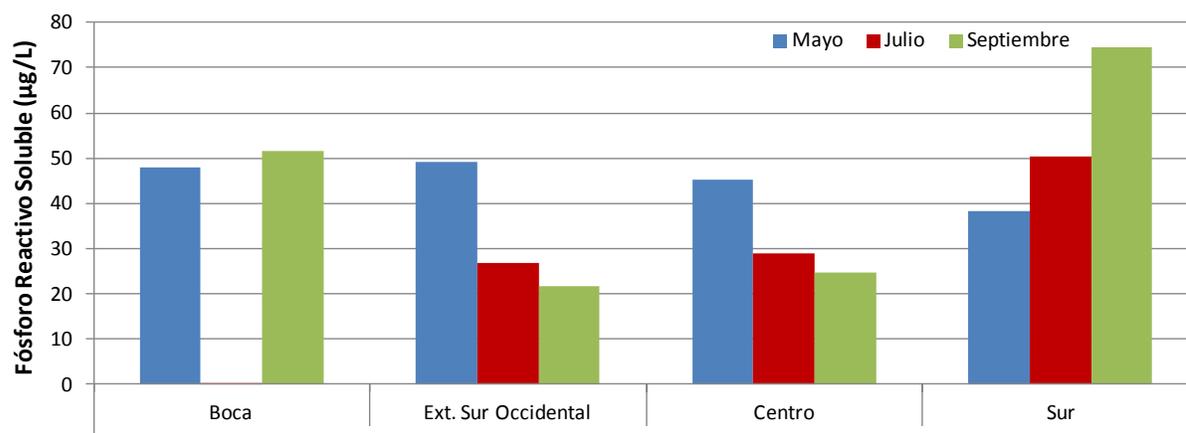


Figura 4.3-23. Concentraciones de fósforo reactivo soluble FRS (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones de la Laguna de Navío Quebrado en el departamento de La Guajira, en los meses de mayo, junio y septiembre de 2012.

Contaminación Microbiológica

El monitoreo de las condiciones sanitarias de la laguna de Navío Quebrado mediante la determinación de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) para los meses de mayo, julio y septiembre mostraron óptimas condiciones para actividades recreativas tanto de contacto primario como secundario según la legislación nacional (contacto primario <200 NMP CTE/100 mL y contacto secundario <5.000 NMP CTT/100 mL; [MinSalud, 1984](#)). Las concentraciones de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) registraron valores entre 2 y 25 NMP/100mL y entre 1 y 22 NMP/100mL respectivamente (Figura 4.3-24),

lo cual indica que la calidad de las aguas de la laguna no representa ningún riesgo relacionado con la adquisición de enfermedades gastrointestinales para los usuarios de la zona.

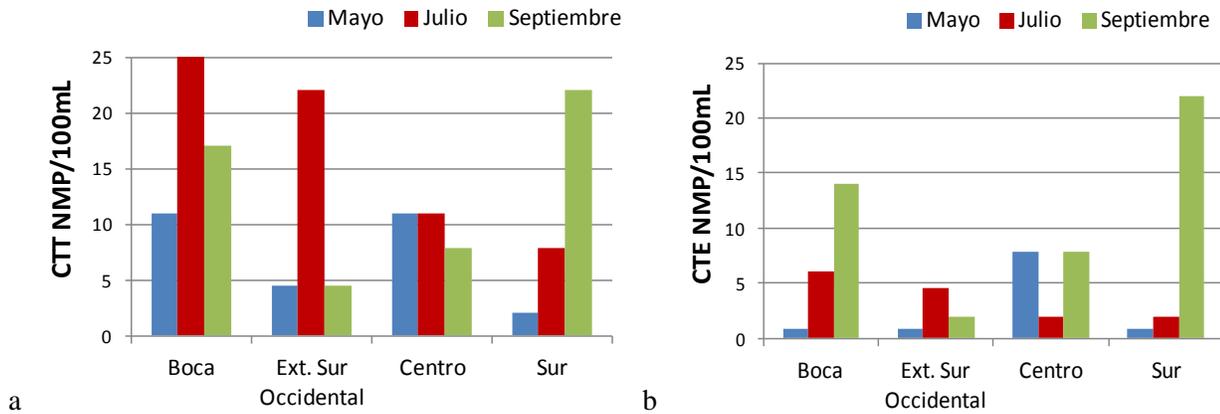


Figura 4.3-24. Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) y Termotolerantes (CTE) medidas en la laguna Navío Quebrado, La Guajira. Año 2012.

Metales pesados

Durante la época seca de 2012 en la laguna de Navío Quebrado se determinaron los metales cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en las aguas superficiales de cuatro estaciones. En todas las estaciones las concentraciones de Cd y Cr estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,25 y 0,50 µg/L, respectivamente), mientras que para el Pb las concentraciones estuvieron en el intervalo de 2,7 a 14,0 µg/L. La mayor concentración se registró en la estación Sur, no obstante los valores determinados están muy por debajo de los referenciados en guías internacionales como de riesgo (Tabla 4.3-3), por lo que se puede indicar que no se determinó riesgo de contaminación por estos elementos en las aguas superficiales de la laguna de Navío Quebrado durante la época seca de 2012.

Tabla 4.3-3 Concentraciones de metales pesados detectados en aguas de la Laguna de Navío Quebrado (Guajira) en la época seca 2012.

Época climática	Estación	Cd (µg/L)	Cr (µg/L)	Pb (µg/L)
Seca 2012	Centro	<LD	<LD	5,4
	Sur	<LD	<LD	14,0
	Extremo sur occidental	<LD	<LD	2,7
	Boca	<LD	<LD	4,6
Valores de referencia para efectos agudos (Buchman, 2008; CONAMA, 1986*)	Aguas marinas	40	50*	210
	Aguas dulces	2,0		65

4.3.6.2 Calidad de Sedimentos

Los análisis en sedimentos son utilizados en los estudios de evaluación ambiental, debido a que los metales, radionúclidos y sustancias orgánicas se asocian y acumulan particularmente en sedimentos finos ricos en materia orgánica y sus concentraciones son altas, fácilmente medibles y menos susceptibles a la contaminación accidental, incluso ofrecen cierto grado de integración en el tiempo. Y el análisis de contaminantes en sedimentos de la Laguna de Navío Quebrado se realizó en las mismas 4 estaciones de aguas y los mismos meses de muestreo de 2012.

Tabla 4.3-5 Concentraciones de materia orgánica oxidable (MO oxidable) en diversas zonas costeras. * Valor fue medido como carbono orgánico total mediante analizador elemental y convertido a MO con el coef. de Vammelen (1,72).

Estaciones	MO Oxidable (mg/g)	Referencia
Bahía de Buenaventura	2,4 - 37,5	<u>Solano et al., (2008)</u>
Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela	15,3 -147,0	<u>Márquez, et al., 2005</u>
Baja California, México Sedimentos de Manglar tropical	40,4 – 129 *	<u>Giani et al., (1996)</u>
Isla Hinchinbrook, Australia Sedimentos de manglar tropical y subtropical	53,3 -177 *	<u>Alongi et al., (1999)</u>
Estuario Jiulongjiang, China (Sedimentos de manglar subtropical)	17,5 – 30,4*	<u>Alongi et al., (1999)</u>
Playas en la Bahía de Taganga	1,1 – 6,4	<u>Troncoso et al., 2008</u>
Ciénaga de la Virgen (Bolívar)	64,4 ±43,4	Presente estudio

Hidrocarburos

Los hidrocarburos aromáticos (HAT) medidos en la laguna oscilando entre <0,07 – 0,9 µg/g, presentándose el valor más alto en el extremo sur occidental, pero estas concentraciones no superaron el valor de referencia de la NOAA de 3,9 µg/g (Tabla 4.3-4). Con la información disponible hasta el momento las concentraciones halladas pueden considerarse bajas en comparación con los registros de otras áreas costeras (Tabla 4.3-6).

Tabla 4.3-6 Niveles de hidrocarburos en sedimentos en distintos sitios del mundo. *Nivel de contaminación establecido por cada autor.

Localidad	HAT (µg/g)	Nivel de contaminación*	Referencia
B. Cartagena (2010)	2,36 - 350,45	Bajo a alto	<u>Sánchez-Ramírez et al., (2011)</u>
Ensenada de Tumaco	0,044 – 3,696	Bajo a moderado	<u>Casanova et al. (2001)</u>
Bahía Colombia (Golfo de Urabá)	0,58-10,51	Bajo a moderado	<u>Bolaño et al., (2009)</u>
Mar de Creta (Mediterráneo)	0,015 – 0,159	Bajo	<u>Gogou et al. (2000)</u>
Costa oeste de la india	1,38 – 434,3	Bajo a alto	<u>Chouksey et al. (2004)</u>
Oman (Arabia)	0,055-1,30	Bajo a moderado	<u>Tolosa et al. (2005)</u>
Ciénaga de la Virgen (Bolívar)	0,86 ±0,63	Bajo	Este estudio

Debido a su naturaleza hidrofóbica los hidrocarburos generan una asociación rápida hacia la materia particulada y su distribución hacia la capa superficial de los sedimentos en ecosistemas acuáticos los hidrocarburos de mayor persistencia son los aromáticos petrogénicos y pirogénicos dentro de los cuales la fracción de mayor interés ambiental es la aromática (HAT), debido a que estos compuestos son altamente tóxicos, permanecen por largos periodos de tiempo en el ambiente y pueden inducir efectos carcinogénicos en los organismos (Walker y Livingstone, 1992).

Plaguicidas

Los isómeros del DDT (DDE y DDD) en la Laguna Navío Quebrado se detectaron en concentraciones entre menores al límite de detección y 4,9 ng/g. El hecho de detectar isómeros y no el DDT, es un

indicador de que estos residuos no obedecen a aplicaciones recientes (Sericano *et al.*, 1995). En los muestreos de julio y septiembre no se detectaron residuos de organoclorados y los niveles encontrados estuvieron más de 10 veces por debajo del valor de referencia de la NOAA (51,7 ng/g) como concentración de riesgo para efectos probables (Tabla 4.3-4).

De los compuestos organofosforados medidos únicamente se detectó durante la época seca el diazinon, un insecticida de amplio uso (incluso doméstico) que se degrada rápidamente en el ambiente, por lo que su presencia indica que es de uso reciente en el área. Datos de toxicidad obtenidos por Smith *et al.*, (2007) para sedimentos estuvieron en el orden de 14,8 ng/g, lo cual indican que las concentraciones registradas no representan riesgo para los organismos acuáticos, pero si ameritan seguimiento.

Metales Pesados

En la Tabla 4.3-7 se comparan las concentraciones de metales medidas en la laguna con las reportadas en otras regiones del mundo, las cuales estuvieron dentro del rango de valores registrados en otras zonas costeras del mundo. Los metales registraron datos por debajo de los valores de referencia de guías internacionales y solo en el centro de la laguna en el muestreo de septiembre el Cd (9,4 µg/g) superó el valor de referencia de la NOAA de 4,2 µg/g (Buchman, 2008), sin embargo, este valor se podría considerar puntual y podría estar asociado a cambios en la textura del sedimento, por lo tanto, se recomienda continuar el monitoreo para evidenciar si hay un enriquecimiento de este elemento en los sedimentos de la zona de estudio.

Tabla 4.3-7. Rangos de concentraciones de metales traza de diversas zonas costeras, comparados con los valores niveles PEL de la NOAA.

Zona	Cu µg/g	Cr µg/g	Zn µg/g	Cd µg/g
Golfo de México	27	54	81	--
Océano Pacífico antártico (Ravanelli et al., 1997)	7,3	2,35	161	---
Parque Nacional Morrocoy- Venezuela (García <i>et al.</i> , 2008)	2,0 - 4,6	7,58 – 12,48	0,85 - 30,5	0,28 - 1,95
Laguna Navío Quebrado (Guajira), Este estudio	--	7,98 – 55,6	--	<0,17 – 9,4
Valor de referencia EPA (Buchman, 2008)	108	160,0	271	4,2

4.3.7 Conclusiones

La calidad del agua en la zona costera de La Guajira estuvo relacionada con las condiciones oceanográficas de la región y los eventos climáticos del período 2011 y 2012, que se vieron reflejados en las variaciones de temperatura y salinidad del agua. En términos de pH y oxígeno disuelto los niveles se mantuvieron dentro de los límites permisibles de la legislación colombiana y acordes con los tipos de agua medidos, siendo más amplia la variación en las aguas donde se presentaron procesos de mezcla. En la Laguna de Navío Quebrado las características fisicoquímicas se vieron afectadas por las condiciones hidroclimáticas de la zona, lo cual se reflejó en los cambios estacionales y temporales observados en las principales variables físicas, como salinidad y temperatura.

Los sólidos y nutrientes en este período mostraron variaciones importantes relacionadas con las épocas climáticas, con el mayor incremento de sólidos durante la época seca debido al fenómeno de surgencia que se presenta en la región, el cual favorece el oleaje y resuspensión de sólidos. Es de resaltar el valor alto de playa Mayapo, sitio donde es importante seguir midiendo para saber cuál es la fuente de estos sólidos. El incremento de nutrientes como el fósforo reactivo soluble y el nitrógeno inorgánico disuelto durante la

época lluviosa, demostraron la influencia de las precipitaciones en el transporte de nutrientes al mar, especialmente desde los ríos Palomino, Ranchería y Jerez, así como por el vertimiento de aguas residuales en Riohacha. Las bajas concentraciones de DBO₅ en la Laguna Navío Quebrado mostraron que fue baja la degradación de materia orgánica.

En aspectos microbiológicos el monitoreo de este último período evidenció que los mayores reportes de CTT y CTE se presentaron en la época lluviosa, afectada por el evento de “La Niña” que incrementó la entrada de materia orgánica y aguas servidas a la zona costera, principalmente en los ríos Ranchería, Cañas y Palomino, mientras que el río Jerez históricamente ha estado en mejores condiciones para realizar actividades recreativas de contacto secundario y para el uso de riego, según la norma.

En la actualidad las concentraciones de hidrocarburos del petróleo en aguas son inferiores al valor de referencia (<10 µg/L), y a pesar que se registraron concentraciones altas en la época de lluvias de 2011, estas no reflejan riesgo para las especies que se desarrollan en estos ecosistemas. También es evidente la reducción de plaguicidas organoclorados en las aguas de La Guajira, y desde el 2010 no se detectan estos compuestos. Sin embargo, con respecto a los compuestos que se usan actualmente, estos están llegando a las aguas de los ríos Ranchería, Palomino y en la zona costera de Riohacha, no obstante estas concentraciones no constituyen riesgo para la vida acuática de acuerdo a los valores de referencia internacional.

Los metales Cd, Cr y Pb en las aguas superficiales del departamento y en la laguna de Navío Quebrado no superaron los valores referenciados como de riesgo en guías internacionales, por lo cual no se consideran de riesgo para el ambiente. Aunque el Cr ha mostrado un leve incremento a lo largo del monitoreo, y aunque no supera el valor de referencia, se recomienda aumentar el análisis de nuevos metales y realizar mediciones en sedimentos que aporten a mejorar el inventario y conocimiento de las fuentes potenciales de metales que podrían llegar al mar.

La calidad de los sedimentos en la laguna de Navío Quebrado puede verse influenciada por el río Camarones, según los resultados 2012, donde se observó que existe un escurrimiento de plaguicidas especialmente Diazinon y algunos residuos de isómeros del DDT que permanecen en el ambiente, a pesar que las concentraciones no representan riesgo para los organismos. Con relación a los hidrocarburos y metales pesados las mediciones no sobrepasaron los valores referenciados en guías internacionales como de riesgo en sedimentos marinos.

Magdalena



Puerto en la Bahía de Santa Marta.

4.4 MAGDALENA

El Departamento del Magdalena está situado en el norte del país, en la región de la llanura del Caribe, entre los 08°56' y 11°18' de latitud norte y a los 73°32' y 74°55' de longitud oeste. En este Departamento la REDCAM cuenta con 42 estaciones de muestreo distribuidas en 5 zonas: la Zona Norte que se extiende desde la frontera con la Guajira hasta el río Piedras; el Parque Nacional Natural Tayrona; la zona de Santa Marta que incluye Taganga y El Rodadero; la Zona Sur; y la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM; Figura 4.4-1). El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos realizados los días 15 y 17 de noviembre del 2011 (época lluviosa) y los días 09 y 10 de abril del 2012 (época seca), en las 4 zonas desde la Zona Norte hasta la Zona Sur. Al final del capítulo, en la sección 4.1.6, se resume el análisis actual sobre la calidad de las aguas de la CGSM. La información ampliada de este sector se encuentra en Ibarra et al., 2012.

En el departamento del Magdalena, el periodo lluvioso generalmente se presenta entre los meses de mayo y noviembre, con un pico máximo en octubre; las precipitaciones anuales más altas se registran en la zona Norte (2000-2500 mm/a; IDEAM, 2005), la cual se caracteriza por tener una costa expuesta al alto oleaje y un área de drenaje relativamente grande (2.200 km²), dominado por una serie de ríos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). Esta zona se caracteriza por tener una cobertura vegetal natural, con excepción de un área de actividades agrícolas que extienden a lo largo de la costa.

La zona del Parque Tayrona tiene una cuenca más pequeña (181 km²) y un poco menos lluviosa (1500-2000 mm/a; IDEAM, 2005), dominado casi totalmente por áreas naturales. La presencia de ecosistemas marinos como arrecifes coralinos, praderas de pastos y manglares tiene gran importancia para la preservación de la calidad de sus aguas. Es de resaltar que en años recientes las actividades turísticas han aumentado en esta zona.

La zona de Santa Marta, cuya cuenca tiene aproximadamente 300 km²; y un régimen de precipitación anual entre 1000-1500 mm/a (IDEAM, 2005). En esta zona, se encuentra la población principal (415.270), la cual genera descargas de aguas residuales a través del emisario submarino de la ciudad de Santa Marta, del río Manzanares, y de los vertimientos estacionales de aguas servidas y de escorrentía (Calles 10, 22, y una serie de tubos entre ellos a lo largo de la costa de la Bahía Santa Marta). El 27,5% de la población de Santa Marta más las poblaciones de Taganga y el Rodadero Sur, no están conectados al sistema de alcantarillado (DANE, 2011), por lo tanto realizan sus descargas de aguas residuales directamente en los cuerpos de agua naturales (INVEVAR y MADS, 2011). Por otra parte, en esta zona se desarrollan actividades económicas como el turismo y la actividad marítima y portuaria, que se basa en el transporte de carbón, hidrocarburos y productos agrícolas.

La zona Sur tiene características parecidas a la zona de Santa Marta, concón una cuenca de aproximadamente 300 km², y una precipitación anual entre 1000-1500 mm/a (IDEAM, 2005). En esta zona se desarrollan actividades industriales (almacenamiento y transporte de carbón) y turísticas. Adicionalmente, esta zona recibe aportes de ríos Gaira y Córdoba, en cuyas cuencas altas hay una importante zona de cultivos de banano y palma africana principalmente.

La zona de la CGSM, es muy distinta de las otras zonas. Tiene un régimen de precipitación anual más bajo (500-1500 mm) y una cuenca más grande (8.850 km²) a la que drenan los ríos de la SNSM y parte del río Magdalena cuya cuenca es de 226.000 km² y está bordeada por una franja importante de manglar. Esta zona está afectada por la presencia de varios asentamientos humanos en los municipios de Ciénaga, Sitio Nuevo, Pueblo Viejo y Tasajera, sumados a las poblaciones palafíticas de Nueva Venecia, Trojas de Cataca y Buenavista; y por las actividades agrícolas intensivas y las actividades de pesca artesanal.

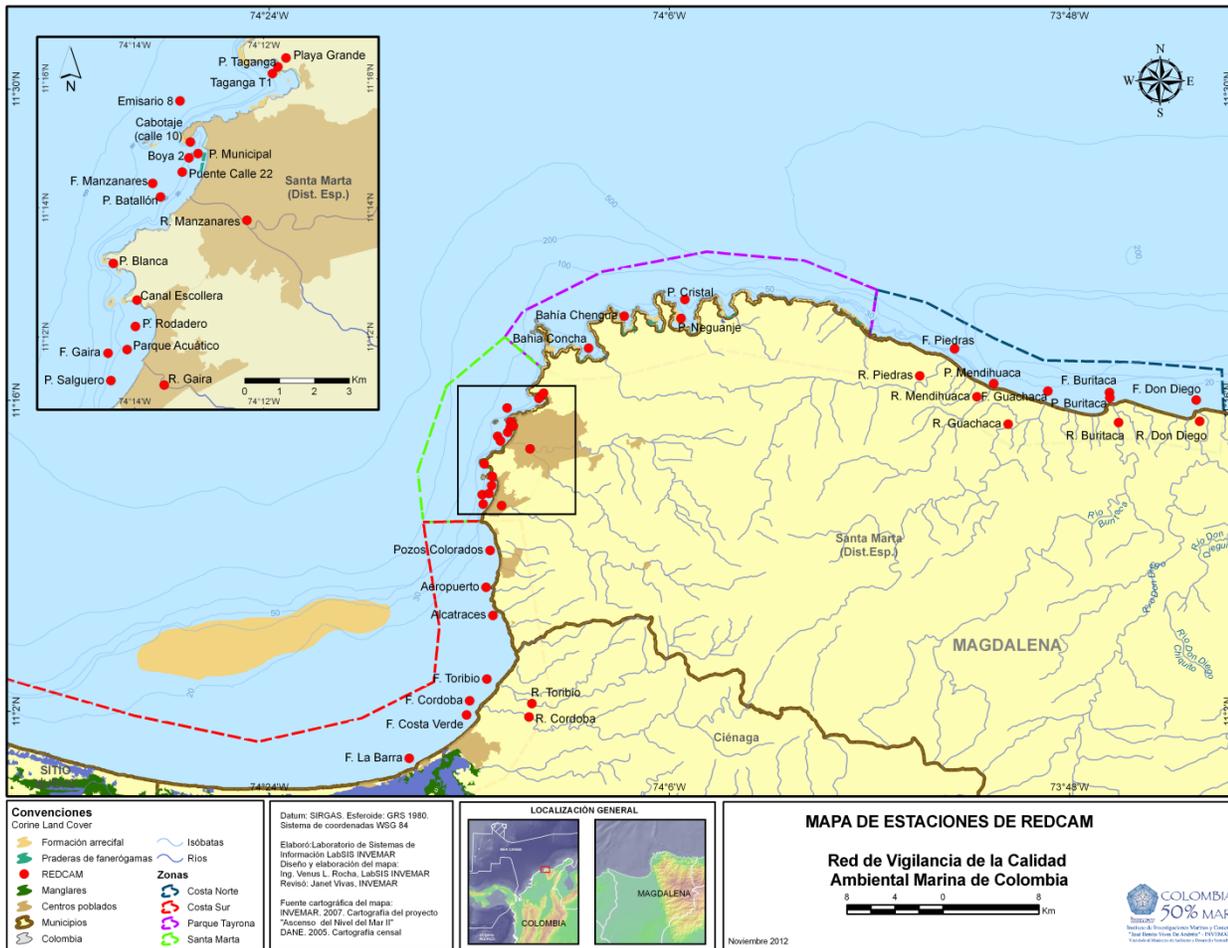


Figura 4.4-1. Estaciones y zonas de muestreo REDCAM en el departamento del Magdalena

4.4.1 Variables Físicoquímicas

4.4.1.1 *In situ*

Temperatura

En general, la temperatura del agua osciló entre 23,0 °C y 34,3 °C para la época de lluvias de 2011 y entre 24,8 °C y 31,6 °C para la época seca de 2012, los valores más altos se registraron durante la época de lluvias de 2011, con excepción de los ríos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta y que desembocan en la franja costera del departamento, (Figura 4.4-2).

Teniendo en cuenta los datos históricos de la REDCAM en la zona de estudio (INVEMAR, 2012), es de resaltar la tendencia de variación de la temperatura entre épocas seca y lluviosa observadas entre los ríos y las aguas marinas. Estos resultados se deben al patrón del sistema climático que caracteriza al Caribe colombiano, el cual depende de los vientos alisios del noreste (NE) junto a las oscilaciones de la zona de convergencia intertropical, que hacen que las temperaturas del agua sean bajas durante la época seca (diciembre a abril) cuando los vientos alisios y la surgencia de la Guajira están más fortalecidos; y que aumenten en la época lluviosa (mayo a noviembre), cuando los vientos alisios se han debilitado y la contracorriente del Darién al nivel superficial está más desarrollada, lo que hace que aumente la temperatura superficial del mar (Bernal *et al.*, 2006).

del 2010, el promedio de la zona fue $30,3 \pm 2,1$; y en la época lluviosa del 2011 las estaciones P. Cristal (32,9) y P. Nenguanje (32,5). Estas condiciones pueden amplificar los efectos de blanqueamiento, debido a la sensibilidad de los corales a sus condiciones ambientales. En el caso de las praderas de pastos, son menos sensibles a bajas salinidades y pueden aguantar hasta 20 unidades (Thorhaug *et al.*, 2006).

pH

Naturalmente el pH de las aguas fluviales es más ácido que el de las aguas marinas, por esta razón las estaciones se agrupan por tipo de agua, no por zona (Figura 4.4-5). Para la época lluviosa del 2011 y seca del 2012 el pH de las aguas de los ríos fluctuó en el intervalo de 7,1 y 8,0 y para las aguas marinas, entre 7,9 y 8,8 (Figura 4.4-5). En el agua de mar, el pH no tiene fluctuaciones amplias (7,8 – 8,2), ya que esta funciona como una solución buffer por efecto del sistema de los carbonatos (Emerson y Hedges, 2008), no obstante algunas estaciones especialmente F. La Barra, y las estaciones marinas de la zona de Santa Marta, durante la época lluviosa, superaron este valor típico de agua de mar (Figura 4.4-5), este aumento del pH se explica por la mezcla del agua marina con aguas continentales cuyo pH es más básico.

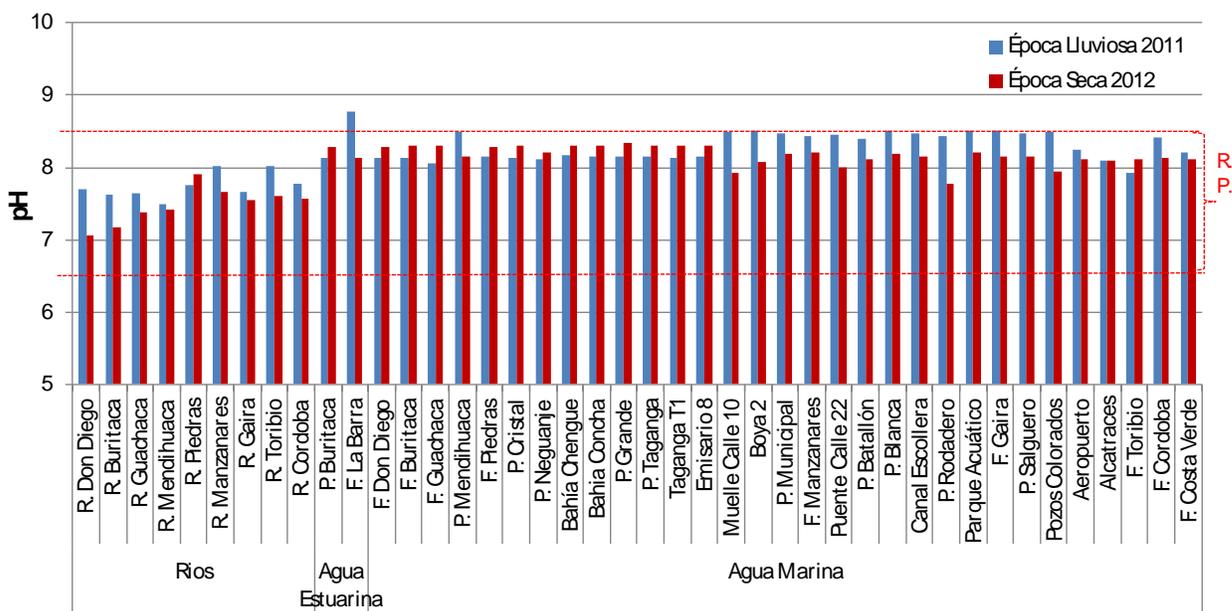


Figura 4.4-5. Valores de pH medidos en el agua superficial de las estaciones del departamento del Magdalena en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. Las líneas rojas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

En general, los valores de pH registrados durante la época lluviosa 2011 y la época seca 2012, se enmarcaron dentro del rango permisible (6,5 a 8,5) establecido en el Decreto 1594 de 19684 para preservación de fauna y flora (Minsalud, 1984) y dentro de valores de referencia para la conservación de los arrecifes coralinos (7,6 - 8,4; Wild *et al.*, 2011), con excepción del pH de la estación Frente La Barra durante la época lluviosa 2011 (8,8), siendo la primera vez que el pH supera el máximo permisible en esta estación desde el inicio de su monitoreo en 2001. El análisis histórico de los monitoreos REDCAM mostró que en los últimos 11 años, el pH de las aguas marinas no ha variado mucho entre los años, mientras que en los ríos se observa más variación interanual.

Oxígeno Disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto para las épocas lluviosa del 2011 y seca del 2012, estuvieron entre 5,0 y 8,4 mg/L. En la época lluviosa del 2011, las estaciones de la bahía de Taganga, en la parte norte de la zona Santa Marta, presentaron concentraciones de OD menores que las de las estaciones de la parte centro y sur, de igual forma, los niveles de OD en las aguas marinas del parque Tayrona disminuyeron en esta época del año, debido a que en este periodo las corrientes superficiales marinas se desplazan en dirección suroeste arrastrando la materia orgánica aportada por el emisario submarino lo que incrementa la demanda bioquímica en esta zona.(Figura 4.4-6).

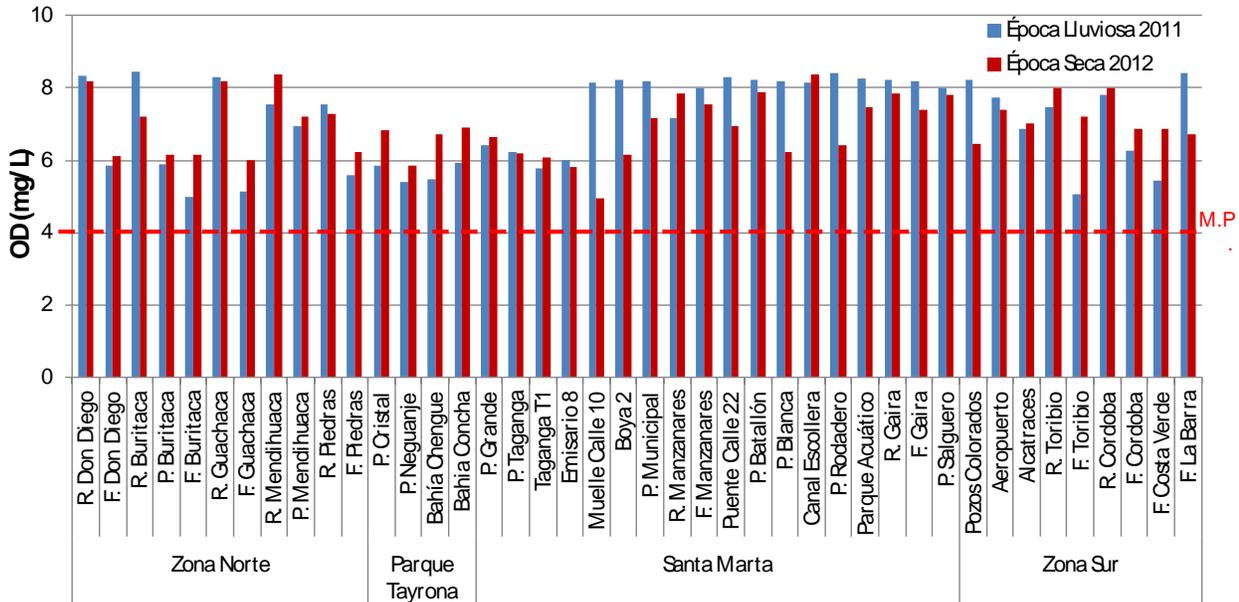


Figura 4.4-6. Concentraciones de oxígeno disuelto OD (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

En general en las estaciones de los ríos la concentración de OD es mayor que en las aguas marinas, tanto en las épocas lluviosa del 2011 y seca del 2012, como en los promedios históricos (INVEMAR, 2012), debido a que las aguas de los ríos están en constante movimiento, lo cual genera aireación. Sin embargo, en la época seca 2010, los ríos de Santa Marta presentan concentraciones de OD (promedios histórico: $6,3 \pm 2,5$ mg/L) más bajo que los ríos de las otras 3 zonas (promedio histórico: $7.6 \pm 1,2$ mg/L), debido a que reciben descargas de aguas residuales domésticas que incrementan la demanda bioquímica de oxígeno disminuyendo los niveles de OD (Figura 4.4-7).

El análisis histórico de las concentraciones de OD en el departamento del Magdalena mostró que en el periodo lluvioso del 2010, la concentración promedio de OD disminuyó notablemente, alcanzando valores inferiores a 4,0 mg/L que es el límite mínimo permisible de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, para preservación de fauna y flora (MinSalud, 1984). Esta disminución se puede explicar porque en este año se presentó el fenómeno climático “La Niña”, el cual produjo aumentos de lluvia y temperatura en las aguas marinas (entre 28,4 y 32,2 °C), factor que afecta la solubilidad del oxígeno en los cuerpos de agua. No obstante, en general las concentraciones de OD han estado por encima de 4,0 mg/L, sugiriendo de manera general, que las aguas del departamento del Magdalena tienen buenas condiciones de oxigenación para el desarrollo de la vida acuática.

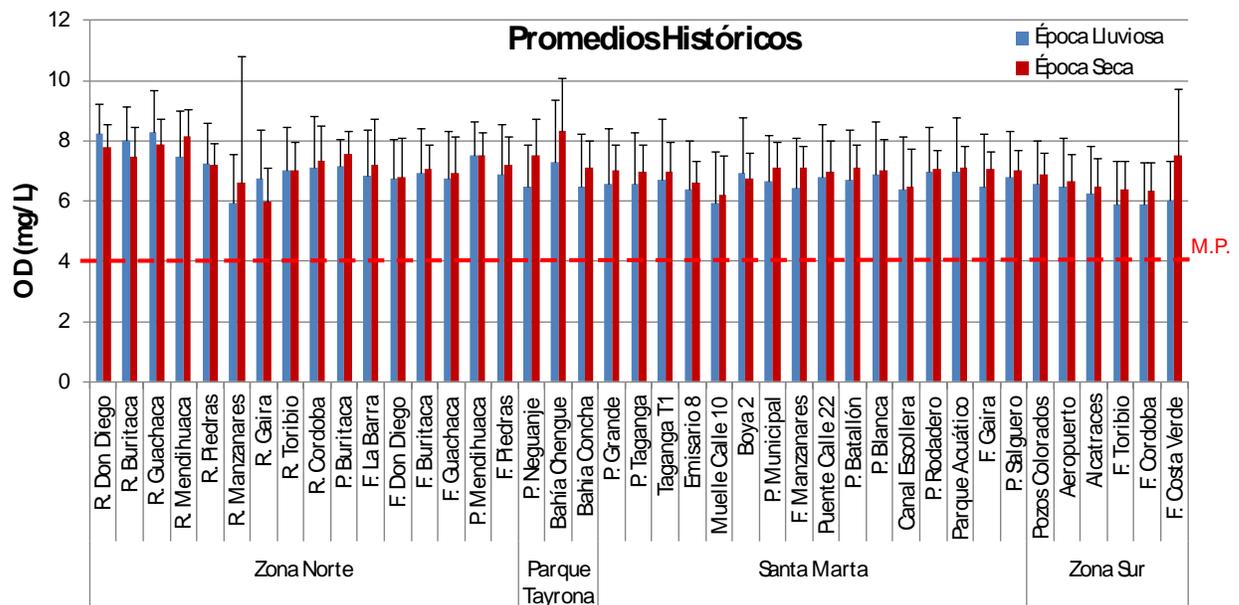


Figura 4.4-7. Promedio de la concentración de oxígeno disuelto OD (mg/L) en el agua superficial, medidas semestralmente en las estaciones del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa y seca entre el 2001 y 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984). Las barras de error representan las desviaciones estándar.

4.4.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendedos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las épocas lluviosa del 2011 se encontraron en el rango de 12 – 87 mg/L y en la seca del 2012 se encontraron en el rango de 3 – 70 mg/L, valores similares a los históricos de la REDCAM (10 – 50 mg/L). Cabe destacar que en las estaciones de los ríos en general las concentraciones son más altas, no obstante en los muestreos del 2011 y 2012, las estaciones marinas P. Mendihuaca, P. cristal, F. Toribio y F. La Barra alcanzaron valores superiores al promedio histórico de la REDCAM (Figura 4.4-8, Figura 4.4-9).

Las concentraciones de SST en los ríos aumentan durante la época lluviosa, debido a que las lluvias generan escorrentía y erosión del suelo. Este aumento se evidenció en los datos colectados durante la época lluviosa del 2011, donde los sólidos suspendidos fueron más altos comparados con los de la época seca del 2012 (Figura 4.4-8).

Los SST en los ríos de la zona norte y la zona sur históricamente han sido más bajos (promedio $19,2 \pm 34,4$ mg/L) que los ríos de la zona de Santa Marta, R. Manzanares y el R. Gaira (promedio $62,9 \pm 101,7$ mg/L; Figura 4.4-9). En las estaciones marinas de la zona sur y en las playas Buritaca y Mendihuaca (zona norte), los SST son más altos, posiblemente porque están más expuestos al oleaje.

Los SST en las aguas marinas tienen efectos sobre la salud de los ecosistemas coralinos, el aumento de SST afecta la penetración de la luz, afectando los procesos fotosintéticos de las algas asociadas a los corales. Además, la acumulación de sedimentos en el fondo de un arrecife puede perturbar la reproducción de los corales. Los datos reportados por la REDCAM, en las estaciones del Parque Tayrona están por

Turbidez

La turbidez registrada en los muestreos de las épocas lluviosa del 2011 y seca del 2012, se encontraron en un rango entre 0,1 – 89,3 NTU (Figura 4.4-10). En la mayoría de las estaciones, la turbidez fue menor de 25 NTU, con excepción de los ríos Mendihuaca (89,3 NTU), Manzanares (52,9 NTU) y Gaira (27,6 NTU), durante la época lluviosa del 2011, y el Muelle de Calle 10 (28,6 NTU) durante la época seca del 2012.

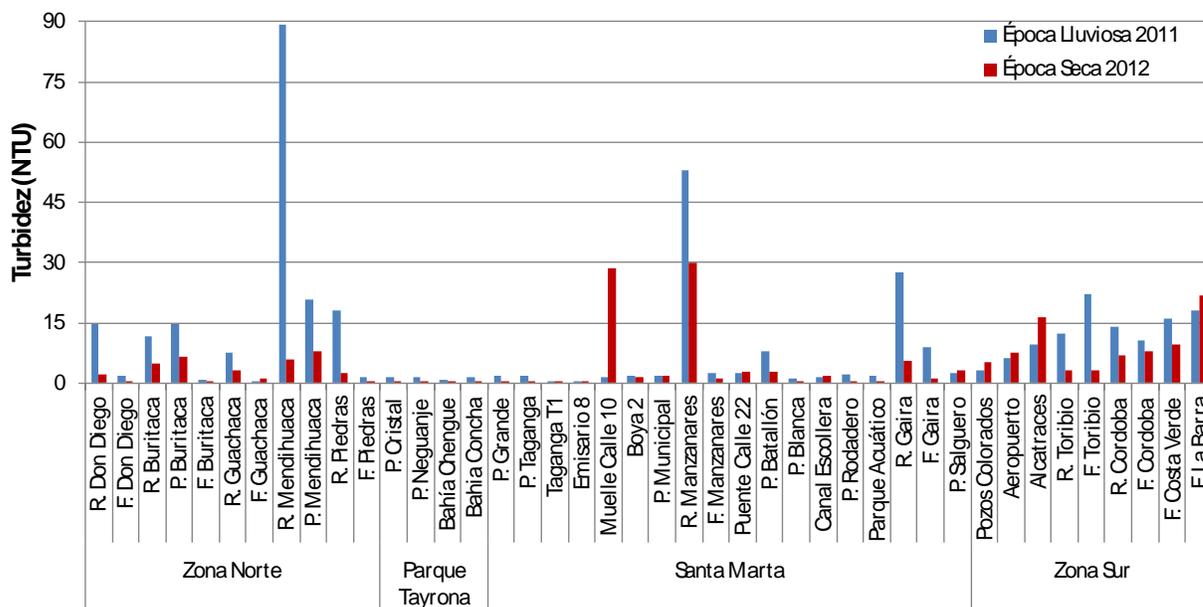


Figura 4.4-10. Turbidez (NTU) medida en las estaciones del departamento del Magdalena en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Especialmente, la turbidez ha sido ligeramente más alta en las aguas marinas de las zonas Norte y Sur, comparada con las zonas de Parque Tayrona y Santa Marta (Figura 4.4-10). Lo anterior puede explicarse por que estas zonas están más expuestas al oleaje que las zonas del Parque Tayrona y Santa Marta, donde la protección de las bahías resulta en aguas más quietas.

En cuanto a variación temporal, en general la turbidez es más alta en la época lluviosa que la época seca, lo cual se podría explicar por la influencia de las lluvias sobre escorrentía y el transporte de sedimentos hasta la columna de agua.

Nitrógeno Inorgánico Disuelto

El nitrógeno inorgánico disuelto (NID), es la suma del nitrógeno en las formas de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+). En general las mayores concentraciones de NID se registraron durante la época lluviosa, con excepción de la estación muelle calle 10 (1320 $\mu\text{g/L}$) y los ríos Manzanares (709 $\mu\text{g/L}$), Don Diego, Toribio y Córdoba, en los cuales las mayores concentraciones se registraron en la época seca (Figura 4.4-11).

Históricamente, las mayores concentraciones de NID se han reportado en las estaciones muelle calle 10 y río Manzanares (Figura 4.4-12). Cabe destacar que en la estación de muelle calle 10, el NID está mayormente representado por NH_4^+ (533 $\mu\text{g/L}$), lo cual indica que en este sector hay descargas de aguas residuales domesticas. Los datos muestran que los ríos han sido fuentes importantes de NID al mar, particularmente en la época lluviosa cuando la escorrentía transporta los nutrientes de los suelos hacia los ríos y de allí son descargadas en el mar. Cabe destacar que el río Manzanares es el que mayores aportes hace debido fundamentalmente a que los pobladores de los municipios aledaños descargan sus aguas residuales directamente al río (INVEMAR y MADS, 2011).

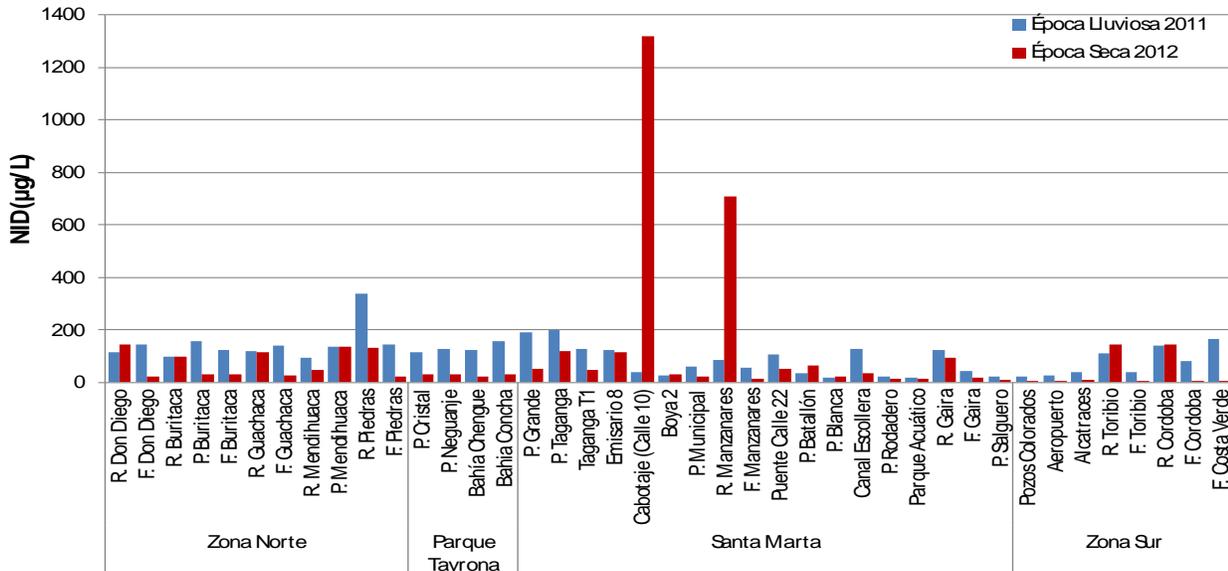


Figura 4.4-11. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

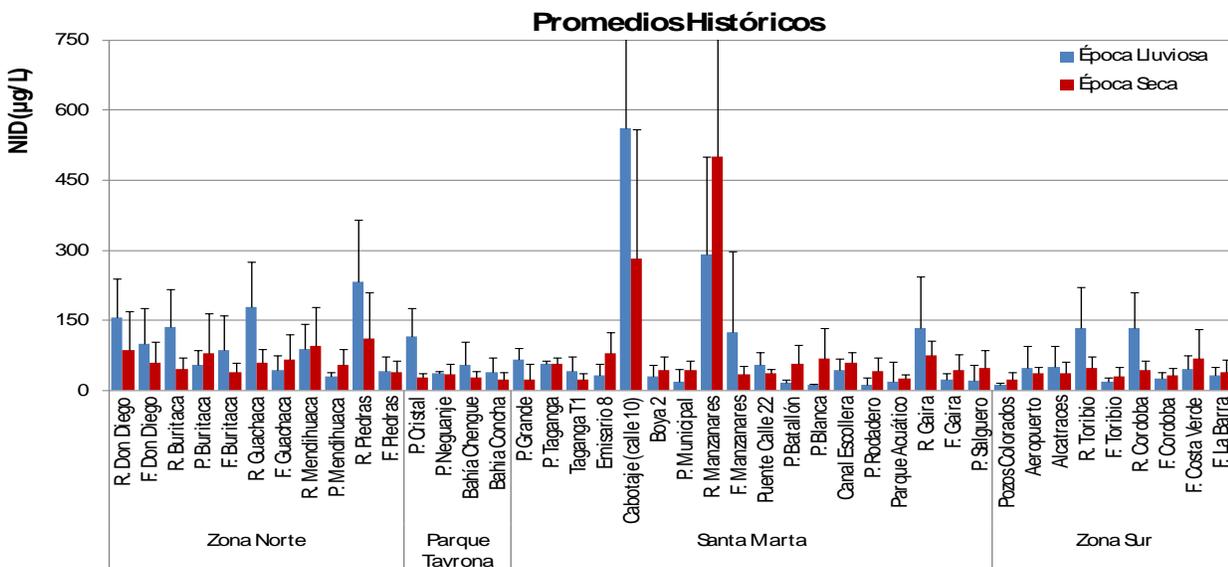


Figura 4.4-12. Concentraciones promedio de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Magdalena. Las barras de error representan las desviaciones estándar

Por otro lado, para el análisis de calidad de aguas de las playas del departamento del Magdalena, desde el año 2006 se viene haciendo el seguimiento de *Enterococcus fecales* (EFE) como indicador de contaminación de origen fecal en aguas de uso recreativo, según las indicaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003). Los resultados del monitoreo de la época lluviosa 2011 y seca 2012, muestran que la Bahía de Gaira presenta condiciones favorables para actividades recreativas según la OMS, con una probabilidad menor del 1% de contraer enfermedades gastrointestinales (EGI) (EFE < 40 UFC/100mL). Esta información confirma el buen estado que tenía la zona durante la época de lluvia 2011 y seca de 2012, de acuerdo con los resultados de CTE (Tabla 4.4-1). De la misma forma se confirma que la estación Calle 10 en época seca posee condiciones con mayores probabilidades de contraer EGI superior al 10% y de contraer enfermedades respiratorias febriles agudas con una probabilidad mayor al 3,9% (> 500 UFC/100mL) como se indica en la Tabla 4.4-2. A nivel histórico los datos colectados presentan diferencias significativas en cuanto a la época climática ($t= 5,49023$; $p< 1,50e^{-7}$). Cabe destacar que durante de las 174 mediciones realizadas, solo se han presentado 4 casos con un nivel de probabilidad de contraer EGI superior al 10%, de las cuales 3 se han presentado en las épocas lluviosas.

Es importante resaltar que aunque los EFE son altamente recomendados en diversos estudios como indicador óptimo de calidad de aguas en playas, también se recomienda que sea de uso combinado con los coliformes, ya que, playas que no están impactadas directamente por fuentes de contaminación y se encuentren en sistemas tropicales donde no son netamente marinas, el uso de un solo indicador puede incurrir en una apreciación equivocada de la verdadera condición de la calidad de la playa (Abdelzaher *et al.*, 2010; Griffith *et al.*, 2009; Noble *et al.*, 2006).

Tabla 4.4-2 Concentraciones de Enterococcus Fecales EFE (UFC/100mL) el agua superficial de las playas del departamento del Magdalena, las épocas climáticas lluviosa 2011 y seca 2012.

Zona	Playa	Época lluviosa	Época seca
		2011	2012
Costa Norte	Mendihuaca	163	124
	Buritaca	43	73
	Chengue	0	0
Parque Tayrona	Bahía Concha	4	2
	Cristal	38	3
	Neguanje	2	3
Bahía Taganga	Taganga	64	38
	Grande Taganga	43	10
Bahía Santa Marta	Calle 10	3	42300
	Calle 22	792	12
	Municipal	141	70
	Batallón	708	39
Bahía Gaira	Rodadero	15	0
	Blanca	0	1
	Salguero	0	2
	Parque Acuático	35	0
Costa Sur	Aeropuerto	1	0
	Alcatraces	9	5
	Pozos Colorados	0	0

4.4.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD oscilaron entre menor del límite de detección (< 0,07) y 5,2 µg/L con la excepción de un valor ligeramente alto en la época lluviosa 2011 en la estación frente río Don Diego (11,8 µg/L; Figura 4.4-15) que superó el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la UNESCO (1984) para aguas no contaminadas. Aunque es la primera vez que este sitio registró un valor de esta magnitud, históricamente el promedio es de $1,6 \pm 3,8$ µg/L.

Durante la época lluviosa 2011 se encontraron las mayores concentraciones de HDD en las estaciones río Manzanares (2,9 µg/L), río Gaira (2,4 µg/L) y playa del Rodadero (5,2 µg/L), mientras que en la época seca del 2012, los valores más altos se registraron en las estaciones río Manzanares (2,7 µg/L) y puente Calle 22 (2,4 µg/L; Figura 4.4-15). Estas concentraciones posiblemente se deben a la actividad portuaria, transporte marítimo, turismo, aguas servidas, expendios informales de combustible y lavaderos de vehículos en la zona. Cabe destacar que con excepción de la estación F. Don Diego, las concentraciones observadas en las demás estaciones no superaron el valor de referencia de 10 µg/L (UNESCO, 1984), ni en el período del presente informe, ni en sus promedio históricos; el promedio histórico más alto se registró en el río Manzanares ($4,9 \pm 9,6$ µg/L).

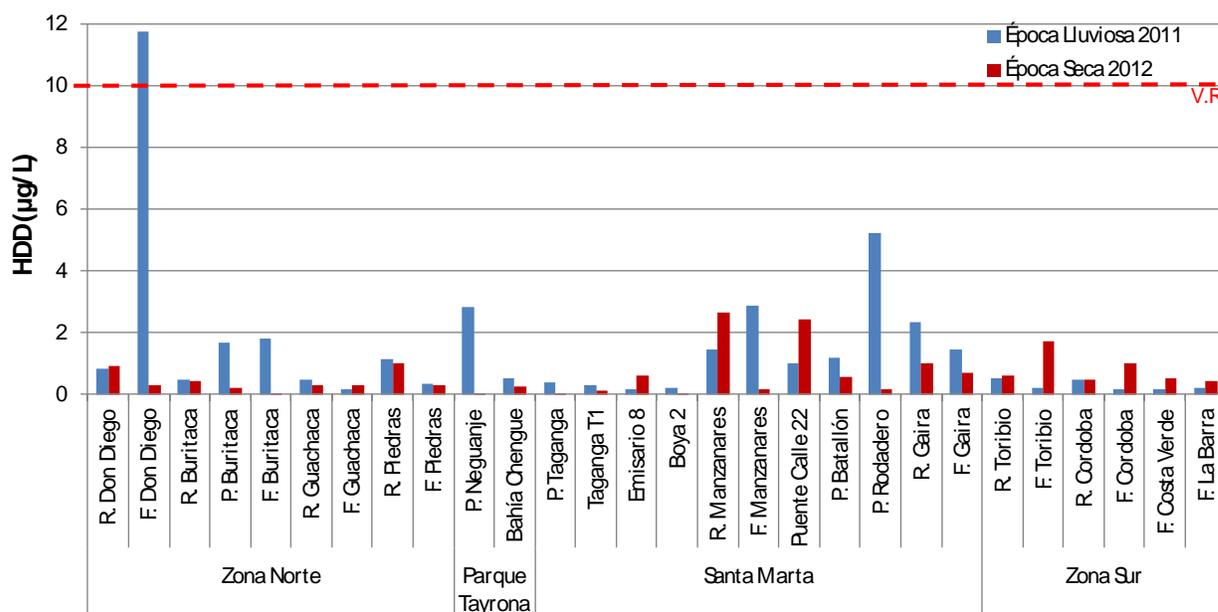


Figura 4.4-15. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos HDD (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. La línea roja representa el Valor de Referencia (V.R.) para aguas contaminadas (10 µg/L), según UNESCO (1984).

Los registros históricos desde el 2001, muestran que las concentraciones promedio más altas se han registrado en la época seca en los ríos Manzanares ($4,9 \pm 9,6$ µg/L) de la zona Santa Marta, Toribio ($1,2 \pm 2,2$ µg/L); Córdoba ($0,9 \pm 1,6$ µg/L) de la zona Sur; y Guachaca ($2,3 \pm 6,1$ µg/L) de la zona Norte (Figura 4.4-16). Estos ríos realizan los mayores aportes de HDD a la zona costera del departamento del Magdalena, debido a la influencia de los lavaderos de carros ubicados en sus cuencas y a la descarga de aguas residuales domésticas.

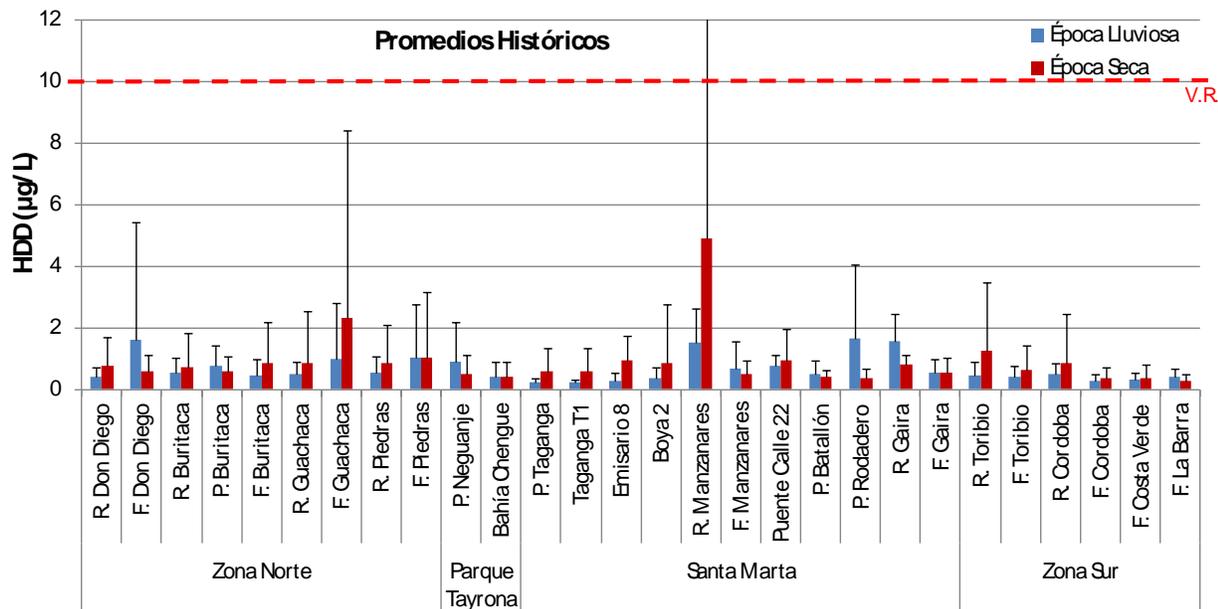


Figura 4.4-16. Promedios de las concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos HDD ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Magdalena. Las barras de error representan las desviaciones estándares. La línea roja representa el Valor de Referencia (V.R.) para aguas contaminadas ($10 \mu\text{g/L}$) según el UNESCO (1984).

El análisis temporal muestra que si bien durante el periodo de análisis del presente informe las concentraciones más altas se registraron durante la época lluviosa 2011, en algunas estaciones, no se ha observado una tendencia histórica similar ($p > 0,05$). La variación interanual muestra diferencias significativas ($p < 0,05$), registrando en el año 2001 concentraciones de HDD superiores al valor de referencia, en las estaciones Río Manzanares $33,4 \mu\text{g/L}$, Frente al río Guachaca $21,6 \mu\text{g/L}$ y Boca del río Manzanares $12,6 \mu\text{g/L}$.

4.4.4 Plaguicidas

El análisis histórico (2001-2012), muestran que el 49% de los puntos monitoreados en el departamento han presentado algún residuo de plaguicidas organoclorados (OC), cuya concentración no ha superado el valor de $65,6 \text{ ng/mL}$, determinado en el Río Buritaca, en el 2008. Durante este período de análisis, el 74% de los compuestos que se han registrado en las aguas superficiales del departamento del Magdalena corresponden al DDT y sus metabolitos, seguido por los Heptacloros (44%), compuestos del Aldrin (42%), y finalmente los HCH (31%). Sin embargo, en los últimos cuatro años se ha evidenciado una reducción en la aparición de estos compuestos ya que el porcentaje de detección no ha superado el 16% de las muestras (Figura 4.4.17).

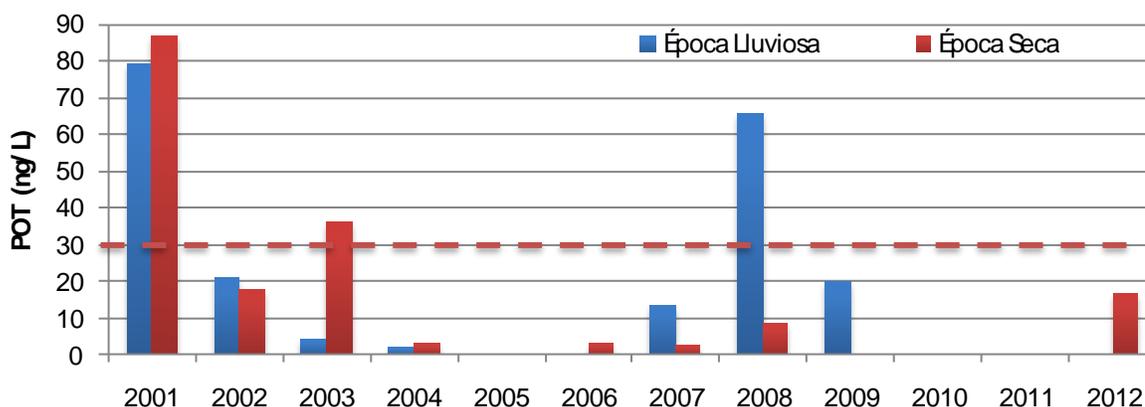


Figura 4.4.17. Rangos de las concentraciones de plaguicidas organoclorados POT (ng/L) medidas en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el departamento del Magdalena. La línea roja representa el Valor de Referencia V.R. (30 ng/L; EPA, 1999).

En el 2008, se observó un incremento en el rango de concentración, que obedeció a la implementación del análisis de nuevas moléculas. La capacidad de determinación se incrementó de 12 a 22 moléculas, lo que significa que se cuantifican moléculas que antes no se tenían en cuenta, generando por ende valores más altos.

Cabe destacar que en el 2012, tres años después de no detectarse residuos de isómeros de DDT, aparecieron en los ríos de la Sierra como Buritaca, Don Diego, Guachaca y Piedras, pero en concentraciones que no representan riesgo para los organismos, ya que están por debajo del nivel de referencia de la NOAA para efectos agudos 550 ng/L (Buchman, 2008; Tabla 4.4-3).

Tabla 4.4-3. Concentraciones de plaguicidas en aguas superficiales del departamento del Magdalena en 2010-2012 y valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).

Estación	Época	Σ Metabolitos del DDT (ng/L)	Clorpirifos (ng/L)
Río Buritaca	Seca 2012	12	<16
Río Don Diego	Seca 2012	14	<16
Río Guachaca	Seca 2012	16	<16
Río Piedras	Seca 2012	17	16
Valores de referencia para efectos agudos	Aguas dulces	550	83
	Aguas marinas	65	11

Históricamente, se ha encontrado que las concentraciones más altas de OC se han registrado en las estaciones de los ríos (Figura 4.4-18), siendo los ríos Buritaca, Gaira y Guachaca, en los que los promedios históricos han sido más altos ($9,04 \pm 20,01$, $6,53 \pm 8,19$ y $5,77 \pm 5,86$ ng/mL respectivamente). Estos resultados se pueden atribuir a la ubicación de estos ríos en la zona de alta pluviosidad de la Sierra Nevada de Santa Marta (Aja, 2011), lo cual favorece, la recepción por escorrentía de efluentes producidos por actividades agrícolas típicas de la región, como el cultivo de café y banano principalmente.

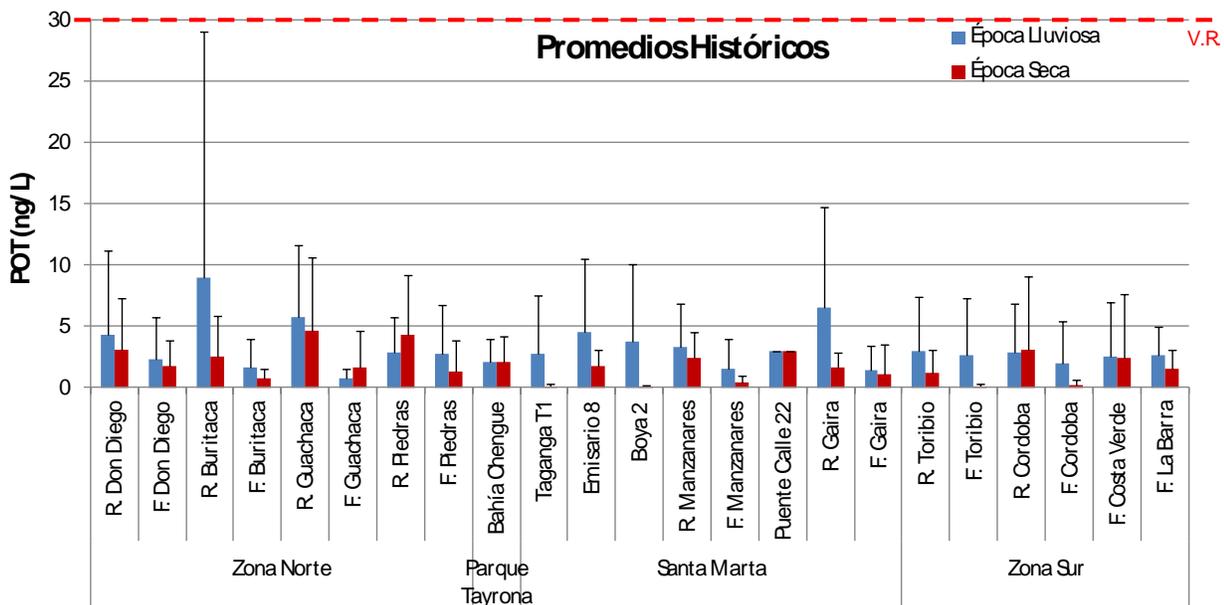


Figura 4.4-18. Promedios de las concentraciones de plaguicidas organoclorados POT (ng/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Magdalena. La línea roja representa el Valor de Referencia (V.R.; 30 ng/L) para aguas contaminadas adoptado por Marín (2002). Las barras de error representan las desviaciones estándares.

En el 2009 se inició la determinación de compuestos plaguicidas diferentes a los OC, algunos organofosforados y piretroides; la presencia de estos nuevos analitos, ha sido baja (inferior al 3%), únicamente se ha detectado Clorpirifos (en el Río Piedras, 16 ng/L) compuesto que es de amplio uso en la agricultura en concentración menor al nivel de referencia de la NOAA para efectos agudos 83,0 ng/L (Buchman, 2008; Tabla 4.4-3).

4.4.5 Metales Pesados

En el departamento del Magdalena las actividades industriales que puedan generar contaminación por metales pesados son incipientes. En general, los mayores aportes de metales se atribuyen a las aguas servidas y las actividades portuarias que se desarrollan en la zona costera del departamento.

En el periodo comprendido entre la época de lluvias de 2011 y la época seca de 2012, se analizaron los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) en las aguas superficiales del departamento del Magdalena. Las mayores concentraciones promedio de Pb ($2,98 \pm 2,02 \mu\text{g/L}$) se registraron en la época de lluvias (Figura 4.4-19) principalmente en la zona de Santa Marta, en las estaciones frente río Manzanares ($6,11 \mu\text{g/L}$) y muelle Calle 10 ($6,08 \mu\text{g/L}$). Sin embargo, estos valores son bajos con relación a los referenciados en guías de calidad internacionales como de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas ($210 \mu\text{g/L}$; Buchman, 2008). En la época seca de 2012, todas las concentraciones de Pb estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada ($0,15 \mu\text{g/L}$). Esta marcada disminución puede ser atribuida al mayor aporte continental durante las precipitaciones que se presentaron durante la época de lluvias de 2011 debido al fenómeno de “La Niña” y menor aporte en la época seca debido al inicio de “El Niño”.

debajo de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional ($50 \mu\text{g/L}$, Conama, 1986). A partir de la época seca de 2011 hasta la fecha todas las concentraciones registradas han estado por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada ($0,50 \mu\text{g/L}$).

En la región costera del departamento del Magdalena, hay un incipiente desarrollo de actividades industriales, con excepción del transporte y exportación de carbón. La problemática de contaminación ambiental ha estado dada principalmente por el tráfico marítimo y el vertimiento de aguas residuales directas y a los ríos que descargan en la zona costera. Los resultados reflejan que los aportes de Cd y Pb posiblemente tienen su origen en los aportes de los principales tributarios, debida principalmente a actividades antropogénicas desarrolladas en tierra y en las riveras de los mismos, por lo que se quiere ampliar el número de metales analizados y que pueden estar relacionados con el vertimiento de residuos a los principales ríos como el Manzanares y el Gaira, como el Hierro, Níquel, Zinc, Cobre y ampliar el análisis al sedimento.

4.4.6 Ciénaga Grande de Santa Marta - CGSM

Para evaluar la calidad del agua entre septiembre de 2011 a septiembre de 2012 en la CGSM, se tomaron muestras en 30 estaciones agrupadas teniendo en cuenta la comunicación del sistema con el mar, la influencia de los ríos provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), el río Magdalena y el plano inundable (Figura 4.4-20). Los parámetros fisicoquímicos se midieron mensualmente *in situ* en cada una de las estaciones; para clorofila *a*, sólidos suspendidos totales y nutrientes, se tomaron muestras bimensuales, con excepción de aquellas estaciones donde se realiza muestreo para evaluar la calidad microbiológica que tiene una frecuencia mensual. Los metales pesados (Cd, Cr, Pb, Cu, Zn y Ni) se determinaron semestralmente en estaciones representativas de cada una de las zonas.



Figura 4.4-20. Estaciones de muestreo para el estudio de la calidad del agua en la Ciénaga Grande de Santa Marta.

En la zona 0 se presentaron cambios notables en la salinidad, con valores que fluctuaron entre 32,8 y 4,6, evidenciando procesos de dilución y salida de volúmenes considerables de agua dulce desde la CGSM hacia el mar, particularmente en octubre de 2011, mes con precipitaciones por encima de lo normal, debido al evento “La Niña” (IDEAM, 2012). En las zonas 2, 3 y 4 se observó un gradiente de orden ascendente desde octubre de 2011 hasta abril de 2012, relacionado con el balance hídrico del sistema, ya que durante estos meses las lluvias disminuyeron paulatinamente en todo el país y la CGSM se vio sometida a un período de confinamiento, generando una disminución en los niveles de agua y restricciones en la circulación que provocaron aumentos en la salinidad por evaporación. Durante mayo y junio, meses con eventos climáticos neutrales, la salinidad disminuyó en todas las zonas.

pH

El pH del agua superficial de las seis zonas osciló entre 6,52 y 8,95 unidades. En la Figura 4.4-23 se observa que las zonas 0 (marina), 2 (espejo lagunar) y 3 (complejo de Pajarales) presentaron valores de pH característicos de aguas marinas (7,71 - 8,47; Chester, 1990) ya que éstas poseen intrusión salina, mientras que las zonas 1 (ríos SNSM), 5 (río Magdalena) y 6 (Salamanca), influenciadas por las descargas de aguas fluviales, presentaron valores ligeramente ácidos y ligeramente básicos (6,52 – 8,05), estos últimos relacionados con el incremento de salinidad por efecto de las mareas y el desarrollo de cuña salina en los meses de sequía.

En la zona marina, a diferencia de las demás, el pH presentó pequeños intervalos de variación (7,99 a 8,74) por la capacidad buffer que tiene el agua de mar. En abril, fue notorio el incremento de 0,57 unidades de pH en la zona 3 (Figura 4.4-23), coincidente con el aumento en la salinidad (Figura 4.4-22), oxígeno disuelto (Figura 4.4-24) y clorofila a (Figura 4.4-25), situación que sugiere en dicho mes, una mayor actividad respiratoria de los organismos fotosintéticos (Silva, 2006). Para propósitos de flora y fauna (Decreto 1594 de 1984, MinSalud, 1984), los valores de pH estuvieron dentro del rango permisible (6,5 - 8,5) establecido por la legislación colombiana, con excepción de valores puntuales registrados en la zona 0 en octubre de 2011, y las zonas 2 y 3 en abril de 2012.

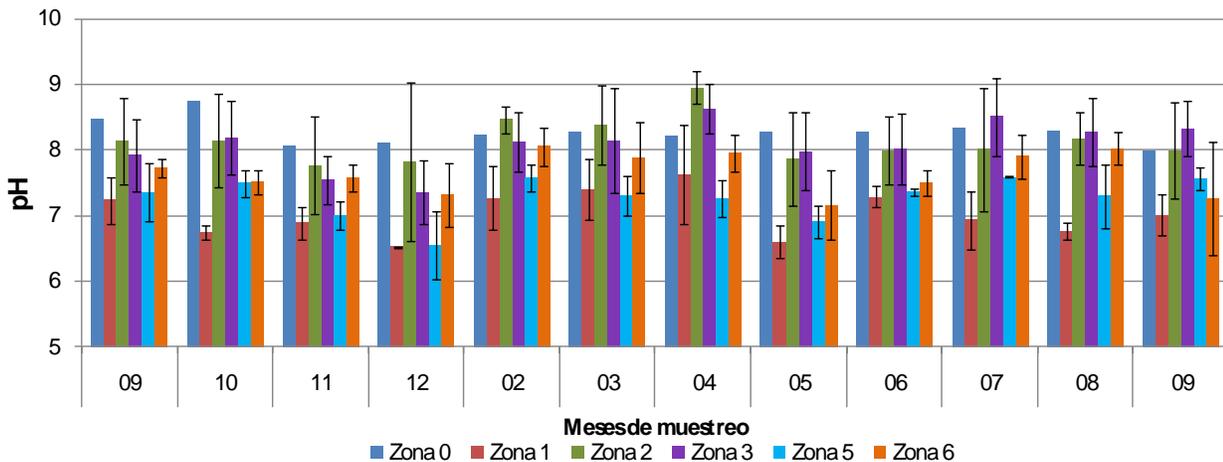


Figura 4.4-23. pH medido en el agua superficial de las estaciones de la CGSM, durante el monitoreo septiembre 2011-septiembre 2012. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Oxígeno disuelto

Las concentraciones de OD fluctuaron entre 0,52 y 9,12 mg/L. En la Figura 4.4-24 no se observa una tendencia temporal definida para esta variable; tal es el caso de la desembocadura de los ríos de la SNSM (zona 1) que durante todo el período de estudio presentó concentraciones promedio inferiores a 4,00 mg/L, límite permisible establecido por la legislación colombiana para aguas destinadas a preservación de fauna

y flora (MinSalud, 1984). Situación similar ocurrió en la zona 5 (río Magdalena) entre octubre y diciembre de 2011 y abril, mayo y septiembre de 2012, indicando procesos de degradación bacteriana de materia orgánica acumulada (Roldan y Ramírez, 2008). En las zonas 0, 2, 3 y 6, las concentraciones de oxígeno fueron más altas y pueden estar asociadas a intercambios con la atmósfera y a la respiración de organismos fotosintéticos (Silva, 2006). Tal como se registró en el pH, en abril también se presentó un incremento notorio de oxígeno disuelto en la zona 2, producida por un posible aumento de la fotosíntesis de florecimientos fitoplanctónicos típicos en estos sistemas lacustres (Freije y Marcovecchio, 2004).

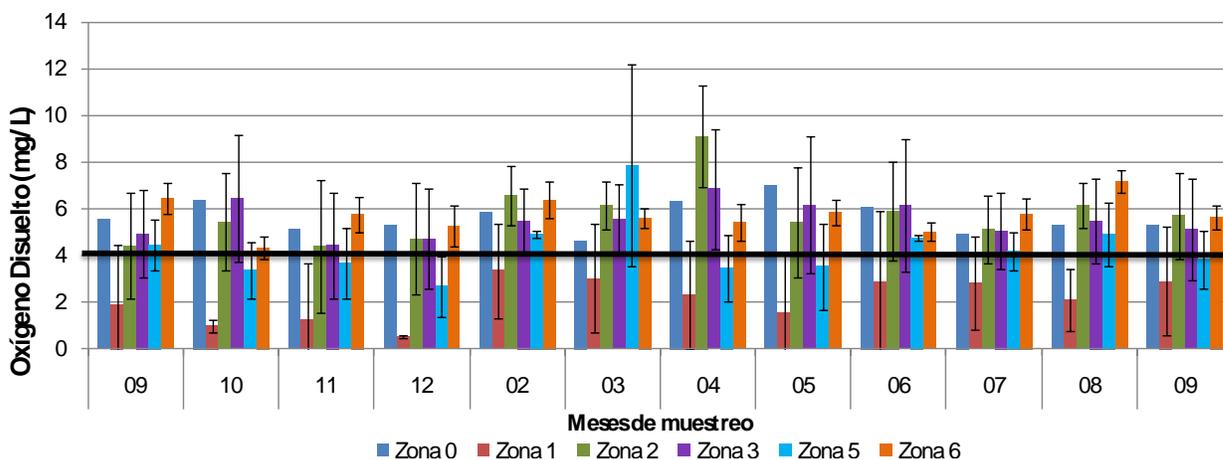


Figura 4.4-24. Oxígeno disuelto (mg/L) medido en el agua superficial de las estaciones de la CGSM, durante el monitoreo septiembre 2011-septiembre 2012. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Clorofila *a*

El análisis de clorofila *a*, ha ofrecido históricamente valiosa información acerca de la productividad primaria, siendo un indicador de la biomasa algal existente en la ciénaga. En la Figura 4.4-25 se observa que las mayores concentraciones se presentaron en las zonas 2 y 3, las cuales en los meses de marzo, abril y agosto, registraron valores superiores a 30 $\mu\text{g/L}$, nivel considerado como indicativo de florecimientos algales y de eventuales procesos de eutrofización según la Agencia de Protección para el Medio Ambiente de Estados Unidos (US EPA, 2002). El valor máximo de clorofila *a* fue medido en el mes de abril en la zona 2 y coincidió con los máximos de OD (Figura 4.4-24) y pH (Figura 4.4-23), hecho que evidencia un aumento de la producción primaria. En las zonas 5 y 6 se presentaron las menores concentraciones de clorofila *a* (1,00 – 14,63 $\mu\text{g/L}$), manifestando bajos niveles de fitoplancton y escasa productividad fotosintética en ellas.

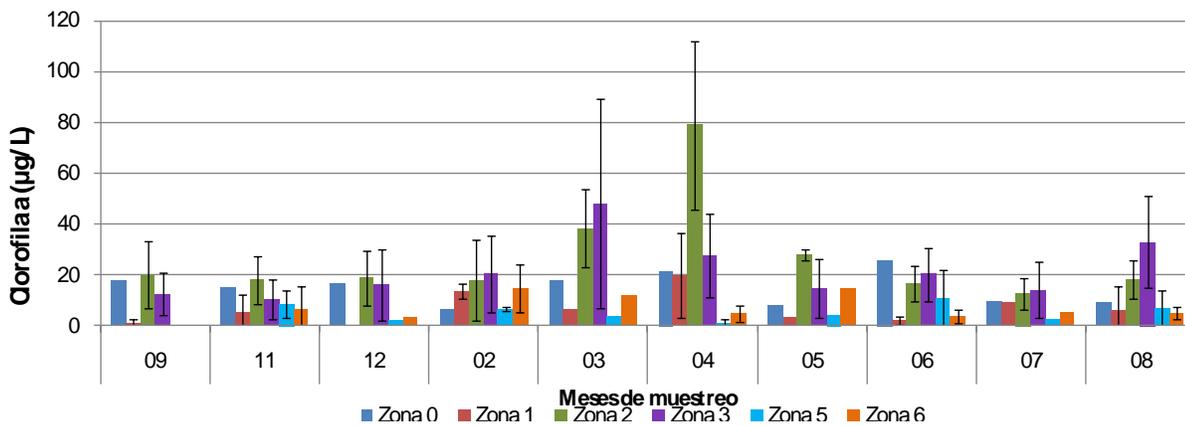


Figura 4.4-25. Clorofila *a* (µg/L) medida en el agua superficial de las estaciones de la CGSM, durante el monitoreo septiembre 2011-septiembre 2012. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

4.4.6.2 SST y Nutrientes

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Como se observa en la Figura 4.4-26, la mayor cantidad de SST, se encontró en la zona del río Magdalena (zona 5), con una variación entre 66,7 y 320,5 mg/L. En la zona de los ríos de la SNSM (zona 1) se registraron las menores concentraciones de material particulado, cuyo promedio fue entre 8 y 10 veces inferior a los máximos de la zona 5, medidos en diciembre de 2011 (278,9 mg/L) y abril de 2012 (320,5 mg/L).

Como consecuencia del fenómeno climático “La Niña”, las concentraciones de SST fueron superiores en septiembre y noviembre de 2011 y marzo de 2012, debido al incremento en las precipitaciones en todo el país y al aumento en los caudales del río Magdalena. Estas cargas elevadas, en sistemas como la CGSM tienen efectos adversos, ya que pueden producir modificaciones de las comunidades bentónicas, taponamiento de los flujos de agua y alteraciones en el ciclo de nutrientes (Paerl, 2006; Espinosa *et al.*, 2007).

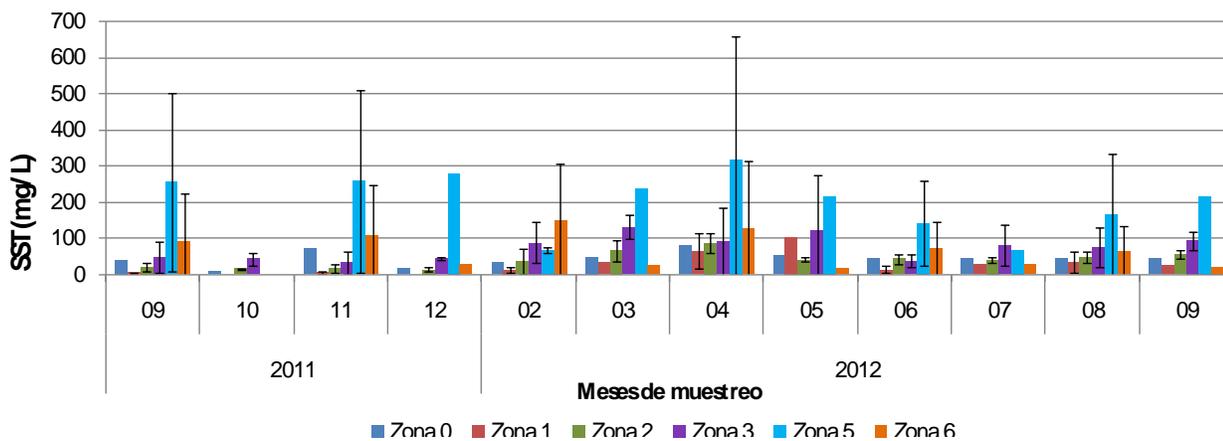


Figura 4.4-26. Sólidos suspendidos totales (mg/L) medidos en el agua superficial de las estaciones de la CGSM, durante el monitoreo septiembre 2011-septiembre 2012. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Amonio

Las mayores concentraciones de amonio se presentaron en los meses de continuo fortalecimiento del fenómeno de la niña, (septiembre y noviembre de 2011 y febrero de 2012); no obstante, pese a que abril y mayo fueron considerados como episodios neutros (IDEAM, 2012), predominaron las lluvias por encima de lo normal, situación que en dichos meses desencadenó un incremento en las concentraciones de este ión (Figura 4.4-27).

Los valores promedio de este nutriente fluctuaron entre 2,0 y 118,3 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; la menor concentración se registró en la zona 1 en julio, mes en el que predominaron condiciones secas; mientras que la mayor, fue registrada en noviembre en la zona 0, como consecuencia del ingreso de materia orgánica acumulada en las cuencas de los ríos provenientes de la SNSM y que es transportada hacia la boca de la barra debido al fuerte régimen de precipitaciones que se presentó en dicho mes (IDEAM, 2012).

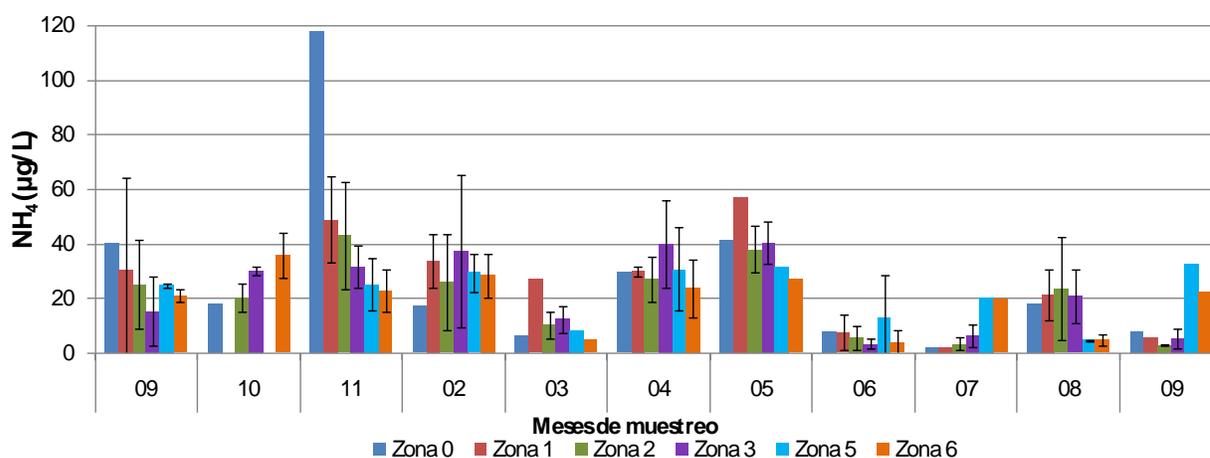


Figura 4.4-27. Concentraciones promedio de amonio NH_4 ($\mu\text{g}/\text{L}$) medido en el agua superficial de las estaciones de la CGSM, durante el monitoreo septiembre 2011-septiembre 2012. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Nitritos

Los nitritos se producen en una etapa intermedia del proceso de nitrificación, son inestables y en medios naturales no alterados, sus concentraciones son más bajas que las otras formas nitrogenadas (NH_4 y NO_3) (Kiely, 1999), situación presentada en la CGSM entre septiembre de 2011 y septiembre de 2012, donde la máxima concentración (14,9 $\mu\text{g}/\text{L}$, zona 0) fue aproximadamente 8 y 30 veces menor que las máximas concentraciones de amonio (118,3 $\mu\text{g}/\text{L}$, zona 0) y nitrato (443,9 $\mu\text{g}/\text{L}$, zona 5).

En la Figura 4.4-28 se observa que la distribución temporal del nitrito fue similar a la del amonio, concentraciones superiores en época lluviosa, principalmente en las zonas 1, 5 y 6 que reciben mayores aportes fluviales; mientras que en los meses donde las precipitaciones estuvieron por debajo de lo normal (junio, julio, agosto y septiembre de 2012, IDEAM, 2012) se presentaron leves disminuciones. Cabe destacar que en la zona 3 no se presentaron diferencias significativas entre épocas climáticas ($p < 0,05$), situación que puede estar asociada a las continuas descargas directas de las poblaciones palafíticas. Al igual que en el caso del amonio, la concentración máxima se registró en noviembre en la zona 0 por entrada de materia orgánica en proceso de oxidación proveniente de los ríos Sevilla, Aracataca y Fundación.

que en los meses con bajo régimen de precipitaciones, las concentraciones fueron aproximadamente el doble. Los promedios más bajos se registraron en la zona marina ($20,9 \pm 28,0 \mu\text{g/L}$), el cuerpo de agua principal de la CGSM ($22,8 \pm 23,7 \mu\text{g/L}$) y el complejo de Pajarales ($22,5 \pm 4,7 \mu\text{g/L}$). Los resultados evidencian que el río Magdalena y los tributarios de la SNSM, son la principal fuente de fósforo al sistema.

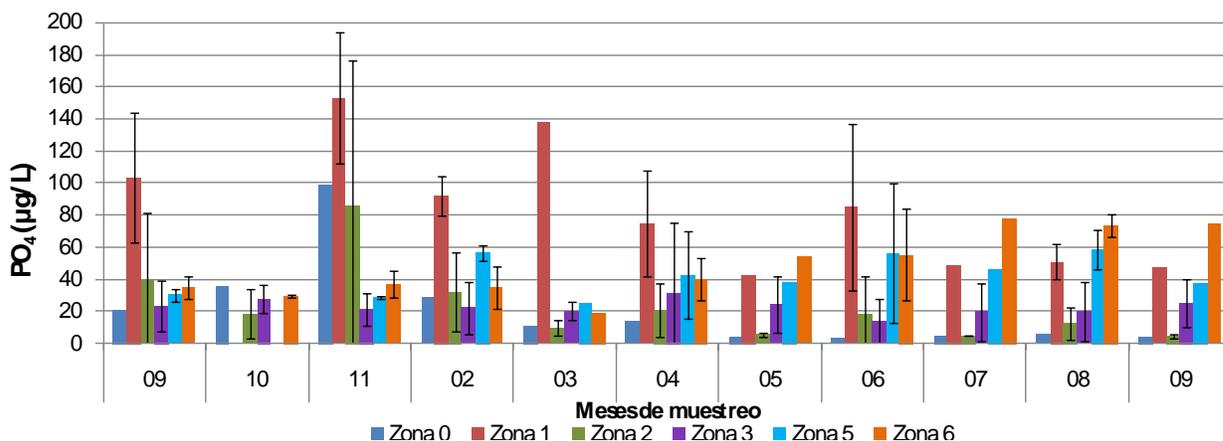


Figura 4.4-30. Concentraciones promedio de fosfato PO_4 ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones de la CGSM, durante el monitoreo septiembre 2011-septiembre 2012. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

4.4.6.3 Calidad Microbiológica

Coliformes Totales (CTT)

En la Figura 4.4-31 se presenta los promedios de coliformes totales (CTT), durante el periodo 2011-2012. A nivel espacial se encontraron diferencias significativas ($F=2,11$; $p=0,076$), el mayor valor de CTT se presentó en la zona 1, con un aporte de $7600 \pm 0,52 \text{ NMP}/100\text{mL}$. El 50% de sus mediciones estuvieron por encima del límite de contacto secundario (Minsalud, 1984) y la mayor concentración fue 58000 NMP/100mL en mayo de 2012, cuarta medición más alta en la zona históricamente (INVEMAR, 2012). Cabe aclarar que la zona 1 está influenciada por los principales tributarios de la SNSM que traen consigo carga de aguas servidas (Cadavid et al., 2009).

La zona 3 incumplió con un 33,3% de las mediciones mensuales, los límites de contacto secundario; su promedio en el período evaluado fue $1800 \pm 0,56 \text{ NMP}/100\text{mL}$. En esta zona hay presencia de un punto de reconexión (Boca del Caño Aguas Negras) y de los pueblos palafíticos Buenavista y Nueva Venecia, encontrándose en este último, la máxima concentración de la zona (98000 NMP/100mL), que al igual que la zona 1, se presentó en mayo de 2012, mes definido como un episodio neutro (IDEAM, 2012). Las zonas 0, 2, 5 y 6, presentaron los menores porcentajes de incumplimiento (25,0 %, 8,3%, 16,6% y 25,0 % respectivamente) con respecto al límite permisible de CTT (Minsalud, 1984).

Es importante tener en cuenta que la presencia de coliformes está asociada a la existencia de patógenos causantes de enfermedades de transmisión hídrica, como las afecciones gastrointestinales, parasitarias y dermatológicas (Campos-Pinilla et al., 2008; González et al., 2003) razón por la cual el contacto directo con aguas contaminadas genera un riesgo de adquisición de estas patologías.

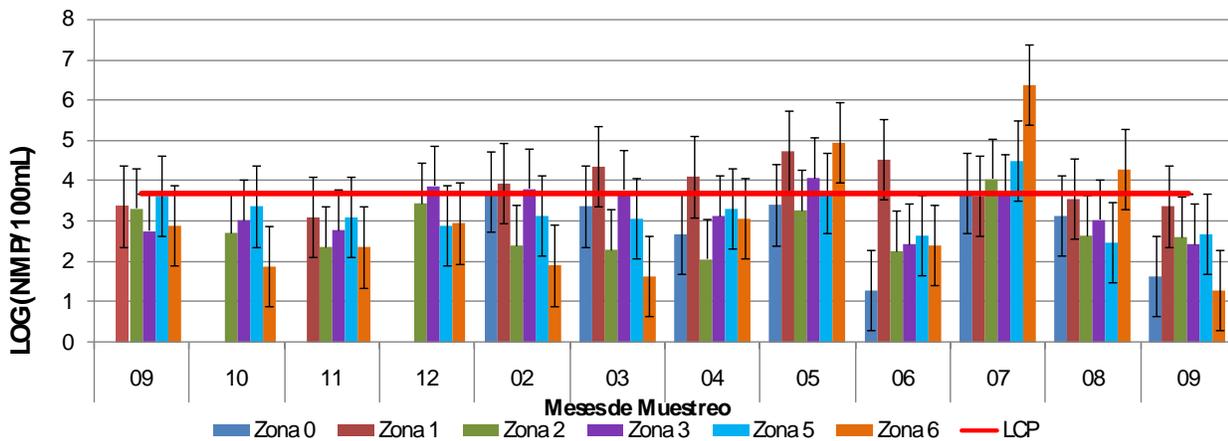


Figura 4.4-31. Concentración promedio de coliformes totales en el agua superficial de las estaciones de la CGSM, durante el monitoreo septiembre 2011-septiembre 2012. La línea roja indica el límite establecido por el Decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984), para el desarrollo de actividades recreativas de contacto secundario (LCS: < LOG 5.000 NMP.100mL⁻¹). Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Coliformes Termotolerantes (CTE)

Las concentraciones promedio de CTE en las diferentes zonas de la CGSM durante el periodo estudiado, se muestran en la Figura 4.4-32. A nivel espacial se encontraron diferencias significativas ($F=3,39$; $p=0,009$), el mayor promedio se presentó en la zona 1 con un aporte de $1500 \pm 0,93$ NMP/100mL, donde el 70% de las mediciones estuvieron por encima del límite establecido en la legislación nacional (Minsalud, 1984). Se alcanzó una concentración máxima de 35000 NMP/100mL en junio de 2012, segunda medición más alta de la zona históricamente, luego del valor reportado en junio de 2011 (110000 NMP/100mL; INVEMAR, 2012).

El 66,6 % de las mediciones mensuales en la zona 5 que corresponde a uno de los puntos de reconexión (Boca del Caño Clarín) superaron el límite establecido para actividades de contacto primario (Minsalud, 1984); el promedio en el período 2011-2012 fue de $240 \pm 0,56$ NMP/100mL. Los registros históricos de esta zona, tanto en época seca como lluviosa, han sobrepasado el límite de contacto primario (INVEMAR, 2012). La zona 3 también realizó aportes significativos de CTE a la CGSM, donde el 37% de las mediciones superaron la concentración de 200 NMP/100mL, poniendo en riesgo a los habitantes del área, en especial a los pueblos palafíticos que usan el recurso para actividades de saneamiento básico. Las zonas 0, 2 y 6, presentaron los menores porcentajes de incumplimiento con respecto al límite permisible. En la estación “Centro de la CGSM”, ubicada en la zona 2 se midió la concentración más baja de CTE en diciembre de 2011, 1,0NMP/100mL.

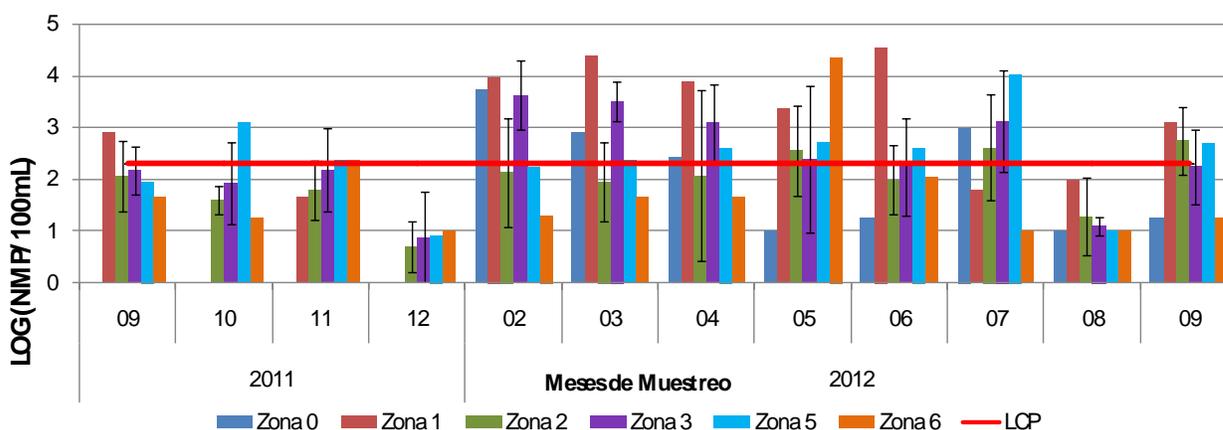


Figura 4.4-32. Concentración promedio de coliformes termotolerantes en el agua superficial de las estaciones de la CGSM, durante el monitoreo septiembre 2011-septiembre 2012. La línea roja indica el límite establecido por el Decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984), para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario (LCP: < LOG 200 NMP.100mL⁻¹). Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

4.4.6.4 Metales Pesados

La vegetación predominante en la CGSM son los bosques de manglar, considerados como potenciales acumuladores de contaminantes antropogénicos, en especial metales pesados, debido a las condiciones de salinidad, pH y potencial redox que prevalecen en ellos y al contenido de limos y arcillas del sedimento asociado (Parra y Espinosa, 2008).

En el periodo evaluado (época de lluvias 2011 – época seca 2012), las concentraciones de Cr y Cd estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada (0,50 y 0,15 µg/L, respectivamente). En la época lluviosa de 2011, las estaciones La Barra (zona marina) y Caño Aguas Negras (zona 3, Complejo de Pajarales), registraron las mayores concentraciones de Pb, metal que varió en un rango de <0,15 a 2,50 µg/L, valores por debajo de los niveles de referencia de la NOAA (Buchman, 2008); mientras que en la época seca de 2012, la estación Ciénaga Poza Verde, situada en la zona de Salamanca, presentó las mayores concentraciones de Cu y Ni, metales que variaron desde <0,5 hasta 3,34 y 10,17 µg/L respectivamente.

En el caso del Zn, se presentó una variación entre 41,15 y 298,57 µg/L, las mayores concentraciones fueron medidas en las estaciones Boca Caño Clarín, zona 5 (298,57 µg/L) y Ciénaga Poza Verde, zona 6 (185,09 µg/L), en la época lluviosa de 2011, atribuibles al aporte de aguas del río Magdalena durante las precipitaciones presentadas debido al evento “La Niña” (IDEAM, 2012). El comportamiento presentado en el período de estudio, evidencia la tendencia histórica de este metal, que ha presentado los mayores valores en las zonas influenciadas por el río Magdalena (zonas 5 y 6) (INVEMAR, 2012).

4.4.7 Conclusiones

La temperatura y la sanidad de las aguas marinas y costeras del departamento del Magdalena se encuentran afectadas por el régimen de precipitaciones y por la presencia de focos de surgencia, reflejados en altos valores de temperatura y bajas salinidades durante la época Lluviosa. Estas condiciones no resultan favorables, ya que en algunos años en las estaciones del parque Tayrona han sobrepasado los valores de referencia estimados para la preservación de ecosistemas de coral, contribuyendo a su degradación por blanqueamiento. Aunque en el 2011 - 2012 este efecto disminuyó, aun se mantienen los valores por encima de los 30 °C los cuales resultan nocivos para la salud de estos ecosistemas.

Los niveles de pH y oxígeno disuelto permanecieron dentro de los rangos permisibles para la preservación de fauna y flora, de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984. Cabe destacar que en la Estación F. La Barra el pH estuvo por encima del máximo pH permitido, no obstante, este es un valor puntual que en los 11 años del monitoreo no se había registrado.

Los resultados muestran que en la zona costera del departamento del Magdalena está afectada por las descargas de aguas residuales a través de los ríos Manzanares y Gaira, y por las descargas estacionales de la escorrentía de la ciudad en la estación de Calle 10. Durante el monitoreo de la época lluviosa del 2011, se observó el incremento de las concentraciones de sólidos suspendidos totales, nutrientes inorgánicos disueltos, y coliformes totales (CTE) y el descenso de la concentración de oxígenos disuelto más. Estas variables son indicadoras del aumento de las descargas de materia orgánica y de aguas servidas. La concentración de CTE inusualmente alta durante la época seca del 2012, en comparación con los registros históricos, se deben a que el muestreo se realizó durante una temporada en la que había una gran afluencia de turistas, por lo tanto la afectación registrada se atribuye al aumento de usuarios de las playas.

En cuanto a los contaminantes orgánicos, el mayor aporte de hidrocarburos históricamente se da a través del río Manzanares, mientras que en el resto de estaciones permanece bajo, aunque se presentan algunos casos puntuales estaciones que sobrepasan el valor de referencia como ocurrió en el 2011 en el río Don Diego. Los residuos de plaguicidas (principalmente metabolitos del DDT) se han registrado históricamente en los ríos Buritaca, Gaira y Guachaca, sin embargo, su presencia muestra una reducción significativa en el tiempo (frecuencia de aparición menor al 16% en los últimos 3 años) y las concentraciones registradas no representan riesgo para los organismos acuáticos de acuerdo a los valores de referencia internacionales.

Las concentraciones de los metales Cd, Cr y Pb en las aguas superficiales, no superaron los valores referenciados como de riesgo en guías internacionales, por lo cual sus concentraciones no se consideran de riesgo para el ambiente. Sin embargo, por la evidencia de un incremento en las concentraciones de Cr se recomienda seguir haciendo seguimiento de este elemento especialmente en las estaciones ubicadas en la zona de Santa Marta, y se recomienda ampliar el espectro de elementos analizados y la matriz analizada a sedimentos, en los ríos que atraviesan los centros urbanos.

El monitoreo de la CGSM mostró que la calidad fisicoquímica del agua del sistema está influenciada por las épocas climáticas y principalmente, por las fluctuaciones en la pluviosidad y descargas provenientes de los tributarios de la SNSM y del río Magdalena, en períodos “La Niña” y “El Niño”. Debido a lo anterior, durante el último trimestre de 2011 cuando se presentaron condiciones “La Niña”, se registró un descenso en la salinidad, pH, oxígeno disuelto, concentración de clorofila *a* y sólidos suspendidos totales; mientras que la concentración de nutrientes aumentó en las zonas con influencia fluvial.

En cuanto a los metales pesados, las mayores concentraciones de Cu, Ni y Zn, se encontraron en zonas de la CGSM con mayor influencia del río Magdalena, debido a que las estaciones que allí se agrupan, están sujetas en gran medida a los residuos de actividades antropogénicas que se transportan a través del río. En el caso del Pb, las concentraciones estuvieron por debajo del nivel de riesgo para efectos agudos según guías internacionales como la NOAA. Los metales Cr y Cd presentaron concentraciones inferiores al límite de detección de la técnica analítica empleada.

La evaluación de la calidad microbiológica en la CGSM, evidenció una baja calidad sanitaria del agua, encontrando los mayores valores de coliformes en estaciones con influencia fluvial, en la boca del Caño Clarín que conecta el sistema con el río Magdalena y en aquellas donde hay presencia de poblaciones palafíticas.

Atlántico



Playa Pradomar, Foto: Betty Cadavid

4.5 Atlántico

El departamento del Atlántico está localizado en el norte del país, entre los 10° 16' 01" y 11° 04' 30" de latitud norte, y 74° 43' y 75° 16' de longitud oeste. Hace parte de los ocho departamentos que conforman la Región Caribe Colombiana, limitando por el Norte con el Mar Caribe (90 kilómetros de litoral con el mar Caribe), por el Este con el Río Magdalena (105 kilómetros de ribera con el río Magdalena); por el Sur con el departamento de Bolívar y por el oeste, con el Mar Caribe y el departamento de Bolívar. La temperatura media anual es de 27°C; con medias máximas de 29,9°C, y mínimas de 25°C, entre octubre y noviembre. Los vientos de mayor influencia en el clima del departamento son los alisios del noreste, con dirección dominante norte y muy intensa en febrero y marzo; y son los responsables de la poca lluvia en la faja litoral del departamento. El régimen anual de lluvias es bimodal, con dos períodos de lluvias, mayo - junio y agosto - noviembre, alternados con dos períodos secos, diciembre - abril y junio - julio (CRA, 2007)

La red hídrica del Atlántico es sencilla debido a la extensión del departamento, al relieve y el clima. Las corrientes más importantes del sistema hidrográfico son el río Magdalena y el Canal del Dique, que se unen en su extremo sur. Las restantes aguas continentales las constituyen pequeños cauces como arroyos y caños, y las ciénagas que cubren un área amplia del sur y occidente del Departamento. Dentro de las subcuencas de los arroyos que drenan la parte oriental del Departamento, de sur a norte, desde el límite con Bolívar hasta Bocas de Cenizas, están El Salado, Gallego, Grande y Hondo. El complejo de humedales pertenecientes a la ribera del río Magdalena, está conformado por las ciénagas de la Bahía, Malambo, EL Convento, Sabanagrande, Santo Tomás, Luisa, Manatí, el Paraíso y el Uvero y otras ciénagas ya desecadas como La vieja, Sanaguare y Real. También pertenecen a esta los Arroyos Rebolo, Don Juan, El Salado y otras microcuencas cuyas aguas discurren sus aguas del casco urbano del Distrito de Barranquilla y que vierten sus aguas al Río Magdalena directamente (CRA, 2007)

La agricultura, la ganadería, la pesca y en especial la industria y el comercio en la capital son las actividades económicas del Atlántico. Existen explotaciones mineras, de gravas, arenas y calizas; y otras menores de azufre y yeso. El eje de la actividad industrial, no sólo del departamento sino de la región Caribe, es la ciudad de Barranquilla, que se beneficia de su posición geográfica. Constituyen el renglón más importante de la actividad industrial los productos químicos, además de la refinación de aceites y grasas vegetales y la fabricación de maquinaria (Mincomercio, 2004)

Con el fin de establecer la influencia de estas actividades se ha localizados a lo largo de la línea de costa 15 estaciones de la red de monitoreo REDCAM, de las cuales cinco son de carácter fluvial y están ubicadas sobre el cauce del río Magdalena; tres son de carácter estuarino y siete son marinas (Figura 4.5-1). A continuación se describen los resultados del monitoreo de la REDCAM en las estaciones del departamento del Atlántico para el periodo comprendido entre la época de lluvias 2011 y época seca 2012.

4.5.1 Variables Físicoquímicas

4.5.1.1 *In situ*

Temperatura

La temperatura superficial del agua presentó valores que oscilaron entre 28,1 y 34,1°C para la época lluviosa de 2011 y entre 27,8 y 30,6 °C para la época seca de 2012. Se observó de manera general una tendencia de disminución hacia la época seca de 2012 principalmente para las estaciones ubicadas en la zona costera del departamento como Punta astilleros y Playa Pradomar, en donde hubo fluctuaciones entre épocas mayores a 5,0 °C. (Figura 4.5-2) Las variaciones entre épocas son consistentes con la climatología

y oceanografía de la región si se tiene en cuenta que históricamente factores como horas de insolación, velocidad y dirección de vientos, régimen de precipitaciones, entre otras, han tenido su efecto sobre la distribución espacio-temporal en esta variable (Martínez *et al.*, 2001).

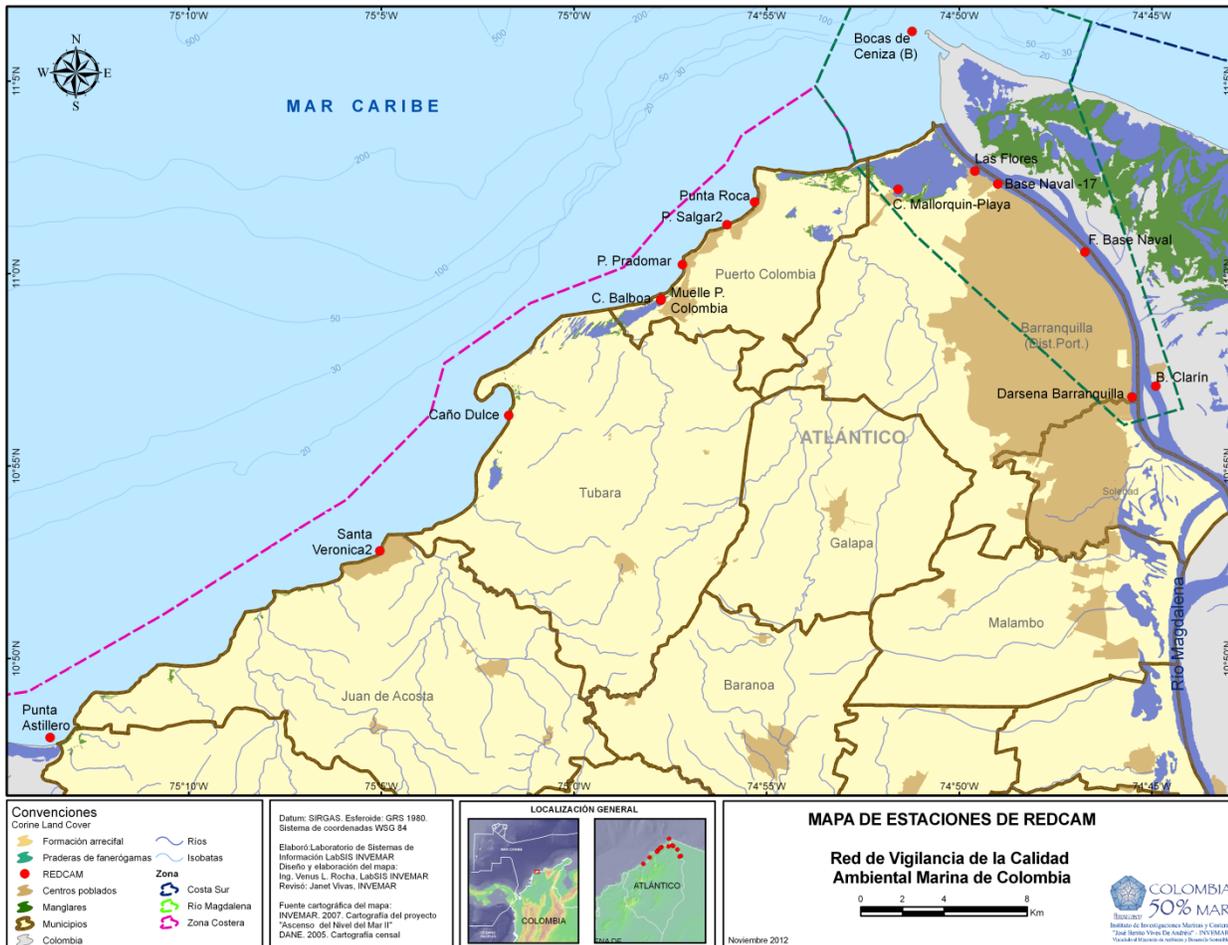


Figura 4.5-1. Estaciones y zonas de muestreo REDCAM en el departamento del Atlántico.

No obstante durante la época seca las temperaturas fueron más bajas en la mayoría de las estaciones de la zona, y fueron relacionadas con el fenómeno de surgencia que sucede durante los primeros meses del año en el Caribe colombiano, el cual logra abarcar parte de la franja costera de este departamento. Este fenómeno se caracteriza por el afloramiento de aguas subsuperficiales con temperaturas <22,0 °C que contribuyen a disminuir la temperatura superficial del mar (Arévalo y Franco, 2008).

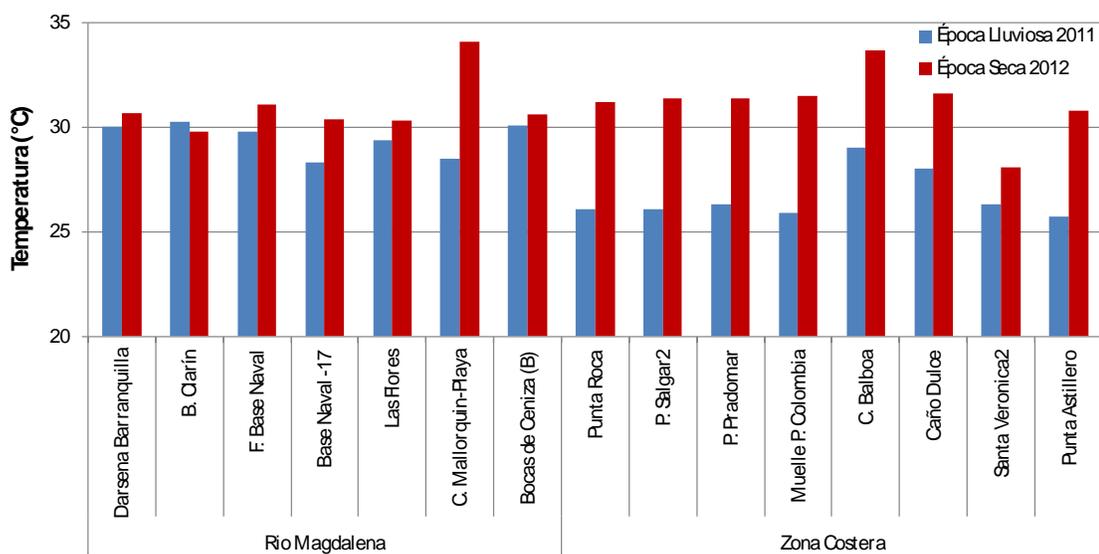


Figura 4.5-2. Temperatura (°C) del agua superficial del departamento de Atlántico, medida en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Salinidad

La salinidad mostró cambios asociados al régimen hidrológico con valores que oscilaron entre 8,2 y 31,9 para la época lluviosa de 2011 y entre 13,9 y 36,5 para la época seca de 2012. Al igual que en otros departamentos la salinidad en el Atlántico se midió en aguas marinas y estuarinas puesto que en las estaciones del río Magdalena fue inferior <0,2 por su característica fluvial, excepto en ciénaga Mallorquín que presentó salinidades de 8.2 y 13, 9 en la época de lluvias y seca respectivamente. Los cambios más sobresalientes se registraron en el muelle de Puerto Colombia y Ciénaga de Balboa durante la época lluviosa, asociados al régimen de lluvias que produjeron disminución en los valores de salinidad. Contrariamente en época seca cuando las lluvias estuvieron escasas y coadyuvada por las altas temperaturas hubo un aumento de salinidad por evaporación en estas estaciones, alcanzando valores equiparables con los medidos en las aguas marinas (Figura 4.5-3).

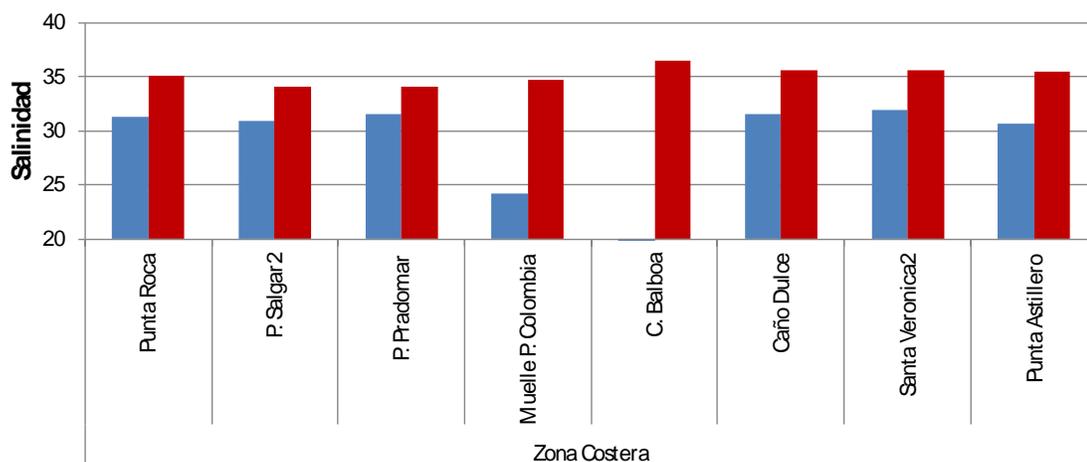


Figura 4.5-3. Salinidad del agua superficial del departamento del Atlántico medida en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Históricamente la ciénaga de Balboa ha presentado niveles de salinidad elevados principalmente durante las épocas secas debido al escaso nivel en la columna de agua. Como ocurrió en la época seca de 2011 cuando hubo debilitamiento del fenómeno climático “La Niña” y consecuente disminución en el régimen de precipitaciones en la mayor parte de la región Caribe (IDEAM, 2011). No obstante para el periodo actual la salinidad en esta estación sigue presentando el mismo comportamiento pero los valores no superan los máximos históricos (55,8 y 82; Figura 4.5-4) registrados durante la época seca de 2011 y 2009 respectivamente (INVEMAR, 2012)

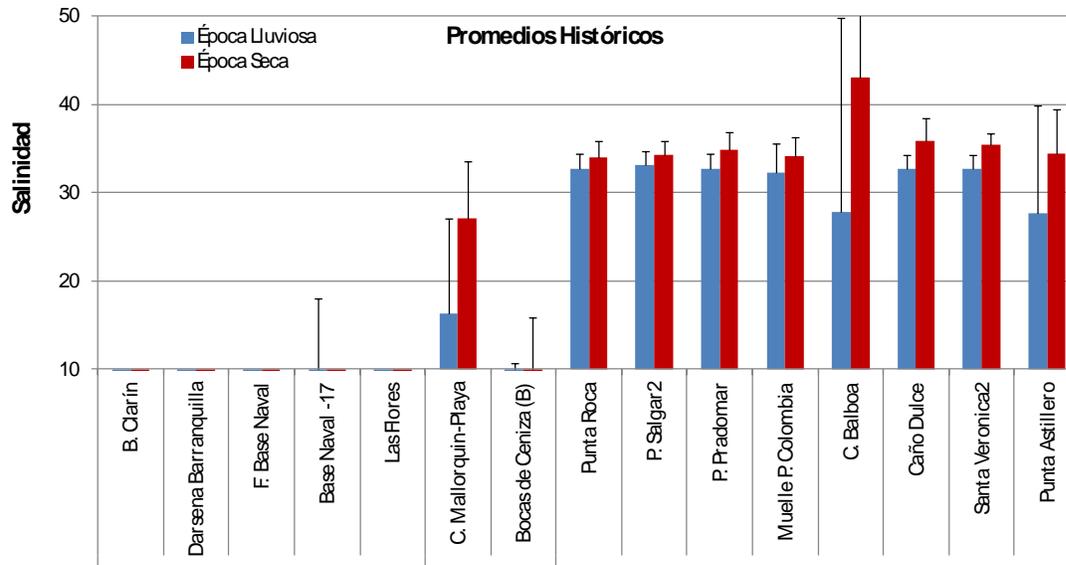


Figura 4.5-4. Promedio de la salinidad del agua superficial medidas semestralmente en las estaciones marinas del departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa y seca entre el 2001 – 2012. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

pH

Durante la época lluviosa de 2011 el pH fluctuó entre 6,59 y 8,94 mientras que en la época seca de 2012 entre 6,89 y 8,76 (Figura 4.5-5. Valores de pH medidos en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. Las líneas rojas representan el máximo y mínimo del Rango Permisible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984

). La mayor variación temporal en los valores de pH se presentó en las estaciones ubicadas en el río Magdalena, por ser aguas fluviales con escasa capacidad buffer. En ambas épocas la estación Ciénaga Mallorquín presentó valores de pH por encima del rango establecido como óptimo para la preservación y conservación de la vida acuática, mientras que la ciénaga de Balboa sólo excedieron estos valores durante la época lluviosa. Las demás estaciones permanecieron dentro del rango establecido en el Decreto 1594 de 1984 (aguas fluviales: 4,5 – 9,0; aguas marinas: 6,5 – 8,5; Minsalud, 1984). La posible actividad fotosintética que se presenta en la Ciénaga Mallorquín conlleva al consumo de CO₂, lo cual favorece el aumentando del pH. (Mvungi et al., 2012). De igual forma, la actividad los de organismos que intervienen en el ciclo del CO₂, tales como moluscos y bivalvos que, a su muerte, liberan cantidades significativas de carbonatos puede ser otra causa del aumento de pH en estas estaciones. (Sánchez et al., 2007).

El análisis histórico de los monitoreos REDCAM mostró que en los últimos 11 años el pH de las aguas marinas, estuarinas y fluviales no ha variado mucho entre épocas, mostrando siempre valores más bajos

para aguas fluviales y estuarinas pero permaneciendo siempre dentro del rango establecido en la norma colombiana (Figura 4.5-5).

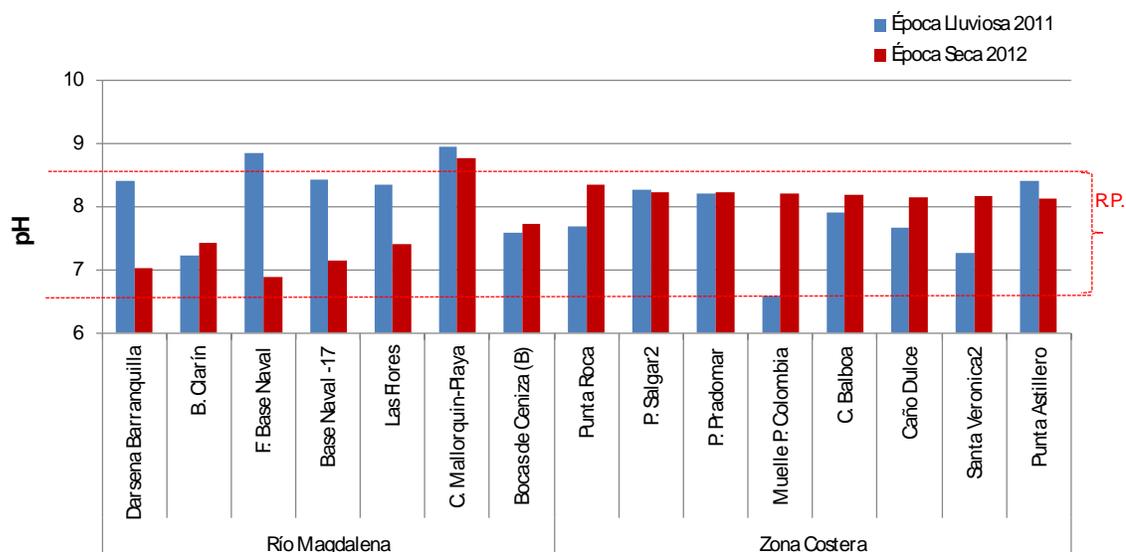


Figura 4.5-5. Valores de pH medidos en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. Las líneas rojas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984)

Oxígeno Disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) para las épocas lluviosa del 2011 y seca del 2012 estuvieron entre 1,6 y 12,1 mg/L. En la época lluviosa de 2011 y seca del 2012, las estaciones ubicadas en el río Magdalena presentaron concentraciones de OD menores que las estaciones de la zona costera, con valores por debajo del mínimo permisible, como en las estaciones Dársena Barranquilla y Frente Base Naval que presentaron concentraciones de OD de 3,1 y 1,6 mg/L respectivamente. La estación Ciénaga Mallorquín Playa registró el valor más alto de OD en época seca (12,1 mg/L; Figura 4.5-6). En general en las estaciones de los ríos la concentración de OD es menor que en las aguas marinas, tanto en las épocas lluviosa del 2011 y seca del 2012, como en los promedios históricos (INVEMAR, 2012), debido a que este sector del río recibe descargas de aguas residuales domésticas e industriales procedentes del complejo industrial de la vía 40 y que incrementan la demanda bioquímica de oxígeno disminuyendo los niveles de OD (Figura 4.5-7). Por el contrario, las altas concentraciones de OD en la ciénaga Mallorquín pueden estar relacionadas con la actividad de organismos fotosintéticos que favorece la oxigenación de las aguas (Sánchez *et al.*, 2007).

El análisis histórico de las concentraciones de OD en el departamento de Atlántico mostró que la concentración promedio para cada estación se encuentra por encima de 4,0 mg/L, que es el límite mínimo permisible de acuerdo con el Decreto 1594 de 1984, para preservación de fauna y flora (MinSalud, 1984). Esto sugiere que las aguas del departamento del Atlántico presentan buenas condiciones de oxigenación para el desarrollo de la vida acuática.

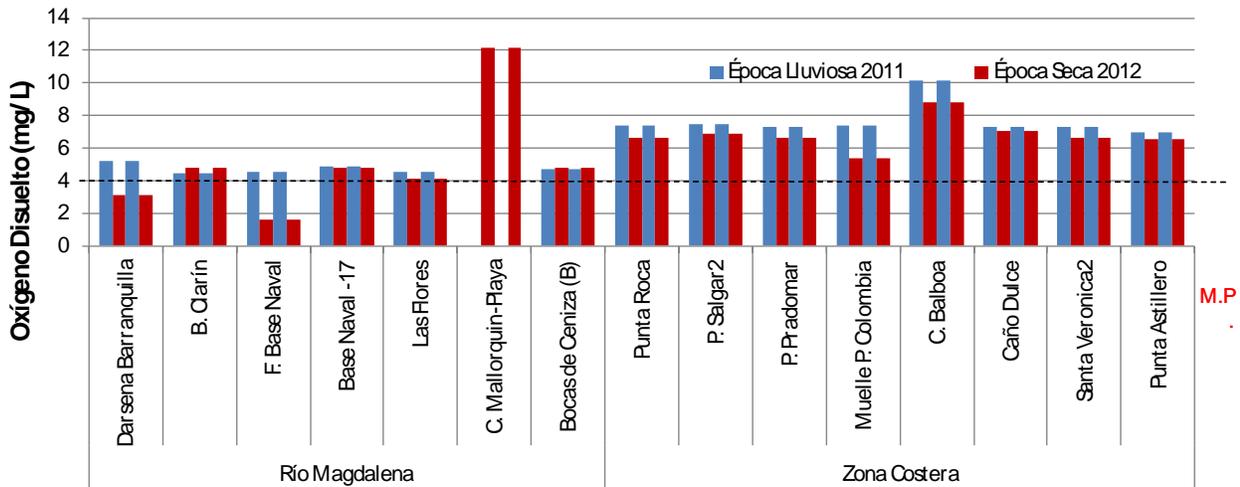


Figura 4.5-6. Concentraciones de oxígeno disuelto OD (mg/L) medidas en el agua superficial del departamento del Atlántico, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

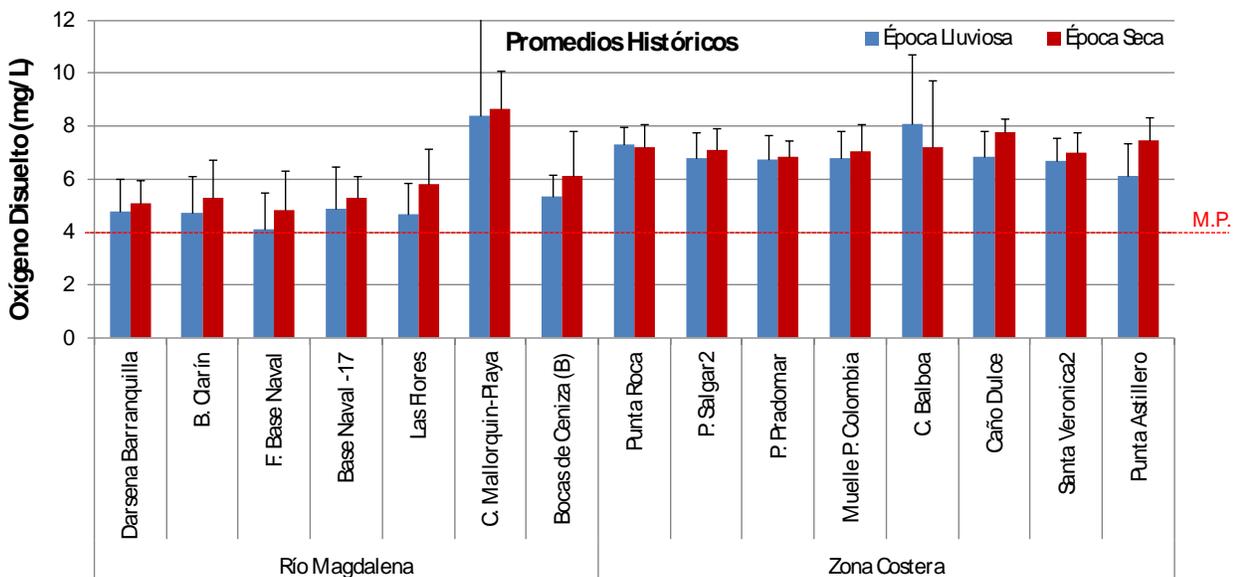


Figura 4.5-7. Promedio de la concentración de oxígeno disuelto OD (mg/L) en el agua superficial, medidas semestralmente en el departamento del Atlántico, en las épocas lluviosa y seca entre el 2001 y 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984). Las barras de error representan las desviaciones estándar.

4.5.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendedos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) mostraron variaciones entre épocas y estaciones de muestreo. Los aportes más significativos de SST se observaron durante la época seca 2012, particularmente en las estaciones Dársena Barranquilla, Base Naval 17, Ciénaga Mallorquín Playa y Bocas de Ceniza (B) localizadas sobre el río Magdalena, con niveles de SST que superaron los promedios

históricos (Figura 4.5-8; Figura 4.5-9). El incremento en la concentración de SST sobre las estaciones del río ha sido relacionado con su cercanía a la zona industrial (Vía 40) de la ciudad de Barranquilla, en donde muchas industrias vierten sus aguas residuales y cuyas variaciones dependen de la frecuencia y cantidad de las descargas. En la zona costera las concentraciones de SST han sido bajas pese a estar expuestas a los fuertes vientos y oleaje que acompañan la época de seca pero durante este último periodo en las estaciones Ciénaga de Balboa y Caño Dulce se presentaron altas concentraciones de SST durante la época seca (105, y 204 mg/L respectivamente), solo ésta última supero el valor promedio histórico de SST que se haya registrado en ella ($59,6 \pm 40,4$ mg/L; Figura 4.5-9).

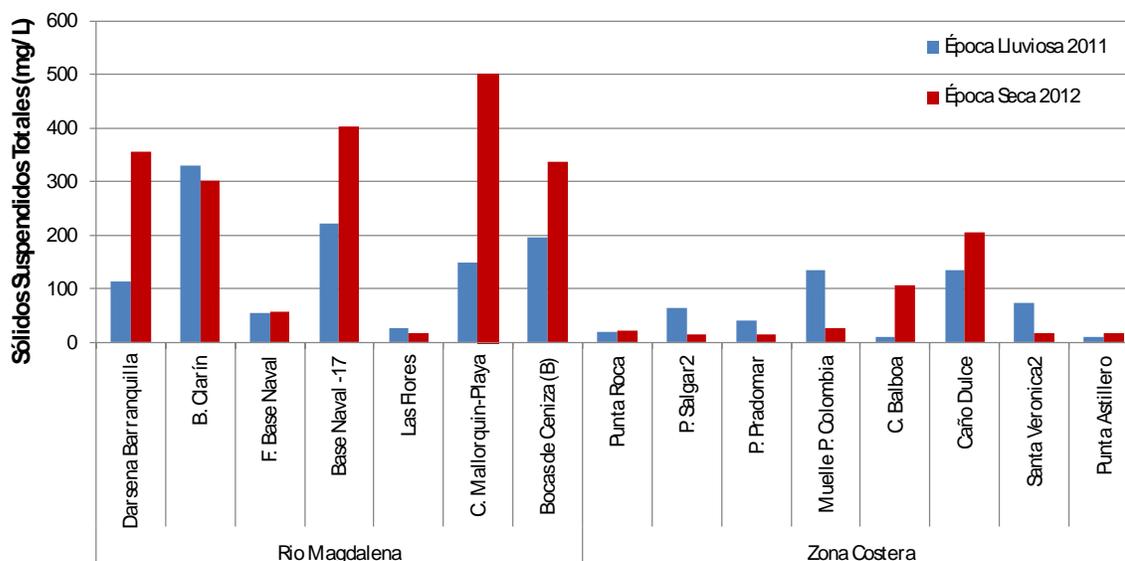


Figura 4.5-8. Concentraciones de sólidos suspendidos totales SST (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

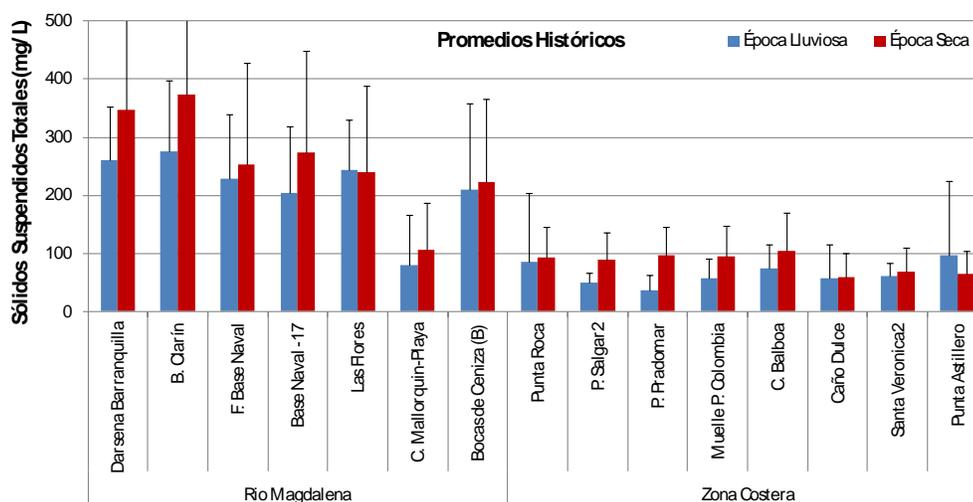


Figura 4.5-9. Promedios de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial del departamento del Atlántico. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

Nitrógeno Inorgánico Disuelto

Se realizó el análisis de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) que corresponde a la sumatoria de las formas nitrogenadas: NO_3 , NO_2 y NH_4 . Las concentraciones más altas de NID se registraron durante la época seca 2012 principalmente en las estaciones del río Magdalena. Excepto en Ciénaga Mallorquín Playa que presentó su máximo valor durante la época de lluvia de 2011 y fue el más alto medido durante el periodo de muestreo ($970 \mu\text{g/L}$; Figura 4.5-10). En la zona costera las concentraciones de NID aunque fueron más bajas presentaron un comportamiento inverso ya que con excepción de la estación Punta Astilleros los valores estuvieron incrementados durante la época de lluvia ($64,6 \mu\text{g/L}$; Figura 4.5-10). En general, las concentraciones de NID presentaron amplias fluctuaciones entre épocas y estaciones de muestreo. Los mayores aportes de NID estuvieron dados por las estaciones que están sobre el río evidenciando que este es una fuente importante de nutrientes hacia la zona costera, debido a las actividades de agricultura y ganadería que se desarrollan sobre su cuenca además de las descargas domésticas e industriales de la ciudad de Barranquilla.

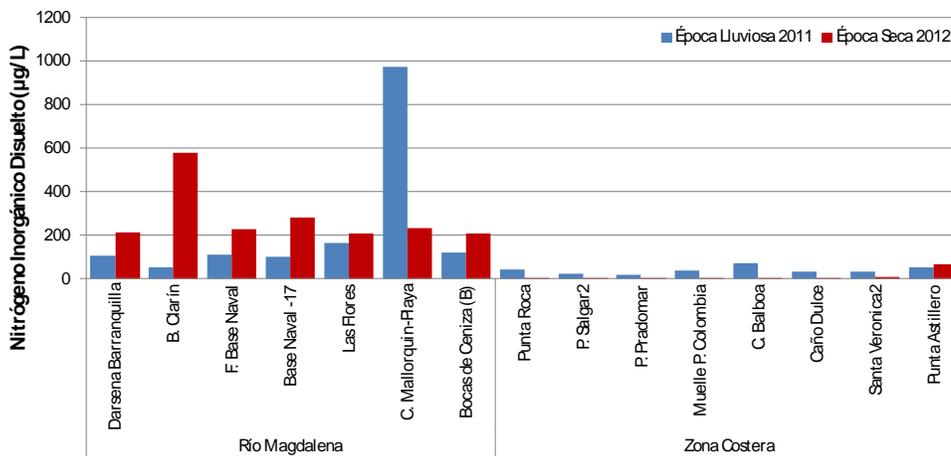


Figura 4.5-10. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Vale destacar que el NID actual e históricamente sobre las estaciones del río ha estado representado principalmente como NO_3 y su magnitud ha sido mayor en la época seca, durante la cual son depositados sobre partículas sedimentarias y en el inicio de la época lluviosa son transportados, lo que explica los niveles más altos de NID después de las lluvias (Figura 4.5-11). En el caso de la Ciénaga Mallorquín los valores más altos de NID históricos y actuales han estado representados mayoritariamente como NH_4 , principalmente durante la época de lluvias (actual: $835 \mu\text{g/L}$; histórico: $393 \mu\text{g/L}$; Figura 4.5-11), indicando que el escurrimiento de agua de lluvia y las actividades humanas (deposiciones fecales) de los asentamientos cercanos propician el ingreso de nutrientes al interior de esta, ocasionando una potencial contaminación del ecosistema.

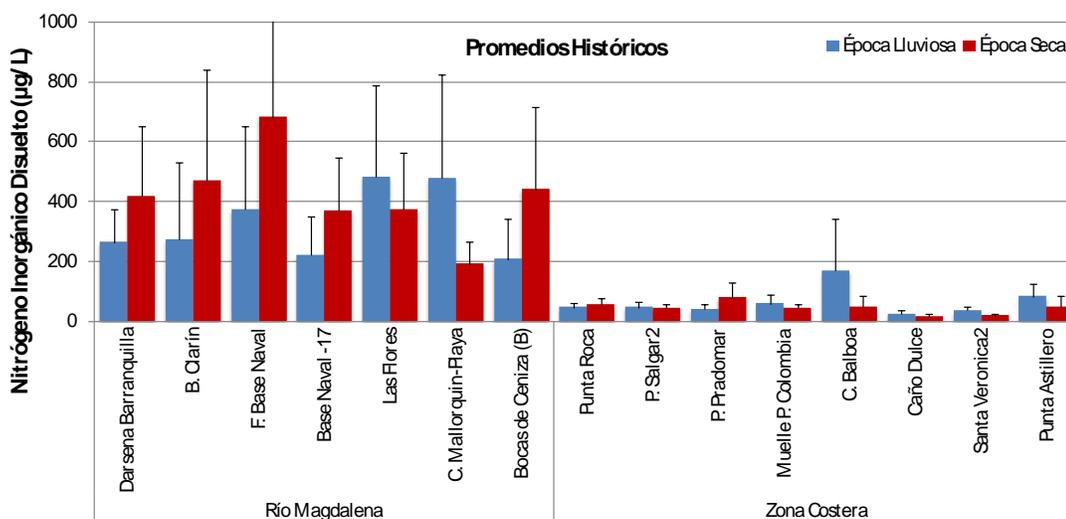


Figura 4.5-11. Concentraciones promedio de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico. Las barras de error representan las desviaciones estándar

Fósforo Reactivo Soluble

Las concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) o fósforo inorgánico disuelto también fueron evaluadas. En general, durante el periodo de muestreo (época lluviosa de 2011-época seca de 2012) las mayores concentraciones de FRS se presentaron durante la época seca principalmente en algunas de las estaciones del río y de la zona costera (Figura 4.5-12). En el río el mayor valor de FRS se presentó durante la misma época en la estación de Las Flores y se constituyó en el más alto del monitoreo mientras que el más bajo se midió en C. Mallorquín Playa ($1,85 \mu\text{g/L}$; Figura 4.5-12). La zona costera presentó el mayor valor de FRS en la estación P. Salgar 2 ($105 \mu\text{g/L}$) seguido por Punta Roca ($94 \mu\text{g/L}$) y el más bajo en C. Balboa ($0,75 \mu\text{g/L}$); ambos durante la época seca.

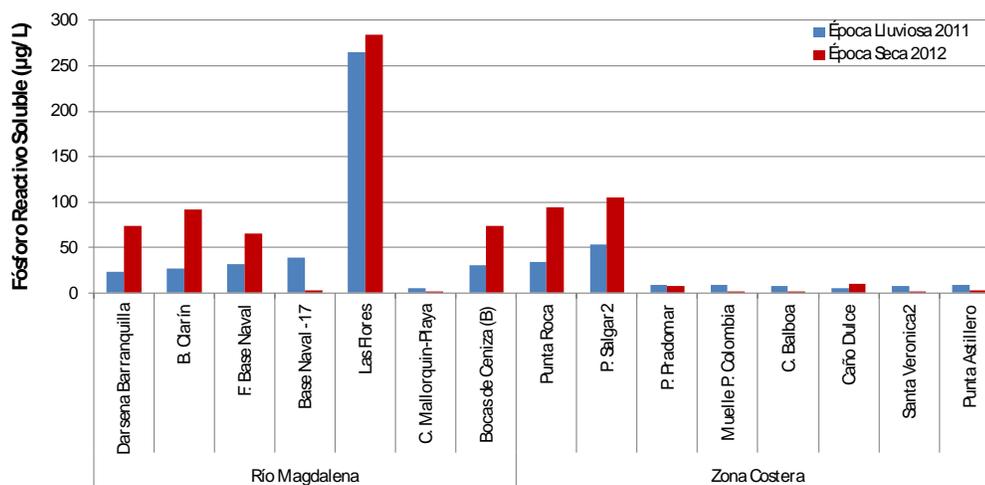


Figura 4.5-12. Concentraciones de fósforo reactivo soluble FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

4.5.2 Contaminación Microbiológica

Para el departamento del Atlántico desde el año 2002 se hacen análisis microbiológicos a 15 estaciones, de las cuales 7 corresponden a estaciones marinas. Para la época lluviosa de 2011 se presentaron 3 casos de incumplimiento para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario según lo establecido en la legislación nacional (Coliformes Termotolerantes (CTE) <200 NMP/100mL; MinSalud. 1984); mientras que durante la época seca de 2012 se presentaron 5 casos de incumplimiento (Tabla 4.5-1). La playa de Puerto Colombia alcanzó la máxima concentración anual de CTE con 180.000 NMP/100mL siendo la mayor concentración reportada desde la época de lluvia del 2004 con 5.000 NMP/100mL. A nivel histórico, los mayores casos de incumplimiento en lo que respecta a la legislación nacional para actividades de uso recreativo se presentan en la estación de playas de Salgar con un 73% de las mediciones y Punta Roca con el 70% de casos durante la época seca. Las concentraciones obtenidas son el reflejo del aporte de materia orgánica provenientes del río Magdalena, que en general como muchos tributarios a nivel mundial son receptores de aguas servidas de origen industrial y doméstica alrededor del cauce, facilitando la incorporación de contaminantes a los cuerpos de agua (Leandro et al, 2010).

Tabla 4.5-1. Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE NMP/100mL) en las épocas climáticas lluviosa 2011 y seca 2012. En negrilla los valores que superan el valor de referencia para aguas destinadas a actividades recreativas de contacto primario (< 200 NMP/100 mL; MinSalud. 1984).

Zonas	Playa	Época Lluviosa 2011			Época Seca 2012		
		(NMP/100mL)	% casos*	n	(NMP/100mL)	% casos*	n
Río Magdalena	Punta Roca	37	50	8	960	70	10
	Playas de Salgar	30	22	9	880	73	11
	Playa Pradomar	110	43	7	44	44	9
Zona Costera	Playas Puerto Colombia	210	33	9	180.000	46	11
	Playa Caño Dulce	330	25	8	480	22	9
	Playa Santa Verónica	210	38	8	280	10	10
	Playa Punta Astillero	6	29	7	120	0	9

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible del decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE < 200 NMP/100mL).

4.5.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD, en el período de estudio se encontraron generalmente en un rango entre < 0,07 – 7,22 µg/L; durante la época lluviosa 2011 se encontraron las mayores concentraciones de HDD, en las estaciones ubicadas en el río Magdalena Bocas de Ceniza B (3,74 µg/L), Frente a Darsena (3,31 µg/L), Las Flores (2,44 µg/L) y Base Naval 17 (2,44 µg/L), mientras que en la época seca del 2012, el valor más alto se registro en la zona costera en la estación Punta Roca (7,22 µg/L; Figura 4.5-13). Estas concentraciones posiblemente se deben a la actividad portuaria, transporte marítimo, turismo, aguas servidas y lavaderos de vehículos en la zona. Cabe destacar que las concentraciones observadas en las estaciones de este departamento no superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas no contaminadas para la preservación de flora y fauna (UNESCO, 1984).

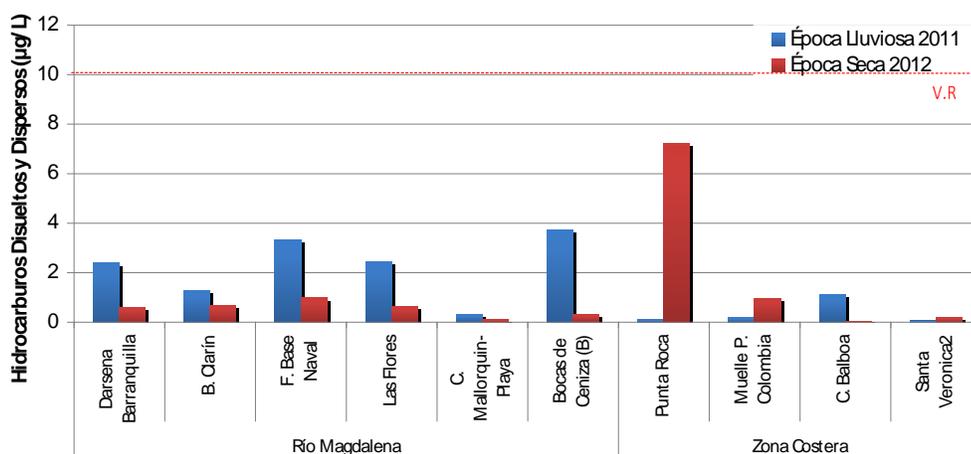


Figura 4.5-13. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos HDD ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Atlántico, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. La línea roja representa el Valor de Referencia (V.R.) para aguas contaminadas ($10 \mu\text{g/L}$) según UNESCO (1984).

Los registros históricos desde el 2001, muestran que las concentraciones promedio más altas se han registrado en la época lluviosa en las estaciones las Flores ($2,31 \pm 1,38 \mu\text{g/L}$); y Ciénaga de Mallorca ($2,0 \pm 0,94 \mu\text{g/L}$), ubicadas sobre el río Magdalena, debidas a la descarga de aguas residuales domésticas e industriales y la influencia de actividades de transporte marítimo realizado en su cuenca (Figura 4.5-14).

El análisis temporal muestra que si bien durante el periodo de análisis del presente informe las concentraciones más altas se registraron durante la época lluviosa 2011, en algunas estaciones, no se ha observado una tendencia histórica similar ($p > 0,05$). La variación interanual muestra diferencias significativas ($p < 0,05$), registrando en el año 2001 concentraciones de HDD superiores al valor de referencia, en las estaciones Ciénaga de Mallorca urbanización las Flores ($12,40 \mu\text{g/L}$) y Bocas de Ceniza ($10,50 \mu\text{g/L}$) y en 2010 en la estación Frente a Base Naval ($13,69 \mu\text{g/L}$).

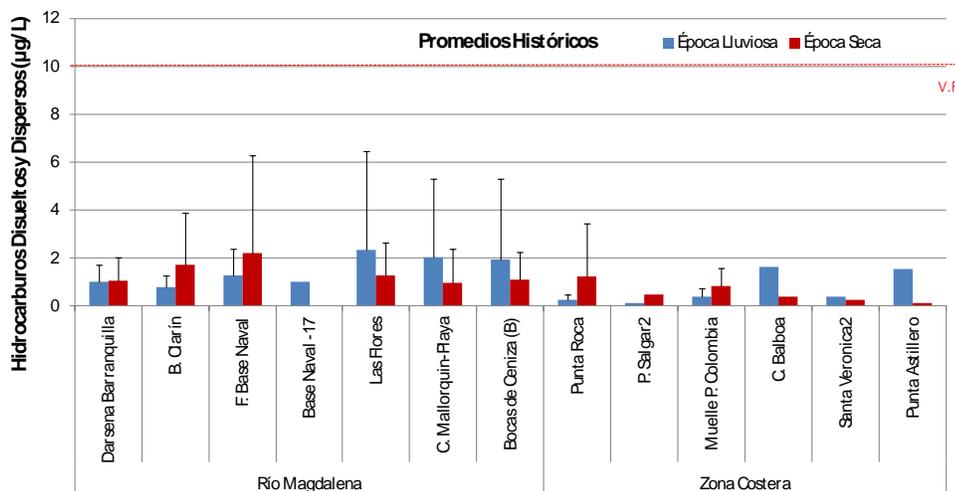


Figura 4.5-14. Concentraciones promedio de hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en estaciones de aguas superficiales del departamento del Atlántico. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

4.5.4 Plaguicidas

En los informes anteriores se ha puntualizado que el riesgo de contaminación por plaguicidas en la zona costera de Atlántico está asociado principalmente a las descargas del río Magdalena y al procesamiento de productos agroquímicos en la ciudad de Barranquilla (Vivas-Aguas *et al.*, 2010). En comparación con lo registrado al inicio del monitoreo, actualmente las concentraciones de compuestos organoclorados (OC) en las estaciones monitoreadas son muy bajas, los suelos pueden estar drenando sustancias que fueron hace tiempo aplicadas, razón por la cual en muchas de las muestras recolectadas ya no se detectan dichos compuestos. Desde el año 2004 los niveles de OC detectados han sido bajos, presentando una tendencia general a descender, no obstante, siguen apareciendo trazas especialmente de isómeros del DDT. En el 2004 a 2006 las concentraciones fueron menores a 2,0 ng/L, en el 2007 de 14,10 ng/L, de 20,70 ng/L en el 2008, y en el 2010 se obtuvo el valor más alto de 128,7 ng/L de OC totales.

Como se observa en la Figura 4.5-15, la tendencia descendente mostrada desde el 2004 se interrumpió en el 2008 y 2010 cuando se registraron valores más altos. Sin embargo, esto obedeció a la implementación del análisis de nuevas moléculas, la capacidad de determinación se incrementó de 12 a 22 moléculas, que significó la cuantificación de moléculas que antes no se tenían en cuenta. Compuestos como el Endosulfan y los isómeros orto-para de los DDTs no se determinaban antes del 2008; y es esta la razón para que las concentraciones incrementaran. En el 2008 fueron los isómeros del DDE y DDD que se detectaron en aguas del río Magdalena frente a la Dársena; y en el 2010 en la estación Ciénaga de Balboa se detectaron residuos de Endosulfan (109,3 ng/L) y de los isómeros del DDT (19,5 ng/L)

Como se indicó anteriormente el endosulfan es un plaguicida que no se había monitoreado y posiblemente fue usando hasta hace poco, su prohibición fue tan solo hasta el 2003. Las concentraciones detectadas en ese entonces se consideraban altas, de acuerdo a los valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008), ya que por encima de 10 ng/L pueden representar riesgos para efectos agudos sobre los organismos más sensibles.

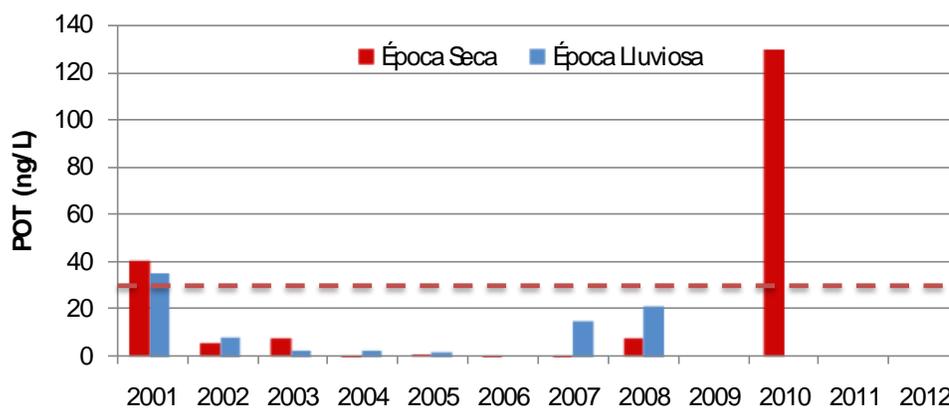


Figura 4.5-15. Rangos de las concentraciones de plaguicidas organoclorados POT (ng/L) medidas en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en el departamento de Atlántico. La línea roja representa el Valor de Referencia (30 ng/L; EPA, 1999).

En el 2009 se inicio el monitoreo de un nuevo grupo de moléculas que conforman plaguicidas que se usan actualmente. Nueve moléculas entre las cuales están: diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenaminfos, Cis y Trans-permetrina. En los tres años que se llevan monitoreando estas nuevas moléculas sólo se ha detectado metil paration, un compuesto activo que hace parte de muchos insecticidas comerciales y es ampliamente usado. En la época seca del 2010 se detectó en la Ciénaga de Balboa (21,9 ng/L), lo que registró gran interés ya que en este sector también se encontraron residuos de

endosulfan y puede deberse a uso incontrolado de plaguicidas en la zona aledaña. En la época de lluvias del 2010 se detectó en aguas del río Magdalena en las Flores (31,8ng/L) y en la boca del Caño Clarín (20,3 ng/L). Sin embargo, las concentraciones son bajas y no representan riesgo de toxicidad para los organismos plantónicos (Tabla 4.5-2).

Tabla 4.5-2. Concentraciones de plaguicidas en aguas superficiales de Atlántico en 2010-2012 y valor de referencia (Walsh y Alexander (1980))

Época	Estación	Metil paration (ng/L)
Seca 2010	Ciénaga de Balboa	21,9
Lluvias 2010	Las Flores, abajo aguas residuales al Río Magdalena	31,8
	Boca del Caño Clarín	20,3
<i>Valor de referencia para efectos tóxicos en el plancton</i>		5,3x10 ⁰

4.5.5 Metales Pesados

El vertimiento de aguas servidas de las actividades industriales de los municipios de Barranquilla, Soledad y Malambo así como los aportes de las aguas del río Magdalena presenta gran influencia en la calidad de las aguas marino costeras en el departamento del Atlántico. Algunos estudios han identificado el río Magdalena como la principal fuente de contaminación por metales pesados en la zona litoral costera del departamento al tener la desembocadura en esta área y traer consigo las descargas de desechos industriales y aguas negras de las principales ciudades del país (Cedeño *et al.*, 2001), además de la contribución directa que hacen las industrias metalúrgicas, productoras de químicos, curtiembres, agroquímicos, entre otras, de la zona industrial de la ciudad de Barranquilla (Garay y Vélez, 2004).

En el periodo comprendido entre la época de lluvias de 2011 y la época seca de 2012, se analizaron los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) en las aguas superficiales del departamento de Atlántico. Los resultados muestran que las mayores concentraciones de Pb se registraron en la época de lluvias (Figura 4.5-16) principalmente en la zona del río Magdalena, en las estaciones Boca Caño Clarín (6,63 µg/L) y las Flores (4,69 µg/L). Sin embargo, estos valores son bajos al compararlos con los referenciados en guías de calidad internacionales como de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; Buchman, 2008). Contrariamente en la época seca de 2012, no se detectaron concentraciones de Pb puesto que estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,15 µg/L). Esta marcada disminución puede ser atribuida al mayor aporte continental durante las precipitaciones que se presentaron durante la época de lluvias de 2011 debido al fenómeno de “La Niña” y menor aporte en la época seca cuando hubo inicio de “El Niño”.

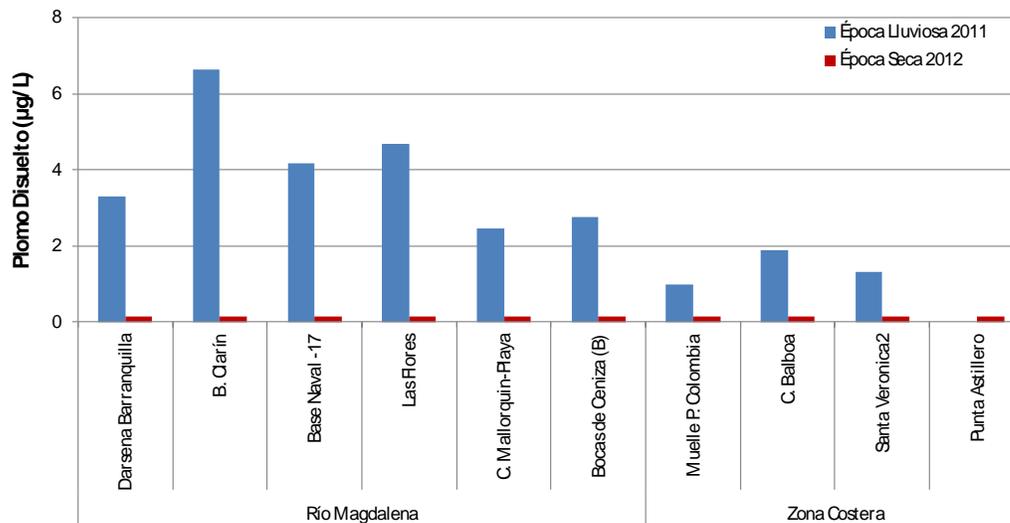


Figura 4.5-16. Concentraciones de plomo disuelto (Pb, µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales del Atlántico, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Las concentraciones de Cd y Cr disuelto presentaron en todas las estaciones valores inferiores al límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,25 y 0,50 µg/L respectivamente). Mostrando que no existe riesgo por contaminación de estos elementos en el periodo analizado. El análisis histórico de los monitoreos REDCAM en la zona costera del departamento del Atlántico muestra que las mayores concentraciones promedio de Pb, Cr y Cd disuelto se han registrado en las estaciones ubicadas en la zona del río Magdalena. Esta tendencia espacial evidencia que estos elementos son influenciados por la entrada de aguas del río hacia la zona costera del departamento de Atlántico pero sus concentraciones han estado por debajo de los valores referenciados en guías internacionales (210 µg/L Pb, 40 µg/L Cd, [Buchman, 2008](#) y 50 µg/L Cr, [Conama, 1986](#)), por tanto no se estima que las aguas costeras del departamento presenten riesgo de contaminación.

La evaluación histórica por épocas climáticas no muestra una tendencia estacional, sin embargo se ha observado una tendencia a disminuir las concentraciones de Pb, hasta llegar a valores inferiores al límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,15 µg/L). En general, durante el monitoreo las concentraciones de este elemento han estado por debajo de 10 µg/L, es decir mas bajos que el valor de referencia de la NOAA (210 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

Las concentraciones de Cd han mostrado tendencia a disminuir y solo se presentó un leve incremento en el en la época lluviosa de 2009. A partir de la época seca de 2010 hasta la fecha las concentraciones han estado por debajo de 0,5 µg/L; las cuales son muy bajas al compararlas con el valor referenciado en guías internacionales (40 µg/L Cd, [Buchman, 2008](#)). Al igual que el Cd, las concentraciones de Cr han mostrado un comportamiento similar, reportando mayores concentraciones en la época seca de 2009 pero igualmente por debajo de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional (50 µg/L; [Conama, 1986](#)). A partir de la época seca de 2011 hasta la fecha el Cr ha presentado valores por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,50 µg/L).

En general, los resultados evidencian que las estaciones que ejercen mayor influencia sobre la concentración promedio de los metales analizados (Cd, Cr y Pb) en aguas superficiales para el departamento del Atlántico durante el periodo muestreado son las ubicadas en la zona del río Magdalena. Como se había mencionado antes las aguas de este río posiblemente arrastran altas tasas de contaminantes provenientes de las zonas industriales del interior del país que pueden influenciar de manera directa la

calidad de las aguas en esta zona. Las concentraciones de metales registradas en el departamento del Atlántico, aunque no rebasan los límites en las guías internacionales, su presencia reviste importancia, lo cual hace indispensable continuar con su monitoreo y extenderlo a la evaluación de otros elementos de interés ambiental como Hierro, Níquel, Zinc y Cobre y el análisis de estos en otras matrices ambientales como los sedimentos que pueden dar un mejor indicativo del comportamiento y destino final de estos contaminantes.

4.5.6 Conclusiones

La calidad fisicoquímica de las aguas se vio afectada en las estaciones de la Dársena Barranquilla, Ciénaga Mallorquín y frente a la Base Naval con concentraciones de OD y pH que no cumplen con los valores permisibles. El resto de estaciones presentaron buenas condiciones para la preservación y conservación de la vida acuática y para el desarrollo de actividades recreativas. A nivel microbiológico la cercanía de algunas playas a la zona de influencia del río Magdalena interfiere en la calidad sanitaria de las aguas por el aporte constante de materia orgánica y aguas servidas que hace que los niveles de coliformes termotolerantes sean superiores al límite establecido en la legislación nacional para el desarrollo de actividades recreativas tanto de uso primario como secundario.

En la actualidad las concentraciones de HDD en aguas son inferiores al valor de referencia ($<10 \mu\text{g/L}$), sin embargo las estaciones ubicadas sobre el río Magdalena y la zona costera tienen riesgo de contaminación debido a la actividad portuaria e industrial y las descargas domésticas los diferentes arroyos de la ciudad de Barranquilla. Es evidente la reducción de la presencia de compuestos organoclorados en las aguas del departamento, desde el 2004. Sin embargo, con respecto a los compuestos que se usan actualmente, hay que mantener el seguimiento ya que el analito detectado (metil paration) es un compuesto de amplio uso en la agricultura y de forma doméstica.

Las concentraciones de Cd, Cr y Pb en las aguas superficiales, no superan los valores referenciados como de riesgo en guías internacionales, por lo cual no se consideran de riesgo para el ambiente. No obstante, durante el monitoreo se ha evidenciado que las mayores concentraciones de estos elementos han sido registradas en el sector del río Magdalena, lo cual indica que este es la mayor fuente de este tipo de contaminantes en el departamento del Atlántico.

Bolívar



Bahía de Cartagena, Bolívar. Foto: Paola Bautista.

4.6 BOLÍVAR

El departamento de Bolívar se encuentra ubicado en la región de la llanura del Caribe, entre los 07°00'03" y los 10°48'37" de latitud norte, y los 73° 45' 15" y los 75° 42' 18" de longitud oeste (IGAC, 2010). En éste departamento la REDCAM ha ubicado las estaciones de muestreo en la extensión litoral, desde Galerazamba, límite con el departamento del Atlántico, hasta Barbacoas, en el límite con Sucre; distribuidas en cinco zonas: Costa Norte, Bahía Externa, Bahía Interna que incluye en Canal del Dique, Islas del Rosario y Barbacoas (Figura 4.6-1). En el departamento de Bolívar, el periodo lluvioso generalmente se presenta entre los meses de agosto y noviembre, con un pico máximo en octubre; las precipitaciones anuales más altas se registran en el Carmen de Bolívar, ubicado dentro de "Los Montes de María", en el centro del Departamento de Bolívar. (>300 mm/a; IDEAM, 2005).

La zona Islas de Rosario, constituye una de las áreas arrecifales más importantes del Caribe colombiano. El ambiente predominante en las islas es coralino, encontrándose extensiones menores de praderas de fanerógamas marinas y pequeñas lagunas costeras rodeadas por manglares (Mejía *et al.*, 1994). La Bahía de Cartagena, con una superficie de 82 Km y una profundidad promedio de 16 m, consta de dos partes: la Bahía Externa e Interna. La primera está conectada, con el Mar Caribe a través de dos bocas (Bocachica y Bocagrande), mientras que la segunda se ubica en la parte norte y no tiene intercomunicación directa con el mar (Tuckovenko y Rondón, 2002; Cañón *et al.*, 2007). Dado que a esta bahía llega el aporte de aguas continentales a través del Canal del Dique, en la actualidad se le da el calificativo de estuario (Cañón *et al.*, 2007). Estos aportes, junto con los vertimientos de aguas negras, las descargas industriales, los vertimientos de hidrocarburos en sus diferentes formas y transporte y las descargas de buques, han influido en la contaminación de la bahía (Cañón *et al.*, 2007).

La Bahía de Barbacoas, recibe un gran aporte de aguas continentales del Canal del Dique a través de las bocas de Lequerica y Matunilla, que fueron abiertas con el fin de disminuir la carga de sedimentos que llegaba en un principio a la bahía de Cartagena (Gómez *et al.*, 2009). Estas descargas de sedimentos pueden ocasionar blanqueamiento y necrosis de ciertas partes del tejido vivo y muerte de las colonias de corales, por lo que el monitoreo en estas zonas es de gran importancia ambiental. En el presente informe se muestran los resultados de los muestreos realizados el día 9 de noviembre del 2011 (época lluviosa) y el día 14 de mayo del 2012 (época seca).

4.6.1 Variables Físicoquímicas

4.6.1.1 *In situ*

Temperatura

En la franja costera del departamento de Bolívar la temperatura superficial del agua varió entre 28,3 y 31,2°C durante la época de lluvias de 2011 y entre 25,7 y 31,4°C en la época seca de 2012. Los valores más altos se registraron durante la época de lluvias en la mayoría de las estaciones, excepto en el sector de Barbacoas donde estuvieron disminuidas. (Figura 4.6-2) Estas variaciones son debidas posiblemente a efectos de horas de insolación durante el muestreo y la poca profundidad que poseen los caños naturales y artificiales en este sector. Contrariamente, las estaciones más externas, en los sectores Costa Norte, Bahía Externa e islas del Rosario, presentaron un comportamiento temporal influenciado por efectos de olas, vientos y corrientes (Echeverría *et al.*, 2007). En las zonas coralinas, como Islas del Rosario, la temperatura superficial estuvo entre 27,7 y 31,4°C, que si bien por su carácter puntual no representan una amenaza para los corales, es importante mantenerla vigilada ya que, al igual que en años anteriores, la temperatura ha superado en algunos casos los 30°C (INVEMAR, 2012), constituyendo una condición de riesgo para los corales debido a su sensibilidad, ya que éstos pueden degradarse por el efecto de blanqueamiento en condiciones de temperaturas mayores a los 30 °C (Vega-Sequeda *et al.*, 2011; Hoegh-Guldberg, 1999).

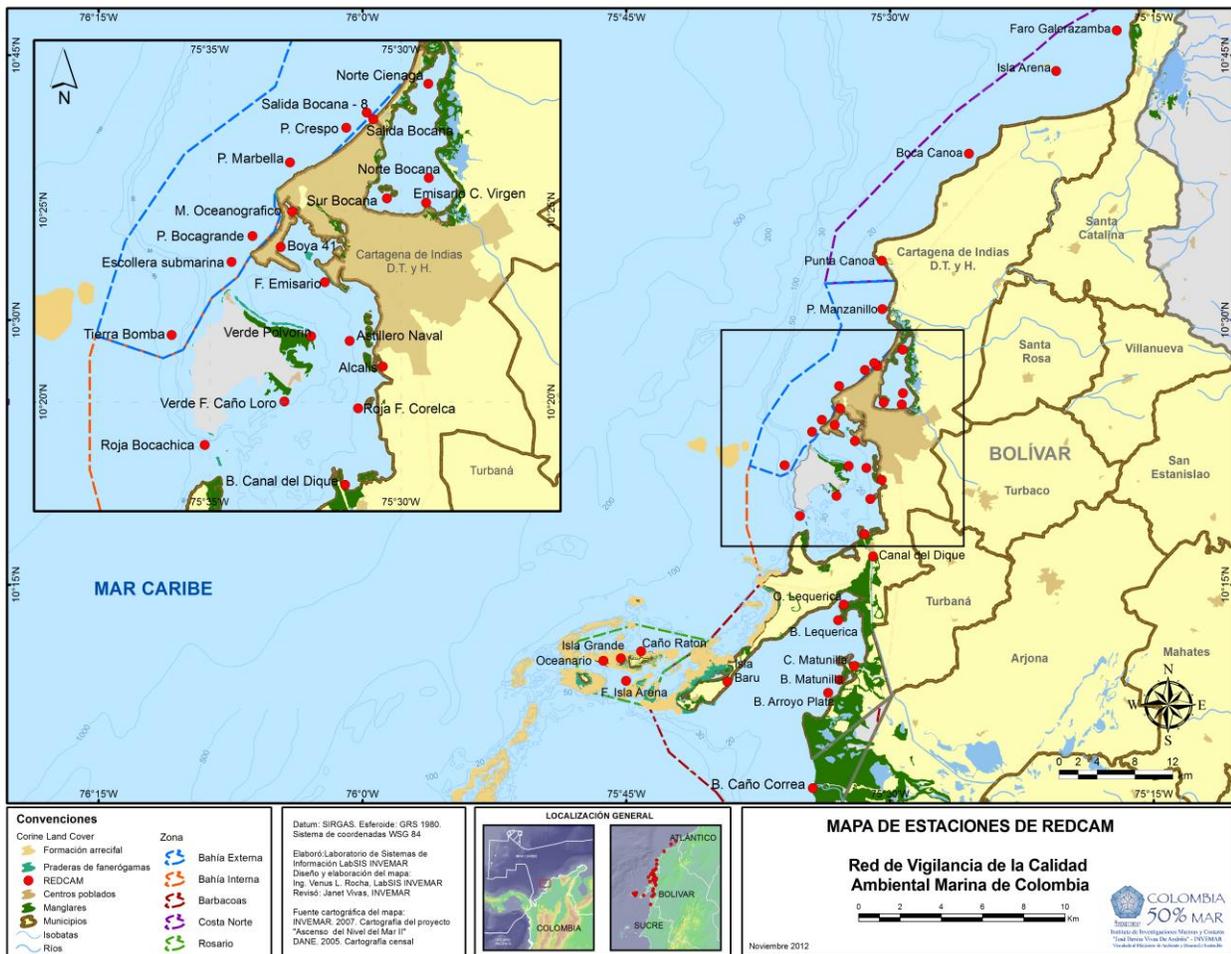


Figura 4.6-1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Bolívar

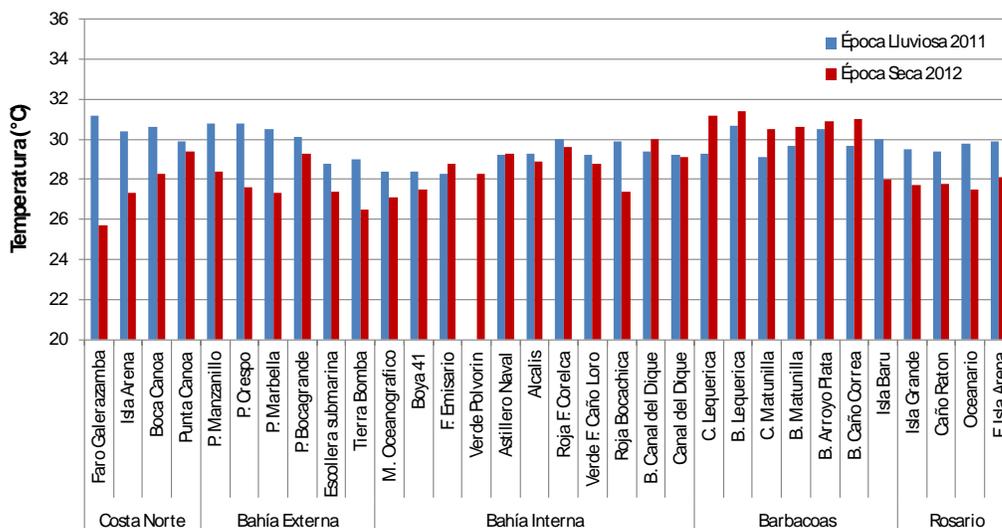


Figura 4.6-2. Temperatura (°C) del agua superficial del departamento de Bolívar, medida en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

ubicación frente al acuario, el constante ingreso de visitantes. Se observa también, que entre el Canal del Dique y la Isla Barú la concentración de NID disminuye escalonadamente, particularidad que pone de manifiesto los aportes fluviales que reciben las estaciones con mayores concentraciones, en las cuales, en época de lluvias, se transportan los nutrientes de los suelos por escorrentías.

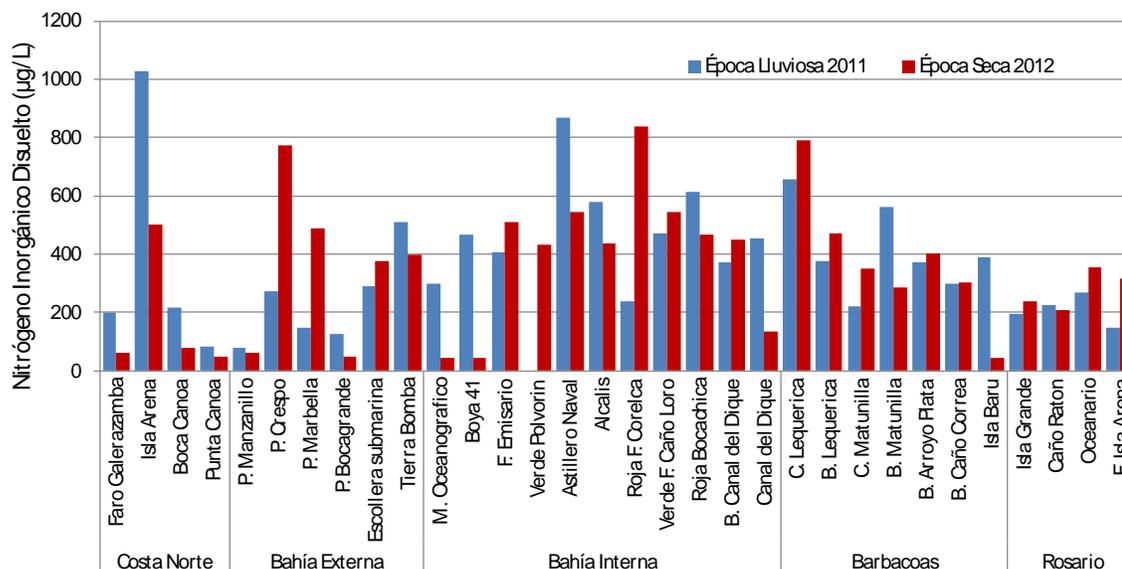


Figura 4.6-9. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento de Bolívar, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

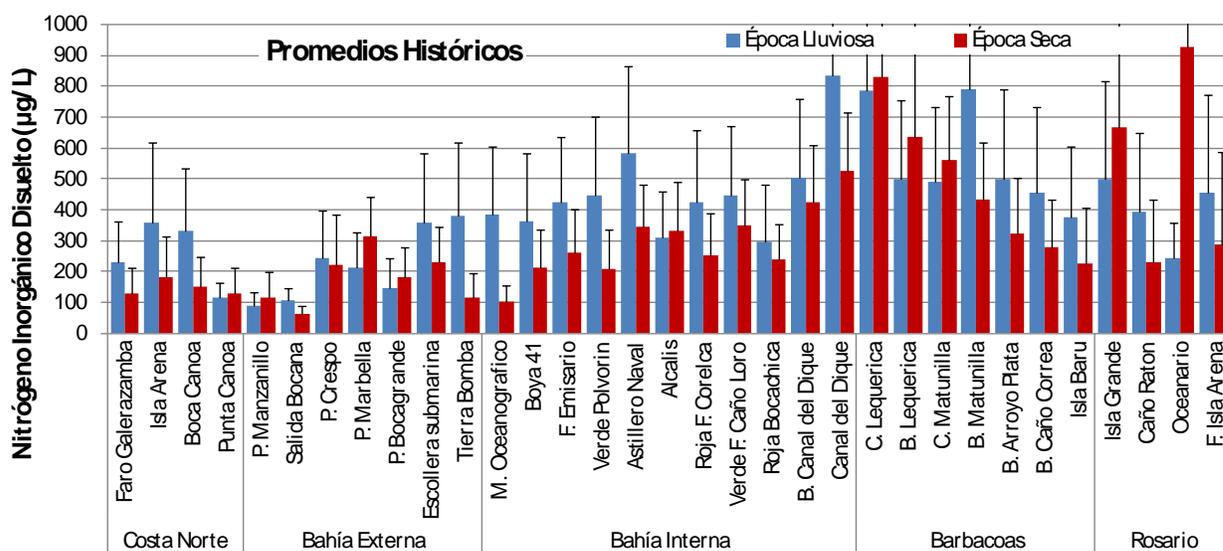


Figura 4.6-10. Concentraciones promedio de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento de Bolívar. Las barras de error representan las desviaciones estándar

Fósforo Reactivo Soluble

Los resultados de fósforo reactivo soluble (FRS) obtenidos de los muestreos realizados en la época lluviosa 2011 y seca 2012 (Figura 4.6-11), muestran que las mayores concentraciones se presentaron en la

Río Magdalena por el Canal del Dique y la presencia de industrias productoras de agroquímicos (Monsanto, Bayer, Rohm and Haas, Dow AgroSciences, Dupont, Quimor, Novartis, Aventis) en el sector industrial de Cartagena, muy cerca de la bahía.

La ejecución del monitoreo en este departamento no ha sido constante, por inconvenientes logísticos y técnicos estuvo interrumpido entre 2003 y 2008. Entre el 2001 y 2003 se monitorearon algunos plaguicidas OC, sin embargo, no se detectaron residuos de estos compuestos. En el 2009 cuando se retomó el monitoreo de plaguicidas, con el proyecto REPCar, se detectaron algunos residuos de isómeros del HCH, además del Endosulfan, un plaguicida que no se había monitoreado anteriormente y que posiblemente se esté usando debido a que su prohibición fue tan sólo hasta el 2003, las concentraciones registradas en la Ciénaga de la Virgen fueron relativamente altas, ya que por encima de 10 ng/L pueden representar un riesgo por efectos agudos sobre los organismos más sensibles (Buchman, 2008; Tabla 4.6-1).

En el 2009 también se inició el monitoreo de un nuevo grupo de moléculas diferentes a los OC, algunos organofosforados y piretroides. De las nueve moléculas analizadas (diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenamifos, Cis y Trans-permetrina) en los cuatro años se han detectado clorpirifos y metil paration tanto en la Ciénaga de la Virgen como en la Bahía de Cartagena. Sin embargo, el que reviste mayor importancia es el clorpirifos, debido a que las concentraciones de este compuesto superaron en algunas épocas los niveles de referencia de la NOAA de 11 ng/L (Buchman, 2008); se hallaron concentraciones 18 veces más altas a dicho valor como ocurrió en la Ciénaga de la Virgen en la época de lluvias de 2011 (Tabla 4.6-1). No obstante, es aún difícil discernir sobre la procedencia del clorpirifos ya que es un insecticida de amplio uso, incluso de aplicación doméstica.

Con respecto a las concentraciones de metil paration, aunque no se reporta nivel de referencia, las concentraciones son mucho menores a las obtenidas en experimentos de toxicidad en organismos plantónicos, por lo cual se estima que no representan riesgo, pero es necesario continuar su vigilancia a través de los monitoreos.

Tabla 4.6-1 Concentraciones de plaguicidas encontradas en aguas superficiales del departamento de Bolívar entre 2009 - 2012 y valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).

		ΣIsómeros HCHs (ng/L)	Endosulfan (ng/L)	Clorpirifos (ng/L)	Metil paration (ng/L)
Seca 2009	Boya Corelca	7,7	-	-	-
	Ciénaga de la Virgen	-	-	32,0	-
	Des. canal del Dique	-	-	38,8	-
Lluviosa 2009	Boya Corelca	-	-	31,6	-
	Bahía Cartagena	-	-	19,3	-
	Ciénaga de la Virgen	19,1	20,0	-	-
Seca 2010		-	-	-	-
Lluviosa 2010	Frente a Álcals	-	-	-	59,1
	Frente a Emisario	-	-	-	19,0
	Playa Bocagrande	-	-	-	48,7
	Ciénaga de la Virgen	-	36,5	47,8	-
Seca 2011	Boca canal del Dique	-	-	34,0	-
	Ciénaga de la Virgen*	-	-	24,0	-
Lluviosa 2011	Ciénaga de la Virgen*	-	-	202,8	-
Seca 2012		-	-	-	-
Valores de referencia para efectos agudos en aguas marinas		80	10	11	5,3x10 ⁶ **

*Estación 07 Epa Norte de la pantalla de la Bocana

** Efectos tóxicos en el plancton (Walsh y Alexander, 1980)

- No detectado

4.6.5 Metales Pesados

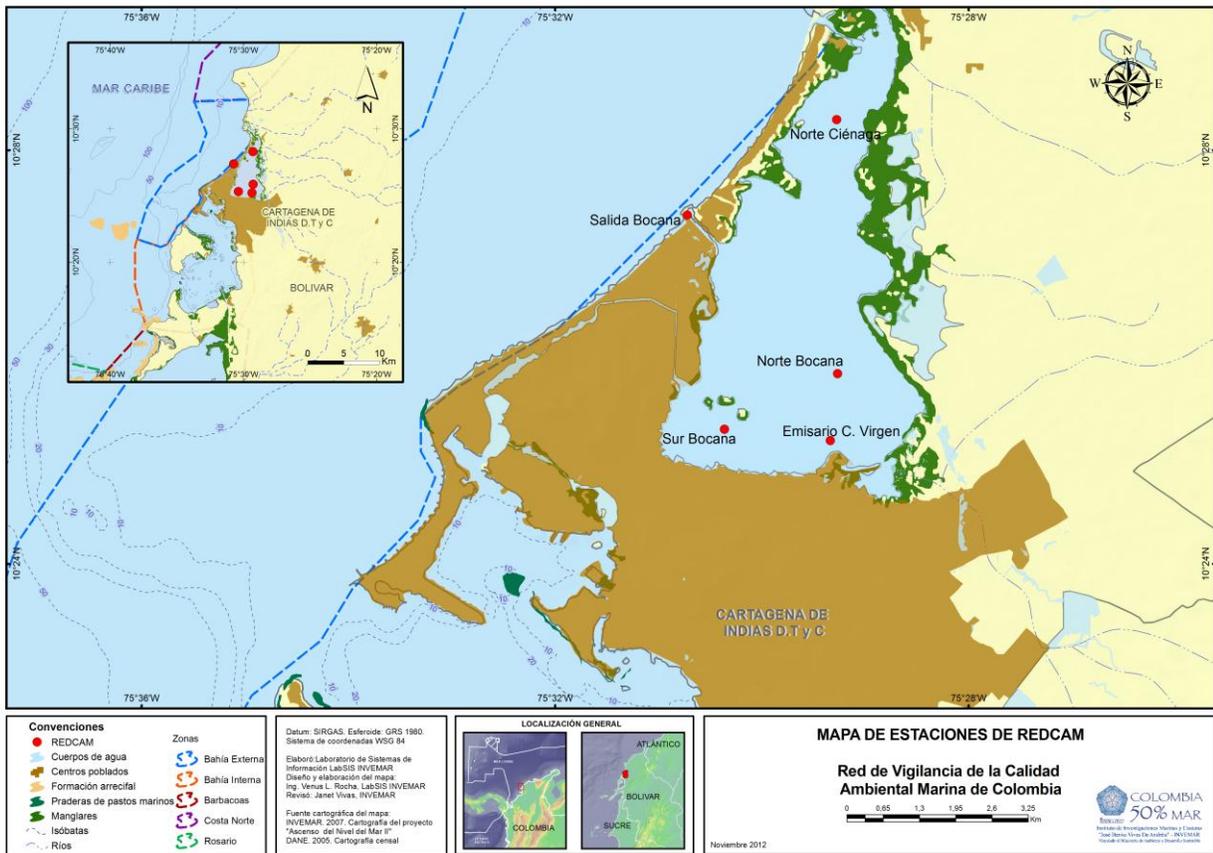
Los estudios más relevantes sobre la presencia de metales pesados en la zona costera del departamento de Bolívar, se han realizado en la bahía de Cartagena, especialmente por la contaminación con mercurio, debido a la existencia de la fábrica de Cloro-Soda que empleaba este elemento como cátodo en la electrólisis para producción de Cloro, siendo los residuos finalmente descargados al mar (Guerrero *et al.*, 1980). Debido al interés generado a partir de esta problemática de contaminación, se han llevado a cabo diversos proyectos enfocados básicamente al “Estudio de la contaminación por metales pesados en la bahía de Cartagena”. Estos estudios, han revelado la persistencia de la contaminación no solo con mercurio sino con otros metales pesados potencialmente tóxicos tanto en muestras de sedimentos como de aguas. Se han encontrado altas concentraciones en algunas zonas de la bahía de Cartagena, sobre todo las comprendidas dentro de la bahía interna y frente a la zona industrial de Mamonal, identificando una marcada influencia de la pluma del Canal del Dique (Parra *et al.*, 2011; Plagiardini *et al.*, 1982, Marciales y Duarte, 1988, Serguei *et al.*, 2003). La Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique “Cardique” desde el 2001 realiza los análisis de metales pesados cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) en las aguas del departamento de Bolívar, estos resultados son incluidos en la base de datos de la REDCAM y son analizados en el diagnóstico departamental y nacional que realiza el INVEMAR.

En el periodo comprendido entre la época de lluvias de 2011 y la época seca de 2012 se analizaron los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) en las aguas del departamento de Bolívar; todos los elementos registraron valores por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (25 µg/L, Pb; Cr 25 µg/L; 32 µg/L Cd), tanto en la época de lluvias de 2011 como la época seca de 2012.

La evaluación histórica con relación a las épocas climáticas lluviosa y seca en aguas del departamento de Bolívar, con referencia al Pb, registra en general las mayores concentraciones en la época seca (Figura 4.6-16). Aunque la mayor concentración promedio ($294,5 \pm 400,0$ µg/L) de Pb se registró en la zona de la bahía externa en la estación tierra Bomba, en la Figura 4.1-16. Se puede apreciar que el 64 % de las estaciones en la zona de la bahía interna registran concentraciones promedio superiores a 120 µg/L, en la época seca. Es de resaltar que las estaciones muelle Oceanográfico y tierra Bomba registraron valores promedio por encima del valor de riesgo referenciado por la NOAA (210 µg/L, Buchman, 2008), en la época seca.

Por otra parte, las mayores concentraciones promedio de Cd se registraron en la época seca, en las estaciones frente a Ceniagua ($43,2 \pm 50,6$ µg/L), que rebasan el valor reportado por guías internacionales para efectos agudos en aguas marinas (40 µg/L, Buchman, 2008); a partir de la época de lluvias de 2007 en todas las estaciones la concentración de este elemento ha estado por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (32 µg/L).

A nivel histórico se evidencia que las mayores concentraciones de Cr (>25 µg/L) se han registrado en la época seca en la zona de Barbacoas en la estación caño Lequerica (70 µg/L en 2008) y en la época de lluvias en las estaciones B. Canal del Dique y Caño Loro (130 y 132 µg/L respectivamente), presentan valores que están por encima de los valores de riesgo referenciados en normatividad internacional (50 µg/L, Conama, 1986), sin embargo, a partir de la época de lluvias de 2009 en todas las estaciones las concentraciones se han registrado por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (25 µg/L).



4.6-17. Estaciones de muestreo de la Ciénaga de la Virgen

4.6.6.1 Calidad de aguas

Temperatura

La temperatura de las aguas superficiales de la ciénaga de la Virgen presentó ligeras fluctuaciones entre épocas climáticas y sitios de muestreo (Figura 4.6-18) con valores que oscilaron entre 27,7 y 29,3 °C en la época lluviosa de 2011 y entre 29,1 y 29,5 °C en la época seca de 2012. Entre las estaciones se observó menor variación durante la época seca (0,4 °C) comparado con la época de lluvias (1,6 °C) y las aguas más cálidas se presentaron al norte de la Bocana y el emisario en época seca, debido a los procesos de evaporación que prevalecen, dada la poca profundidad que alcanzan algunas zonas de la ciénaga durante este periodo del año (Martínez y Senior, 2001).

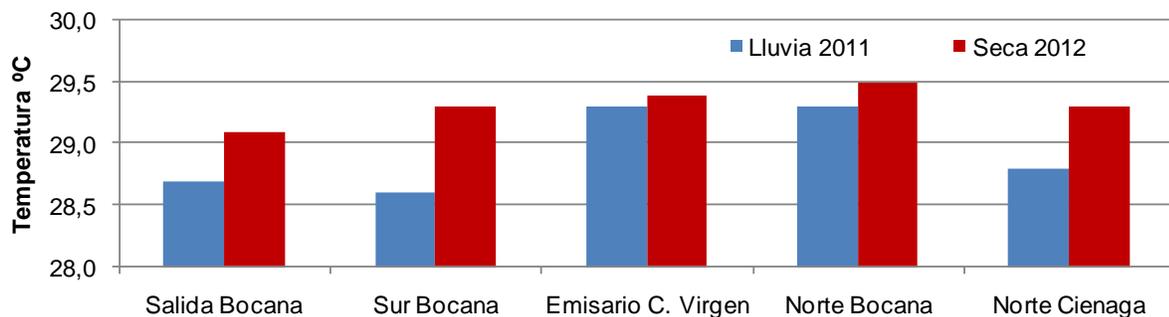


Figura 4.6-18. Temperatura (°C) medida en aguas superficiales de los cuerpos interiores en la ciénaga de la Virgen - Bolívar en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Salinidad

En la ciénaga la salinidad presentó variaciones entre estaciones y épocas de muestreo, con valores que oscilaron entre 8,0 y 32,1 en época de lluvias de 2011 y entre 29,7 y 31,8 en la época seca de 2012, mostrando las aguas más saladas durante la época seca; y altas fluctuaciones en la época lluviosa relacionadas con las precipitaciones y el aporte a través de caños y canales de comunicación. (Figura 4.6-19).

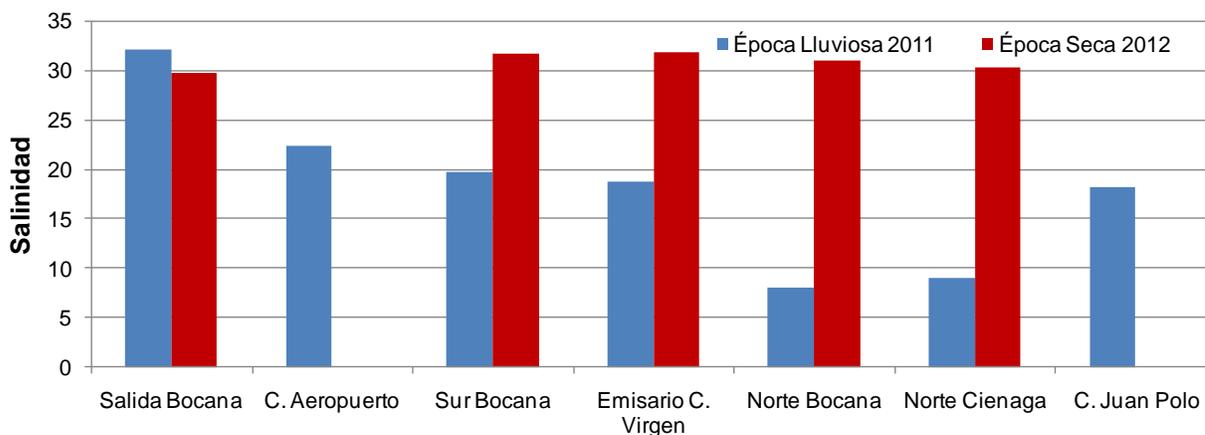


Figura 4.6-19. Salinidad medida en aguas superficiales de la Ciénaga de la Virgen en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

pH

El pH registró valores entre 7,7 y 8,5, los cuales se encuentran dentro del rango establecido por la legislación colombiana para la preservación de flora y fauna en sistemas estuarinos de 6,5 – 8,5.

Oxígeno Disuelto - OD

Las concentraciones de OD en la época de lluvias de 2011 oscilaron entre 1,8 y 7,5 mg/L, donde los valores más bajos se midieron al Norte Bocana (1,8 mg/L) y en la ciénaga de Juan Polo (3,7 mg/L) mostrando condiciones inadecuadas para la preservación de fauna y flora según la legislación colombiana (<4,0 mg/L; *MinSalud*, 1984). En para la época seca de 2012 la mayoría de las estaciones incumplieron la norma, excepto al Sur de la Bocana; estos niveles bajos de OD se deben muy posiblemente a la descarga aguas residuales, la descomposición de materia orgánica y resuspensión que se presenta en estos sitios, así como por la influencia de zonas de manglar (Figura 4.6-20)

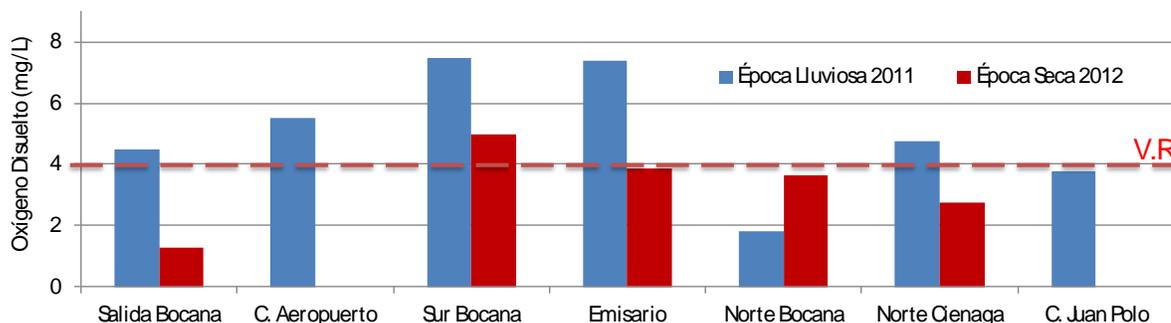


Figura 4.6-20. Oxígeno disuelto OD (mg/L) medido en el agua superficial de la Ciénaga Virgen en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (*MinSalud*, 1984).

Sólidos Suspendedos Totales - SST

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) fluctuaron entre 12,2 y 53,6 mg/L (Figura 4.6-21), con los valores más altos en la salida Bocana (53,6 mg/L), Sur Bocana (51,7 mg/L) y el Emisario (31,0 mg/L) en la época lluviosa 2011, mientras que en los cuerpos interiores fueron más bajos (Norte Bocana 14,5 y Ciénaga Juan Polo 22,4mg/L). Es de resaltar la notoria variación de SST que se presentó en la salida Bocana donde se evidencian los cambios de mareas y drenajes después de las lluvias favoreciendo los procesos de sedimentación de la ciénaga (Figura 4.6-21). Si bien no existe un valor de referencia para SST en los cuerpos de aguas como la ciénaga, su carga elevada da lugar a efectos adversos como modificaciones de los patrones de circulación o flujos de agua y en el ciclo de nutrientes, como liberación de estos desde el bentos y alteraciones de las comunidades bentónicas (Paerl, 2006).

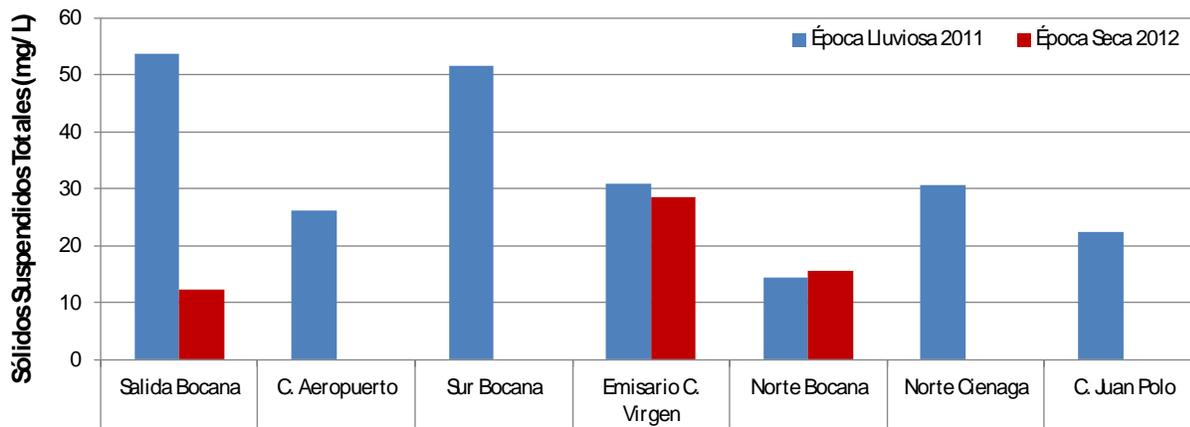


Figura 4.6-21. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) medido en aguas superficiales de los cuerpos interiores en la ciénaga de la Virgen – Bolívar en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Nutrientes

El nitrógeno inorgánico disuelto (NID) se midió en las formas de nitrato (NO_3), nitrito (NO_2) y amonio (NH_4), donde casi todo el nitrógeno detectado fue en la forma de amonio en la mayoría de estaciones que indican presencia de materia orgánica y residuos de origen fecal, reflejado en los resultados de las estaciones Canal Aeropuerto, Emisario, Norte Ciénaga y Ciénaga Juan Polo durante la época lluviosa 2011 debido a su posible cercanía e influencia directa a los vertimientos urbanos provenientes de los asentamientos urbanos de Cartagena (Figura 4.6-22).

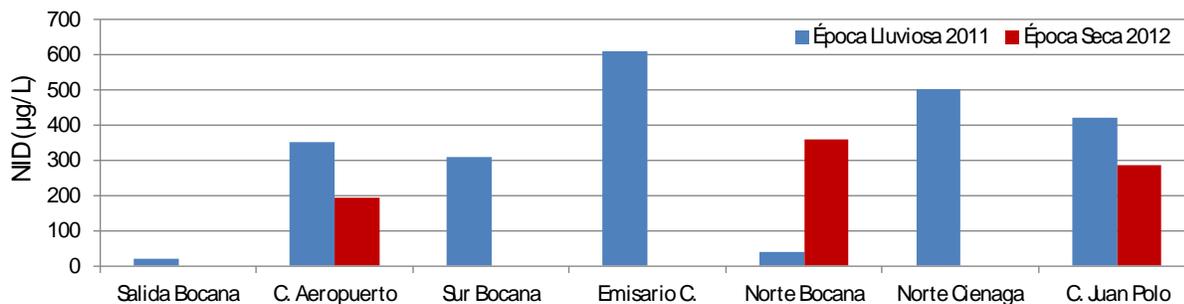


Figura 4.6-22. Nitrógeno Inorgánico Disuelto (µg/L) medido en aguas superficiales de los cuerpos interiores en la ciénaga de la Virgen – Bolívar en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

El comportamiento del fósforo reactivo soluble (FRS) fue similar al NID (Figura 4.6-23), y registró las concentraciones más altas en el Emisario (254 $\mu\text{g/L}$), al norte de la Ciénaga (173 $\mu\text{g/L}$), Sur Bocana (188 $\mu\text{g/L}$) y Ciénaga Juan Polo (113 $\mu\text{g/L}$). En general, pese al carácter parcial de los resultados se observaron marcadas fluctuaciones en los nutrientes (fósforo y nitrógeno) relacionadas con el aporte de las lluvias y la entrada de estos nutrientes a través de aguas residuales domesticas urbanas (Tombesi *et al.*, 2000). Vale decir que, aunque los ecosistemas costeros como las ciénagas funcionan como importantes sumideros y transformadores de nutrientes transportados desde el continente hacia el mar (Del Blanco *et al.*, 2009), el incremento de SST puede causar eventuales procesos de eutrofización, incremento de floraciones algales excesivo consumo de oxígeno y anoxia en la columna de agua.

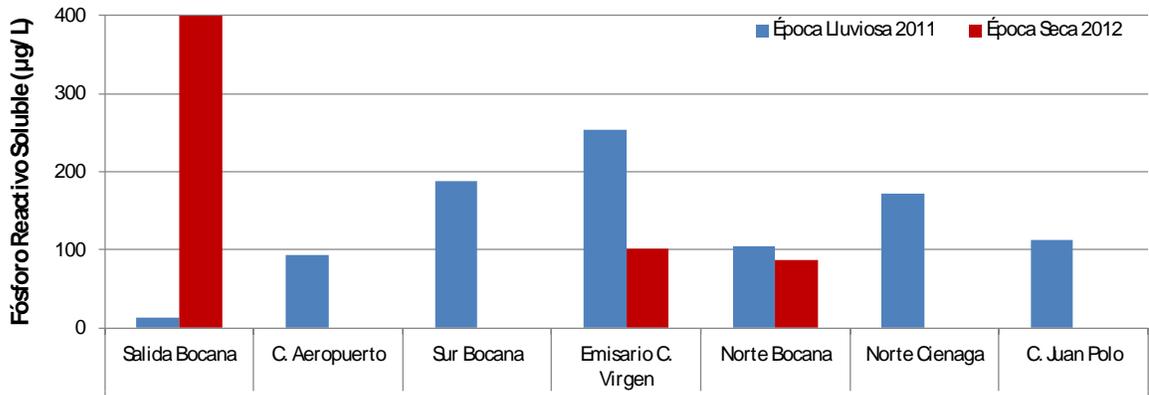


Figura 4.6-23. Concentraciones de Fosforo reactivo Soluble ($\mu\text{g/L}$) medido en aguas superficiales de los cuerpos interiores en la ciénaga de la Virgen – Bolívar en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

DBO₅ y Materia Orgánica

Los resultados de DBO₅ mostraron en la mayoría de estaciones valores superiores a 5 mg/L (Figura 4.6-24) evidenciando alto contenido de materia orgánica según Kiely (1999), excepto en la Salida Bocana y la Ciénaga Juan Polo.

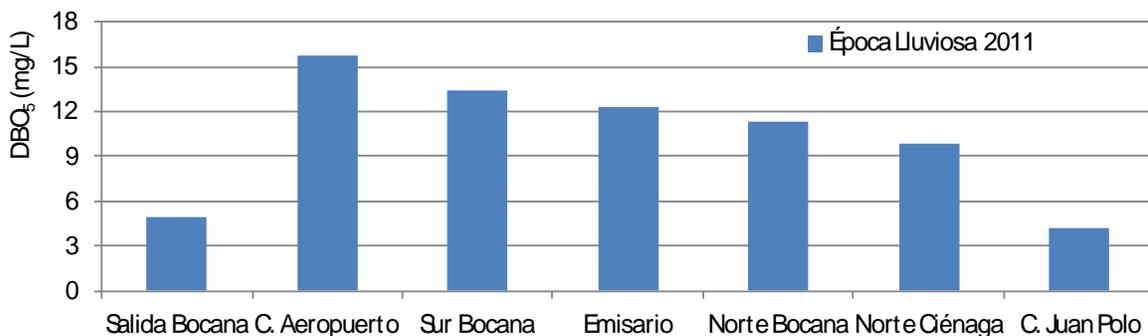


Figura 4.6-24. Valores de DBO₅ (mg/L) medidos en el agua superficial de la Ciénaga de la Virgen en época lluviosa de 2011. En la época seca de 2012 no se efectuaron mediciones de este parámetro.

En las estaciones donde se registraron mayores valores de DBO₅, se presentaron los contenidos más altos de materia orgánica, especialmente en la época lluviosa de 2011 (Figura 4.6-25) en el Emisario (22,6 mg/L), Norte de la Ciénaga (20,5 mg/L), Sur Bocana (17,3 mg/L), Norte Bocana (16,1 mg/L) y Canal Aeropuerto (15,4 mg/L); mientras que en la época seca de 2012 fue evidente la disminución del materia orgánica donde las concentraciones oscilaron entre 0,9 y 3,5 mg/L, valores aproximadamente 6 veces inferiores al máximo valor medido en el período de lluvias de 2011.

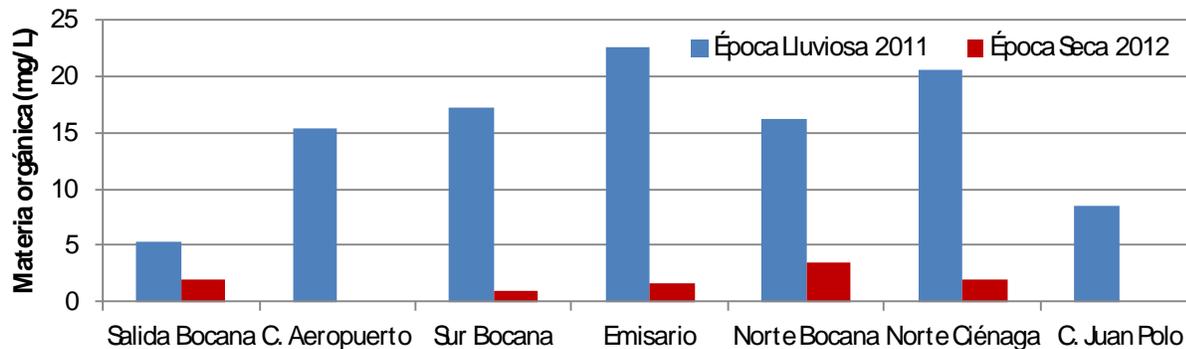


Figura 4.6-25. Valores de materia orgánica (mg/L) medida en el agua superficial de la Ciénaga de la Virgen en época lluviosa de 2011 y época seca de 2012.

Hidrocarburos

los Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD en la Ciénaga de la Virgen se midieron entre 0,74 y 17,91 $\mu\text{g/L}$, y en la época lluviosa 2011 se encontraron concentraciones superiores al valor de referencia de 10 $\mu\text{g/L}$ establecido por la Unesco (1984) para aguas contaminadas, especialmente al norte de la Bocana (10,79 $\mu\text{g/L}$), salida Bocana (15,92 $\mu\text{g/L}$) y Canal del Aeropuerto (17,91 $\mu\text{g/L}$; Figura 4.6-26), concentraciones que posiblemente se deben a la entrada de aguas residuales sin tratamiento y escorrentías provenientes de la ciudad de Cartagena que podrían traer residuos oleosos, sumado a lavaderos y talleres de vehículos en la zona (Garay, 1993). En la época seca de 2012 los HDD fueron mucho más bajos y el mayor valor fue de 2,48 $\mu\text{g/L}$ en la estación norte Bocana.

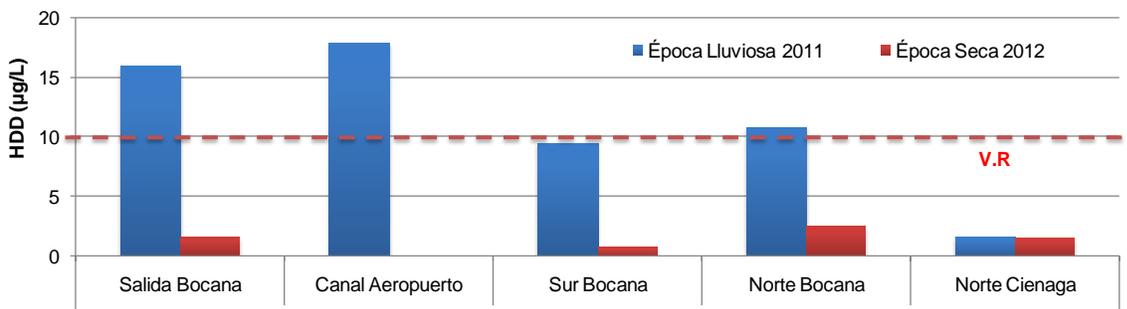


Figura 4.6-26. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g/L}$) medidas en aguas superficiales de la Ciénaga de La Virgen en la época lluviosa 2011 y época seca de 2012. La línea roja representa el Valor de Referencia (V.R.) para aguas contaminadas (10 $\mu\text{g/L}$) según la Unesco (1984).

Los registros históricos en la Ciénaga de la Virgen, mostraron que los promedios más altos se han registrado en épocas de lluvias donde varias estaciones superaron el valor de referencia para aguas contaminadas de 10 $\mu\text{g/L}$ según la Unesco (1984), especialmente en 2011 en la salida del canal Aeropuerto, Norte Bocana y Salida Bocana.

Aceites y Grasas

En el muestreo realizado en la época seca de 2012 a las aguas superficiales de la Ciénaga de La Virgen se obtuvieron niveles de aceites y grasas menores al límite de detección (<0,2) y 0,33 mg/L, encontrándose la mayor concentración en la estación salida Bocana (0,5 mg/L), mientras que en el Emisario, Norte Ciénaga, Norte y Sur Bocana el valor encontrado no superó los 0,2 mg/L (Figura 4.6-27). este resultado se considera normal para este tipo de residuos, debido a su flotabilidad que hace que se distribuyen en la parte superior de la columna de agua. Como en la legislación colombiana no hay un valor permisible para

grasas y aceites en aguas marinas y costeras, se adoptó informalmente el valor de 25 mg/L de la normativa mexicana para aguas costeras con fines de explotación pesquera, navegación y otros usos (NOM-001-ECOL, 1996) como referencia. Y los valores obtenidos indican baja contaminación de la ciénaga debido posiblemente al recambio de agua.

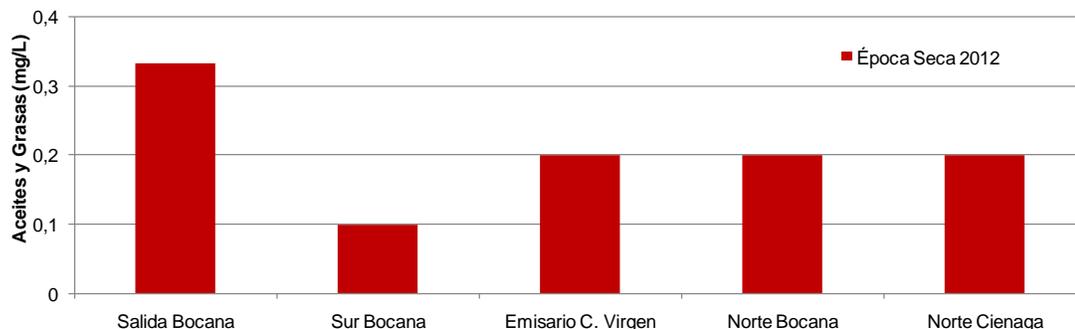


Figura 4.6-27. Concentraciones de aceites y grasas (mg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de la Ciénaga de La Virgen en el departamento de Bolívar en la época seca de 2012.

Plaguicidas

El monitoreo realizado en la ciénaga de la Virgen incluye la determinación de residuos de plaguicidas organoclorados y los de uso actual. En el 2011 y 2012 que se retoma nuevamente el muestreo de plaguicidas en este sector de Bolívar, las concentraciones de analizadas estuvieron por debajo del límite de detección de la técnicas, excepto para el clorpirifos, el cual fue detectado en ambas épocas de 2011 al norte de la pantalla. En la época lluviosa del 2011 la concentración registrada fue 18 veces más alta que el valor de referencia establecido por la NOAA (11 ng/L, Buchman, 2008), considerado como capaz de generar efectos agudos en los organismos (Tabla 4.6-2).

Si bien el clorpirifos ha sido recurrente en la zona costera del departamento de Bolívar, como lo indicaron (Betancourt-Portela *et al.*, 2009), establecer su procedencia no es fácil ya que es un compuesto de amplio uso en la agricultura y además como insecticida doméstico en los hogares. Probablemente este puede ser el origen ya que la ciénaga está rodeada en sus extremos Sur y Oriente por barrios subnormales que vierten las aguas residuales directamente a la ciénaga, razón por la cual es necesario mantener la vigilancia sobre el sistema.

Tabla 4.6-2. Concentraciones de plaguicidas encontradas en aguas superficiales de la Ciénaga de la Virgen 2011-2012.

Época	Estación	Clorpirifos (ng/L)
Época seca de 2011	Norte de la pantalla de Bocana	24,0
Época lluviosa de 2011	Norte de la pantalla de Bocana	202.8
Época seca y lluviosa de 2012		<LD
Valores de referencia para efectos agudos en aguas marinas		11

Metales

Los metales cadmio (Cd), cromo (Cr) y plomo (Pb) que se vienen analizando desde el 2011 en aguas de la ciénaga de la Virgen han mostrado que los valores no superaron el límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,25 y 0,50 µg/L, respectivamente); excepto en la época de lluvias de 2012 cuando en las estaciones Norte ciénaga y salida la Bocana se registraron valores de 1,15 y 0,90 µg/L de Cd

respectivamente, no obstante estos valores están muy por debajo de los referenciados en guías internacionales como de riesgo (40 µg/L, Buchman, 2008).

Por otra parte el Pb medido en aguas superficiales de la ciénaga entre la época seca y la época de lluvias de 2012, mostró concentraciones por debajo del límite de detección (0,15 µg/L), sin embargo en la época seca en las estaciones sur de la Bocana y norte de la Ciénaga se registraron concentraciones de 4,27 y 4,42 µg/L respectivamente, pero estos valores están muy por debajo de la referencia de riesgo (210 µg/L, Buchman, 2008). Por otra parte, se evidenció una tendencia temporal que aumenta en la época seca (Figura 4.6-28), lo cual puede deberse a la dilución de estos contaminantes en la época de lluvias, ya que la entrada de estos elementos en la ciénaga de la Virgen se atribuyen al vertimiento de aguas residuales, ya que recibe cerca del 60% de las aguas servidas de la ciudad de Cartagena (Maldonado et al., 2011).

Durante la época seca y lluviosa de 2012 se han analizado otros elementos de interés ambiental como son el cobre (Cu), zinc (Zn) y níquel (Ni) y con ellos se evidenció una tendencia espacial y temporal en las concentraciones de Cu y Ni (Figura 4.6-28), con los mayores valores en la época seca (3,47 y 17,4 µg/L, respectivamente) en la estación norte de la Ciénaga, no obstante, estos valores están por debajo de la referencia internacional para riesgo de contaminación (4,8 y 74 µg/L respectivamente, Buchman, 2008).

El Zn al contrario de los demás elementos registró una tendencia al aumento en la época de lluvias con las concentraciones más altas en el sur Bocana (39,0 µg/L lluvias), lo que indicaría una posible fuente de este elemento diferente a la de los demás elementos. Sin embargo, estos valores están por debajo de los referenciados en guías internacionales como de riesgo (90 µg/L; Buchman, 2008).

4.6.6.2 Calidad de Sedimentos

Los análisis en la matriz de sedimentos es una de las más utilizadas en los estudios de evaluación ambiental, debido a que los metales, radionúclidos y sustancias orgánicas se asocian y acumulan particularmente en sedimentos finos ricos en materia orgánica y sus concentraciones son altas, fácilmente medibles y menos susceptibles a la contaminación accidental, incluso ofrecen cierto grado de integración en el tiempo. Los análisis de contaminantes en sedimentos en la Ciénaga de la Virgen se realizaron en 4 estaciones y dos muestreo, uno en mayo (época seca) y el otro en agosto de 2012 (inicio época de lluvias).

En la Tabla 4.6-3, se presenta los resultados y debido a que en Colombia no existe normativa para calidad de sedimentos se realizó una comparación con valores de referencia de entidades internacionales o con valores reportados en diferentes estudios nacionales e internaciones en países tropicales. Los resultados de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) se compararon con la norma del “*Program National Status and Trends (NS&T)*” de la NOAA (1990) que establece el valor 3,9 µg/g como “concentración alta” en sedimentos. Para evaluar la contaminación por metales se utilizaron los valores de referencia para efectos probables (PEL) propuestos en las tablas SQuiRTs de la NOAA (Buchman, 2008) y con los resultados de estudios realizados en otras regiones costeras tropicales o del mundo.

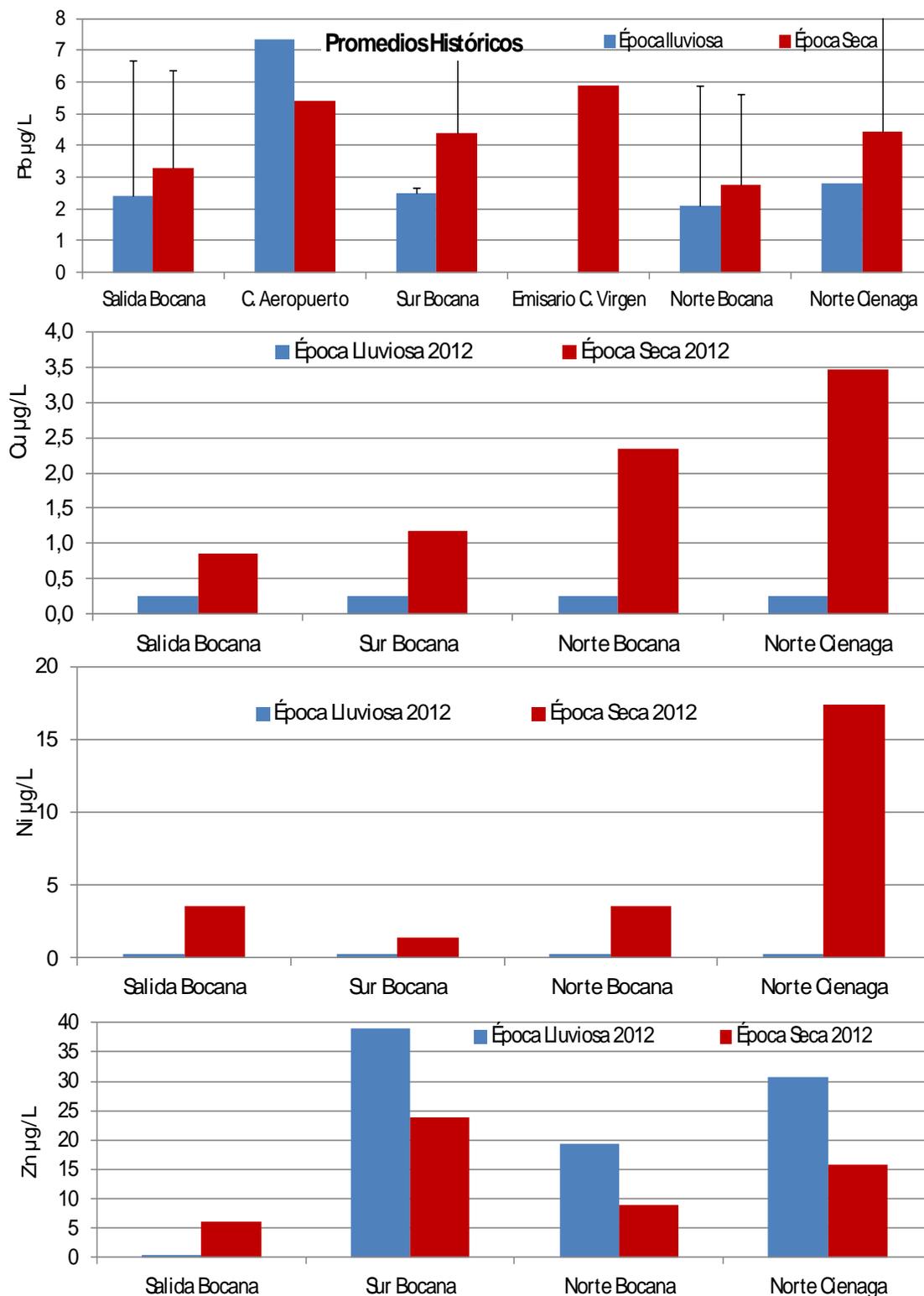


Figura 4.6-28. Concentraciones de Plomo, Cobre, Níquel y Zinc (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de la Ciénaga de la Virgen en la época seca y la época lluviosa 2011 y 2012. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

tóxicos, permanecen por largos periodos de tiempo en el ambiente y pueden inducir efectos carcinogénicos en los organismos (Walker y Livingstone, 1992).

Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos (HAT) registradas en la Ciénaga de la Virgen presentan un rango entre 0,19 – 4,24 µg/g, presentándose el valor más alto en la estación salida Bocana en la época de lluvias el cual supera en un 10% el valor de referencia dado por la NOAA (3,9 µg/g; Tabla 4.6-3). Esto se debe principalmente a la cercanía de la ciudad de Cartagena a la Ciénaga que vierte aguas residuales sin tratamiento a este cuerpo de agua. Con la información disponible hasta el momento las concentraciones halladas pueden considerarse bajas en comparación con los registros de otras áreas costeras (Tabla 4.6-5).

Tabla 4.6-5 Niveles de hidrocarburos en sedimentos en distintos sitios del mundo.

Localidad	HAT (µg/g)	Nivel de contaminación*	Referencia
B. Cartagena (2010)	2,36 - 350,45	Bajo a alto	Sánchez-Ramírez et al., (2011)
Ensenada de Tumaco	0,044 – 3,696	Bajo a moderado	Casanova et al. (2001)
Bahía Colombia (Golfo de Urabá)	0,58-10,51	Bajo a moderado	Bolaño et al., (2009)
Mar de Creta (Mediterráneo)	0,015 – 0,159	Bajo	Gogou et al. (2000)
Costa oeste de la India	1,38 – 434,3	Bajo a alto	Chouksey et al. (2004)
Oman (Arabia)	0,055-1,30	Bajo a moderado	Tolosa et al. (2005)
Ciénaga de la Virgen (Bolívar)	0,86 ±0,63	Bajo	Este estudio

*Nivel de contaminación establecido por cada autor.

Plaguicidas

De acuerdo a Garay y Castro (1993) en los alrededores de la Ciénaga de la Virgen se desarrollaba una actividad agrícola representada especialmente en el cultivo del arroz y en la zona Este existía un área de 1000 ha cultivadas con el 60% de arroz, el cual demandaba gran cantidad de agroquímicos. Los estudios realizados en los años 90 sobre plaguicidas organoclorados mostraban que las concentraciones de estos compuestos presentaban pequeñas variaciones en la época seca e intermedia, mientras que en época húmeda se presentaban los mayores valores, especialmente el DDT y DDD con un rango de 0,11 - 24,49 ng/g y el metoxicloro con un valor promedio de 1,291 ng/g (Castro, 1998). En el muestreo de 2012 sólo se detectaron metabolitos del DDT en una estación en concentración de 2,4 ng/g, lo cual indica que aún en los terrenos aledaños y en el sedimento se conservan residuos de estos compuestos debido a su baja degradabilidad (Tabla 4.6-3).

De los compuestos organofosforados medidos únicamente se detectó durante la época seca, diazinon un insecticida de amplio uso (incluso doméstico) que se degrada rápidamente en el ambiente, por lo que su presencia indica que es de uso reciente en el área. Datos de toxicidad obtenidos por Smith et al., (2007) para sedimentos estuvieron en el orden de 23 ng/g, lo cual indican que las concentraciones registradas no representan riesgo para los organismos acuáticos, pero si ameritan seguimiento.

Metales Pesados

En la Tabla 4.6-6 se compararon las concentraciones de metales medidas en la Ciénaga con las reportadas en otras regiones del mundo. Las concentraciones de metales pesados, estuvieron dentro del rango de valores registrados en otras zonas costeras del mundo. Los metales registraron valores por debajo de la referencia de guías internacionales y solo en la estación Norte Ciénaga de la Virgen en la época de lluvias el Cd (4,5 µg/g) superó el valor de referencia propuesto por la NOAA de 4,2 µg/g (Buchman, 2008), no obstante este valor se podría considerar puntual y podría estar asociado a cambios en la textura del

sedimento y al tipo de sedimento que se deposita durante esta época, Se recomienda continuar el monitoreo para evidenciar si hay un enriquecimiento de este elemento en los sedimentos de la zona.

Tabla 4.6-6. Rangos de concentraciones de metales traza de diversas zonas costeras, comparados con los valores niveles PEL de la NOAA.

ZONA	Cu µg/g	Cr µg/g	Zn µg/g	Cd µg/g
Golfo de México	27	54	81	--
Océano Pacífico antártico (Ravanelli et al., 1997)	7,3	2,35	161	---
Parque Nacional Morrocoy- Venezuela (García et al., 2008)	2,0 - 4,6	7,58 – 12,48	0,85 - 30,5	0,28 - 1,95
Ciénaga de la Virgen (Bolívar), Este estudio	0,9 - 46,6	15,2 - 93,8	67,2 - 146,2	<0,17 – 4,5
Valor de referencia EPA (Buchman, 2008)	108	160,0	271	4,2

4.6.7 Conclusiones

La calidad del agua en la zona costera de Bolívar mostró fluctuaciones importantes entre estaciones y épocas de muestreo, especialmente durante la época seca 2012. La salinidad y temperatura variaron en función de la pluma de dispersión del canal del Dique, al régimen de vientos y mareas y a la dinámica costera que presenta esta región. Sin embargo, las altas temperaturas que se midieron en las áreas coralinas de Islas del Rosario, son preocupantes al estar muy cerca de 30 °C, temperatura que condiciona una posible degradación de estos ecosistemas y los deja vulnerables al blanqueamiento. En la ciénaga de La virgen la calidad del agua se vio influenciada por los diferentes aportes de agua a través de caños y canales, los vertimientos de aguas residuales y las escorrentías temporales, que se reflejan en procesos de mezcla, evaporación, precipitación que cambian directamente la salinidad y temperatura.

Para la época lluviosa de 2011 y seca de 2012 el 70 % de las estaciones registraron buenas condiciones de pH y el 84 % de oxígeno disuelto, no obstante la calidad de las aguas en algunos sitios puntuales se ven afectados por las descargas del Canal del Dique que es la fuente principal de sólidos y nutrientes de esta zona y que llegan hasta la Bahía de Barbacoas. En la ciénaga de la Virgen el oxígeno disuelto incumplió la norma en el 80% de los puntos de muestreo durante la época seca de 2012.

El contenido de nitrógeno y fósforo inorgánico disueltos evidenció la entrada de materia orgánica disuelta a la ciénaga, especialmente en época de lluvia y por la entrada de los vertimientos urbanos que exponen al sistema a eventuales procesos de eutrofización. La presencia de amonio en la mayoría de estaciones, indicó continuas entradas de materia orgánica como resultado de actividades antropogénicas. Históricamente en las Islas del Rosario se han medido valores de NID superiores a la referencia reportada para florecimiento permanente de macroalgas frondosas en arrecifes del Caribe, lo cual representa un riesgo potencial para la conservación de los corales.

A nivel microbiológico, la desembocadura Canal del Dique continúa presentando las mayores concentraciones de coliformes totales y coliformes termotolerantes, debido al aporte directo del río Magdalena que arrastra consigo altos contenidos de materia orgánica, entre otros contaminantes. Sin embargo, las playas por lo general son aptas para el desarrollo de actividades recreativas.

En cuanto a los contaminantes orgánicos, el 67 % de los HDD sobrepasaron el valor de referencia de 10 µg/L en las estaciones de la bahía de Cartagena durante la época lluviosa de 2011. Por el contrario, la presencia de plaguicidas organoclorados es cada vez menor en el departamento; sin embargo, entre los

plaguicidas que aún se detectan se encuentra el Endosulfan, posiblemente porque sólo fue prohibido hasta el 2003. De los plaguicidas de uso actual, el más recurrente ha sido el Clorpirifos, probablemente por su amplio uso, lo cual requiere mantener vigiladas sus concentraciones ya que podrían llegar a afectar el medio marino.

La concentración de metales pesados en aguas superficiales, muestra una tendencia a disminuir a partir de la época de lluvias de 2008, lo cual es de interés, ya que se han registrado datos que sobrepasan valores de riesgo en años anteriores, por lo cual se plantea la necesidad de realizar monitoreo en sedimentos, especialmente en el sector de la bahía de Cartagena, con el fin de evaluar si estos elementos se han acumulado en esta zona.

La calidad de los sedimentos en la Ciénaga de la Virgen se ve influenciada por los vertimientos de aguas residuales de la ciudad de Cartagena, y los datos demuestran que aún existe un escurrimiento de la zona agrícola de los plaguicidas, especialmente Diazinon y algunos residuos de isómeros del DDT que permanecen en el ambiente, sin embargo, las concentraciones no representan riesgo para los organismos. Con relación a los hidrocarburos y metales pesados en general los valores no sobrepasaron las referencias internacionales para generar de riesgo en la calidad de los sedimentos marinos.

Sucre



Isla Palma, Zona Norte Golfo de Morrosquillo. Foto: Silvia Narváez

4.7 SUCRE

El departamento de Sucre se encuentra al norte de Colombia en la región de la llanura del Caribe, ubicado en latitud norte 07° 00' y 10° 20' y 73° 45' y 78° 37' de latitud oeste (IGAC, 2008) la extensión total es de 10.350,66 km², de las cuales 10.280,55 km² corresponden al área urbana y 70,11 km² al área rural, limita con los departamentos de Córdoba (oeste y sur) y Bolívar (norte, este y sur) y con el Mar Caribe (oeste). Actualmente, en la zona costera la REDCAM cuenta con 30 estaciones de muestreo distribuidas en 4 zonas: Zona Norte que se extiende desde Matatigre (influenciada por aguas continentales) hasta una línea imaginaria con el islote Santa Cruz; la zona de Golfo Afuera que incluye el Golfo de Morrosquillo hasta la estación del Golfo 7 con influencia de aguas marinas; la zona de Tolú que va desde el Golfo frente a Berrugas hasta el Golfo frente a Pechelin y Coveñas desde el Hotel Montecarlo hasta el Arroyo donde se presentan aguas estuarinas y fluviales como los caños y arroyos intermitentes que drenan a la zona costera (Figura 4.7-1). Los muestreos se realizaron entre los días 19 y 21 de septiembre del 2011 (época lluviosa) y entre el 28 y 29 de mayo del 2012 (época seca).

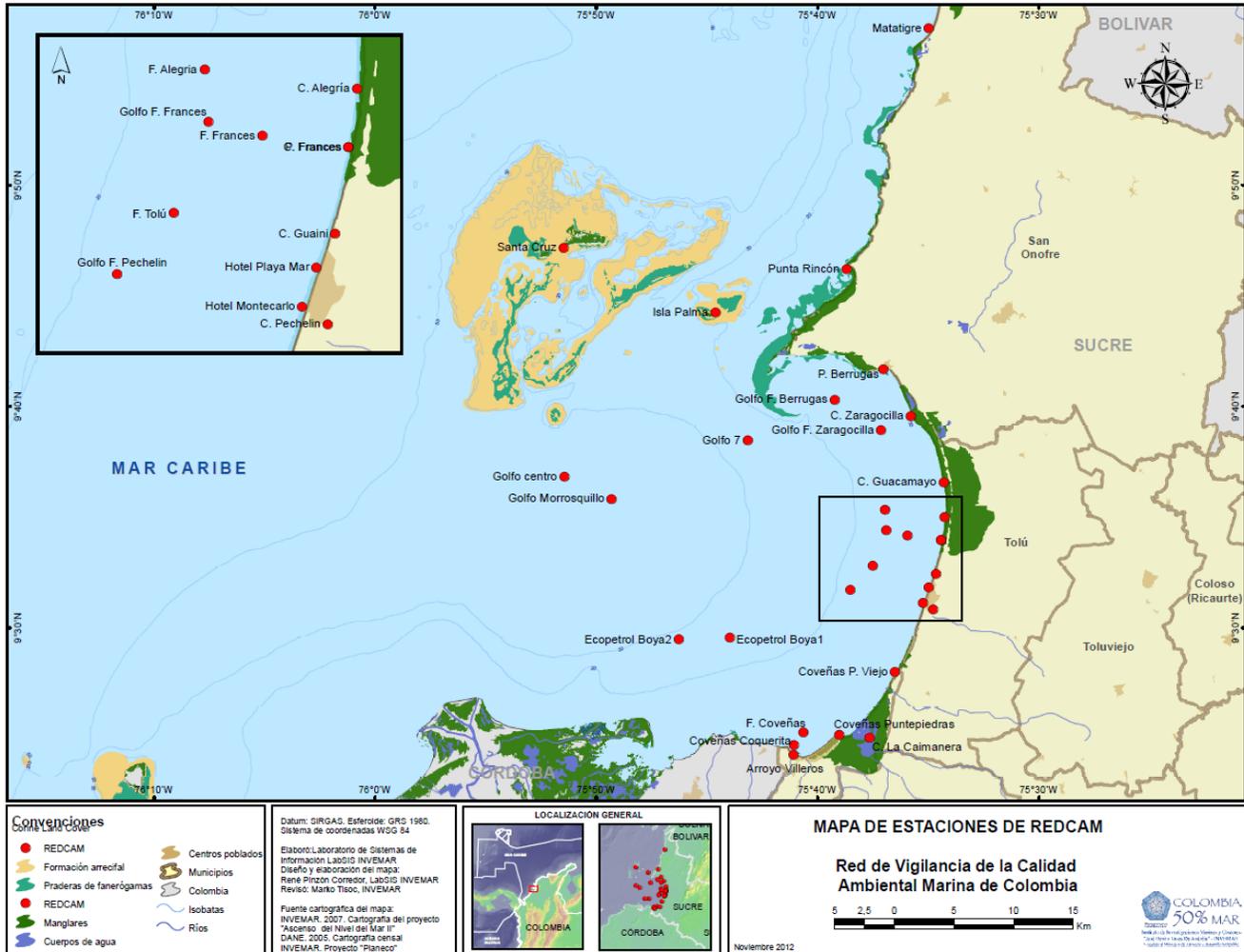


Figura 4.7-1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Sucre.

En el departamento del Sucre el período lluvioso generalmente se presenta entre los meses de mayo y noviembre, presentando la mayor precipitación en el mes de octubre. Las precipitaciones más altas se dan en el sur, sin embargo, al norte del departamento las precipitaciones anuales van desde 1000-1500 mm/a; IDEAM, 2005), con un área de 1.886 Km² (18.2% del total departamental). La mayor fuente de ingreso del departamento es la ganadería vacuna, seguido de la agricultura y la pesca; dentro de las principales fuentes de contaminación marina y costera que se han identificado la actividad portuaria, el transporte en lanchas, la agricultura y la industria camaronera.

La primera zona de muestreo es la zona Norte, conformada por aguas marinas que incluyen Isla Palma y el Islote Santa Cruz (islote artificial), que se encuentran rodeadas de áreas coralinas, ciénagas y manglares, estas se han convertido en zonas turísticas y muestran una diversidad de especies, mientras que la zona Golfo Afuera tiene características hidrológicas propias de agua superficial ecuatorial tropical, donde se desarrollan zonas de mangle (INVEMAR, 2002).

En la zona de Tolú predominan extensas playas protegidas por una serie de espolones principalmente de caños y playas, algunas se encuentran limitando pantanos de manglar y llanuras costeras y otras están comunicadas con las bocas de algunos arroyos y ciénagas; además conforman los cordones litorales que individualizan lagunas interiores (INVEMAR, 2002).

En la zona de Coveñas existen algunos arroyos que desembocan directamente al mar y otros conforman una red de ciénagas o lagunas costeras antes de llegar al mar y ocupan una zona de manglares aldeaños, esta serie de caños albergan diversidad de especies que sustentan la pesquería artesanal e industrial de la región, además de presentar un desarrollo turístico importante para la zona (INVEMAR, 2002).

4.7.1 Variables Físicoquímicas

4.7.1.1 *In situ*

Temperatura

La temperatura superficial del agua costera osciló entre 28.1 y 33,0 °C durante el muestreo de la época lluviosa de 2011 y entre 28,3 y 34,2 °C en la época seca de 2012. Aunque no se observó tendencia temporal y espacial definida, la mayor variación se presentó durante la época seca, entre las estaciones de las zonas de Tolu y Coveñas, Estas variaciones se deben a la influencia de la velocidad y dirección de los vientos durante la época, factores determinantes en la circulación de las aguas dentro del Golfo de Morrosquillo (Quiceno, 2008; Figura 4.7-2). Se observó además que en la estación Ciénaga Caimanera el patrón fue inverso con su valor más alto en la época lluviosa, porque allí la circulación de las aguas es diferente y está sometida al régimen de mareas diarias. También las estaciones de la Zona Norte y Golfo Afuera mostraron valores de temperatura con pequeños intervalos de variación entre épocas de muestreo. En general, valores más bajos fueron reportados en algunos caños y arroyos que desembocan directamente al mar como Zaragocilla, Guacamayo, Alegría y Francés, mientras que las aguas más cálidas y variables se observaron en dirección de la costa en las zonas de Tolú y Coveñas, condición que es normal para las aguas costeras del departamento porque presentan características hidrológicas propias del agua superficial ecuatorial tropical, dependientes del régimen de vientos y el incremento del agua dulce que es aportada por los ríos y las precipitaciones propias de la región (INVEMAR, 2002)

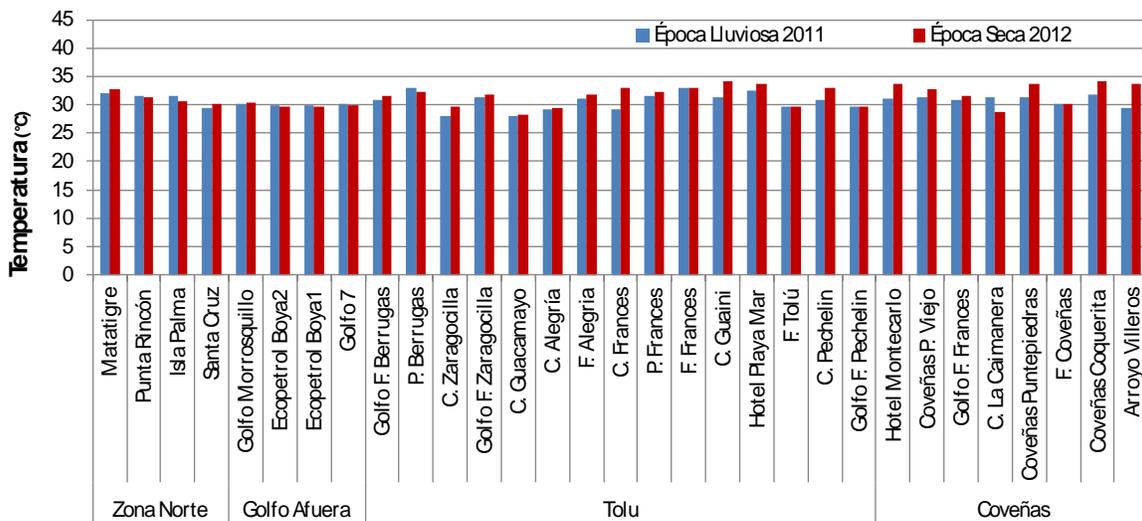


Figura 4.7-2. Temperatura (°C) medida en aguas superficiales de Sucre en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Por otra parte, es necesario recordar que pequeñas variaciones de temperatura pueden ser perjudiciales sobre todo en áreas de corales debido a la sensibilidad que presentan, exponiéndolos a degradación por el efecto de blanqueamiento cuando las temperaturas superan los 30°C (Vega-Sequeda *et al.*, 2011; Hoegh-Guldberg, 1999). No obstante, las estaciones coralinas de Isrote Santa Cruz e Isla Palma no son ajenas a esta problemática, puesto que se observó al igual que en años anteriores valores de temperatura superiores al valor de referencia de 30°C en ambas épocas, las cuales inciden en estrés sobre la proliferación de estos ecosistemas.

Salinidad

La salinidad presentó cambios importantes de acuerdo al régimen hidrológico de esta región que depende de la estacionalidad de los vientos y la fisiografía de la costa, los cuales influyen en la dirección y propagación del oleaje y de las corrientes litorales (Quiceno, 2008). Durante el periodo evaluado, la salinidad presentó variaciones entre estaciones y épocas de muestreo, con valores entre 1,0 y 33,7 para la época lluviosa y entre 1,1 y 33,2 en la época seca. En la mayoría de los caños la salinidad fue menor a 1,0 excepto en los caños Francés (lluvia: 0,3; seca: 9,7) y Pechelín (lluvia: 8,0; seca: 0,8), que mostraron valores más altos y notables fluctuaciones entre épocas de muestreo (Figura 4.7-3).

En general, la salinidad en esta región presenta una marcada influencia del régimen hidrológico, con el aumento de valores durante la época seca por efecto de la intensa evaporación, y la disminución en época lluviosa por efecto de las precipitaciones del aporte de ríos y caños que allí desembocan. La presencia de numerosas bocas de ciénagas y caños también se considera que contribuir significativamente en la distribución de la salinidad, logrando en algunos casos bajar los valores en aguas vecinas particularmente en épocas de lluvias.

pH

Las zonas donde la influencia de aguas fluviales es escasa o nula (Zona Norte y Golfo Afuera) el pH presentó un comportamiento típico de aguas marinas con valores por encima de 8,0 (Figura 4.7-4). En la época lluviosa de 2011 el pH de las aguas marinas fluctuó entre 7,31 y 8,36; y en aguas estuarinas entre 7,12 y 8,25 mostrando condiciones básicas del agua, con una estrecha variación por efecto de la capacidad buffer del sistema de carbonatos (Libes., 1992).

permisible (4,0 mg/L; Figura 4.7-6). Este análisis muestra que las zonas de Tolú y Coveñas son las más afectadas por causa de fuentes puntuales de contaminación como vertimientos de aguas residuales, actividad portuaria y transporte marítimo, la agricultura y la industria camaronera desarrollada en la región. Además, el Río Sinú contribuye con grandes aportes de contaminantes al golfo de Morrosquillo. (Vivas-Aguas *et al.*, 2010).

4.7.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendedos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las aguas superficiales costeras del departamento de Sucre se encontraron en el rango de 6,63mg/L (Islote) -187,30mg/L (Caño Zaragocilla) durante la época lluviosa de 2011 y en la época seca de 2012 entre 3,57 mg/L (Ciénaga la Caimanera) -51,40 mg/L (Hotel Montecarlo), sin presentar diferencias significativas entre épocas climáticas (p> 0,05) (Figura 4.7-7).

A nivel histórico en el departamento los mayores promedios en cuanto a las concentraciones de SST se presentan en los caños como son: Caño Zaragocilla (163,14 ± 98,66 mg/L) Caño Pechelin (282,80 ± 457,82 mg/L), durante la época lluviosa y durante la época seca Caño Frances (194,14 ± 147,82 mg/L) y caño Guainí (84,72 ± 67,61 mg/L), que afectan directamente la turbidez de los balnearios ubicados en cercanía a Tolú, ya que, son conductores de las descargas de aguas domesticas como producto de la baja cobertura del sistema de alcantarillado en este municipio (Troncoso *et al.*, 2009)

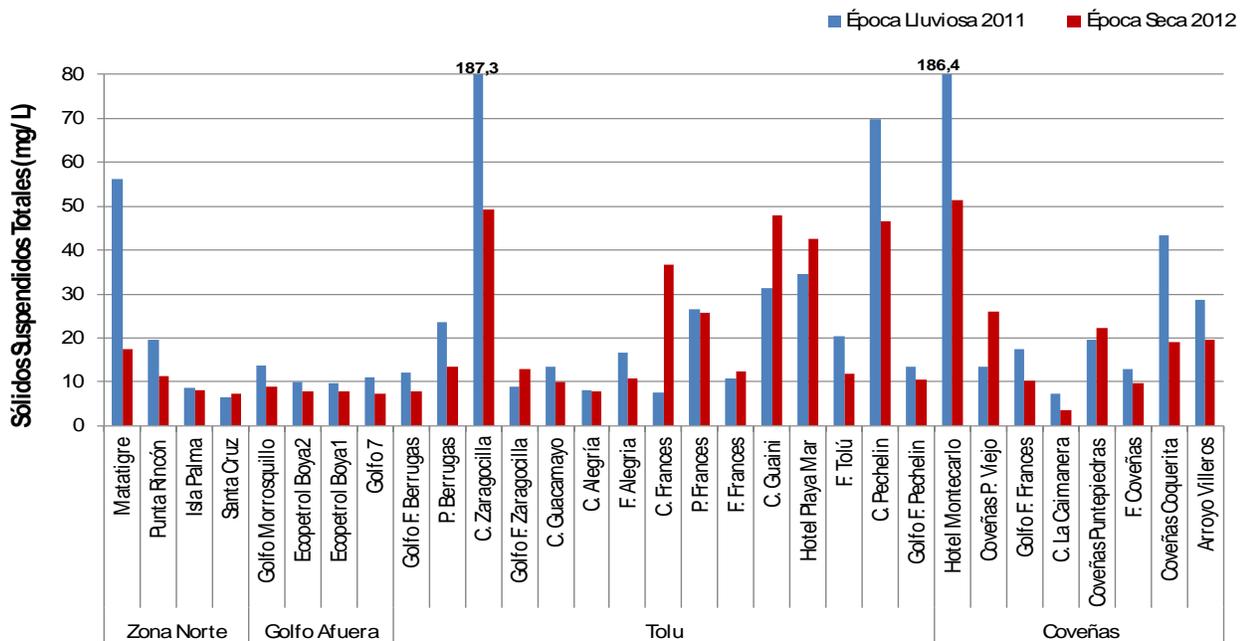


Figura 4.7-7. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) medido en estaciones de aguas superficiales de Sucre en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Nitrógeno Inorgánico Disuelto

En cuanto a los nutrientes, se realizó el análisis de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) que corresponde a la sumatoria de las formas nitrogenadas: nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻) y amonio (NH₄⁺). En general las mayores concentraciones de NID se registraron durante la época lluviosa de 2011 específicamente en las estaciones ubicadas en la zona de Tolú (Frente Tolú: 94,31µg/L; Golfo Frente Pechelín: 90,58 µg/L) como producto del

arrastre de escorrentía desde la zona urbana, no se presentan diferencias significativas entre las concentraciones reportadas de NID para las dos épocas climáticas ($p > 0,05$; Figura 4.7-8).

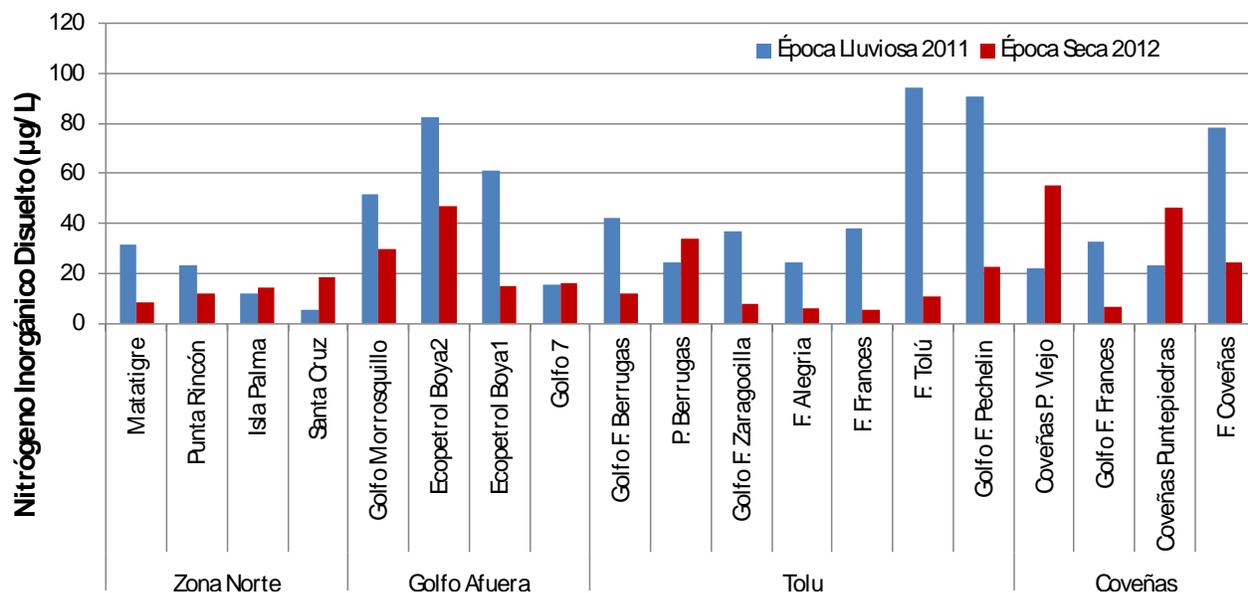


Figura 4.7-8. Concentraciones de Nitrógeno inorgánico disuelto ($\mu\text{g/L}$) medido en aguas superficiales de Sucre en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Históricamente, las mayores concentraciones promedio de NID se han reportado durante la época de lluvia en la estación Coveñas Coquerita con un promedio de $130,72 \pm 72,50 \mu\text{g/L}$, estación influenciada por el Arroyo Villeros que trae el arrastre de las poblaciones que lo rodean. La entrada de nutrientes a fuentes hídricas es consecuencia de actividades antropogénicas, industriales, urbanas y agrícolas que se han incrementado durante los últimos años afectando los procesos biogeoquímicos naturales (Aydin-Onen et al., 2011).

Fósforo Reactivo Soluble

Durante los muestreos de las épocas lluviosa del 2011 y seca del 2012, los registros más altos de fósforo reactivo soluble (FRS) se presentaron en la época seca en la estación Caño Guainí con $1210,74 \mu\text{g/L}$, seguido de Caño Frances con $625,54 \mu\text{g/L}$ (Figura 4.7-9). En las estaciones marinas, principalmente ubicadas en la Zona Norte y Golfo Afuera las concentraciones de FRS estuvieron entre $0,75$ y $5,68 \mu\text{g/L}$, siendo de las más bajas con respecto a los registros de los caños.

A nivel histórico en el departamento los mayores promedios en cuanto a las concentraciones de FRS se presentan en los caños como son: Caño Guacamayo ($185,40 \pm 245,67 \mu\text{g/L}$) Caño Alegria ($155,15 \pm 161,57 \mu\text{g/L}$), Caño Guainí ($925,86 \pm 587,67 \mu\text{g/L}$) durante la época lluviosa y durante la época seca Caño Francés ($262,67 \pm 243,60 \mu\text{g/L}$), estos promedios pueden ser el resultado de la influencia de actividades antropogénicas que no tienen una buena disposición y que son conducidas por el sistema de caños que circunda al municipio de Tolu.

Zonas	Playa	Época Lluviosa 2011			Época Seca 2012		
		(NMP/100mL)	% casos*	n	(NMP/100mL)	% casos*	n
Golfo sur	Francés	700	33	9	9.200	45	11
	Tolú Hotel Playa Mar	5.400	89	9	490	55	11
	Tolú Hotel Montecarlo	2.400	89	9	790	64	11
	Coveñas Puerto Viejo	1.100	56	9	330	36	11
	Coveñas Puntepedras	350	44	9	350	55	11
	Coveñas Coquerita	7.900	100	9	2.100	91	11

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible del decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE < 200 NMP/100mL)

4.7.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD en el período se encontraron generalmente en un rango entre < 0,07 – 5,60 µg/L. Durante la época lluviosa 2011 se midieron las mayores concentraciones de HDD en las estaciones Golfo frente a Pechelin (5,60 µg/L), Golfo Frente a Berrugas (4,76 µg/L) y playa Berrugas (4,26 µg/L), en el sector de Tolú y en el sector Golfo afuera en las estaciones Golfo 7 (5,2 µg/L) y Ecopetrol Boya 1 (4,74 µg/L), mientras que en la época seca del 2012, el valor más altos se registro en el sector de Coveñas en la estación Ciénaga La Caimanera (0,59 µg/L; Figura 4.7-10). Estas concentraciones posiblemente se deben a la actividad portuaria de transporte de petróleo, transporte marítimo, turismo y aguas servidas de los municipios de Tolú y Coveñas. Cabe destacar que estas concentraciones no superan el valor de referencia de 10 µg/L (UNESCO, 1984).

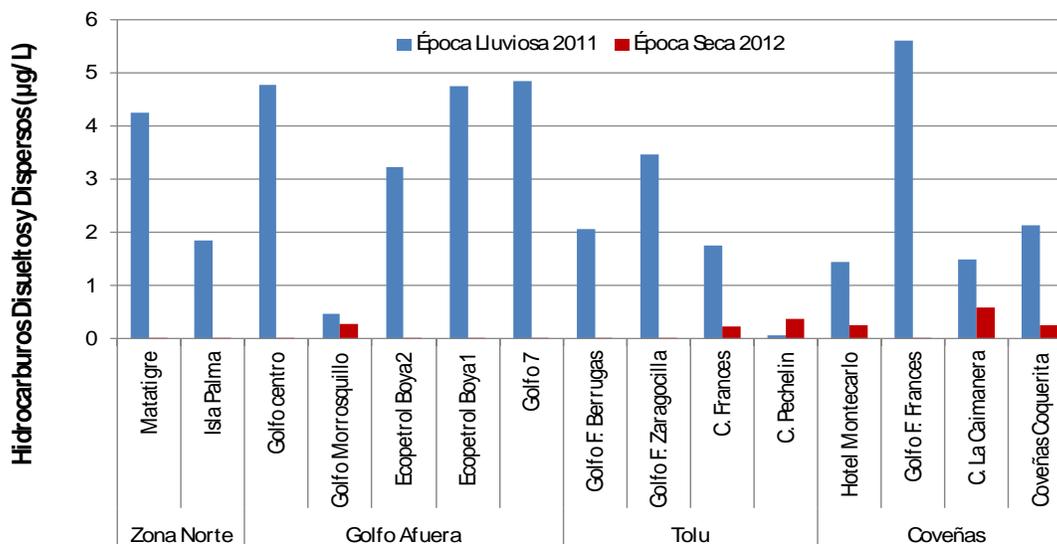


Figura 4.7-10. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (µg/L) medidas en aguas superficiales de Sucre en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

El análisis temporal demostró diferencias ($p > 0,05$) en las concentraciones promedio, siendo más altas en la época de lluvias, especialmente en las estaciones de Caño Francés ($130,5 \pm 17,3 \mu\text{g/L}$) en la zona de Tolú y Coveñas Coquerita ($40,8 \pm 8,8 \mu\text{g/L}$) de la zona de Coveñas (Figura 4.7-11). La variación interanual también mostró diferencias ($p < 0,05$), con concentraciones de HDD superiores al valor de referencia (10 µg/L) en el año 2009 en caño Pechelin (38,17 µg/L), en 2010 en los caños Francés (392,41 µg/L) y Pechelin (15,04 µg/L), las Boyas de Ecopetrol TLU1 (45,58 µg/L) y TLU (221,82 µg/L), Coveñas Coquerita (59,82 µg/L), Golfo Frente a Berrugas (17,01 µg/L) y Golfo 7 (13,53 µg/L) y en 2011 en los caños Zaragocilla (193,0 µg/L), Pechelin (188,0

detectar en Coveñas Coquerita (residuos de isómeros del DDT, 7,8 ng/L) después de que en el 2010 no se detectaron OC en ninguna estación. No obstante, estas concentraciones son inferiores al valor de referencia de la NOAA de 65 ng/L para efectos agudos (Buchman, 2008). Evidenciando con esto una tendencia descendente de la presencia de este tipo de plaguicidas, que podría estar relacionada con restricciones en su uso, cambios en las prácticas agrícolas, introducción de control biológico de plagas o la aplicación de compuestos menos persistentes.

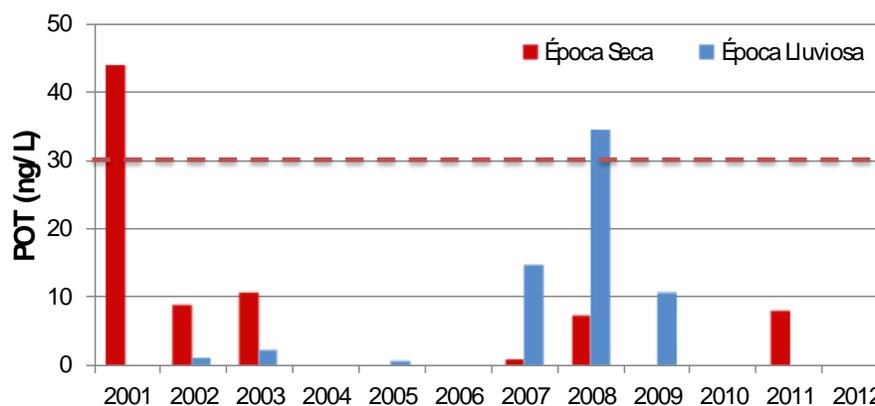


Figura 4.7-12. Rangos de concentraciones de plaguicidas organoclorados (ng/L) medidas en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en Sucre. La línea roja representa el Valor de Referencia (EPA, 1999).

En el 2009 se inicio el monitoreo de un nuevo grupo de moléculas que conforman plaguicidas que se usan actualmente. De las nueve moléculas analizadas (diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenamifos, Cis y Trans-permetrina), en los tres años que llevan de monitoreo no se han detectado en ninguna estación. Sin embargo, en la parte del Golfo de Morrosquillo correspondiente a Córdoba y la zona de influencia del río Sinú se han detectado Clorpirifos y Permetrina, lo cual amerita mantener la vigilancia de estos compuestos.

4.7.5 Metales Pesados

Los vertimientos de aguas residuales, la actividad portuaria, el transporte en lanchas, la agricultura y la industria camaronera son las principales fuentes que se han identificado que deterioran la calidad de las aguas marinas y costeras del departamento Sucre, sin embargo no se han identificado potenciales fuentes directa de contaminación por metales pesados (Garay y Vélez, 2004).

En el periodo comprendido entre la época de lluvias de 2011 y la época seca de 2012, se analizaron los metales cadmio (Cd) cromo (Cr) y plomo (Pb) en las aguas superficiales del departamento de Sucre. Las mayores concentraciones de Pb se registraron en la época seca (Figura 4.7-13) en las estaciones Ciénaga la Caimanera (7,23 µg/L) y Frente Caño Alegría (6,04 µg/L), en la época de lluvias todas las concentraciones de Pb estuvieron por debajo 2 µg/L. Estos valores están por debajo a los referenciados en guías de calidad internacionales como de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; Buchman, 2008).

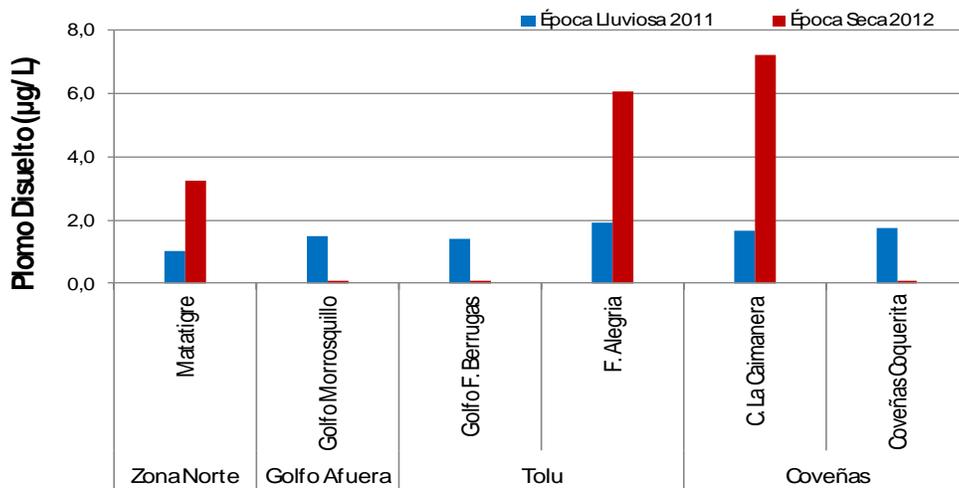


Figura 4.7-13. Concentraciones de plomo disuelto (Pb, µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales del departamento de Sucre, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

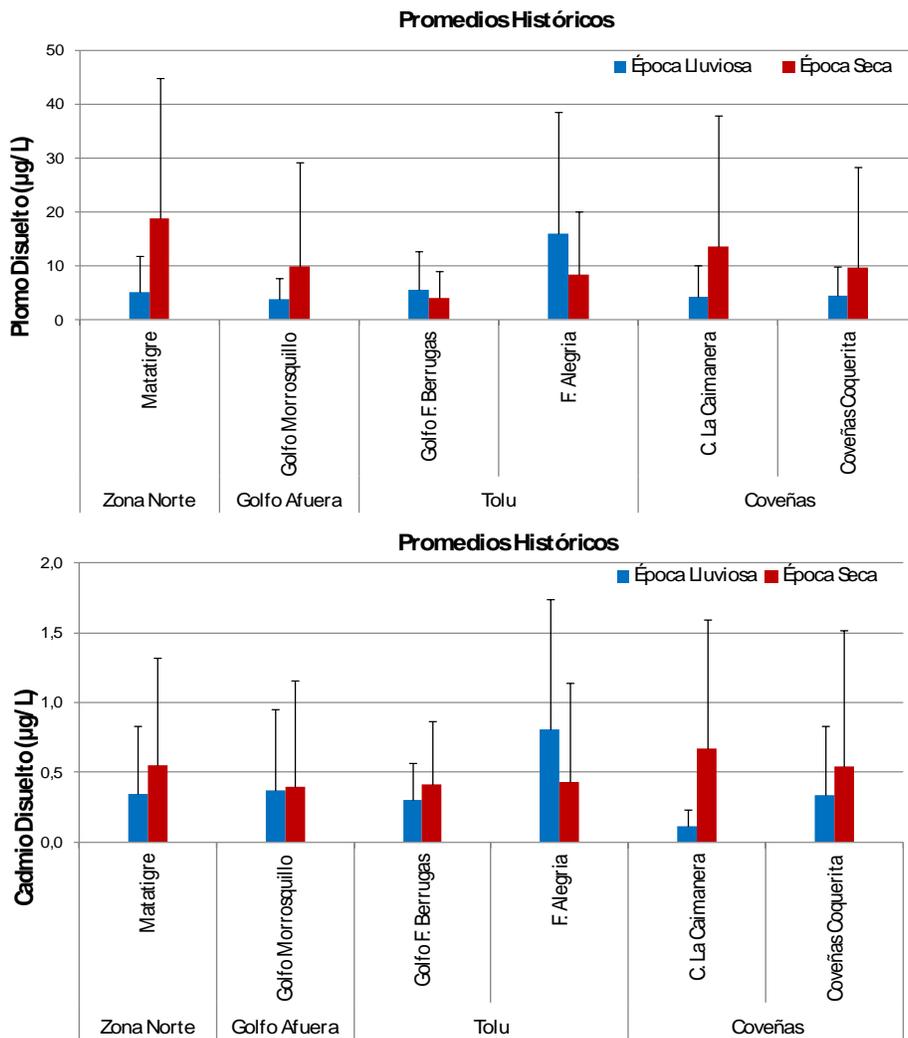


Figura 4.7-14. Concentraciones promedio de plomo y cadmio disuelto (µg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca de 2001 a 2012, en estaciones de aguas superficiales del departamento de Sucre. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

durante la época de lluvias con respecto a la época seca, en la cual se elevan por la disminución del régimen de precipitaciones y la intensa evaporación.; además se encontraron altas temperaturas en algunas de las islas de San Bernardo, que muestran impactos potenciales para los arrecifes de corales, puesto que superan los valores máximos permisibles que son tolerables para la preservación de estos.

Por otra parte, la concentración de oxígeno disuelto registró valores por encima del mínimo establecido por la norma colombiana, salvo algunas estaciones como caños Guacamayos, Alegría, Pechelin y Francés, la Ciénaga Zaragocilla, la Caimanera y la estación Arroyo Villeros que además, según los reportes históricos son las que han presentado condiciones de oxigenación baja; sin embargo, el registro del pH se mantuvo dentro del rango establecido como óptimo para la preservación y conservación de la vida acuática. Para los nutrientes, la influencia de distintos caños que afecta directamente la zona costera del departamento, trae consigo el arrastre de material terrígeno, descarga de aguas domésticas y residuos de actividades agrícolas que hacen que la turbidez se incremente por la entrada de sólidos en especial durante la época de lluvias.

A nivel microbiológico la presencia de poblados cercanos a las playas, arroyos y caños hace que la calidad de los balnearios sea deficiente en algunos sectores del departamento. Sin desmeritar que Isla Palma sigue siendo uno de los sitios de monitoreo con mejor calidad sanitaria ya que presenta las menores concentraciones de Coliformes Termotolerantes en el departamento.

En la actualidad las concentraciones de HDD en aguas son inferiores al valor de referencia ($<10 \mu\text{g/L}$), registrando las concentraciones más altas en la época de lluvias de 2011 y no reflejan los impactos sobre las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estos ecosistemas. Además, es notoria la reducción de presencia de compuestos organoclorados en las aguas del departamento, puesto que en los últimos años no se han detectado; y las nuevas moléculas de plaguicidas no han sido detectadas en las estaciones del departamento. Sin embargo, amerita mantener la vigilancia de estos compuestos debido a que se detectan en la zona de influencia del Río Sinú al sur del Golfo de Morrosquillo.

En cuanto al análisis de metales pesados en aguas superficiales, se evidencia una disminución de la concentración de Cd y Pb a lo largo del monitoreo, los valores encontrados están muy por debajo de los valores referenciados como de riesgo en guías internacionales; así mismo los valores de cromo, no evidencia problemas de contaminación por este metal en las aguas costeras del departamento.

Córdoba



San Antero, Córdoba. Foto: Janet Vivas-Aguas

4.8 CÓRDOBA

El departamento de Córdoba se encuentra situado al norte del país, en la parte inferior de la llanura del Caribe, localizado entre los 09° 26' y 07° 22' de latitud norte; los 74° 47' y 76° 30' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 23.980 km² representando el 2.1% del territorio nacional. Las fuentes continentales al mar la constituyen los ríos Sinú, San Jorge, Uré y muchos caños que drenan a la zona costera. En este Departamento la REDCAM cuenta con 18 estaciones de muestreo distribuidas en 2 zonas: La zona Cispatá que se extiende desde la bahía Cispatá hasta boca de Tinajones y la zona Occidental, que abarca desde Tinajones hasta límites con el departamento de Antioquia (Figura 4.8-1). A continuación se presenta el resultado de los muestreos realizados los días 20 y 22 de septiembre del 2011 (época lluviosa) y los días 30 y 31 de mayo del 2012 (época seca), en las 2 zonas.

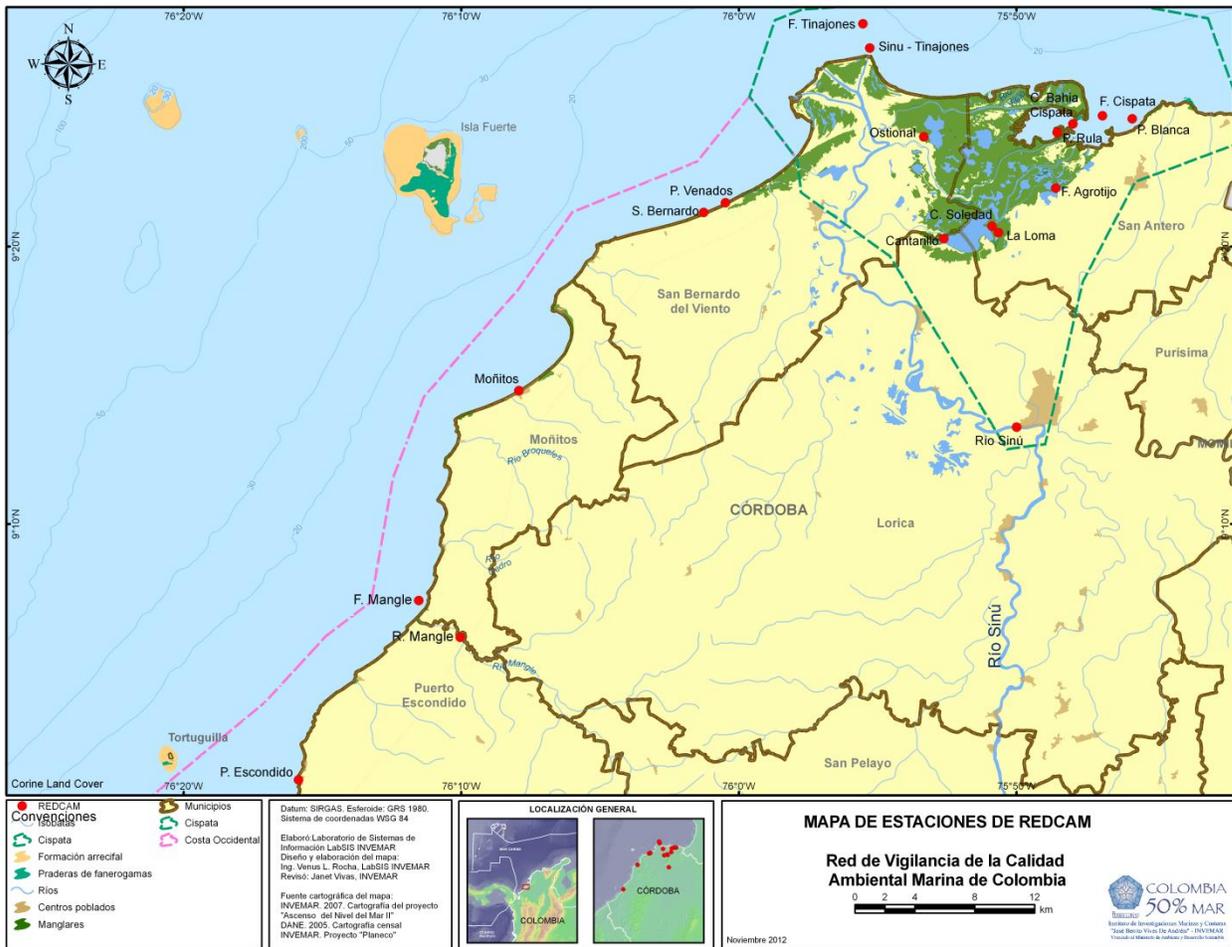


Figura 4.8-1. Estaciones y zonas de muestreo REDCAM en el departamento de Córdoba

En el departamento de Córdoba, el comportamiento de las lluvias es de carácter unimodal, con concentración de precipitaciones entre los meses de mayo y octubre, con un máximo destacado en el mes de agosto; las cantidades máximas de precipitación se localizan al sur, mientras que las mínimas se presentan al norte del departamento. En las zonas de estudio los promedios de precipitación anual oscilan entre 1.000 y 1.500 mm/a (IDEAM, 2005).

respectivamente). No obstante, los registros de temperaturas más bajas presentados durante la época seca son debido a que los vientos son más intensos y provocan una gran evaporación de la capa superficial del mar, además durante esta época el intercambio térmico y movimiento en la interface océano – atmósfera, al parecer se acentúa debido a la velocidad del viento (INVEMAR, 2002).

Con relación a la distribución temporal y espacial histórica de este parámetro, se observó que las oscilaciones temporales no han sido muy amplias (hasta 1,28 °C) indicando una gran uniformidad a través de tiempo y el espacio en esta región costera, sin embargo durante este último periodo de muestreo los valores de temperatura en algunos puntos como F. Agrotijo, La Loma y Ostional aumentaron durante la época lluviosa con valores por encima de 32,0°C, los cuales resultan más altos que los promedios históricos registrados en ellas durante la misma época (31,5±2,0 °C, 31,2±2,1 °C y 31,0±1,8 °C).

Salinidad

Al igual que la temperatura, la salinidad superficial del agua también presentó cambios durante las dos épocas Lluviosa 2011 y Seca 2012, oscilando entre 2,2 -29,2 y 1,8 -30,7 respectivamente (Figura 4.8-3). Las estaciones cercanas a la pluma de dispersión del río Sinú (Rio Sinú y Ostional) presentaron valores de salinidad más bajos incrementándose gradualmente hacia las estaciones mas alejadas de la zona de influencia.

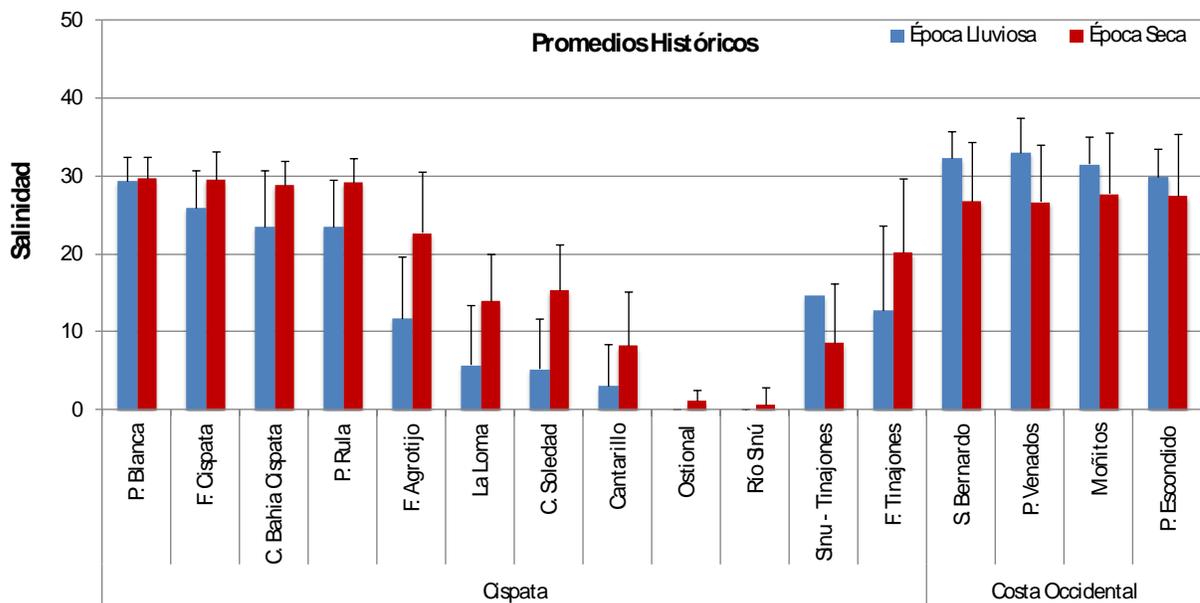


Figura 4.8-3. Salinidad medida en estaciones de aguas superficiales de Córdoba en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

El comportamiento en las dos zonas presentó patrones de distribución diferentes, estas variaciones están de acuerdo con el régimen hidrológico descrito para la región; el cual es dependiente de la circulación atmosférica de los vientos, y de la interacción de estos con la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) los cuales alteran los patrones locales y regionales de circulación de las masas de agua (Quiceno, 2008) así, en época lluviosa el flujo de aguas oceánicas que predomina por la denominada contracorriente del Darién afecta de dos formas la distribución de la salinidad en las aguas costeras del departamento; por un lado con valores elevados en las estaciones del sector occidental del golfo debido a la influencia directa de estas corrientes oceánicas, y por otro una salinidad inversa al interior del golfo debido al flujo de corriente que entra controlando la circulación de las aguas del delta del río Sinú, direccionando la pluma hacia la

costa oriental (Quiceno, 2008). En época seca el comportamiento de la salinidad en estos sectores es inverso, por el mayor predominio de los vientos alisios en dirección noroeste lo cual proporciona un flujo de agua con salinidades más altas en este sentido y el agrupamiento de otras en el centro del Golfo con salinidades variables (INVEMAR, 2002). Otros factores como la disminución en el régimen de precipitaciones durante la época seca también tienen su efecto en la distribución de la salinidad, porque los procesos de evaporación en la superficie del agua se aumentan, principalmente en las estaciones irrigadas por caños y lagunas ubicadas al interior de la bahía de Cispatá.

pH

En general, durante la época lluviosa 2011 las aguas marino-costeras del departamento de Córdoba, registraron valores de pH dentro del rango óptimo establecido en la norma colombiana para la preservación y conservación de la vida acuática, decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984), a excepción de playa Blanca y Ciénaga Soledad que sobrepasaron este límite con valores de 9,12 y 8,58, respectivamente (Figura 4.8-4). El análisis de los promedios históricos muestra que el comportamiento de las aguas en la zona Costa Occidental es característico de aguas marinas, en la cual la variación temporal llega a ser insignificante por la propiedad buffer que tienen estas aguas (Libes, 1992). Por el contrario, en la zona de Cispatá se observó mayor variación temporal, por la variedad de aguas que componen esta zona (marinas, estuarinas y fluviales). El valor promedio más bajo se registró en la Boca del Distrito de Riego Cantarillo (6,91 ± 0,21).

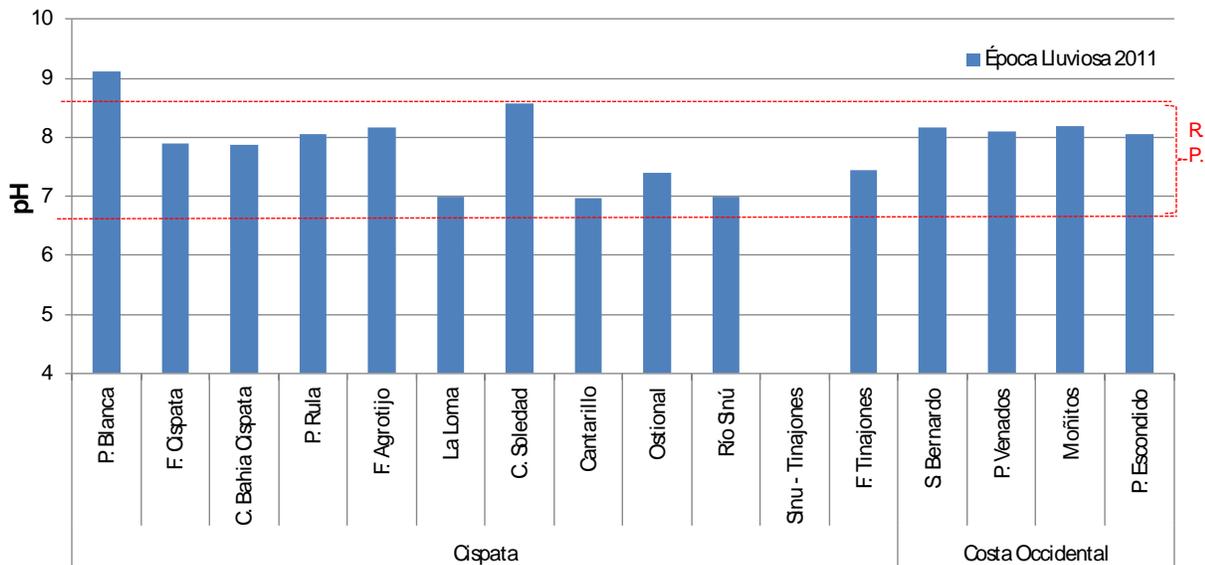


Figura 4.8-4. pH medida en estaciones de aguas superficiales de Córdoba en la época lluviosa 2011. Las líneas rojas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

Oxígeno Disuelto

Para el departamento de Córdoba, el monitoreo en la época lluviosa 2011 y seca 2012 registraron concentraciones de oxígeno disuelto (OD) que oscilaron entre 2,69 - 11,19 mg/L y 2,14 - 10,43 mg/L respectivamente (Figura 4.8-5). Se observó que en la época lluviosa 2011 el 85% de las estaciones presentaron buenas condiciones de oxigenación y en la época seca 2012 el 94% de las estaciones monitoreadas cumplieron con lo establecido por la norma colombiana en el Decreto 1594 de 1984 (mínimo permisible: 4,0 mg O₂/L; MinSalud, 1984). La Ciénaga Soledad fue la estación que registró el máximo valor: 11,19 mg/L en época lluviosa 2011 y 10,43 mg/L en seca 2012. A nivel histórico, esta

estación alcanzó su máxima concentración con 11,7 mg/L para la época seca 2010 (INVEMAR, 2012). Las condiciones climáticas como el paso de frentes fríos sobre el mar Caribe colombiano incidieron en la ocurrencia de precipitaciones fuertes (IDEAM, 2010) lo que favorece la aireación de las aguas con el consecuente aumento de los niveles de OD en la superficie, debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente, disolviendo el oxígeno (Benjumea C y Wills A, 2007). A diferencia, los menores niveles de OD se presentaron en la época lluviosa 2011 en las estaciones de Cantarillo y La Loma, con valores de 1,49 mg/L y 2,69 mg/L respectivamente, mientras que para la época seca 2012 Cantarillo presentó el menor valor con 2,14 mg/L, encontrándose por debajo del mínimo permisible para la preservación de flora y fauna. El comportamiento variable de las concentraciones de OD en la columna de agua, se debe a las altas temperaturas que contribuyen con la desoxigenación del agua (Benjumea C y Wills A, 2007), además la mezcla producida en la columna de agua durante los períodos lluviosos, contribuye con la suspensión de materiales disueltos y suspendidos que utilizan este elemento para su oxidación (Beltrán *et al*, 2012).

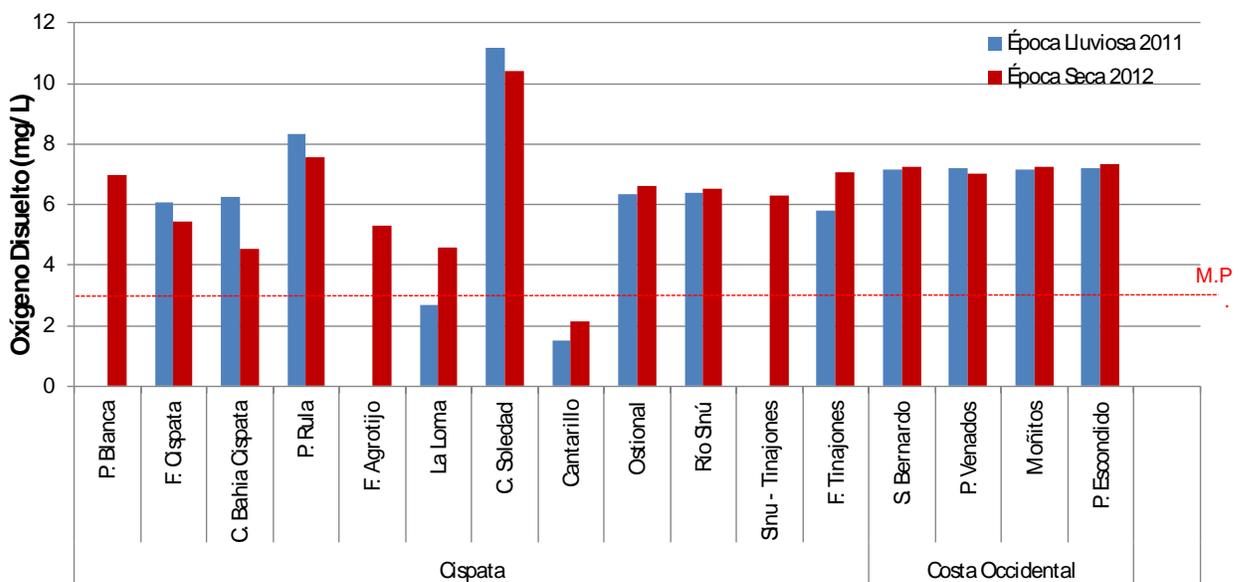


Figura 4.8-5. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de Córdoba en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permisible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (4,0 mg O₂/L; MinSalud, 1984).

4.8.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendidos Totales

Durante el período evaluado las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las aguas superficiales costeras se encontraron en el rango de 2-150 mg/L durante la época lluviosa de 2011 y en la época seca de 2012 entre 11-242,50 mg/L, sin presentar diferencias significativas entre épocas climáticas ($p > 0,05$) (Figura 4.8-6). Los mayores aportes de SST se registraron en la Ciénaga Ostional y en las estaciones influenciadas por el río Sinú que hace un aporte importante de sólidos, materia orgánica entre otros a las aguas costeras del departamento. A nivel histórico los mayores promedios se reportan en la estación río Sinú (lluvia: $95,52 \pm 48,11$ mg/L; seca: $104,48 \pm 48,41$ mg/L) que recorre gran parte del departamento y presenta varios poblados rivereños que hacen aportes importantes al tributario; seguido de la desembocadura del río (Sinú-Tinajones: época seca $85,78 \pm 89,77$ mg/L) y Ciénaga Ostional con promedios superiores durante la época seca ($82,90 \pm 69,91$ mg/L), (Figura 4.8-7).

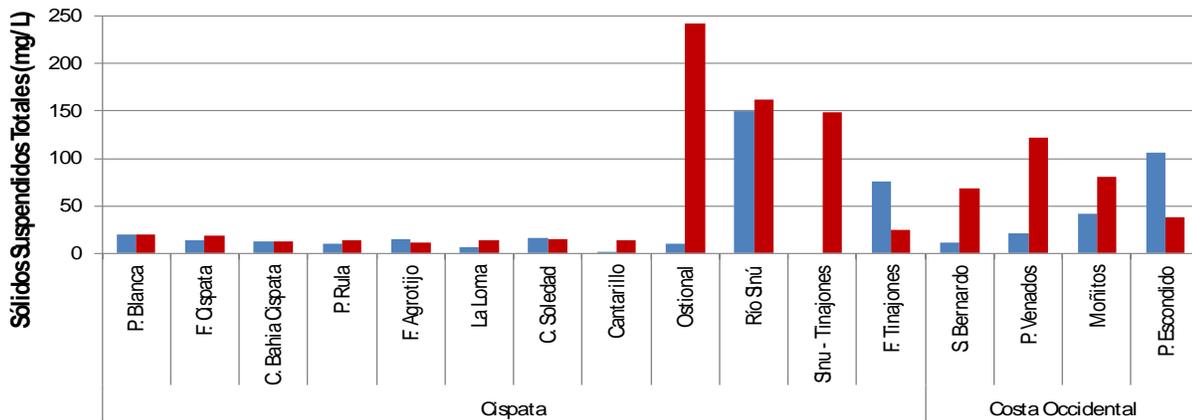


Figura 4.8-6 Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) medido en estaciones de aguas superficiales de Córdoba en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

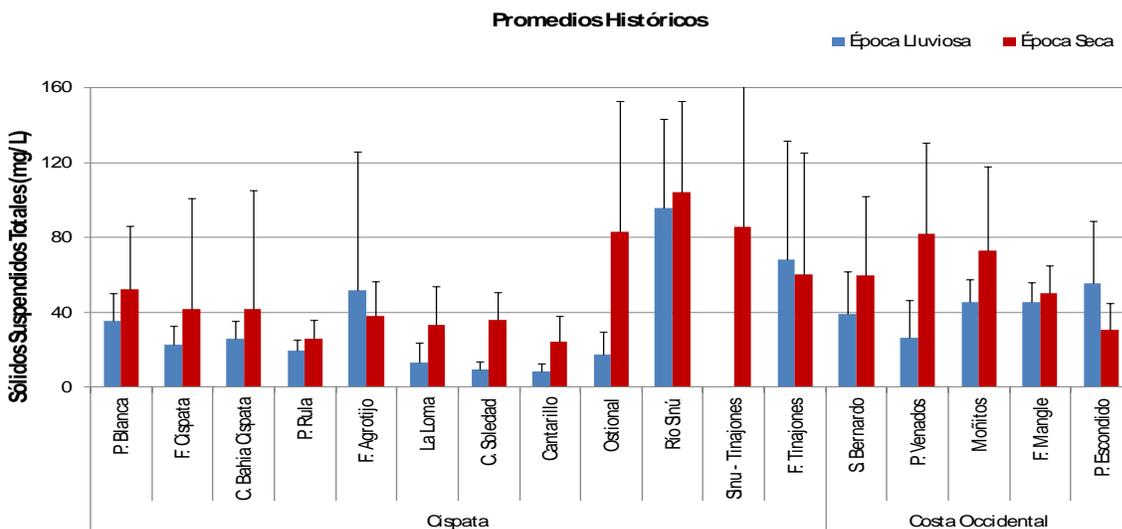


Figura 4.8-7 Concentraciones históricas de sólidos suspendidos totales (mg/L) medido en estaciones de aguas superficiales de Córdoba. (2001-2012)

Nitrógeno Inorgánico Disuelto

En cuanto a los nutrientes, se realizó el análisis de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) que corresponde a la sumatoria de las formas nitrogenadas: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+). En general las mayores concentraciones de NID se registraron durante la época seca de 2012, específicamente, en las estaciones de la Ciénega Ostional (532,40 $\mu\text{g/L}$) y Distrito de Riego Cantarillo (449,40 $\mu\text{g/L}$); aunque no se presentan diferencias significativas entre los épocas climáticas ($p > 0,05$) (Figura 4.8-8).

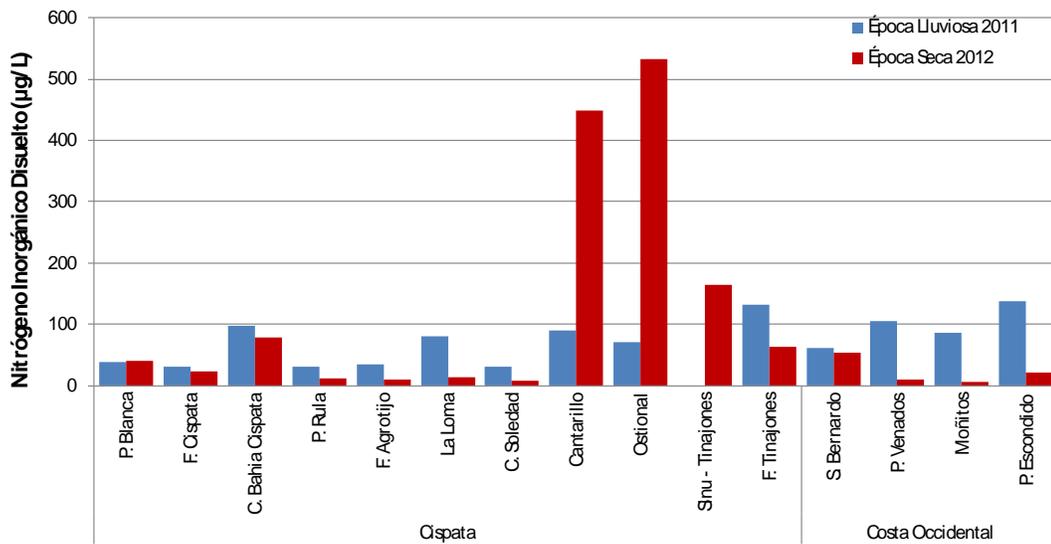


Figura 4.8-8. Concentraciones de Nitrógeno inorgánico disuelto (µg/L) medido en estaciones de aguas superficiales de Córdoba en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Históricamente, las mayores concentraciones promedio de NID se han reportado durante la época seca y en las estaciones Ciénaga Ostional ($144,06 \pm 106,04 \mu\text{g/L}$), seguida de Distrito Cantarillo y la desembocadura del río Sinú-Tinajones (Figura 4.8-9). La entrada de nutrientes a fuentes hídricas es consecuencia de actividades antropogénicas, industriales, urbanas y agrícolas que se han incrementado durante los últimos años afectando los procesos biogeoquímicos naturales. (Aydin-Onen et al., 2011)

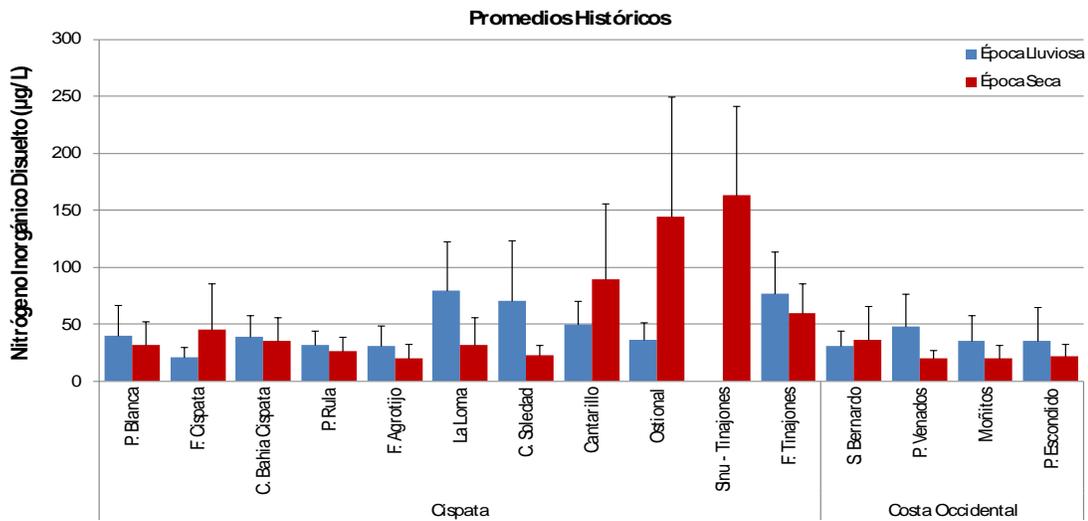


Figura 4.8-9. Concentraciones históricas de nitrógeno inorgánico disuelto (µg/L) medido en estaciones de aguas superficiales de Córdoba. (2001-2012)

Fósforo Reactivo Soluble

Durante los muestreos de las épocas lluviosa del 2011 y seca del 2012, los registros más altos de fósforo reactivo soluble (FRS) se presentaron en la época seca en la estación Distrito riego de Cantarillo ($66,84 \mu\text{g/L}$), seguido de la Ciénaga La Loma con $32,44 \mu\text{g/L}$ (Figura 4.8-10). En las estaciones marinas, principalmente ubicadas en la costa occidental del departamento las concentraciones de FRS estuvieron

4.8.4 Plaguicidas

Córdoba comparte con el departamento de Sucre la parte sur del Golfo de Morrosquillo, la llanura costera del departamento es una región de vocación agrícola. Como se indicó en anteriores informes Córdoba posee una importante actividad pecuaria e históricamente ha sido uno de los mayores productores de algodón y es una de las más importantes zonas arroceras del país, por lo cual no se descarta que en este departamento se hayan usado grandes cantidades de compuestos organoclorados (Vivas-Aguas et al., 2010).

Los monitoreos realizados desde el 2001 mostraban sólo valores altos en el 2001 y una tendencia descendente de los residuos de plaguicidas organoclorados (OC) hasta el 2007 (Figura 4.8-15) cuando se registraron valores de 13,7 ng/L en el Río Sinú; en el 2008 valores por encima del valor de referencia de 30 ng/L (EPA, 1999), en el Río Sinú (30,7 ng/L), frente a su desembocadura en Tinajones (32,7 ng/L) y Frente a Agrotijo (34,6 ng/L). En el 2009 el rango de variación descendió pero nuevamente en la época de lluvias del 2010 se detectaron valores de OC totales de 110,8 ng/L en el Río Sinú y en la seca del 2011 en la Ciénaga la Loma de 81,5 ng/L.

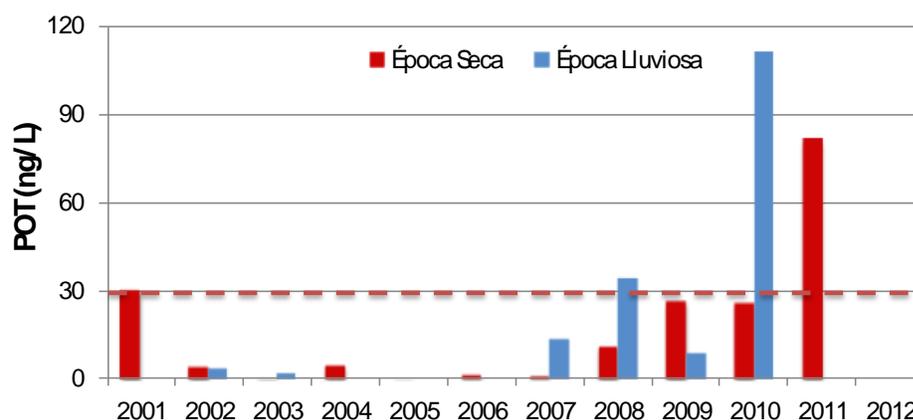


Figura 4.8-15. Rangos de concentraciones de plaguicidas organoclorados (ng/L) medidas en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en Córdoba. La línea roja representa el Valor de Referencia (EPA, 1999)

En parte, este aumento obedeció a la implementación del análisis de nuevas moléculas a partir del 2008, la capacidad de determinación se incrementó de 12 a 22 moléculas, lo que significó que se cuantificaran moléculas que antes no se tenían en cuenta como el Endosulfan, responsable parcialmente de los altos valores en el Distrito de riego Cantarillo, la Ciénaga la Loma y la Ciénaga La Soledad durante el 2011 y el río Sinú en el 2010 (Tabla 4.8-2). Por otro lado la tendencia variable que han presentado las concentraciones es un indicador que los suelos estuvieron drenando sustancias que fueron aplicadas hace tiempo y que aun se encuentran en el medio debido a su persistencia.

En el 2009 se inicio el monitoreo de un nuevo grupo de moléculas que conforman plaguicidas que se usan actualmente. De las nueve moléculas analizadas (diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenaminfos, Cis y Trans-permetrina), en los tres años sólo se han detectado clorpirifos en las descargas del río Sinú debido probablemente a las actividades agrícolas desarrolladas en su cuenca hidrográfica; ya que un ingrediente activo de uso generalizado. No obstante, los niveles para estas moléculas han estado por debajo del valor de referencia dado por la EPA (Buchman, 2008) y no representa riesgo para los organismos acuáticos (Tabla 4.8-2), sin embargo requiere mantener la vigilancia sobre estos compuesto, ya que podrían llegar a afectar el medio marino que es ~8 veces más sensible a este compuesto.

seca. Mostrando que no existe riesgo por contaminación en las aguas costeras de este departamento por estos elementos en el periodo analizado.

El análisis histórico de los monitoreos REDCAM en la zona costera del departamento de Córdoba muestra una distribución homogénea de las concentraciones promedio de Pb, Cr y Cd disueltos en las estaciones ubicadas en las dos zonas definidas para este departamento. La mayor concentración promedio de plomo ($60,1 \pm 28,6 \mu\text{g/L}$) se registra en la estación frente a Cispatá en la zona de Cispatá en la época de lluvias, sin embargo en la época seca en esta estación se registra el segundo valor más alto ($28,5 \pm 50,5 \mu\text{g/L}$), sin embargo en ninguna estación se ha rebasado el nivel de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados en guías internacionales (Pb $210 \mu\text{g/L}$; [Buchman, 2008](#)). De igual manera para el cadmio se han registrado las mayores concentraciones promedio en la estación frente a Cispatá (Figura 4.8-17) en la época de lluvias y seca ($3,0 \pm 1,0$ y $1,5 \pm 2,1 \mu\text{g/L}$ respectivamente), en general las mayores concentraciones en este departamento se han registrado en la época de lluvias, sin embargo en ninguna estación se ha rebasado el nivel de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados en guías internacionales (Cd $40 \mu\text{g/L}$; [Buchman, 2008](#)). Con referencia al Cr la mayor concentración promedio ($4,2 \pm 6,1 \mu\text{g/L}$) se registro en la estación San Bernardo en la época de lluvias, no se evidencia alguna tendencia espacial ni temporal en la presencia de los elementos analizados en las aguas de la zona costera del departamento de Córdoba. La concentración de todos los elementos analizados esta están muy por debajo de los valores referenciados en guías internacionales ($50 \mu\text{g/L}$ Cr, [Conama, 1986](#)).

La evaluación histórica por épocas climáticas no muestra una tendencia estacional, se evidencia que las mayores concentraciones promedio de Cd y Pb se registraron en la época seca de 2001 y 2002 ($2,83 \pm 1,22$ y $72,7 \pm 24,5 \mu\text{g/L}$ de Cd y Pb respectivamente). En el plomo se evidencia una importante disminución en los últimos años del monitoreo con relación a los años 2001 y 2002, sin embargo no se han registrado durante el monitoreo valores que impliquen riesgo para el ecosistema marino costero ($210 \mu\text{g/L}$ [Buchman, 2008](#)), con relación al Cd en general en los últimos años de muestreo (2007-2012) se evidencia una marcada disminución en la presencia de este elemento en las aguas costeras del departamento de Córdoba.

Con referencia a las concentraciones de Cr, no se evidencia una tendencia tan clara como para el Pb y Cd. Las mayores concentraciones promedio se han registrado en la época de lluvias de 2004 ($4,89 \pm 4,71 \mu\text{g/L}$), sin embargo estos valores están muy por debajo de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional ($50 \mu\text{g/L}$, [Conama, 1986](#)) por lo tanto no se prevén riesgos para los ecosistemas acuáticos por este elemento.

En general, las concentraciones de estos metales (Cd, Cr y Pb) medidos en las aguas costeras del departamento de Córdoba son relativamente bajas con referencia a valores de normas internacionales, sin embargo su persistencia en el medio puede incrementar su biodisponibilidad a los ecosistemas adyacentes, repercutiendo negativamente en la calidad de las aguas costeras del departamento, tal como se ha expuesto con anterioridad en la problemática ambiental marina de otros departamentos. No obstante, su presencia en el medio aun en concentraciones muy bajas puede verse acumulado y biomagnificado hacia otras matrices ambientales, por lo cual se evidencia la importancia de continuar con su monitoreo y extenderlo a la evaluación de otros elementos de interés ambiental (Hierro, Níquel, Zinc y Cobre) y a otras matrices ambientales como son los sedimentos los cuales pueden dar un mejor indicativo del comportamiento y destino final de estos contaminantes.

A nivel microbiológico, el río Sinú presenta concentraciones de Coliformes Totales que superan lo establecido en la legislación nacional para el desarrollo de actividades de contacto primario y secundario, gracias a los poblados cercanos a su riveras que en muchos casos hacen descargas directas de aguas domesticas afectando la calidad de sus aguas.

En cuanto a los contaminantes orgánicos, actualmente las concentraciones de HDD en aguas son inferiores al valor de referencia ($<10 \mu\text{g/L}$), registrando las concentraciones más altas en la época de lluvias de 2011 y no reflejan los impactos sobre las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estos ecosistemas.

Aunque hasta hace unos pocos años en el departamento se detectaban niveles considerablemente altos de plaguicidas organoclorados, desde el segundo semestre del 2011 y el 2012 no se detectan, lo que puede indicar una disminución de los niveles de estos compuestos y el incremento observado en 2008-2010 se debió sólo a cambios metodológicos. Adicionalmente, de los compuestos de uso actual sólo se ha detectado Clorpirifos en concentraciones que no representan riesgo, pero si requieren vigilancia.

Las concentraciones de metales Cd, Cr y Pb en las aguas superficiales, no superan los valores referenciados como de riesgo en guías internacionales, por lo cual no se consideran de riesgo para el ambiente. No obstante, se debe continuar el monitoreo y extender a otros elementos de interés ambiental (Hierro, Níquel, Zinc y Cobre) y a otras matrices que puedan indicar la residencia y destino de estos contaminantes como los sedimentos.

Antioquia



Turbo - Antioquia. Foto Janet Vivas

este tipo que más requiere vigilancia debido a las altas concentraciones halladas en los últimos tres años de monitoreo. Igualmente de los plaguicidas de uso actual se requiere mantener la vigilancia y control especialmente sobre el clorpirifos debido a que sus concentraciones llegaron a estar varias veces por encima de los valores de referencia internacional.

En el análisis de metales pesados en aguas superficiales del departamento de Antioquia, se evidencia una disminución de la concentración de Cd y Pb a lo largo del monitoreo, sin embargo el incremento de Pb en la época de lluvias de 2011 y seca de 2012 es considerable, aunque los valores encontrados están muy por debajo de los valores referenciados en guías internacionales como de riesgo, se considera necesario seguir el monitoreo de estos elemento y extenderlo a otros de importancia ambiental (Cromo, Hierro, Níquel, Zinc y Cobre) y a la matriz sedimentaria.

Costa Pacífica



Bahía de Buenaventura. Foto: José Sánchez

fenamifos y la permetrina, en el periodo de estudio para las aguas costeras de Nariño, Cauca y Chocó, no fueron detectadas, lo cual lleva a concluir que estos compuestos son poco usados en la zona del Pacífico.

Los metales pesados (Cd, Pb y Cr) en el Pacífico no presentan un mayor impacto, debido a que en todas las estaciones y durante los dos períodos de muestreo (lluvioso 2011 y seco 2012) las concentraciones estuvieron en los rangos de Cd de 0,25- 0,9 µg/L, Pb de 0,07 – 13,45 y Cr de 0,25; que están por debajo de los valores para efectos agudos propuesto por la NOAA (Cd: 40 µg/L y Pb: 210 µg/L; [Buchman, 2008](#)), y del límite máximo permisible de la legislación de Brasil (Cr: 50 µg/L, [CONAMA, 1986](#)). Esto se debe a los mayores aportes de estos contaminantes provienen de actividades industriales, las cuales son muy deficientes en la región Pacífica ([Tejada *et al.*, 2003](#)).

En general la calidad de las aguas marinas y costeras del Pacífico colombiano son buenas presentando condiciones óptimas para el desarrollo de la flora y fauna. Cabe destacar que los balnearios del departamento del Valle del Cauca para la época de lluvias de 2011 no fueron aptos para el desarrollo de actividades de contacto primario según la legislación colombiana.

Diagnóstico Departamentos del Pacífico

Chocó



Bocana del río Nuquí. Foto: José Sánchez

5.1 CHOCÓ

El Departamento del Chocó está situado al occidente del país, entre los 04° 05' y 08°40' de latitud norte y los 75° 50' y 77° 55' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 46530 Km² que tiene clima cálido en un 92%, templado en 6.4% y el resto entre frío y muy frío (IGAC, 2008). Los principales ríos que desembocan en el litoral Pacífico son San Juan, Jella, Valle y Nuquí. Cuenta con una red de 19 estaciones de muestreo, cinco fluviales, seis estuarinas y ocho playas ubicadas en la extensión central del departamento que incluye las zonas de Bahía Solano y el golfo de Tribugá donde se encuentra ubicado el Parque Natural de Utría (Figura 5.1–1).

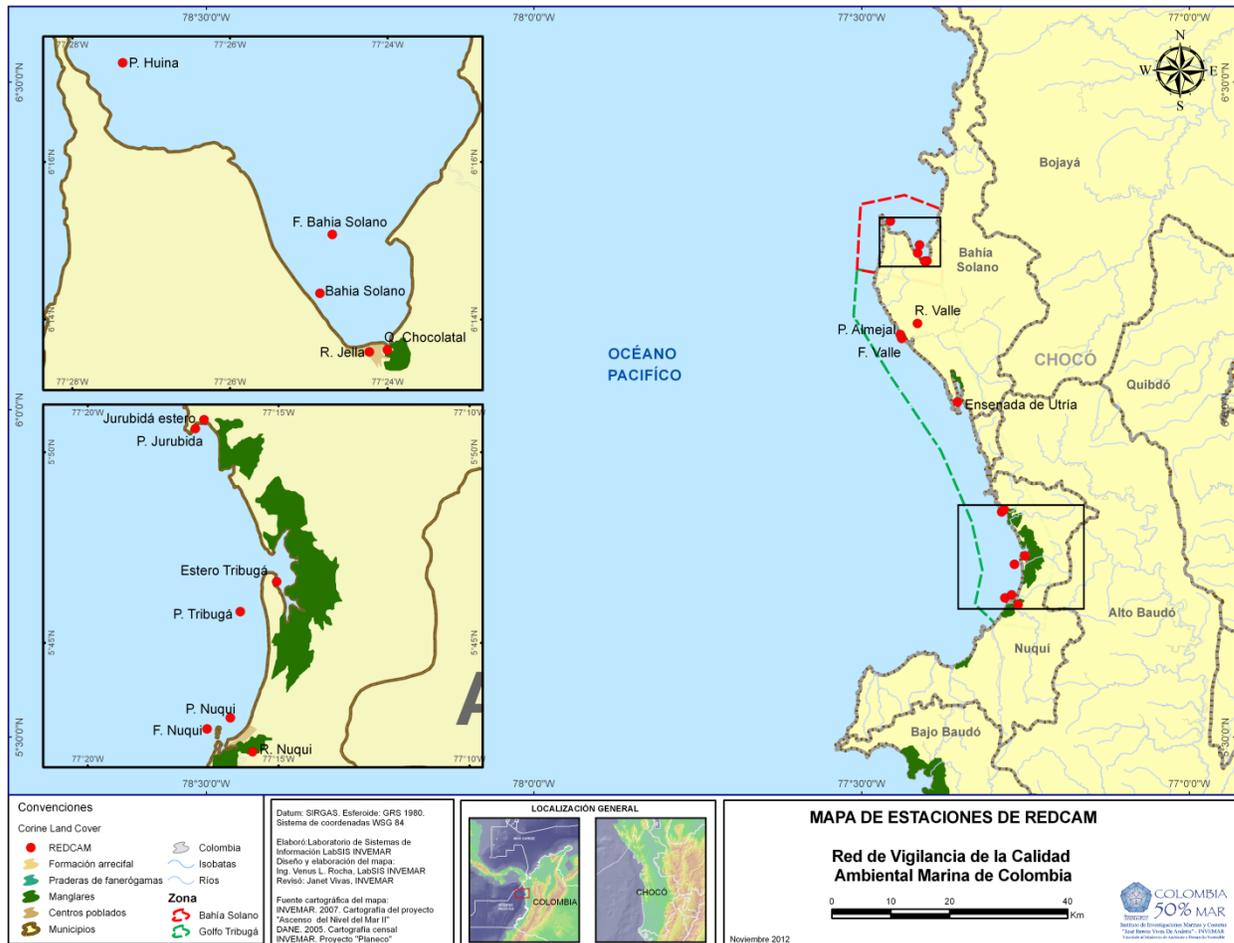


Figura 5.1–1. Estaciones y zonas de muestreo REDCAM en el departamento de Chocó Pacífico.

La calidad de las aguas marino costeras del departamento de Chocó (Pacífico) se encuentra influenciada por los ríos que desembocan en el litoral, los cuales realizan importantes aportes de sólidos suspendidos, nutrientes inorgánicos y coliformes totales y termotolerantes, especialmente por las descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento de las poblaciones ribereñas. En la época de lluvias de 2011 las playas de Jurubidá y Nuquí y en la seca de 2012 Bahía Solano Esso y Nuquí no fueron aptas para realizar actividades de contacto primario y secundario. Las concentraciones de hidrocarburos y plaguicidas no sobrepasaron el valor de la norma internacional, siendo el Jella y la playa Bahía Solano Esso los que realizan los mayores aportes relacionado con las actividades marítimas y venta de combustibles. Las concentraciones de metales pesados se encuentran por debajo de la normativa internacional de los valores de referencia para aguas no contaminadas para la preservación de flora y fauna.

Las concentraciones de SST en los ríos aumentan durante la época lluviosa, debido a la generación de escorrentía y erosión del suelo. Este aumento se evidenció en los datos colectados durante la época lluviosa del 2011, donde los sólidos suspendidos fueron más altos comparados con los de la época seca del 2012 (Figura 5.1–6). Los SST en el río Jella de la zona bahía Solano históricamente ha sido más bajos ($37,6 \pm 35,2$ mg/L) que los ríos de la zona del golfo de Tribugá, R. Valle ($97,4 \pm 236,2$ mg/L) y el R. Nuquí ($243,8 \pm 443$ mg/L; Figura 5.1–7).

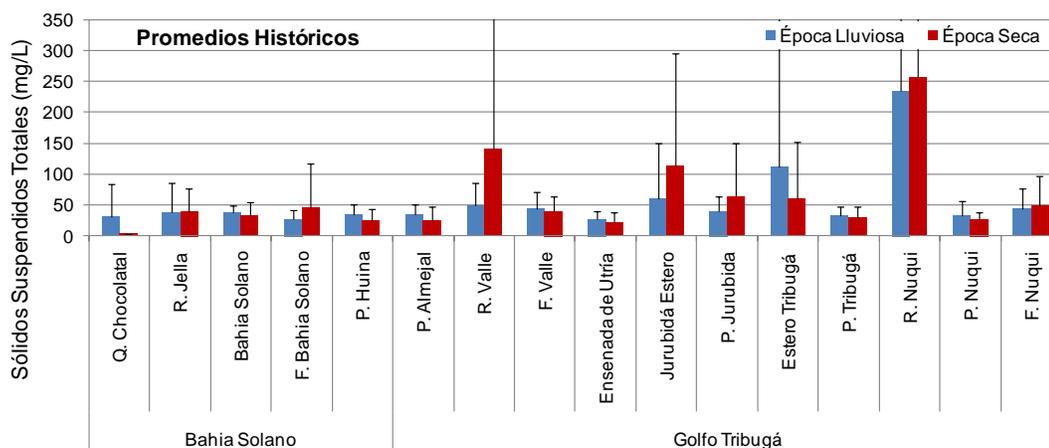


Figura 5.1–7. Promedios de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Chocó. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

Los SST en las aguas marinas tienen efectos sobre la salud de los ecosistemas coralinos, su aumento incide en la penetración de la luz, afectando los procesos fotosintéticos de las algas asociadas a los corales. Los datos reportados por la REDCAM, en las estaciones del Parque de Utría están por debajo del valor de referencia de 50 mg/L (Fabricius, 2005), sugiriendo que los niveles SST permiten un buen nivel de salud para el ecosistema de coral.

Nitrógeno Inorgánico Disuelto

El nitrógeno inorgánico disuelto (NID), es la suma del nitrógeno en las formas de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+). En general, las mayores concentraciones de NID se registraron durante la época seca 2012, especialmente en el río Jella ($513,7 \mu\text{g/L}$) y bahía Solano ($700,29 \mu\text{g/L}$), con excepción de los esteros de Jurubidá ($134 \mu\text{g/L}$) y Tribugá ($14 \mu\text{g/L}$), quebrada Chocolatal ($250 \mu\text{g/L}$), río Nuquí ($127 \mu\text{g/L}$), frente río Nuquí ($52 \mu\text{g/L}$), ensenada de Utría ($7,8 \mu\text{g/L}$) y playa Jurubidá ($15 \mu\text{g/L}$), en los cuales las mayores concentraciones se registraron en la época de lluvias (

medio, favorecida en gran medida por las actividades mineras desarrolladas en la cuenca de los principales ríos de la región, en las cuales se emplean variados métodos de explotación que posibilitan fenómenos de remoción que favorecen el aumento en la concentración de los metales, como en el caso de la extracción de oro, por lo que se recomienda ampliar la gama de elementos analizados para evidenciar si existe la entrada de otros metales en el área costera de este departamento y analizar en sedimentos los cuales son el reservorio final de los metales que entran a la zonas costeras.

5.1.6 Conclusiones

Los valores de salinidad y temperatura presentaron amplias variaciones entre estaciones y épocas de muestreo pero no mostraron un patrón de distribución temporal y espacial definido. No obstante dichos cambios en la salinidad fueron asociados a procesos climáticos regionales como el régimen de precipitaciones y mareas y en la temperatura a procesos climáticos-oceanográficos de mesoescala y a otros procesos climáticos que son característicos en la región. El pH y OD presentaron condiciones óptimas en las aguas marino-costeras de Chocó con valores que cumplen con la norma colombiana para la preservación y conservación de la vida acuática y para uso recreativo. Las concentraciones de SST, NID y FRS de las aguas marinas y costeras de Chocó en el periodo de estudio fueron parecidas a sus niveles históricos. La variación temporal observada en los datos históricos de los ríos muestra que varios ríos del departamento tienen la potencial para generar concentraciones de sedimentos y nutrientes altas.

En general los mayores aportes de coliformes al departamento del Chocó son dados por las aguas fluviales que recorren grandes tramos del territorio antes de llegar a la zona costera y que traen consigo las descargas de aguas domésticas de varios poblados cercanos a sus riveras que no cuentan con sistemas de tratamiento adecuados para su vertido.

En la actualidad las concentraciones de HDD en aguas son muy inferiores al valor de referencia (<10 µg/L), registrando las concentraciones más altas en la época seca de 2012 y no reflejan los impactos sobre las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estos ecosistemas. Los compuestos plaguicidas usados en la actualidad no se detectan en las aguas costeras del departamento, lo cual está en relación con el escaso desarrollo agrícola de la zona costera; y los compuestos organoclorados que al inicio del monitoreo eran más recurrentes muestran un considerable descenso en su frecuencia de aparición.

En el análisis de metales pesados en aguas superficiales del departamento del Chocó, se evidencia una disminución de la concentración de Cd y Pb en los últimos años del monitoreo (a partir del primer semestre de 2010), los valores encontrados están muy por debajo de los valores referenciados en guías internacionales como de riesgo, así mismo los valores de cromo, no se evidencian problemas de contaminación por estos metales en las aguas costeras del departamento. Por otra parte se evidencia un leve aumento en la época de lluvias de 2009 en la concentración de Cd y Cr, influenciado especialmente por las estaciones ubicadas en la zona del golfo de tribugá.

Valle del Cauca



Muelle Portuario de Buenaventura

valor de referencia estimado para la reproducción de corales, 50,0 mg/L (Fabricius, 2005); no obstante, para la época seca, estas concentraciones regresaron a valores aceptables, lo que significa que los efectos causados por las altas concentraciones no son permanentes, permitiendo el desarrollo de los arrecifes coralinos.

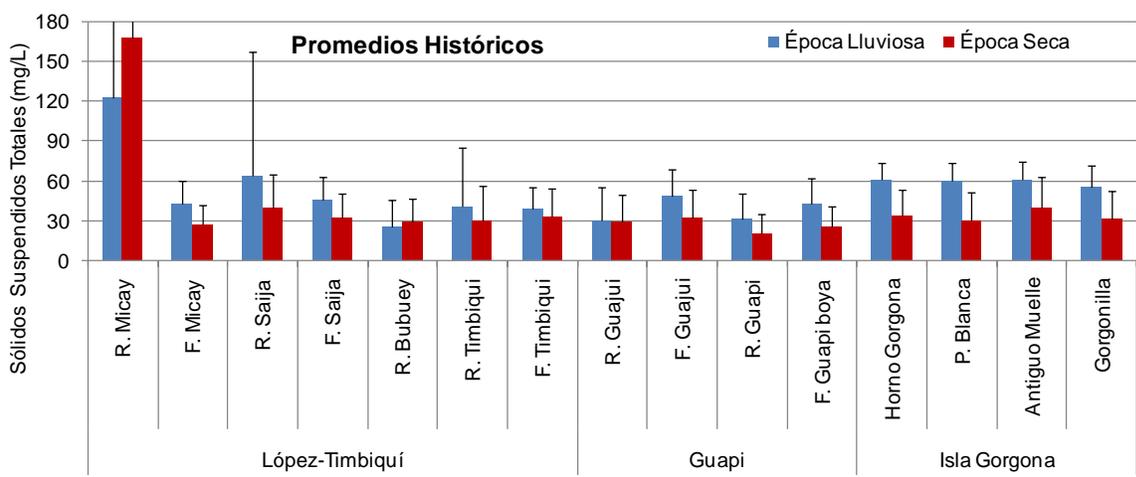


Figura 5.3-8. Promedios de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 y 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

Nitrógeno Inorgánico Disuelto

El nitrógeno inorgánico disuelto (NID), es expresado como la suma del nitrógeno en las formas de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+). En general, no presentó diferencias claras entre las dos épocas climáticas (Figura 5.3-9), salvo para la estación R. Micay y R. Guajui, que registraron las mayores concentraciones de NID durante la época lluviosa (110,3 y 97,7 $\mu\text{g/L}$, respectivamente). Las concentraciones de NID reportadas en la época seca en la zona Isla Gorgona son bajas (entre 3,3 y 10,3 $\mu\text{g/L}$), en comparación con el valor de referencia de 14,0 $\mu\text{g/L}$ para los ecosistemas coralinos, sugerido como el nivel que indica estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas (Lapointe, 1997) o impactos potenciales a la fisiología de corales (Fabricius, 2005), indicando que no hay alteración del arrecife coralino.

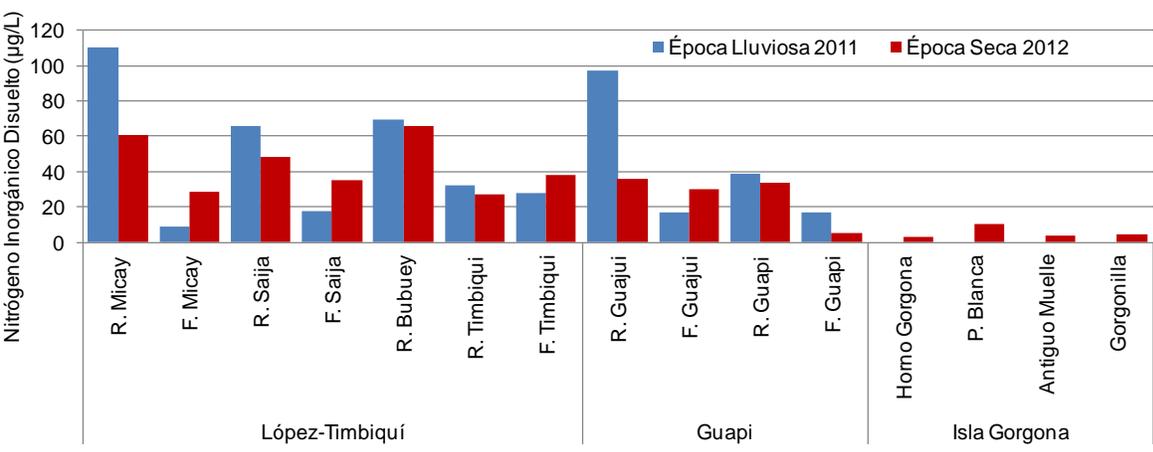


Figura 5.3-9. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca, en la época lluviosa y la época seca.

Históricamente, las mayores concentraciones de NID se han reportado en las estaciones R. Bubuey (118,69 \pm 42,91 $\mu\text{g/L}$; época lluviosa) y F. Timbiquí (122,57 \pm 109,18 $\mu\text{g/L}$; época seca), seguidas de R. Micay, R. Guajui, (Figura 5.3-10). Las estaciones ubicadas en la zona Isla Gorgona han registrado los valores más bajos de NID a lo largo del monitoreo de la REDAM.

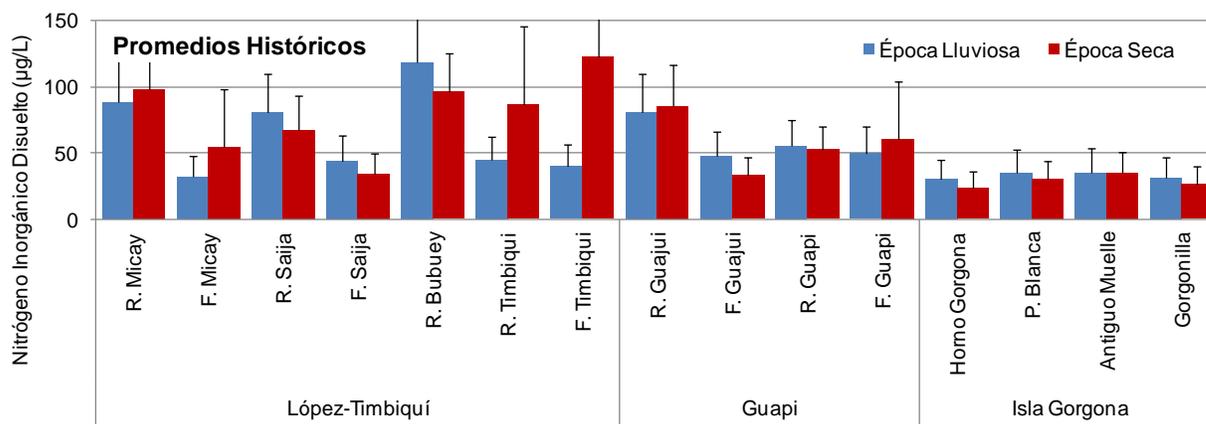


Figura 5.3-10. Concentraciones promedio de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca. Las barras de error representan las desviaciones estándar

Fósforo Reactivo Soluble

Los resultados de fósforo reactivo soluble (FRS) obtenidos de los muestreos realizados en la época lluviosa 2011 y seca 2012 (Figura 5.3-11), muestran que las mayores concentraciones se presentaron en la época seca en la estación F. Saija (169,89 $\mu\text{g/L}$) y el Río Micay (95,73 $\mu\text{g/L}$) y F. Río Micay (108,19 $\mu\text{g/L}$). En época lluviosa, el Río Timbiquí, registró una alta concentración (134,59 $\mu\text{g/L}$), debido a los aportes que recibe de la población ubicada en esta zona.

Los reportes históricos indican que los mayores aportes de FRS corresponden a la estación R. Guapi que, en época lluviosa, presenta un valor promedio de 38,07 \pm 71,86 $\mu\text{g/L}$. No obstante, las concentraciones históricas reportadas no superan el valor de 62,0 $\mu\text{g/L}$, por encima del cual se pueden presentar impactos potenciales a la fisiología de corales (Fabricius, 2005).

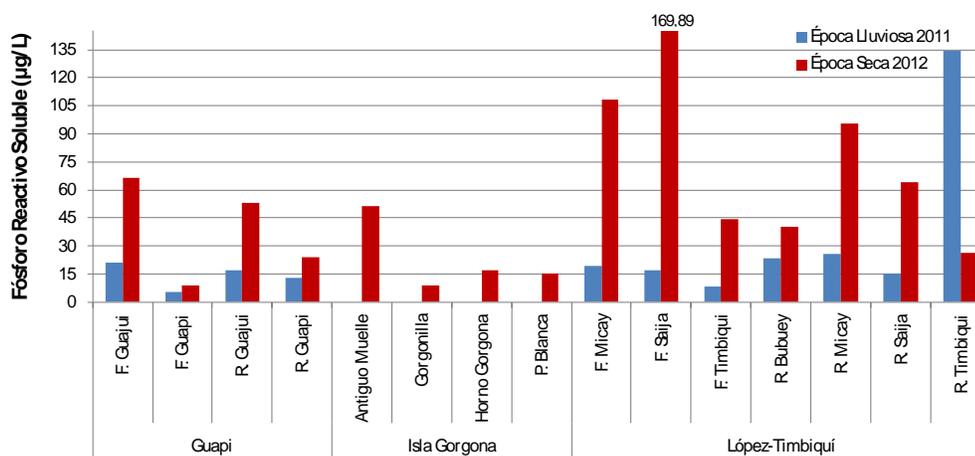


Figura 5.3-11. Concentraciones de fósforo reactivo soluble FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

5.3.2 Contaminación Microbiológica

Para el departamento del Cauca, desde el año 2001, se hacen análisis microbiológicos a 15 estaciones ubicadas en 3 zonas: La zona López-Timbiquí, que cubre la desembocadura del río Naya hasta la Bahía de Timbiquí; la zona de Guapi, que va desde Timbiquí hasta Guapi en límites con el departamento de Nariño; y por último, la zona de Isla Gorgona, incluida en el monitoreo de la REDCAM desde el año 2006 y donde se ubican las 4 estaciones marinas del departamento.

Durante este periodo de monitoreo, en cuanto a los tributarios de importancia y su aporte con respecto a la zona costera de Coliformes Totales (CTT) en el departamento, el río Guapi presentó la concentración máxima de CTT en época de lluvia con 54.000 NMP/100mL, seguido del río Sajai con 35.000 NMP/100mL, mientras que la concentración mínima fue reportada en el río Micay durante la época seca con 790 NMP/100mL de CTT (Figura 5.3-12-a), cumpliendo con lo establecido en la legislación nacional para el desarrollo de actividades recreativas de contacto secundario.

De acuerdo con el registro histórico, el comportamiento promedio para el río Sajai es el más alto con respecto a los otros tributarios (época lluviosa $14.000 \pm 0,34$ NMP/100mL; época seca $13.500 \pm 0,60$ NMP/100mL); mientras que los ríos Bubuey (época lluviosa $1.900 \pm 0,90$ NMP/100mL; época seca $4.300 \pm 0,70$ NMP/100mL) y el río Guajui (época lluviosa $3.400 \pm 0,60$ NMP/100mL; época seca $3.600 \pm 0,70$ NMP/100mL) presentan los promedios históricos más bajos y que cumplen, en general, con los límites establecidos en la legislación nacional (Figura 5.3-12-b). El vertimiento de aguas servidas, lixiviados de botaderos de basura, desechos orgánicos y agropecuarios de las poblaciones ribereñas de Puerto Saija, Guapi, Noanamito y San José de Guare, influyen directamente en la carga de CTT en los tributarios del departamento. (Vivas-Aguas *et al.*, 2010).

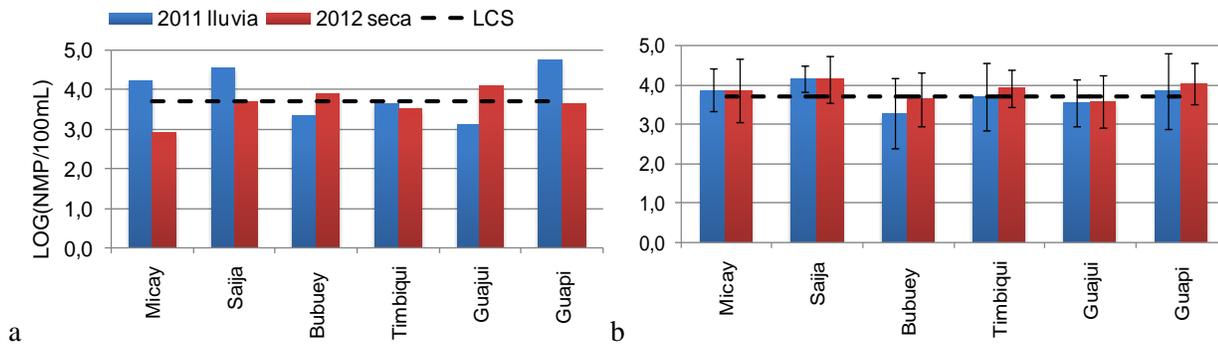


Figura 5.3-12 Concentraciones de Coliformes Totales (LOG NMP/100mL) medidas el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca. (a) época lluviosa de 2011 y seca de 2012. (b) promedios históricos en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012. La línea roja equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (< LOG 5000 = 3.7 NMP/100 mL; MinSalud, 1984).

La calidad sanitaria de las playas se evaluó por medio de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) reportadas en época seca y lluviosa para la zona de isla Gorgona (Tabla 5.3.1). El 100% de las mediciones en las estaciones Antiguo muelle, Gorgonilla, y el 90% de Horno Gorgona y Playa Blanca cumplen con el límite establecido por la legislación nacional para actividades recreativas de contacto primario, como la natación o el buceo (Minsalud, 1984). La distancia entre la zona de Isla Gorgona y el borde de costa es aproximadamente de 35 km, la carga microbiológica que trae consigo los tributarios del departamento no se ve reflejado en las concentraciones de CTE reportadas en las estaciones (Espinosa L.F (Ed.). 2010); por tanto, se consideran como aptas para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario.

Tabla 5.3.1 Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE NMP/100mL) en las épocas climáticas lluviosa 2011 y seca 2012. En negrilla se muestran los valores que superan el límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (< 200 NMP/100 mL; MinSalud, 1984).

Estación	2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012
	seca	lluvia	seca	lluvia	seca	lluvia	seca	lluvia	seca	lluvia	seca	lluvia	seca
Horno Gorgona	130	4	23	2	N.D*	11	540	2	2	2	N.D*	N.D*	1
Playa Blanca	170	2	140	240	N.D*	7	33	2	7	1	N.D*	N.D*	49
antiguo Muelle	130	2	33	2	N.D*	11	2	2	2	1	N.D*	N.D*	2
Gorgonilla	170	2	17	22	N.D*	7	8	2	2	49	N.D*	N.D*	1

*N.D: no detectado

5.3.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD, en el período de estudio se encontraron generalmente en un rango entre < 0,08 – 0,94 µg/L; durante la época lluviosa 2011 se encontraron las mayores concentraciones de HDD, en las estaciones ubicadas frente a los ríos Micay (0,94 µg/L) y Timbiquí (0,41 µg/L) de la zona López-Timbiquí el río Guapi (0,47 µg/L) en la zona de Guapi, mientras que en la época seca del 2012, los valores más altos se registraron en las estaciones frente al río Saija (0,59 µg/L) y río Micay (0,46 µg/L) de la zona López-Timbiquí, y Gorgonilla (0,43 µg/L) de la zona de Gorgona(Figura 5.3-13). Estas concentraciones posiblemente se deben a la actividad de transporte marítimo, turismo, venta de combustibles inadecuada en bombas flotantes, aguas residuales domésticas, aguas de sentina y residuos aleosos de aceites de motor, los cuales no superan el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la Unesco (1984) para aguas no contaminadas para la preservación de flora y fauna.

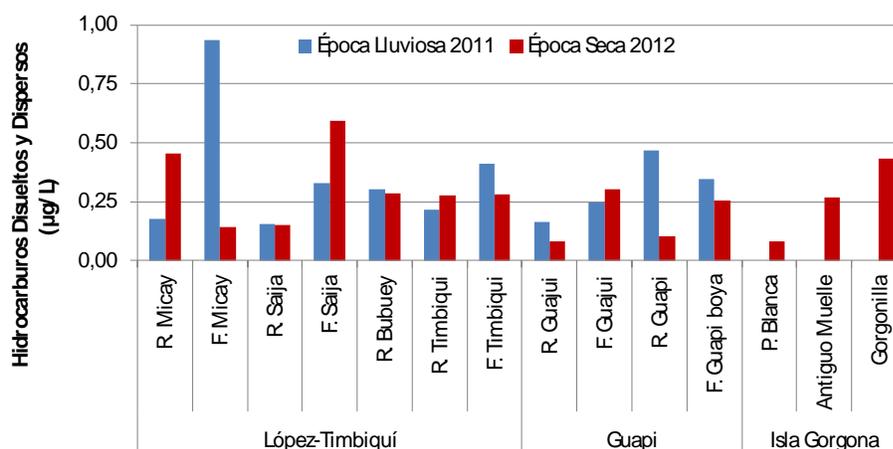


Figura 5.3-13. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos HDD (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012. La línea roja representa el Valor de Referencia (V.R.) para aguas contaminadas (10 µg/L) según UNESCO (1984).

Los registros históricos desde el 2001, muestran que las concentraciones promedio más altas se han registrado en la época seca en los ríos Guapi ($2,43 \pm 8,13 \mu\text{g/L}$) y Guajui ($2,22 \pm 5,64 \mu\text{g/L}$) y las estaciones Frente Guajui ($2,38 \pm 5,82 \mu\text{g/L}$) y Frente Guapi ($1,37 \pm 3,15 \mu\text{g/L}$) (Figura 5.3-14). Debido a la influencia de la venta de combustibles, actividad portuaria, transporte marítimo y las descargas de aguas servidas.

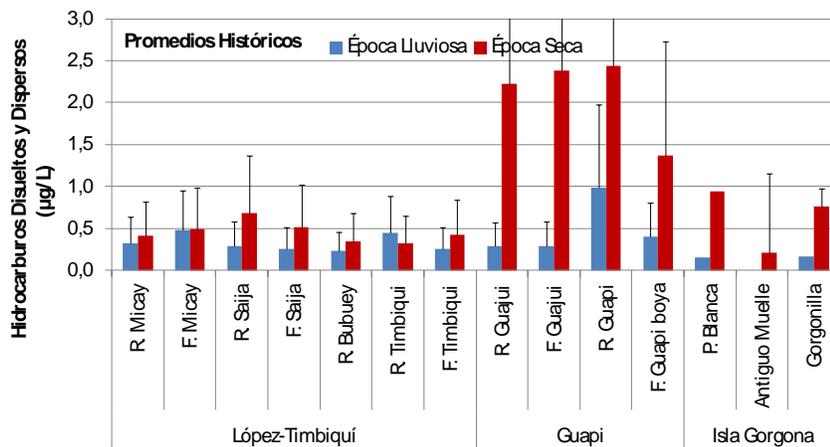


Figura 5.3-14. Promedios de las concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos HDD ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

El análisis temporal muestra que, si bien durante el periodo de análisis del presente informe las concentraciones más altas se registraron durante la época seca de 2012, en algunas estaciones no se ha observado una tendencia histórica similar ($p > 0,05$). La variación interanual muestra diferencias significativas ($p < 0,05$), registrando en el año 2001 concentraciones de HDD superiores al valor de referencia en los ríos Guapi ($31,80 \mu\text{g/L}$) y Guajui ($19,10 \mu\text{g/L}$), y frente Guajui ($19,60 \mu\text{g/L}$) y Frente Guapi ($10,30 \mu\text{g/L}$).

5.3.4 Plaguicidas

La información histórica de la REDCAM revela un descenso en la aparición y el contenido de plaguicidas organoclorados (OC) en las aguas costeras del departamento. Los mayores niveles de OC se determinaron en la zona costera de Guapi, especialmente para la época seca, donde se registraron, en el año 2001, valores de 94 ng/L , sobrepasando los niveles de alerta para plaguicidas (30 ng/L ; EPA, 1999). Éstas concentraciones son altas, si las asociamos al escaso desarrollo agrícola y los pocos habitantes de la llanura costera del departamento. Los promedios máximos de OC, se encontraron en la época seca de 2001 ($26,6 \pm 37,8 \text{ ng/L}$), 2002 ($8,7 \pm 4,2 \text{ ng/L}$) y 2004 ($8,9 \pm 6,9 \text{ ng/L}$); en los años siguientes, las concentraciones no sobrepasaron los $8,1 \text{ ng/L}$, evidenciándose una disminución importante en la presencia de plaguicidas clorados del 80%, en los primeros seis años, a niveles indetectables, en los últimos (Figura 5.3-15).

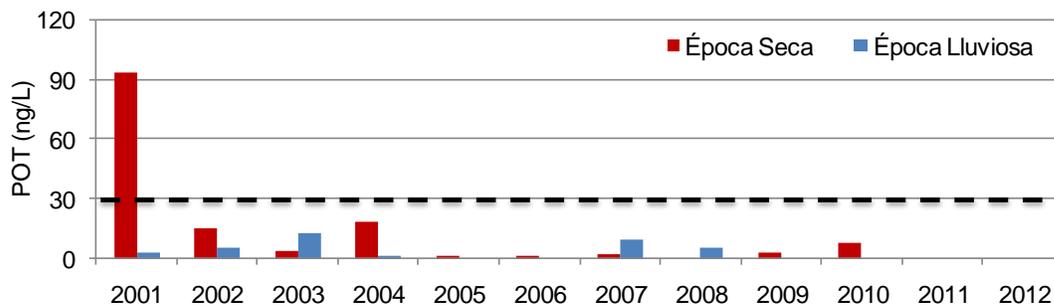


Figura 5.3-15. Rango de concentraciones de plaguicidas organoclorados (ng/L) medidas en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en estaciones de aguas superficiales de Cauca. La línea roja representa el Valor de Referencia (30 ng/L ; EPA, 1999).

Siempre ha sorprendido la determinación de las altas concentraciones de OC en las aguas costeras de Cauca. Puesto que el desarrollo agrícola en la llanura Pacífica caucana es incipiente, se estima que las concentraciones de OC encontradas, son originados por sustancias que entraron al medio producto de otras actividades además de la agricultura; como son las campañas para el control de vectores transmisores de malaria, la inmunización de la madera (en aserríos y hogares), adicionalmente, la colonización de la llanura pacífica puede ser otra fuente de estos compuestos, al favorecer la implantación de cultivos ilícitos favorecido por el desplazamiento de cultivadores provenientes de los departamentos de Meta y Putumayo (Vivas-Aguas et al., 2010). No obstante, investigaciones anteriores a la REDCAM, realizadas entre 1992 y 1995, determinaron valores promedios de 19,2 y 87,3 ng/g, en sedimentos y organismos (bivalvos) respectivamente, los cuales son relativamente altos, comparables con los reportados en sectores cercanos a zonas de mayor desarrollo agrícola, como la Ciénaga Grande de Santa Marta (Magdalena) y la ciénaga de la Virgen (Bolívar) (Casanova, 1996).

Como se indicó anteriormente, las estaciones del sector sur, especialmente los ríos Guajui, Guapi y Timbiquí, son los que más escurren plaguicidas hacia el océano, mientras que en las estaciones del sector norte, se presentan riesgos de contaminación bajos. Las grandes variaciones y la presencia de trazas de OC permiten suponer que se están drenando sustancias que fueron aplicadas hace tiempo y que se encuentran disponibles debido a su persistencia.

En el 2009, se inició el monitoreo de un nuevo grupo de moléculas que conforman plaguicidas de uso actual, entre las cuales están: diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenamifos, Cis y Trans-permetrina. En los tres años que se llevan monitoreando estas nuevas moléculas, sólo se ha detectado permetrina en el 2010, en la estación Planchón Emisario (19 ng/L), ubicada en la isla Gorgona, probablemente debido a su amplio uso como insecticida doméstico. Los niveles se encuentran por encima del nivel de referencia dado por la NOAA de 1 ng/L para efectos crónicos en agua marina (Buchman, 2008); sin embargo, no hay establecido un nivel para efectos agudos, por lo cual debe mantenerse la vigilancia sobre estas nuevas sustancias ya que son de un uso más generalizado.

5.3.5 Metales Pesados

En la zona costera del departamento del Cauca, la información acerca de la presencia de metales pesados es limitada; no obstante, se tienen como referencia de posibles fuentes de contaminación las actividades de explotación minera (extracción de oro) llevadas a cabo en las cuencas de los ríos Timbiquí, Bubuey, Saija y Micay, además del inadecuado manejo de las aguas servidas de los municipios aledaños a las cuencas de los ríos principales y la disposición de los residuos sólidos.

En el periodo comprendido entre la época de lluvias de 2011 y la época seca de 2012, se analizaron los metales cadmio (Cd) cromo (Cr) y plomo (Pb) en las aguas superficiales del departamento de Cauca. Las mayores concentraciones de Pb se registraron en la época de lluvias (Figura 5.3-16), principalmente en la zona de Guapi, en las estaciones río Guapi (13,4 µg/L) y río Guajui (11,6 µg/L). En la época seca de 2012, todas las concentraciones de Pb estuvieron por debajo 4 µg/L, excepto en la estación Frente Timbiquí (6,0 µg/L). Estos valores están por debajo a los referenciados en guías de calidad internacionales como de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; Buchman, 2008). Esta marcada disminución entre la época de lluvias y la época seca, puede ser atribuida al mayor aporte continental durante las precipitaciones que se presentaron en la época de lluvias de 2011 debido al fenómeno de "La Niña" y un menor aporte en la época seca debido al inicio de "El Niño".

En la época de lluvias de 2011, la concentración de Cd disuelto presentó en todas las estaciones valores inferiores al límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,25 µg/L); mientras que en la época seca de 2012, presentó concentraciones en todas las estaciones valores inferiores a 1,0 µg/L, la mayor

concentración se registró en la estación Frente Timbiquí (0,95 $\mu\text{g/L}$) en la época de lluvias de 2011 (Figura 5.3-17), valor muy por debajo de los valores referenciados en guías internacionales (40 $\mu\text{g/L}$, [Buchman, 2008](#)). De igual manera, la concentración de Cr disuelto en la época de lluvias de 2011 y la época seca de 2012, en todas las estaciones, estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,50 $\mu\text{g/L}$). Lo anterior muestra que no existe riesgo por contaminación en las aguas costeras de este departamento por estos elementos en el periodo analizado.

El análisis histórico en la zona costera del departamento de Cauca, muestra una distribución homogénea de las concentraciones promedio de Pb, Cr y Cd disueltos en las estaciones ubicadas en las dos zonas definidas para este departamento. La mayor concentración promedio de plomo ($16,5 \pm 21,0 \mu\text{g/L}$) se registra en la estación Frente Timbiquí en la zona de López – Timbiquí; además este elemento muestra una tendencia temporal donde las mayores concentraciones se registran, de manera general, en la época de lluvias (Figura 5.3-18).

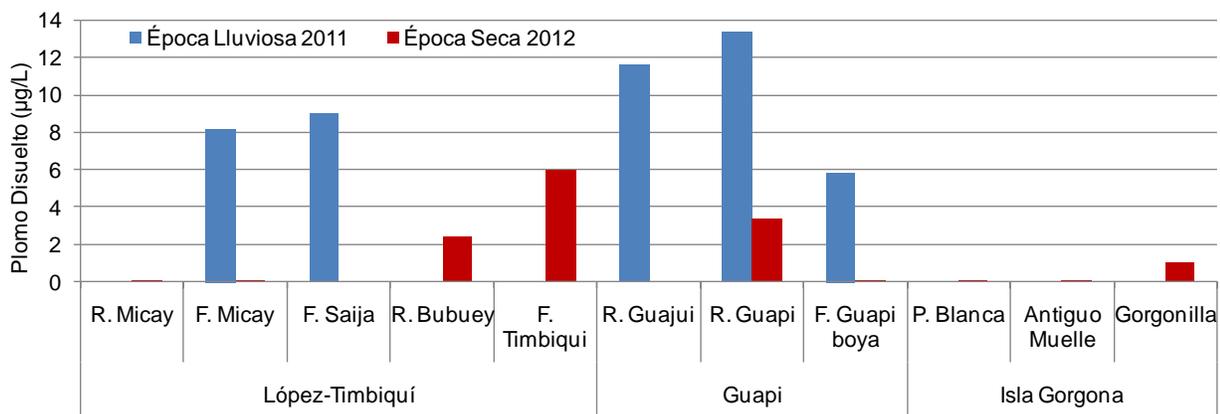


Figura 5.3-16. Concentraciones de plomo disuelto (Pb, $\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales de Cauca, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

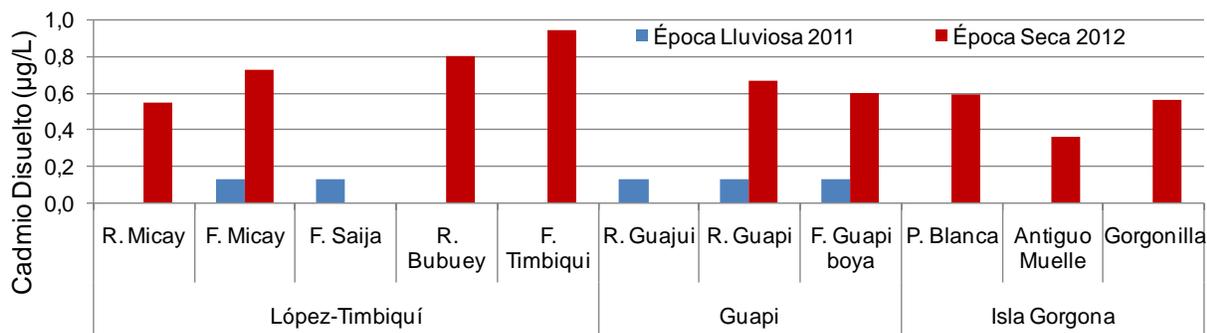


Figura 5.3-17. Concentraciones de cadmio disuelto (Cd, $\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales del Cauca, en la época lluviosa 2011 y la época seca 2012.

Sin embargo, en ninguna estación se ha rebasado el nivel de riesgo para efectos agudos en aguas marinas referenciados en guías internacionales (Pb 210 $\mu\text{g/L}$; [Buchman, 2008](#)). Para el cadmio se ha registrado la mayor concentración promedio ($4,7 \pm 5,3 \mu\text{g/L}$) en la época de lluvias en la estación río Bubuey (Figura 5.3-18). Las mayores concentraciones en este departamento se han registrado en general en la época de lluvias, sin embargo, en ninguna estación se ha rebasado el nivel de riesgo para efectos agudos en aguas

marinas referenciados en guías internacionales (Cd 40 µg/L; Buchman, 2008). El Cr ha sido el elemento con menor detección en aguas de este departamento, presentándose la mayor concentración promedio (9,3 ± 11,7 µg/L) en la estación Gorgonilla en la época de lluvias; no se evidencia alguna tendencia espacial en la presencia de este elemento en las aguas de la zona costera del departamento del Cauca, pero cabe notar que la mayor detección de este elemento se presenta en las épocas de lluvias. La concentración de todos los elementos analizados están muy por debajo de los valores referenciados en guías internacionales (210 µg/L Pb, 40 µg/L Cd, Buchman, 2008 y 50 µg/L Cr, Conama, 1986), por lo tanto no se considera un riesgo de contaminación para las aguas en la zona costera de este departamento por los metales analizados (Cd, Pb y Cr). En contraste, se registra una tendencia temporal en la presencia de estos elementos, lo que puede asociarse a los vertimientos de las actividades mineras que se realizan en las cuencas de los ríos que drenan en la zona costera de este departamento.

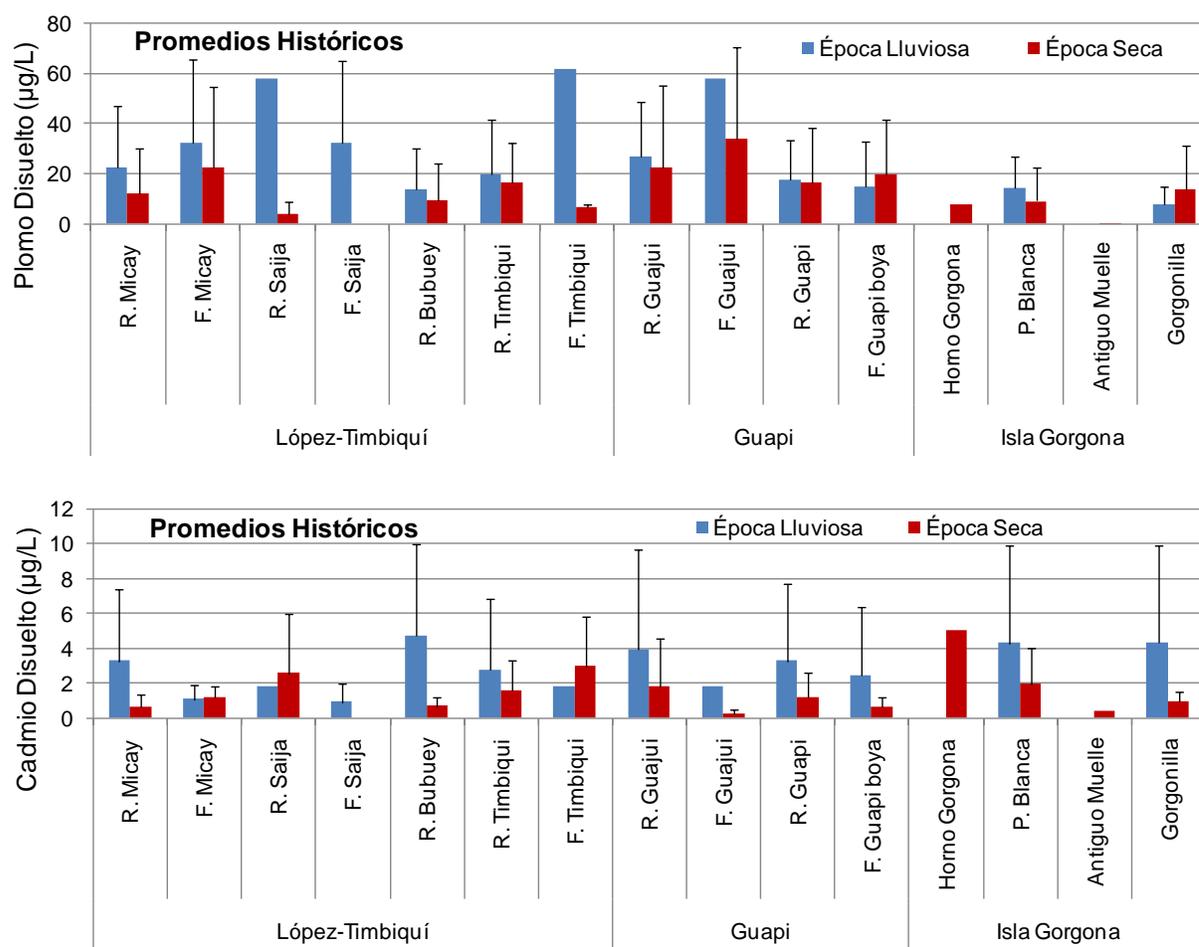


Figura 5.3-18. Concentraciones promedio de plomo y cadmio disuelto (µg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca de 2001 a 2012, en estaciones de aguas superficiales del departamento del Cauca. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

La evaluación histórica por épocas climáticas no muestra una tendencia estacional. No obstante, se ha observado una tendencia a disminuir de las concentraciones de Pb a partir de la época de lluvias de 2002. Por otro lado, es necesario destacar que durante el muestreo no se registraron concentraciones que superen el valor de referencia de la NOAA (210 µg/L; Buchman, 2008). Las mayores concentraciones promedio de Cd se registraron en la época de lluvias de 2001 y 2009 (1,79 ± 0,09 y 3,27 ± 0,23 µg/L, respectivamente), sin embargo, no se han registrado valores que rebasen al reportado por guías

internacionales para efectos agudos en aguas marinas superficiales ($40 \mu\text{g/L}$, Buchman, 2008). En general, las concentraciones de Cd han mostrado una tendencia a disminuir a lo largo del monitoreo, a excepción de la época de lluvias de 2009, durante la cual se evidenció un incremento en la concentración de este elemento pero que, a partir de la época seca de 2010, registraron valores por debajo de $1,0 \mu\text{g/L}$.

Con referencia a las concentraciones de Cr, no se ha presentado una tendencia marcada a lo largo del monitoreo. Las concentraciones registradas se encuentran por debajo de $2,5 \mu\text{g/L}$, a excepción de la época de lluvias de 2009 y seca de 2010, donde las concentraciones promedio fueron $4,37 \pm 3,87$ y $1,47 \pm 1,59 \mu\text{g/L}$, respectivamente, concentraciones que están muy por debajo de los valores de riesgo referenciados en la normatividad internacional ($50 \mu\text{g/L}$, Conama, 1986). No se evidencian problemas de contaminación por este elemento en las aguas costeras del departamento de Cauca.

En general, las concentraciones de los metales Cd, Cr y Pb medidos en las aguas costeras del departamento del Cauca son relativamente bajas con referencia a valores de normas internacionales, sin embargo, su persistencia en el medio, puede incrementar su biodisponibilidad a los ecosistemas adyacentes, repercutiendo negativamente en la calidad de las aguas costeras del departamento, tal como se ha expuesto con anterioridad en la problemática ambiental marina de otros departamentos. La presencia en el medio, aun en concentraciones muy bajas, puede deberse en parte por el inadecuado manejo de los residuos generados de la minería así como la mala disposición de los residuos industriales y domésticos. Es de notar que se evidencia un incremento en las concentraciones de estos elementos en el monitoreo de 2009 y 2010, de ahí la importancia de continuar con su monitoreo y extenderlo a la evaluación de otros elementos de interés ambiental (Hierro, Níquel, Zinc y Cobre) y a otras matrices ambientales como son los sedimentos, los cuales pueden dar un mejor indicativo del comportamiento y destino final de estos contaminantes.

5.3.6 Conclusiones

En general, se presentaron buenas condiciones de oxigenación en las aguas marino-costeras del departamento, cumpliendo con lo establecido en la norma colombiana para preservación y conservación de la vida acuática. En cuanto a pH, para la época seca del 2012, las estaciones ubicadas en aguas marinas presentaron valores ligeramente por encima del rango permisible, excepto la estación Frente Guajüi, que registró un valor de pH por debajo del límite permisible. La salinidad y la temperatura variaron entre estaciones y épocas de muestreo debido a la influencia en la cercanía de las estaciones a la costa, los aportes continentales y por las lluvias, que hacen que las aguas costeras sean menos salinas que las oceánicas. En la Isla Gorgona las concentraciones históricas de nutrientes (NID y FRS) indicando buenas condiciones para el desarrollo de vida acuática, en particular de los arrecifes. En cuanto a los SST el río Micay ha presentado las concentraciones más altas.

A nivel microbiológico, los mayores aportes de coliformes al mar provienen de los tributarios donde hay desarrollo urbano con deficiencia en el sistema alcantarillado, vertiendo aguas domésticas sin tratamiento directamente a los ríos. En cuanto a los contaminantes orgánicos, los residuos de HDD y plaguicidas son bajos y no representan riesgos para los organismos y ecosistemas.

En el análisis de metales pesados en aguas superficiales del departamento del Cauca, se evidencia una disminución de la concentración de Cd y Pb a lo largo del monitoreo. Los valores encontrados para los tres elementos (Pb, Cd y Cr) están muy por debajo de los valores de riesgo referenciados en guías internacionales; Aunque no se evidencian problemas de contaminación por estos metales en las aguas costeras del departamento, se recomienda continuar con su monitoreo y, ampliarlo a otros elementos de importancia ambiental (Hierro, Níquel, Zinc y Cobre) ya que su constante presencia en las aguas costeras puede deberse a las actividades mineras que se generan en las cuencas de los ríos de este departamento, y pueden quedar acumulados en los sedimentos costeros por lo cual se recomienda analizar la matriz sedimentaria.

Nariño



Arco del Morro en Tumaco, Nariño. Foto Julián Betancourt

5.4 NARIÑO

El Departamento de Nariño está situado en el sur -occidente del país, en la llanura del Pacífico, entre los 00° 20' y 02° 41' de latitud Norte y a los 76° 52' y 79° 10' de longitud Oeste. En este Departamento la REDCAM cuenta con 24 estaciones de muestreo distribuidas en tres zonas: la Zona Norte que se extiende desde la frontera con el departamento del Cauca (bahía de Guapo) hasta la punta Cascajal; una Zona central que comprende la Ensenada de Tumaco; y la Zona Sur que se extiende desde el río Mataje en el límite con el Ecuador hasta la Ensenada de Tumaco (Figura 5.4-1). El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos realizados los días 19 a 21 de septiembre del 2011 (época de baja precipitación) y del 5 al 7 de junio del 2012 (época de alta precipitación), en las tres zonas, con excepción de las estaciones: Harinera en el Estero Chanzará y el Río Iscuandé (La soledad) que fueron monitoreados únicamente noviembre de 2011.

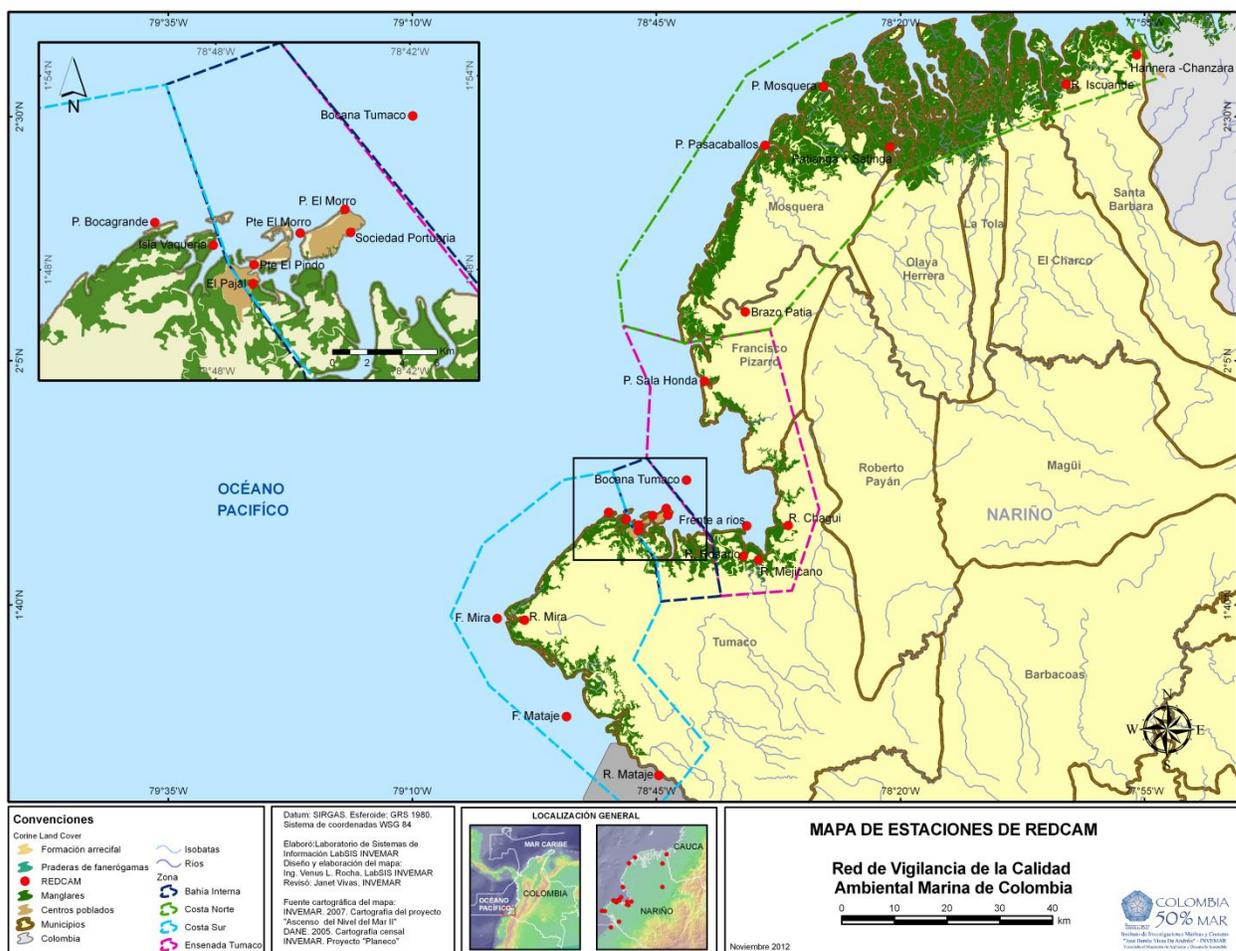


Figura 5.4-1. Estaciones y zonas de muestreo REDCAM en el departamento de Nariño

En la llanura Pacífica no se presenta una tendencia definida en las precipitaciones y más bien tiende a mostrar escasa diferencia entre las cantidades aportadas por cada mes en particular con valores 3000 - 4000 mm/a (IDEAM, 2005); sin embargo en términos generales, puede decirse que entre junio y julio la llanura costera se somete a una época de transición de húmeda a seca, en la que las lluvias disminuyen paulatinamente con rangos que oscilan entre los 150 a 200 mm/mes; y la época seca se ubica entre agosto y noviembre, con promedios entre los 50 a 100 mm/mes (Tejada *et al.*, 2003).

La zona costera se caracteriza por una exuberante vegetación; se subdividen en el andén aluvial o zona de mangle y la llanura del bosque húmedo, que se extiende hasta las estribaciones de la cordillera occidental. Sin embargo, la región viene siendo afectada por la irracional deforestación causada por los colonos, principalmente en las áreas aledañas a los ríos Mataje, Mira, Patía, Sanquianga, Satinga y Tapaje (Gobernación de Nariño, 2012).

En la zona costera Norte se encuentra un importante parque Nacional Natural (Sanquianga) donde se está el equivalente al 53% de los manglares del departamento de Nariño y 20% del Pacífico colombiano (PNNC, 2012). Las principales cuencas hidrográficas es la de los ríos Patía y Sanquianga cubre una extensión cercana a los 24000 Km². en esta zona se encuentra los municipios costeros de Francisco Pizarro (Salahonda), Mosquera, Olaya Herrera, la Tola, El charco e Iscuande. Las actividades económicas más importantes corresponden a la explotación de los recursos naturales, el sector pesquero y le sigue en importancia los sectores agrícolas y forestales.

La zona de la Ensenada de Tumaco esta conformada por dos cuencas, la Suroriental, formada por los ríos Rosario, Mejicano, Caunapí, Gualajo e Imbilpi, y la Oriental, conformada por los ríos Changüí, Tablones, Colorado y Curay. De estos ríos, el principal es el Rosario con 530,8 Km². En esta zona se ubican el mayor numero de habitantes y de actividades económicas, en el municipio de Tumaco (aprox. 166000 habitantes; Gobernación de Nariño, 2012), que giran alrededor de actividades como la agricultura (palma), la ganadería, la minería, la pesca, el comercio, el turismo y las actividades del puerto
La zona Zur pertenece al área del municipio de Tumaco, en ella las principales cuencas hidrográficas corresponden a los ríos Mataje y Mira, ambas transnacionales, la hoya hidrográfica del Mira correspondiente a Colombia cubre una extensión de 4800 km², y las actividades económicas que se desarrolla en estas cuencas están asociadas básicamente al cultivo de palma africana.

5.4.1 Variables Fisicoquímicas

5.4.1.1 *In situ*

Temperatura

La temperatura superficial del agua presentó valores que oscilaron entre 25,0 y 30, 0°C durante la época de precipitaciones bajas de 2011 y entre 25,4 y 30,5°C durante la época de precipitaciones altas de 2012. Las fluctuaciones entre estaciones y épocas no fueron mayores a 5,0°C. Las temperaturas fueron ligeramente más bajas en las estaciones de ríos en los sectores Norte y Sur, como Iscuandé (24,9°C), Patianga-Satinga (25,7°C), Mira (25,0°C) y Mataje (25,4°C) y más altas en la mayoría de las estaciones ubicadas al interior de la Ensenada de Tumaco y la Bahía interna debido a que son zonas más someras. La estación Frente a ríos registró el valor más alto en la época de precipitaciones altas del 2012 (30,5°C) y del periodo de evaluación (Figura 5.4-2). En general la temperatura no presentó un patrón de variación por épocas de muestreo ya que esta variable obedece más a factores como la hora de muestreo y la profundidad del sitio la cual se ve afectada por la variación mareal en esta región; y también existen factores de carácter regional que afectan las estaciones más alejadas de la costa como son la influencia de aguas cálidas de la contracorriente Ecuatorial, las corrientes de Panamá y Costera de Costa Rica y las corrientes frías de Perú y Colombia que determinan el patrón de distribución de parámetros, físicos químicos y biológicos en el área, tanto a nivel espacial y temporal (CCCCP, 2002).

Salinidad

Durante el periodo evaluado la salinidad mostró cambios entre las épocas de bajas y altas precipitaciones con valores que oscilaron entre 6,9 y 29,8 y entre 7,3 y 28,2 respectivamente. La salinidad en agua de ríos generalmente es <0,2; sin embargo, por efecto de la marea en el pacífico colombiano, la intrusión marina

en el río puede superar los dos kilómetros, por lo cual los sitios de muestreos (500 m arriba de la desembocadura) son afectados por las aguas marinas. Este efecto es más sobresaliente en los ríos que desembocan en la Ensenada de Tumaco (los ríos Chagüi, Mexicano y Rosario) y en la estación del Brazo del río Patía en la costa Norte (Figura 5.4-3) porque en estos sitios prevalecen las condiciones de estuario debido a la mezcla inducida por las mareas.

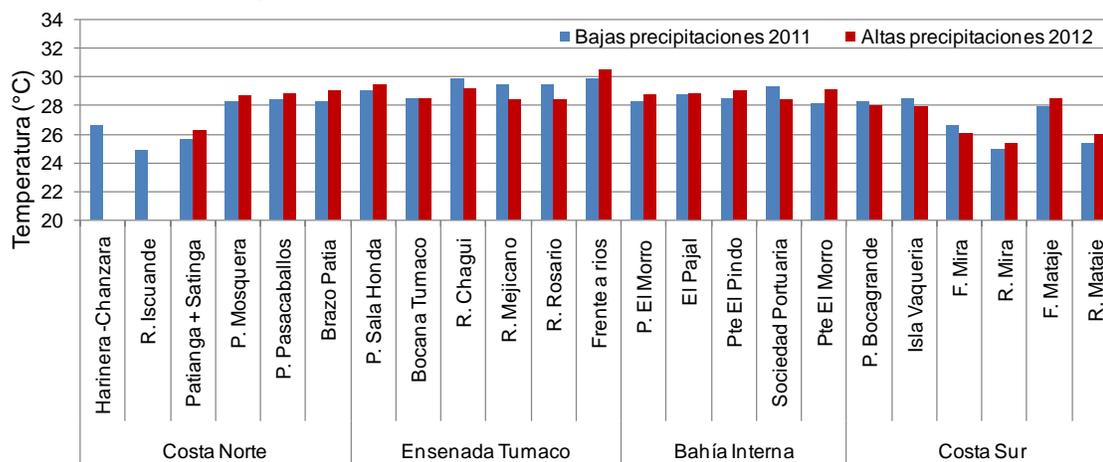


Figura 5.4-2. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño, medida en la época de precipitaciones bajas de 2011 y la época de precipitaciones altas de 2012.

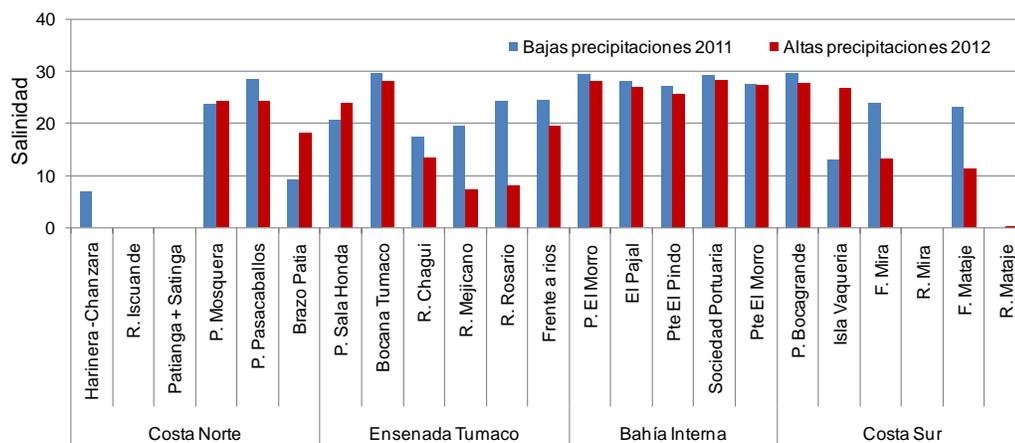


Figura 5.4-3. Salinidad del agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño medida en la época de precipitaciones bajas de 2011 y la época de precipitaciones altas de 2012.

Si bien, la variabilidad de la salinidad está asociado a procesos climáticos como el patrón de precipitaciones y a la intensidad en los aportes de los ríos que descargan en el mar (Giraldo *et al.*, 2008). Sólo dos estaciones presentaron salinidades más altas durante el periodo de precipitaciones altas (las estaciones del Brazo del río Patía e Isla Vaquería), sin embargo esto puede estar asociado al efecto de la marea en el momento de muestreo, este se realizó durante el periodo en que las aguas marinas (con mayor salinidad) estaba ingresando (Figura 5.4-3).

pH

Naturalmente el pH de los ríos es más ácido que el de las aguas marinas, por esta razón las estaciones se agrupan por tipo de agua, no por zona (Figura 5.4-4). En el periodo de estudio, el pH presentó, como era

de esperar, mayor variación entre los dos monitoreos para aguas fluviales con un rango de 7,07 a 8,48 unidades de pH; mientras que para las aguas estuarinas y marinas la variación estuvo entre 7,44 y 8,50 unidades (Figura 5.4-4); ya que el agua de mar se comporta como una solución buffer por efecto del sistema de los carbonatos (Emerson y Hedges, 2008). El análisis histórico del comportamiento temporal, muestra que, tanto para aguas fluviales como estuarinas y marinas, sus valores promedio se han movido entre $6,92\pm 0,20$, $7,68\pm 0,47$ y $8,24\pm 0,09$; respectivamente, dentro del rango óptimo para la preservación y conservación de especies acuáticas (6,5 - 8,5) según lo establece el decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984).

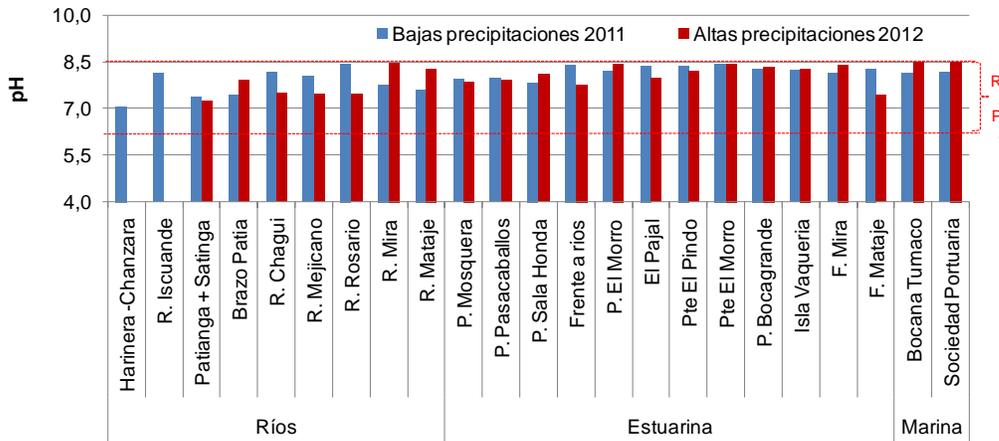


Figura 5.4-4. Valores de pH medidos en el agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño en la época de precipitaciones bajas del 2011 y la época de precipitaciones altas del 2012. Las líneas rojas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Oxígeno Disuelto

La variación de la marea en el Pacífico Colombiano tiene una importante influencia en la calidad de las aguas especialmente cuando se trata de cuerpos cerrados con características estuarinas como la ensenada de Tumaco (Castro *et al.*, 2001). En este ámbito la bahía presenta una clara variabilidad temporal en la concentración de oxígeno disuelto como resultado de la conectividad entre ecosistemas continentales y marinos. Esto se ve reflejado en los valores de OD obtenidos para los ríos Chagüi, Mejicano y Rosario, que en la época de 2012, estuvieron por debajo del límite permisible (4,0 mg/L; Minsalud, 1984) para la preservación y conservación de la vida acuática en niveles entre 1,82 - 2,52 mg/L, pero en la época de precipitaciones bajas presentaron concentraciones más altas (Figura 5.4-5). Además, otros factores que afectan la calidad de estas aguas son los aportes de materia orgánica y escurrimientos difusos provenientes de las actividades humanas en las cuencas altas que son transportados por la escorrentía.

El análisis histórico de los monitoreos de REDCAM para las aguas fluviales, estuarinas y marinas del departamento de Nariño muestra que la concentración promedio más bajas corresponde a los ríos Chagüi, Mejicano y Rosario (Figura 5.4-6), y el 46% de las veces estuvieron por debajo del límite permisible para la preservación de flora y fauna en aguas marinas o estuarinas. (MinSalud, 1984).

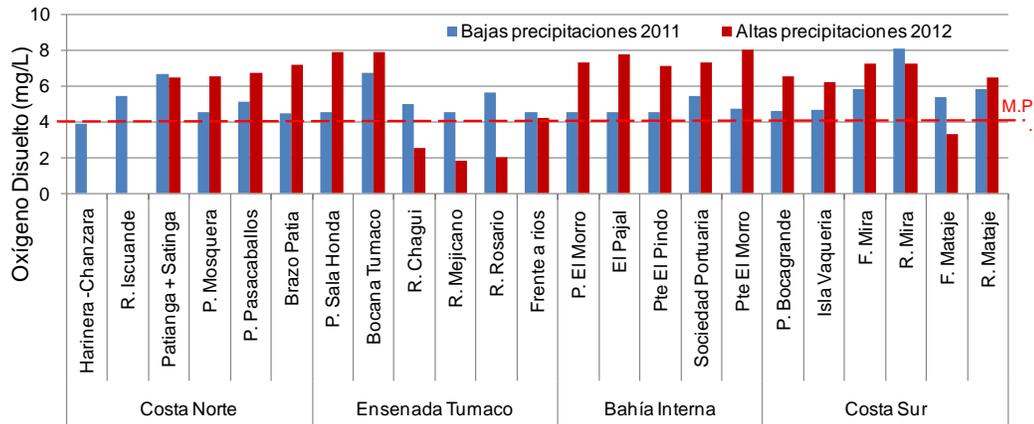


Figura 5.4-5. Concentraciones de oxígeno disuelto OD (mg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de Nariño en la época de precipitaciones bajas del 2011 y la época precipitaciones altas del 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

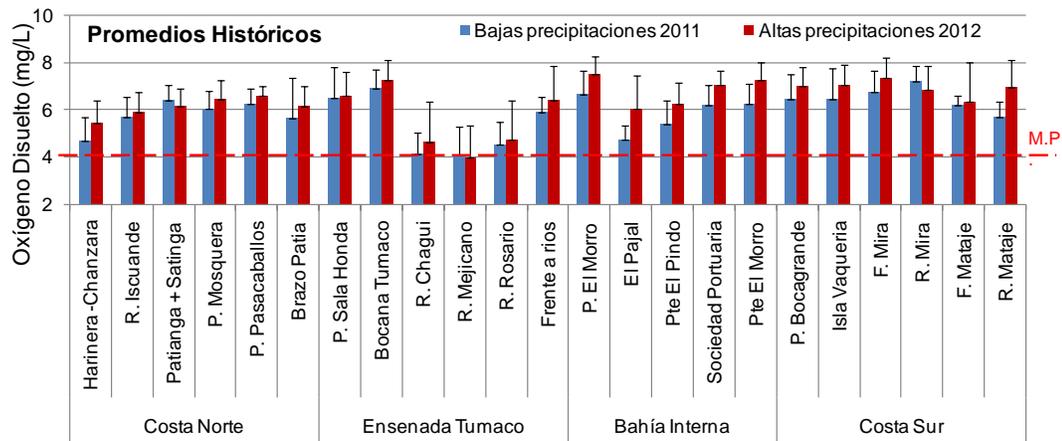


Figura 5.4-6. Promedio de la concentración de oxígeno disuelto OD (mg/L) en el agua superficial, medidas semestralmente en las estaciones del departamento de Nariño, en las épocas de precipitaciones bajas y altas entre el 2001 y 2012. La línea roja representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984). Las barras de error representan las desviaciones estándar.

5.4.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendidos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) durante el periodo de evaluación se hallaron en un rango entre 1,6 y 16,0 mg/L para la época de precipitaciones bajas del 2011 y entre 32,7- 526,0 mg/L para la de precipitaciones altas de 2012. Como se observa en la Figura 5.4-7, las concentraciones en el muestreo de precipitaciones altas fueron mayores en todas las estaciones con respecto al muestreo anterior, debido a que las lluvias generan escorrentía y erosión del suelo. Las estaciones que presentaron los valores más altos correspondieron a ríos o sus zonas de influencia; como las estaciones de los ríos Chagüi y la estación Frente a ríos en la Ensenada de Tumaco y la estación del río Patianga + Satinga en la zona Norte. Históricamente, las tres estaciones anteriores también han presentado los valores promedios más altos del departamento ($172,8 \pm 185,0$; $162,0 \pm 191,2$ y $159,2 \pm 137,2$ mg/L respectivamente).

Si bien, los últimos dos muestreos presentaron una diferencia entre ellos, históricamente esta diferencia entre épocas no se mantiene para todas las estaciones (Figura 5.4-8), y el factor más relevante en este

aspecto es la marea; ya que dependiendo de la altura mareal en que se realice el muestreo puede existir un efecto de dilución adicional, no asociado a la época climática, cuyo efecto se mezcla al promediar la información solo por épocas.

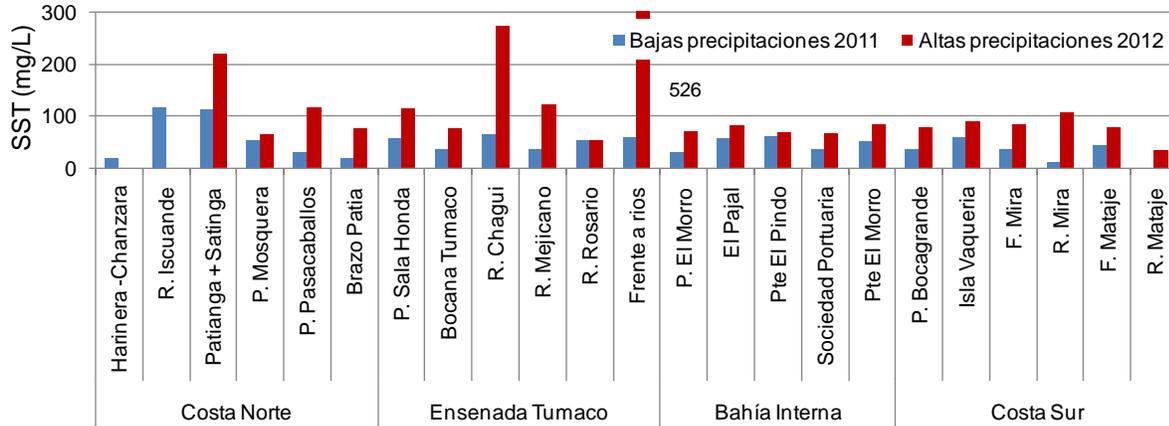


Figura 5.4-7. Concentraciones de sólidos suspendidos totales SST (mg/L) medidas en el agua superficial del departamento de Nariño en la época de precipitaciones bajas del 2011 y la época de precipitaciones altas del 2012.

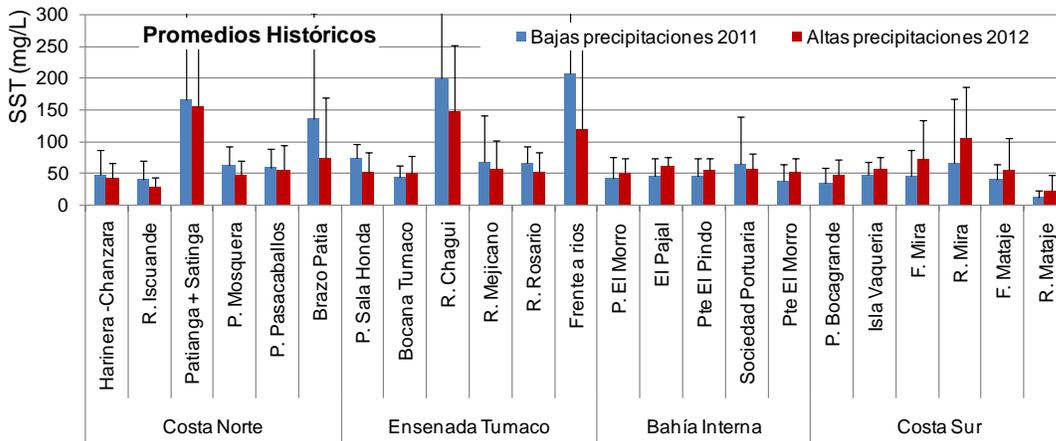


Figura 5.4-8. Promedios de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L) medidas semestralmente en la época de precipitaciones bajas y la de precipitaciones altas entre el 2001 y 2012 en el agua superficial del departamento de Nariño. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

Turbidez

La turbidez registrada durante el periodo de evaluación se halló en un rango entre 1.84 – 197 NTU (Figura 5.4-9). En la mayoría de las estaciones (60%), la turbidez fue menor de 25 NTU. En correlación con los niveles de SST, las aguas costeras del departamento fueron más turbias en la época de precipitaciones altas del 2012, y las estaciones del río Chagüi, frente a los ríos de la Ensenada y el río Patianga + Satinga también presentaron valores altos de turbidez.

Las aguas del río Iscuandé fueron las más turbias durante el 2011, sin embargo, sus niveles de SST no fueron los más altos, esto es consecuencia del tipo de sedimento arrastrado por el río, probablemente corresponde a material más fino de tipo arcilloso. Durante el 2012 las estaciones del sector de Iscuandé no pudieron ser monitoreadas para verificar una tendencia por época climática.

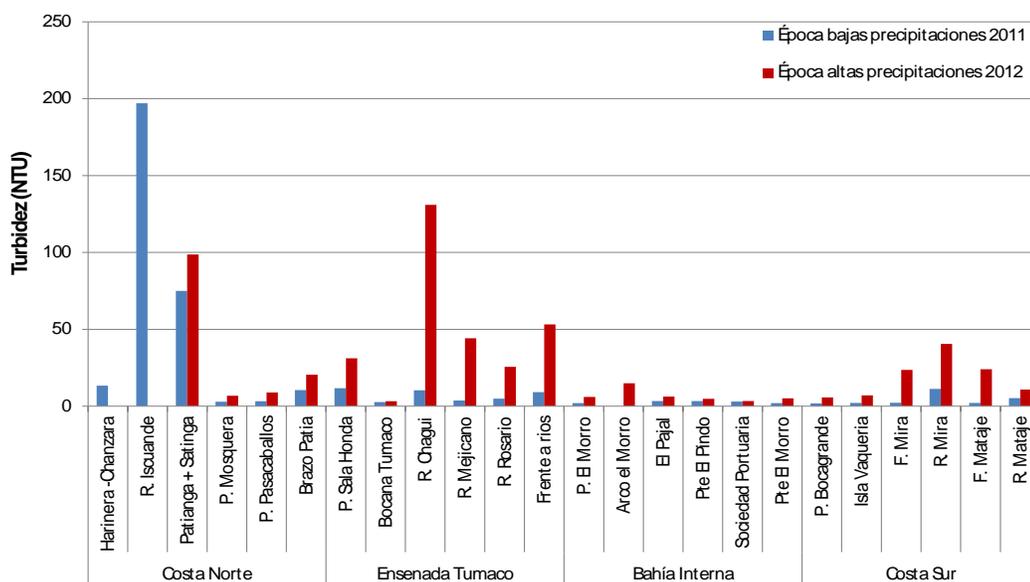


Figura 5.4-9. Turbidez (NTU) medida en las estaciones del departamento de Nariño en la época de precipitaciones bajas de 2011 y la de precipitaciones altas de 2012.

Nitrógeno Inorgánico Disuelto

El nitrógeno inorgánico disuelto (NID), es la suma del nitrógeno en las formas de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+). En general las mayores concentraciones de NID se registraron durante la época de precipitaciones altas del 2012, en las estaciones de los ríos con algunas excepciones como en el río Patianga + Satinga (75,1 $\mu\text{g/L}$) y el brazo del río Patía (101,6 $\mu\text{g/L}$); Para las estaciones de la bahía interna las concentraciones más altas se hallaron en la época de precipitaciones bajas del 2011, in embargo como se mencionó anteriormente esto puede ser efecto de la altura mareal en el momento del muestreo, ya que puede existir un efecto de dilución adicional independiente de la época. La Figura 5.4-10 también muestra que la principal entrada de NID al medio marino la representan los ríos que desembocan a la ensenada de Tumaco (hasta 249,7 $\mu\text{g/L}$) incluso en mayor proporción que la población de Tumaco representada por las estaciones de la bahía Interna (máximo 67 $\mu\text{g/L}$).

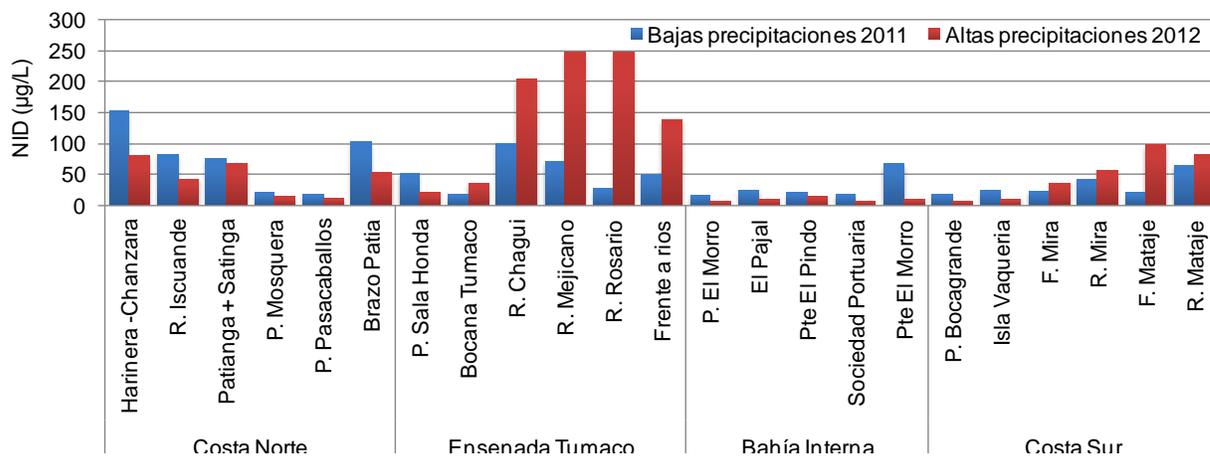


Figura 5.4-10. Concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño, en la época de precipitaciones bajas de 2011 y la de precipitaciones altas de 2012.

Históricamente, las mayores concentraciones de NID se han registrado en los ríos, especialmente los que desembocan en la ensenada de Tumaco (Chagüi, Mejicano y Rosario) y los ríos Patía, Mira y Mataje (Figura 5.4-11). En la bahía interna de Tumaco, el promedio más alto corresponde a la estación del Puente El Pindo ($56 \pm 54 \mu\text{g/L}$) del cual el 75% está representado por NH_4^+ debido a que este es un sector que recibe las aguas residuales de la población palafítica asentada en sus alrededores. Adicionalmente, la Figura 5.4-11 muestra que los ríos han sido la fuente más importante de NID al mar, particularmente en la época de precipitaciones altas cuando la escorrentía transporta los nutrientes de los suelos hacia los ríos y de allí son descargadas en el mar.

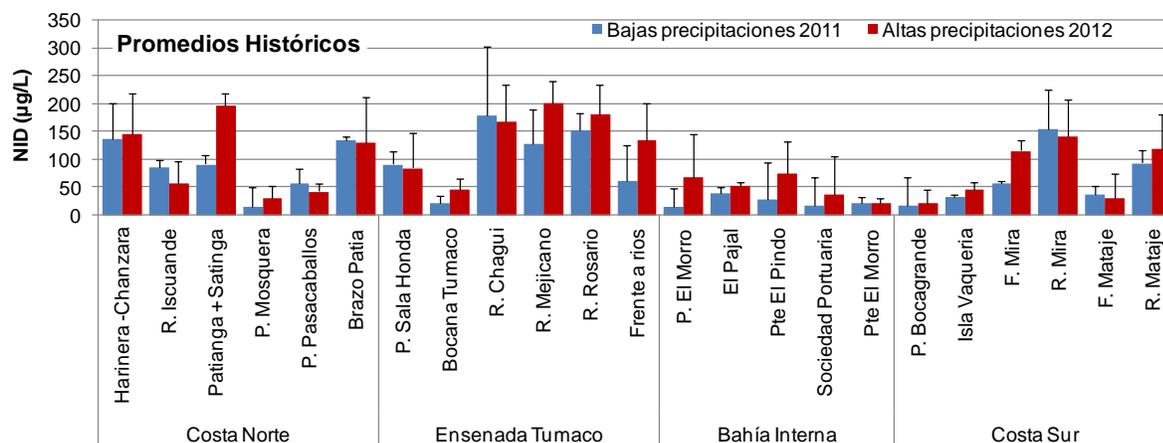


Figura 5.4-11. Concentraciones promedio de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época de precipitaciones bajas y la época de precipitaciones altas entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño. Las barras de error representan las desviaciones estándar

Fósforo Reactivo Soluble

Durante el periodo de evaluación los registros más altos de fosforo reactivo soluble (FRS; también conocido como fosforo inorgánico disuelto, o simplemente ortofosfato) se presentaron en los ríos Mira (592,3 $\mu\text{g/L}$) y Mataje (50,6 $\mu\text{g/L}$) durante la época de precipitaciones bajas (Figura 5.4-12) posiblemente por el escurrimiento de fertilizantes ya que en las dos cuencas hay una fuerte actividad agrícola (de palma africana); y en la época de precipitaciones altas los valores más altos se registraron en las estaciones del río Patianga + Satinga (73,5 $\mu\text{g/L}$) y en la playa Sala Honda (52,1 $\mu\text{g/L}$) posiblemente por el efecto de las poblaciones de Olaya Herrera y Francisco Pizarro respectivamente.

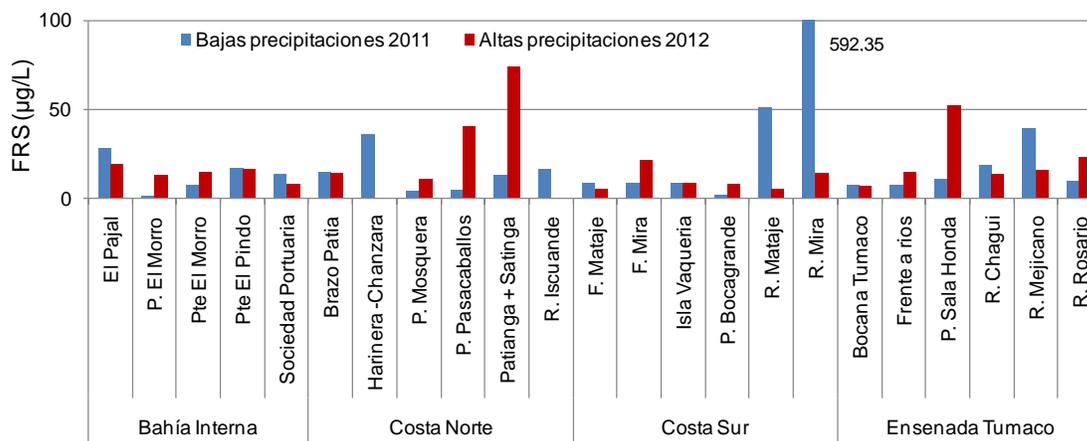


Figura 5.4-12. Concentraciones de fósforo reactivo soluble FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño, en la época de precipitaciones bajas de 2011 y la época de precipitaciones altas de 2012.

El análisis histórico, muestra que los mayores aportes de FRS a la zona costera del departamento del Magdalena se han producido a través de los ríos principalmente en las épocas de precipitaciones bajas (en los ríos Mira e Iscuandé; Figura 5.4-13); sin embargo, no se observa una diferencia entre épocas de muestreo lo cual obedece básicamente a que el muestreo se realiza en cualquier estado mareal lo que implica un efecto adicional sobre las concentraciones de FRS.

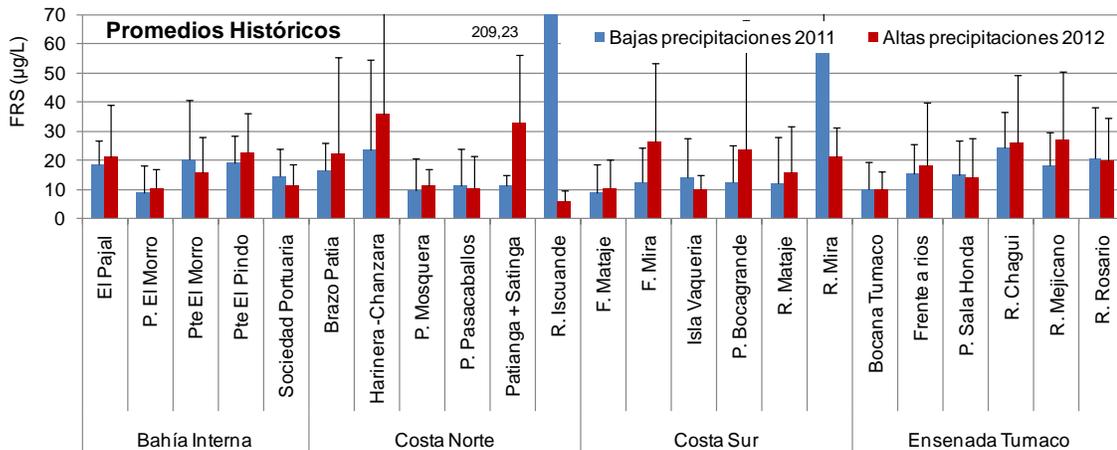


Figura 5.4-13. Concentraciones promedio de nitrógeno inorgánico disuelto NID ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época de precipitaciones bajas y la época de precipitaciones altas entre el 2001 – 2012 en el agua superficial del departamento de Nariño. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

5.4.2 Contaminación Microbiológica

Desde el 2001 se han realizado análisis microbiológicos a 17 estaciones ubicadas en 4 zonas, que representan aguas de tipo marino, estuarino y fluvial. Los tributarios del departamento se encuentran ubicados en 3 zonas que corresponden a Costa Norte con la presencia de 2 estaciones, la zona Ensenada de Tumaco con 3 estaciones y por último la zona Costa Sur con 2 estaciones.

Durante este periodo de monitoreo en cuanto a los tributarios de importancia y su aporte a la zona costera de Coliformes Totales (CTT), la estación río Patianga+Satinga presentó la mayor concentración de CTT en la época de precipitaciones altas con 160.000 NMP/100mL seguido del río Mataje con 28.000 NMP/100mL en la época de precipitaciones bajas; mientras que, la menor concentración fue reportada en la estación río Mejicano durante la época de precipitaciones altas del 2012 con 200 NMP/100mL de CTT (Figura 5.4-14 (a)) cumpliendo, esta última, con lo establecido en la legislación nacional para el desarrollo de actividades recreativas de contacto secundario.

De acuerdo con el registro histórico, el comportamiento promedio del río Patianga+Satinga ubicado en la zona Norte es el más alto del departamento con respecto a los otros tributarios (época precipitaciones bajas $6.000 \pm 0,70$ NMP/100mL; época de precipitaciones altas $10.000 \pm 0,10$ NMP/100mL), le siguen los ríos Mira y Mataje ubicados en la zona Sur. Mientras que los ríos Iscunde, Changuí, Mejicano y Rosario presentan los promedios históricos más bajo y que cumplen en general con los límites establecidos en la legislación nacional para el desarrollo de actividades de contacto secundario (Figura 5.4-14).

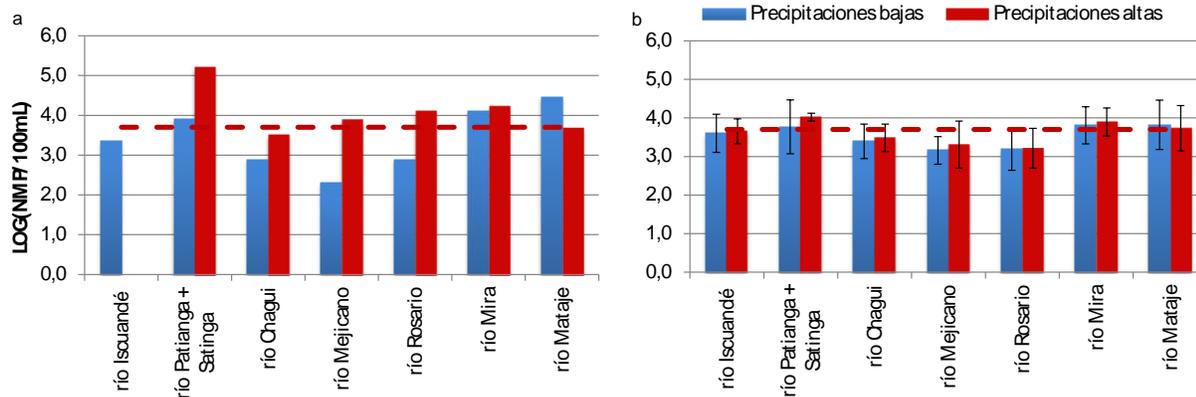


Figura 5.4-14 Concentraciones de Coliformes Totales (LOG NMP/100mL) medidas en aguas superficiales de Cauca. (a) época de precipitaciones bajas del 2011 y precipitaciones altas del 2012. (b) promedios históricos en la época de precipitaciones bajas y altas de 2001 – 2012. La línea roja equivale al valor de referencia para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (<LOG 5000 = 3,7 NMP/100 mL; MinSalud. 1984).

La calidad sanitaria de las 5 playas se evaluó por medio de las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) reportadas en las épocas de precipitaciones bajas y altas para el departamento (Tabla 5.4.1). Para el periodo evaluado 4 playas presentaron condiciones aptas para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario como la natación o el buceo (Minsalud, 1984). En cuanto a la Playa Sala Honda ubicada en la zona de la Ensenada de Tumaco, durante el periodo evaluado presentó concentraciones de CTE altas que incumplen con las condiciones establecidos para el uso del recurso a nivel de recreación, este balneario a nivel histórico ha presentado casos recurrentes de incumplimiento y puede estar relacionado directamente con la entrada de aguas servidas provenientes del municipio Francisco Pizarro y por la influencia del río Patía, que recibe los residuales domésticos de las poblaciones localizadas a lo largo de su cuenca (Garay et al., 2006). El uso de los coliformes como grupo indicador de la calidad de las aguas en las playas infiere la presencia de agentes patógenos que tras contacto o ingestión pueden causar variedad de afecciones tales como gastroenteritis, patologías respiratorias, dermatológicas e infecciones en oídos, nariz y garganta (Hose et al., 2005).

Tabla 5.4.1 Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE NMP/100mL) en las épocas de precipitaciones bajas y altas. En negrilla son los valores que superan el valor de referencia para aguas destinadas a actividades recreativas de contacto primario (< 200 NMP/100 mL; MinSalud. 1984).

Zonas	Playa	Época precipitaciones bajas 2011			Época precipitaciones altas 2012		
		(NMP/100mL)	% casos*	n	(NMP/100mL)	% casos*	n
Costa Norte	Playa Mosquera	20	13	8	20	30	10
	Playa Pasacaballos	20	25	8	130	10	10
Ensenada de Tumaco	Playa Sala Honda	5400	90	10	790	82	11
Bahía Interna	Playa El Morro	130	20	10	20	27	11
Costa Sur	Playa Bocagrande	20	12,5	8	130	25	8

5.4.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD, en el período de estudio se encontraron generalmente en un rango entre < 0,07 – 3,89 µg/L, durante la época lluviosa 2011 se encontraron las mayores concentraciones de HDD, en las estaciones la Harinera (0,63 µg/L); zona norte, río Rosario (0,92 µg/L); zona Ensenada de Túmaco, puente el Pindo (0,46 µg/L); zona bahía Interna e isla Vaquería (0,55 µg/L), mientras que en la época seca del 2012, los valores más altos se registraron en las

estaciones río Patia-Sanquianga (0,80 µg/L), zona Norte; Frente a Ríos (3,89 µg/L); zona Ensenada de Túmaco, puente el Morro (0,70 µg/L); zona bahía Interna y río Mira (2,44 µg/L), frente río Mira (1,25 µg/L) e Isla Vaquería (1,27 µg/L) en la zona sur (Figura 5.4-15). Estas concentraciones posiblemente se deben a la actividad portuaria, transporte marítimo, turismo, descargas de aguas servidas, expendios informales de combustible y lavaderos de vehículos en la zona. Cabe destacar que estas concentraciones no superan el valor de referencia de 10 µg/L (Unesco, 1984).

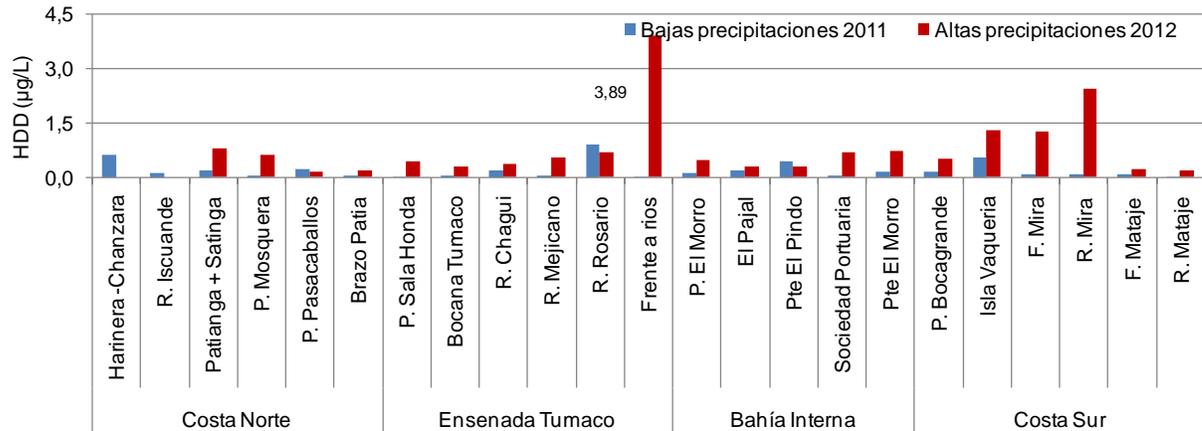


Figura 5.4-15. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos HDD (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño en la época de precipitaciones bajas del 2011 y la época de precipitaciones altas del 2012.

Los registros históricos desde el 2001, muestran que las concentraciones promedio más altas se han registrado en la época de precipitaciones altas en los ríos Iscuandé ($2,10 \pm 4,43 \mu\text{g/L}$) de la zona Norte, Mira ($2,38 \pm 3,24 \mu\text{g/L}$) y Mataje ($2,10 \pm 6,35 \mu\text{g/L}$) de la zona Sur; y estero el Pajal ($15,58 \pm 43,04 \mu\text{g/L}$) de la zona Bahía Interna (Figura 5.4-16), y han sido estos ríos los que aportan más HDD a la zona costera del departamento, debido a que en sus recorridos reciben aguas residuales o presentan un importante tráfico fluvial.

El análisis temporal muestra que si bien durante el periodo de análisis las concentraciones más altas se registraron durante la época de precipitaciones altas del 2012, en algunas estaciones, no se ha observado una tendencia histórica similar como ocurre en los ríos que desembocan en la Ensenada (Figura 5.4-16). La variación interanual ha mostrado diferencias al registrarse al comienzo del monitoreo (año 2001) las concentraciones más altas, incluso superiores al valor de referencia, en los ríos, Mataje $21,24 \mu\text{g/L}$, Iscuandé $13,0 \mu\text{g/L}$ y Mira $11,35 \mu\text{g/L}$, frente a los ríos Tapaje $33,7 \mu\text{g/L}$ e Iscuandé $19,9 \mu\text{g/L}$ y la bocana del río Iscuandé $13,4 \mu\text{g/L}$ y en 2006 en el estero el Pajal $61,43 \mu\text{g/L}$.

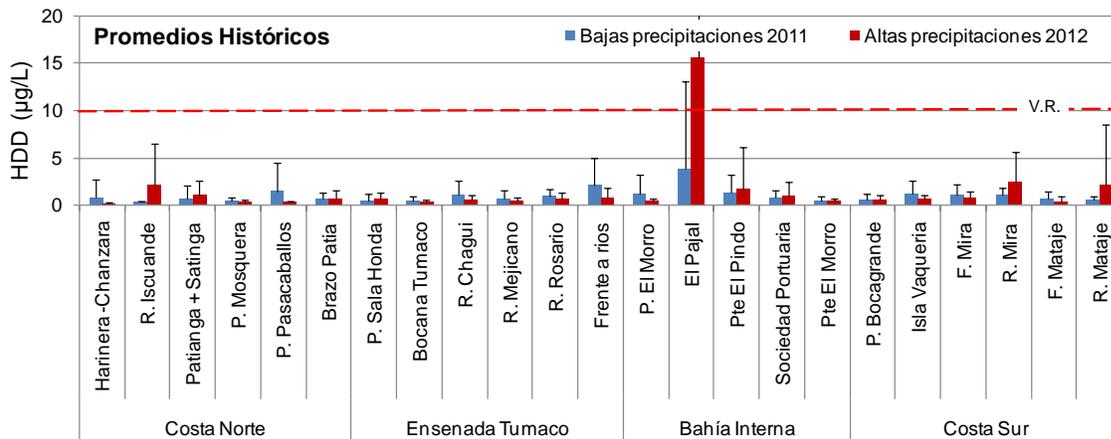


Figura 5.4-16. Promedio de las concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos HDD ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época de precipitaciones bajas y la época de precipitaciones altas de 2001 – 2012 en el agua superficial del departamento de Nariño. Las barras de error representan las desviaciones estándares. La línea roja representa el Valor de Referencia (V.R.) para aguas contaminadas ($10\ \mu\text{g/L}$) según el Unesco (1984).

5.4.4 Plaguicidas

Los resultados obtenidos por la REDCAM muestran que en algunos años las concentraciones de plaguicidas organoclorados (OC) han superado el valor de referencia de $30\ \text{ng/L}$ para aguas no contaminadas (EPA, 1999), en la época de precipitaciones altas de 2001 en las estaciones río Tapaje ($75,2\ \text{ng/L}$), Boca Tapaje ($66,9\ \text{ng/L}$), frente río Tapaje ($48,6\ \text{ng/L}$) y Boca Iscuande ($70,9\ \text{ng/L}$), en 2002 en la estación Salahonda brazo Patía ($70,3\ \text{ng/L}$), en 2004 la Bocana de Tumaco ($78,7\ \text{ng/L}$) y en el 2008 se registró la concentración más alta del departamento ($124,9\ \text{ng/L}$ en el Puente el Morro). En los años restantes se aprecian rangos de concentración que oscilan entre $0,1 - 27\ \text{ng/L}$, sin presentar niveles que causen impacto sobre el medio marino, y en los últimos años han sido indetectables (Figura 5.4-17).

La tendencia descendente que tenían las concentraciones de OC desde el 2005 se interrumpió en el 2008 cuando se registraron valores más altos. Sin embargo, esto obedeció a la implementación del análisis de nuevas moléculas, la capacidad de determinación se incrementó de 12 a 22 moléculas, lo que significó que se cuantificaran moléculas que antes no se tenían en cuenta como el Nanoclor que fue el compuesto de detectado en ese nivel cerca a la ciudad de Tumaco ($124\ \text{ng/L}$).

Los resultados también indican que el mayor aporte de OC ha tenido lugar a través de los ríos del sector sur, principalmente residuos de DDT y sus isómeros, debido a que en su recorrido atraviesan zonas agrícolas dedicadas al cultivo de palma africana, cacao, algunos cultivos ilícitos; y a los ríos Patía y Mira escurren corrientes que drenan los cultivos de papa de Túquerres, Pasto e Ipiales, uno de los principales productos agrícolas del departamento y que más requiere el uso de agroquímicos (MMA/PNUMA/UCR/CAR, 2000). La inmunización de la madera y las campañas de fumigación para la prevención de la malaria pudieron ser otras fuentes de OC al medio. Otros sectores con frecuencia alta de plaguicidas son la ensenada de Tumaco (estaciones Frente a Ríos y Bocana); y en el Norte del departamento el Río Iscuande y la estación Playa Pasacaballos; en esta última, debido a la influencia de los ríos Sanquianga y Satinga que desembocan muy cerca de esta playa.

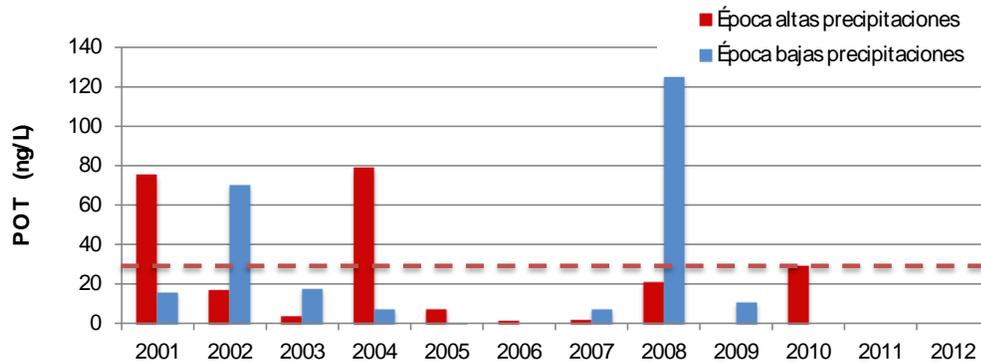


Figura 5.4-17. Rango de las concentraciones de plaguicidas organoclorados POT (ng/L) medidas en la época de precipitaciones altas y la época de precipitaciones bajas entre el 2001 – 2012 en el departamento de Nariño. La línea roja representa el Valor de Referencia V.R. (30 ng/L; EPA, 1999).

Los estudios realizados en el departamento anteriores a la REDCAM presentaron valores promedio de 19,9 y 121,28 ng/g de OC en sedimentos y organismos (bivalvos) respectivamente; de la misma magnitud a los reportados en sectores cercanos a zonas de mayor desarrollo agrícola como la Ciénaga Grande de Santa Marta (Magdalena) y la ciénaga de la Virgen (Bolívar) (Casanova, 1996); y en 1995 la International Mussel Watch y la National Status and Trends (NS&T), reportó para la bahía de Tumaco concentraciones de DDT total en bivalvos entre 10 y 100 ng/g (Sericano et al., 1995); lo que supone que también las concentraciones en aguas fueron igualmente altas o recurrentes en el tiempo.

En el 2009 se inicio el monitoreo de un nuevo grupo de moléculas que conforman plaguicidas que se usan actualmente. Nueve moléculas entre las cuales están: diuron, diazinon, clorotalonil, metil paration, bromacil, clorpirifos, fenaminfos, Cis y Trans-permetrina; en los tres años que se llevan monitoreando estas nuevas moléculas sólo se detectó en el 2010 Metil Paration en el río Mejicano (17,4 ng/L), Bocana Ensenada de Tumaco (17,5 ng/L) y Frente a Ríos (19,1 ng/L) debido a la influencia de los ríos Rosario, Chagui y Tablones que desembocan en la Ensenada. Los niveles para estas nuevas moléculas se encuentran por debajo del valor capaz de producir toxicidad en el plancton (Tabla 5.4.2).

Tabla 5.4.2. Concentraciones de plaguicidas encontradas en aguas superficiales de Nariño desde 2010-2012.

Época	Estación	Metil paration (ng/L)
Precipitaciones altas 2010	R. Mejicano	17,4
	Boca ensenada de Tumaco	17,6
	Frente a ríos	19,1
Efectos tóxicos en el plancton	Walsh y Alexander (1980)	5,3x10 ⁶

5.4.5 Metales Pesados

En las aguas costeras del departamento de Nariño la información sobre contaminación por metales pesados ha sido puntual y en su mayoría tomada en la ensenada de Tumaco, no se tienen otros datos de la calidad marina de toda la zona costera del departamento, por lo cual el monitoreo de la REDCAM, se convierte en un buen acercamiento del estado de las aguas costeras. En las cuencas de algunos ríos del departamento se realizan actividades de extracción de oro, especialmente en los Municipios de Barbacoas, Magüi, Sotomayor y Cumbitara, cuyos residuos son drenados al río Patía. En la costa del departamento, se llevan a cabo procesos diversos: de transporte, mezcla, morfodinámicos, trofodinámicos, energéticos y químicos, entre otros. Influidos externamente por los factores atmosféricos (precipitación, radiación solar, vientos), oceánicos (olas, mareas, corrientes), terrestres (nutrientes y sedimentos), antropogénicos

(desechos industriales y domésticos) lo cual favorece que se presenten grandes fluctuaciones en las condiciones del medio, de una u otra forma puede explicar el comportamiento y la presencia de algunos de los tóxicos analizados (Garay y Vélez, 2004).

En el periodo evaluado se analizaron los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y cromo (Cr) en las aguas superficiales. Las mayores concentraciones de Pb se registraron en la época de precipitaciones bajas (Figura 5.4-18) principalmente en la zona de la Costa Norte registrando el valor mas alto en la estación Harinera Chanzará (14,25 µg/L). Sin embargo, estos valores son bajos con relación a los referenciados en guías de calidad internacionales como de la U.S. *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; Buchman, 2008). En la época de precipitaciones altas del 2012, todas las concentraciones de Pb estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,15 µg/L), excepto en la estación Sociedad portuaria (5,05 µg/L) en la zona de la bahía interna.

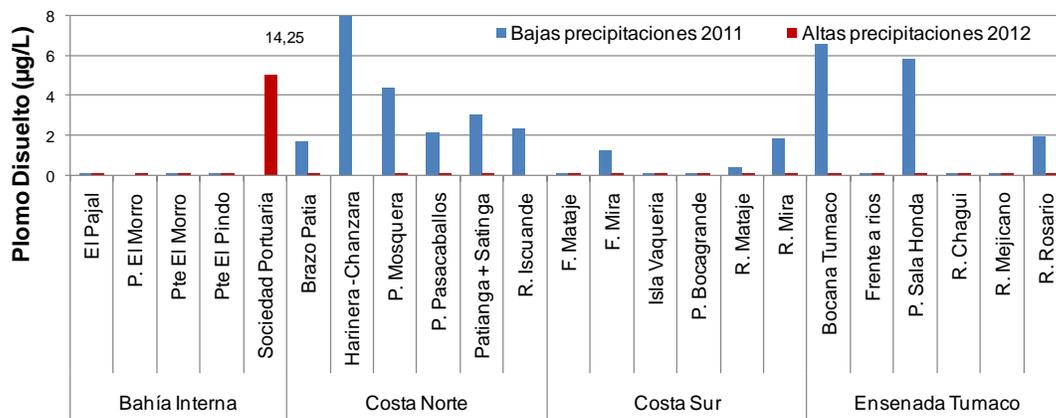


Figura 5.4-18. Concentraciones de plomo Pb disuelto (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento de Nariño, en la época de precipitaciones bajas del 2011 y la época de precipitaciones altas del 2012

En las dos épocas evaluadas las concentraciones de Cd y Cr disuelto estuvieron en todas las estaciones por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,25 y 0,50 µg/L respectivamente). Mostrando que no existe riesgo por contaminación por estos elementos en las aguas costeras del departamento de Nariño en el periodo analizado.

El análisis histórico de los monitoreos REDCAM en la zona costera del departamento de Nariño muestra que no hay una tendencia espacial de las concentraciones promedio de Pb, Cr y Cd, en cuanto a las épocas climáticas se evidencia una tendencia temporal en la cual las mayores concentraciones se registran en la época de bajas precipitaciones (Figura 5.4-19). Sin embargo, la concentración de todos los elementos analizados esta están muy por debajo de los valores referenciados en guías internacionales (210 µg/L Pb, 40 µg/L Cd, Buchman, 2008 y 50 µg/L Cr, Conama, 1986), por lo tanto no se estima como en riesgo de contaminación las aguas en la zona costera de este departamento por los metales analizados (Cd, Pb y Cr).

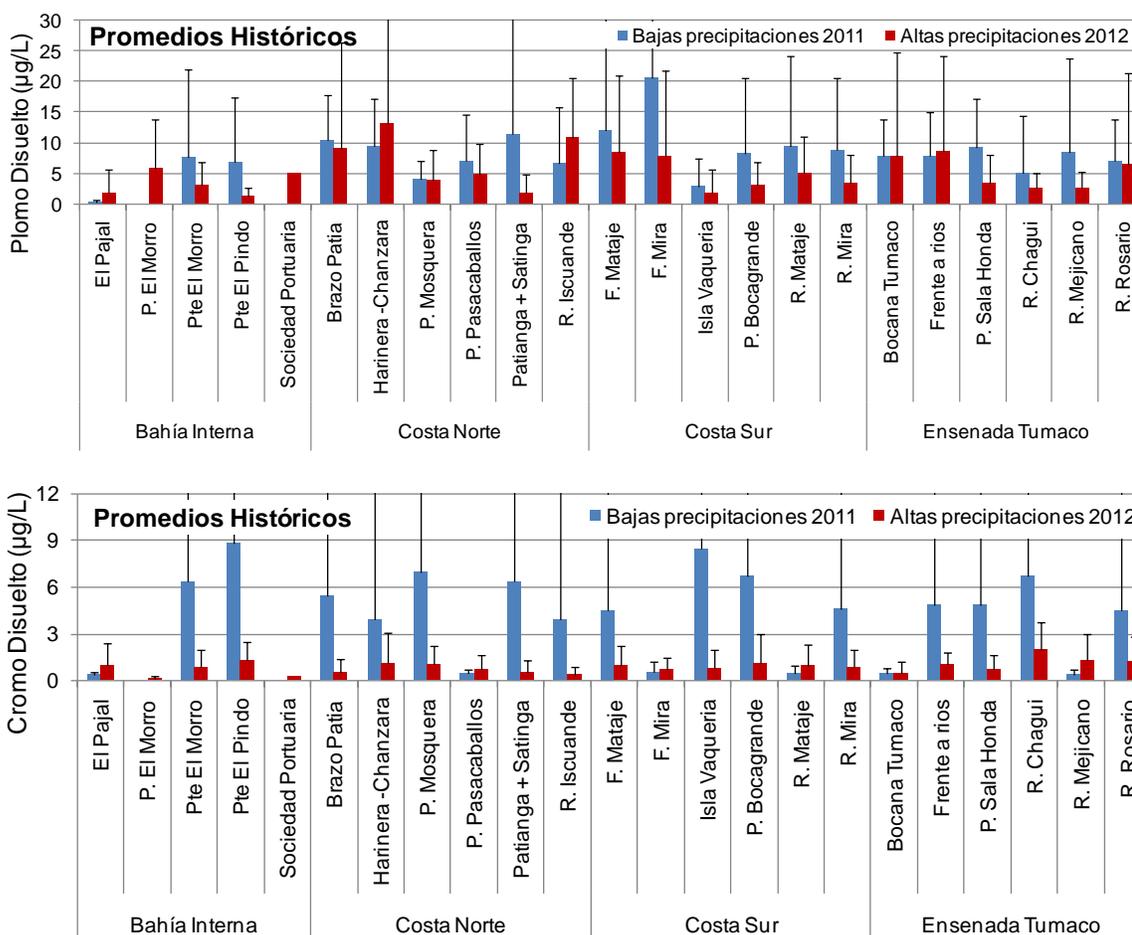


Figura 5.4-19. Concentraciones promedio de plomo Pb y cromo Cr disueltos (µg/L) medidas semestralmente en la época de precipitaciones bajas y la época de precipitaciones altas de 2001 a 2012 en el agua superficial del departamento de Nariño. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

La evaluación histórica por épocas climáticas no muestra una tendencia estacional, no obstante, se ha observado una tendencia descendente en las concentraciones de Pb hasta llegar a valores inferiores al límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,15 µg/L). En general desde la época de precipitaciones altas del 2008 las concentraciones de este elemento han estado por debajo de 15 µg/L, que es 14 veces menor al valor de referencia de la NOAA (210 µg/L; Buchman, 2008).

Las concentraciones de Cd han mostrado una tendencia descendente, con un leve incremento en el año 2009 en la época de bajas precipitaciones. No obstante, a partir de la época de altas precipitaciones del 2010 hasta la fecha las concentraciones han estado por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada (0,15 µg/L), con excepción de la estación Salahonda que en la época de precipitaciones altas de 2011 presentó un valor atípico (192 µg/L) siendo este valor superior del referenciado en guías internacionales (40 µg/L Cd, Buchman, 2008). Por otra parte las concentraciones de Cr han mostrado un comportamiento similar al Cd, presentaron las mayores concentraciones en la época de precipitaciones altas de 2009. No obstante, las concentraciones registradas (máximo 25µg/L) están por debajo de los valores de riesgo referenciado en normatividad internacional (50 µg/L, Conama, 1986). A partir de la época de precipitaciones bajas de 2010 hasta la fecha todas las concentraciones registradas han estado por debajo del límite de detección de la técnica analítica (0,50 µg/L).

En general se evidencia que en las épocas de precipitaciones bajas se presentan las mayores concentraciones de los elementos analizados en las aguas marino-costeras de este departamento. Aunque las concentraciones registradas en el departamento no rebasan los límites en las guías internacionales, su presencia reviste importancia y por lo tanto es indispensable continuar con su monitoreo y extender la evaluación a otros elementos de interés ambiental (hierro, níquel, zinc y cobre) y a otras matrices ambientales como son los sedimentos los cuales pueden dar un mejor indicativo del comportamiento y destino final de estos contaminantes que puede estar relacionada a las actividades mineras que se desarrollan en las cuencas de los ríos.

5.4.6 Conclusiones

La sanidad de las aguas marinas y costeras del departamento de Nariño mostró una relación con el régimen de precipitaciones, a diferencia de la temperatura la cual no presentó un patrón de distribución temporal y espacial definido, lo cual pudo estar asociado a la hora de muestreo y a la profundidad del sitio que también varía por el cambio mareal. La disponibilidad del oxígeno disuelto sólo en sitios muy puntuales, como la zona de influencia de ríos como Chagüi, Mejicano y Rosario, estuvo por debajo del valor aceptable para ecosistemas estuarinos durante la época de precipitaciones altas de 2012, mostrando condiciones desfavorables para el desarrollo de la vida acuática. Las demás estaciones presentaron buenas condiciones de oxigenación para el desarrollo de la flora y fauna.

A nivel microbiológico, como ocurre en otros departamentos de la región del Pacífico colombiano, los mayores aportes de coliformes a las aguas marino-costeras provienen de los tributarios, por otro lado la estación ubicada en Playa Sala Honda es donde se presentan mayores registros de incumplimiento para el desarrollo de actividades de contacto primario. Con referencia a los contaminantes orgánicos, las mayores concentraciones de HDD se registraron en la época de precipitaciones altas de 2012, sin embargo, en el último año evaluado las concentraciones fueron inferiores al valor de referencia ($<10 \mu\text{g/L}$), y no reflejan impactos de estos contaminantes sobre las especies hidrobiológicas de los diferentes ecosistemas; y los plaguicidas organoclorados muestran una reducción desde el 2010. En cuanto a los plaguicidas de uso actual tampoco representan riesgos para los organismos y los ecosistemas, ya que se registran por debajo de los valores de riesgo para aguas contaminadas.

Las concentraciones de Cd, Cr y Pb en las aguas superficiales, no superan los valores referenciados como de riesgo en guías internacionales, por lo cual se considera que no representan riesgo para el ambiente. No obstante, durante el monitoreo se ha evidenciado que las mayores concentraciones de estos elementos han sido registradas en las épocas de bajas precipitaciones.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelzaher A.M, M. E. Wright, C. Ortega, H. M. Solo-Gabriele, G. Miller, S. Elmir, X. Newman, P. Shih, J. A. Bonilla, T. D. Bonilla, C. J. Palmer, T. Scott, J. Lukasik, V. J. Harwood, S. McQuaig, C. Sinigalliano, M. Gidley, L. R. W. Plano, X. Zhu, J. D. Wang y L. E. Fleming. 2010. Presence of Pathogens and Indicator Microbes at a Non-Point Source Subtropical Recreational Marine Beach. *Applied and Environmental Microbiology* 76(3):724–732
- Aja, L. 2010. Agua, territorio y poder: representaciones, significados, usos y manejos del agua en la Sierra Nevada de Santa Marta - estudio de caso. Tesis M.Sc. Posgrado en Estudios del Caribe. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 279 p.
- Alongi, D.M., F. Tirendi, P. Dixon, L.A. Trott y G.J. Brunskill. 1999. Mineralization of organic matter in intertidal sediments of a tropical semi-enclosed delta. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 48:451-467.
- 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. 223p.
- Arévalo, M.D. y A. Franco, 2008. Características oceanográficas de la urgencia frente a la Ensenada de Gaira, departamento del Magdalena, época seca menor de 2006. *Santa Marta. Boletín de Investigaciones Marinas Costeras*, 37(2): 131-162.
- Atwood D.K., F.J. Burton, J.E. Corredor, G.R. Harvey, A.J. Mata-Jiménez, A. Vásquez-Botello y B.A. Wade. 1988. Petroleum Pollution in the Caribbean. *Oceanus*. 30(4): 25-32.
- AUGURA – Asociación Bananeros de Colombia. 2008. Coyuntura bananera colombiana. 34 p.
- Aydin-Onen S., F. Kocak, F. Kucuksezgin. 2012. Evaluation of spatial and temporal variations of inorganic nutrient species in the eastern Aegean Sea waters. *Mar. Pollut. Bull.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.08.032>
- Barrera, S. 2001. Plan nacional de gestión de aguas residuales. Primer informe de avance. Ministerio del medio Ambiente y Universidad de los Andes. Bogotá. 86 p.
- Beltrán R., Ramírez J y Sánchez J. 2012. Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México. *Hidrobiológica* 22(1): 94-98.
- Benjumea C y Wills A, 2007. Evaluación de la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. (41): 48-65.
- Bernal F., G.; J. Montoya, L.J. Garizábal, C., Toro, M., 2005. La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del Golfo de Urabá, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 8(1):123-135
- Bernal G., Ruíz-Ochoa M., Piedrahita M y Restrepo E. 2008. Foraminíferos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de Cispatá y la interacción río Sinú- Mar Caribe Colombiano. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. N° 23. 16p.
- Bernal, G., G. Poveda, P. Roldán, y C. Andrade. 2006. Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la costa Caribe Colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 30: 115. 195-208.

- Betancourt-Portela, J. M., L. F. Espinosa, y L. A. Echeverri. 2009. Evaluación de plaguicidas en aguas y sedimentos del Caribe colombiano. Libro de resúmenes COLACMAR- Cuba 2009. La Habana, 282 p.
- Bolaño, M., L., Echeverry, B. Cadavid, P. Bautista, C. Sánchez, y C. Uribe. 2009. Calidad de aguas, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en Bahía Colombia, Golfo de Urabá. Informe Técnico Final, para la empresa Puerto Bahía de Colombia Urabá S.A. Santa Marta.
- Boyd, C. 2001. Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón. En: Haws, M.C. y C.E. Boyd (eds.). Métodos para Mejorar la Camaronicultura en Centroamérica. Editorial-Imprenta UCA, Managua, Nicaragua, p. 24-25.
- Buchman, M.F. 2008. Screening Quick Reference Tables (SQiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration, 34p.
- Cadavid, B.C., P. Bautista, J.M. Betancourt, L.E. Castro, C.A. Villamil, A.M. Orjuela, S.Rifaterra, L.V. Perdomo, E. Viloría, D. Mármol y M. Rueda. 2009. 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. Informe Técnico Final. Santa Marta. 118 p.
- Campos, M., J. Vargas, A. Franco y J. Medina, 2011. Distribución de la clorofila “a” en las aguas adyacentes a las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. Boletín de investigaciones marinas y costeras INVEMAR, 40(2):
- Campos-Pinilla, C., M. Cárdenaz-Guzmán, A. Guerrero-Cañizares. 2008. Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá (Colombia). Universitas Scientiarum. 13(2): 103-108
- Cañon, M. L., TOUS, G., LÓPEZ, K., LÓPEZ, R., OROZCO, F. Variación espaciotemporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico en la Bahía de Cartagena. Boletín Científico CIOH No. 25, ISSN 0120-0542, Cartagena de Indias, Colombia, p. 120-134, diciembre de 2007.
- Casanova R., J. M. Betancourt y L. A. Castro. 2001. Evaluación de los niveles de Hidrocarburos aromáticos en sedimentos Marinos de la Ensenada de Tumaco. Tumaco. Boletín Científico CCCP, 8: 22-26.
- Casanova, R. 1996. Estudio de la contaminación por compuestos organoclorados en la costa Pacífica colombiana. Tumaco. Boletín Científico del CCCP 5: 141-159.
- Castro. L.A. 1998. Estudio de la contaminación por pesticidas, en ecosistemas costeros en el área de Cartagena, Ciénaga de la Virgen y zona agrícola adyacente (CIOH-IAEA). Boletín Científico CIOH. 18: 15-22.
- CCCP- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. 2002. Compilación oceanográfica de la cuenca pacífica colombiana. ISBN: 958-33-3869-9
- Cedeño, C.J.; J. Gonzales y S. Guiza. 2001. Compilación y análisis de datos geoquímicos de metales traza en algunas zonas del río Magdalena (Colombia). Ingeominas. 59 p.
- Centro Control Contaminación del Pacífico-CCCP, 2002. Compilación oceanográfica de la cuenca pacífica colombiana. ISBN: 958-33-3869-9
- Chester, R. 1990. Marine Geochemistry. Blackwell Publishing. 506 p.

- Cheung. K.C., B.H.T. Poon, C.Y. Lan., M.H. Wong. 2003. Assessment of metal and nutrient concentrations in river water and sediment collected from cities in the Pearl River Delta, South China. *Chemosphere* 52 (2003) 1431 – 1440.
- Cho K., Cha S., Kang J., Lee S., Park Y., Kim J.W y Kim J.H. 2010. Meteorological effects on the levels of fecal indicator bacteria in an urban stream: A modeling approach. *Water Research*. 44 (7): 2189-2202
- Chouksey, M.K., A.N. Kadam Y M.D. Zingde. 2004. Petroleum hydrocarbon residues in the marine environment of Bassein-Mumbai. *Marine Pollution Bulletin*. 49: 637-647.
- Cifuentes, J.L., P. García y M. frías. 2009. El Océano y sus recursos: Oceanografía física, matemáticas e ingeniería. Edit. Fondo de cultura Económica. México. 160 p.
- CONAMA - Consejo Nacional del Medio Ambiente de Brasil. 1986. Resolución CONAMA N° 20, de 18 de junio de 1986. 18 p.
- Concejo Municipal de Canalete. 2012. Plan de Desarrollo Municipal, 2012-2015 “Por la Senda de la Prosperidad”. Córdoba, Canalete, Colombia: Concejo Municipal de Canalete, Departamento de Córdoba. 12 de Abril de 2012. 272 p.
- Concejo Municipal de Los Córdoba. 2008. Plan de Desarrollo Municipal, 2008-2012. Acuerdo No. 010 de 2008. “¡Por mí pueblo! Los Córdoba en buenas manos”. Córdoba, Los Córdoba, Colombia: Concejo Municipal de Los Córdoba. Departamento de Córdoba. Junio de 2008. 207 p.
- Concejo Municipal de San Antero. 2012. Plan de Desarrollo Municipal “Haciendo de San Antero el Mejor Lugar de Colombia” 2012-2015. Córdoba, San Antero, Colombia: Concejo Municipal de San Antero, Departamento de Córdoba. 211 p.
- Concejo Municipal de Santa Cruz de Lorica. 2012. Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015 “Gobernar es Corregir”. Córdoba, Santa Cruz de Lorica, Colombia: Concejo Municipal de Santa Cruz de Lorica. Departamento de Córdoba. 180 p.
- Consejo Municipal de Moñitos. 2012. Plan de Desarrollo Municipal “Unidos por la Dignidad y la Prosperidad” 2012-2015. Córdoba, Moñitos, Colombia: Consejo Municipal de Moñitos, Departamento de Córdoba. 91 p.
- Consejo Municipal de Puerto Escondido. 2008. Plan de Desarrollo Municipal “Progreso con Justicia Social”. 2008 – 2012. Córdoba, Puerto Escondido, Colombia: Concejo municipal de Puerto Escondido, Departamento de Córdoba. 143 p.
- Contraloría Departamental de Córdoba. 2011. Informe de Auditoría Gubernamental con enfoque integral modalidad especial, línea ambiental. “Desarrollo sostenible del Departamento de Córdoba”. Alcaldía de San Bernardo del Viento. Informe Final. Montería. 56 p.
- CORMAGDALENA - Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena. 2009. Boletín de prensa N° 32. <http://www.cormagdalena.com.co>. 10/11/2009
- CORMAGDALENA - Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena 2007. Formulación del Plan de Manejo de la Cuenca del Río Magdalena – Cauca, Segunda Fase. Barrancabermeja. 297 p.
- CORPOGUAJIRA e INVEMAR. 2012. Atlas marino costero de La Guajira. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR No.27. Santa Marta, Colombia. 188p.
- CRA-Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 2007. Documentación del estado de las cuencas hidrográficas en el departamento del Atlántico. Barranquilla, 114 p.

- Coulliette, D.A y R. T. Noble. 2008. Impacts of rainfall on the water quality of the Newport River Estuary (Eastern North Carolina, USA). Journal of Water and Health. 6: 473-48
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2002. Plan de Gestión Ambiental Regional del Departamento del Cauca. CRC. Popayán. 209 p.
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2009. Diagnóstico de áreas forestales en el Pacífico Caucano. <http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/PortafolioProyectos/Sintesis/.pdf>
- CVS – Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. 2006. Infraestructura Sanitaria. En: Diagnóstico Ambiental de las Cuencas de los Ríos Los Córdoba, Mangle Y Cedro, Quebradas Yuca Y Broqueles y Áreas de Escorrentía Directa al Mar, en el Departamento de Córdoba. 175 p.
- CVS – Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. 2012. Información suministrada por la corporación.
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2011. Censo General 2005. Información básica. <http://www.dane.gov.co>. 02/09/11.
- DANE- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2009. Sistema de Consulta Información Censal. Censo 2005 DANE. Censo básico. Procesado con Redatam+SP, Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), CEPAL, Santiago, Chile. 26 de febrero 2009. <http://www.dane.gov.co/>
- DANE- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2010. Documento regional para promover el desarrollo sostenible del golfo de Morrosquillo, Islas de San Bernardo e Isla Fuerte, 77p.
- DANE- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2012. Censo General 2005-Información básica – DANE- Colombia. <http://www.dane.gov.co>. 14/11/12
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2005. Censo de población y vivienda 2005. Sistema de consulta REDATAM. www.dane.gov.co/censo2005. 22/10/2012.
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. 2012. Colombia. Estimación y Proyección de población nacional, departamental y municipal por área 1985-2020. http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=72. 22/10/2012.
- Díaz, G. 1996. Influencia del oleaje y deriva litoral en la región costera de Cartagena de Indias (Sector La Boquilla El Laguito). Tesis CIOH. (<http://www.cioh.org.co/meteorologia/pdfTesis/Tesis4.pdf>). (07/11/2012)
- Dinámica Ambiental. 2012. Tratamiento de efluentes y residuos. [En línea] http://www.dinamicaambiental.com.ar/contenidos/cont_m2.1.2.3_laguoxi.htm 25/09/2012
- DIRPEN-Dirección de Regulación, Planeación, Estandarización y Normalización. 2011. Encuesta Ambiental Industrial 2009. Bogotá. 317 p.
- Dorfman, M., K. Sinclair y N. Stoner. 2009. Sources of Beach Water Pollution and Strategies for Reduction. Capítulo 1. En: A Guide to Water Quality at Vacation Beaches. NRDC - The Natural Resources Defense Council. 19 edición. 453 p.
- Echeverría, F., N. Aguirre, J. Castaño, A. Valderrama, J. Peña y C. Giudice. 2007. Caracterización fisicoquímica y biológica de la Bahía de Cartagena, en la zona de mamonal para la evaluación de pinturas anti incrustantes en condiciones estáticas. Revista facultad de Ingeniería Universidad e Antioquia, 39, 7-20.

- Ecotoxenet, 2012. Pesticide Information Profiles Methyl parathion. Documento en línea. Consultado en octubre de 2012. <http://extoxnet.orst.edu/pips/methylpa.htm>.
- Elmir, S., M. Wright, A. Abdelzaher, H. Solo-Gabriele, L. Fleming, G. Miller, M. Rybolowik, M. Peter, S. Pillai, J. Cooper y E. Quaye. 2007. Quantitative evaluation of bacteria released by bathers in a marine water. *Water Research*. 41: 3 – 10
- Emerson, S.R. y J.I. Hedges, 2008. *Chemical oceanography and the marine carbon cycle*. Cambridge University Press, Nueva York. 453 p.
- EPA - Environmental Protection Agency of US. 1999. National Recommended Water Quality Criteria-Correction. U.S. EPA, 401 M. Street, S.W., Washington, D. 26 p.
- EPA - U.S. Environmental Protection Agency (Ed.). 2002. Mid-Atlantic Integrated Assessment (MAIA) Estuaries 1997-98. Summary Report. Environmental Conditions in the Mid-Atlantic Estuaries. Philadelphia. 111 p.
- Escobar, J. 2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Naciones Unidas. CEPAL - SERIE Recursos naturales e infraestructura N° 50. 68 p.
- Eslava, J. 1994. *Climatología del Pacífico colombiano*. Academia Colombiana de Ciencias Geofísicas. Colección Eratóstenes No 1. Bogotá. 97 p.
- Espinosa L.F (Ed.). 2010. Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente Marino en los Países del Pacífico Sudeste. Caso Colombia. INVEMAR, CPS. Santa Marta. 147 p.
- Espinosa L.F. y Betancourt J.M. 2011. Monitoreo del escurrimiento de plaguicidas a la zona costera del Caribe colombiano. Reporte Terminal. Santa Marta. INVEMAR. 51 p.
- Espinosa, L.F., M. L. Gómez y J. Acosta. 2007. 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. Invemar. Santa Marta. 122 p.
- Fabricius, K.E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin* 50: 125–146.
- Feria, J.J y Buelvas, I.C. 2006. Objetivos de la Calidad del Río Canalete periodo 2006-2011. Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge. Montería. 24 p.
- Freije, R.H. y J. Marcovecchio. 2004. Oceanografía química, p. 69-78. En: M.C. Piccolo y M. Hoffmeyer (Eds.). *Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca*. Instituto Argentino de Oceanografía. Bahía Blanca. 233 p.
- Garay J. y L.A Castro. 1993. Inventario sobre uso cualitativo y cuantitativo de plaguicidas en las principales cuencas hidrográficas de Colombia en el Caribe colombiano/Ciénaga de la Virgen. *Boletín Científico CIOH*. 14: 31-46.
- Garay, J. 1993. Implicaciones ambientales portuarias de Cartagena MARPOL 73/78. *Bol. Cient. CIOH* 14: 47- 66.
- Garay, J. 1993. Informe final del proyecto regional FP/5101-90-02-6912 UCR/CAR/COI/CIOH. Evaluación del impacto sobre ecosistemas marinos costeros generados por el uso de plaguicidas en zonas agrícolas (arroceras) adyacentes a la ciénaga de La Virgen, municipio de Cartagena, Colombia. CIOH, Cartagena.

- Garay, J. B. Marín y A.M. Vélez. 2001. Contaminación Marino-Costera en Colombia. 101-127. En: INVEMAR. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia. 2001. (Serie de Publicaciones Periódicas No. 8). Santa Marta. 178 p.
- Garay, J. y Vélez A.M. 2004. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar – PNICM. INVEMAR. Santa Marta. 110 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.
- Garay-Tinoco, J.A., D.I. Gómez-López and J. R. Ortíz- Galvis (Eds). 2006. Integral diagnosis on the biophysical and socioeconomic impact related to the effect of pollution from land based activities on the pacific coastal zone Tumaco bay, Colombia and basic guidelines for a management plan. Project of the United Nations Environment Programme (UNEP), The Global Plan Of Action (GPA), and The South Pacific Permanent Commission (SPC). The Institute of Marine and Coastal Research “Jose Benito Vives De Andreis” - INVEMAR, Pacific Pollution Control Centre - CCCP, The Regional Autonomous Corporation Of Nariño - CORPONARIÑO, Santa Marta, 290 p
- García, E.M., Cruz-Motta, J.J. , Farina, O., Bastidas, C. 2008. Anthropogenic influences on heavy metals across marine habitats in the western coast of Venezuela. Continental Shelf Research Vol. 28 p. 2757–2766
- García, F., C. Palacio y U. Garcia, 2012. Distribución vertical de temperatura y salinidad en el área costera de Santa Marta. Dyna 171:232-238.
- García-Valencia C. (Ed.) 2007. Atlas del Gofio de Urabá: Una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR y Gobernación de Antioquia. Serie de publicaciones especiales. 12. Santa Marta. 180 p.
- Giani, L., Y. Bashan, G. Holguin y A. Strangmann. 1996. Characteristics and methanogenesis of the Balandra lagoon mangrove soils, Baja California Sur, Mexico. Geoderma, 72: 149-160.
- Giraldo, A., E. Rodríguez y F. Zapata, 2008. Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia, Latin american journal of aquatic research, 36(1): 121-128
- Glynn, R W., H. von Prahl., F. Guhl. 1982. Coral reefs of Gorgona Island, with special reference to corallivores and their influence on community structure and reef development. An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín, 12: 185-214.
- Gobernación de Nariño, 2012. Historia del Departamento de Nariño. Documento en línea: http://www.narino.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=739&Itemid=116.
- Gobernación departamental de Córdoba. 2008. Plan de desarrollo Departamental “Por una gestión solidaria y comprometida”. 2008 – 2012. Córdoba, Montería. Asamblea departamental. 208 p.
- Gogou, A., I. Boulobassi y E.G. Stephanou. 2000. Marine organic geochemistry of the Eastern Mediterranean: 1. Aliphatic and Polyaromatic hydrocarbons in Cretan Sea surficial sediments. Marine Chemistry, 68: 265-282.
- Gómez, A., Osorio, A.F., Toro, F.M., Osorio, J.D., Álvarez, O.A. 2009. Efecto del cambio de los caudales del Canal del Dique sobre el patrón de transporte horizontal en la bahía de Barbacoas. Boletín Científico CIOH No. 27, ISSN 0120-0542, 90-111.
- González, M., T. Torres. y S. Chiroles. 2003. Calidad microbiológica de aguas costeras en climas tropicales. Revista Cuba, Medioambiente y Desarrollo. 4: 1-5.

- Griffith, J., Schiff, K., Lyon, G., Furhman, F. 2009 Microbiological water quality at non-human influenced reference beaches in southern California during wet weather. *Mar. Pollut. Bull.* (2009), doi:10.1016/j.marpolbul.2009.11.015
- Guerrero, E.; E. Podlesky y M. Restrepo. 1980. Estudio de la contaminación por mercurio en un estuario tropical (Bahía de Cartagena, Colombia S.A.) y evaluación de la magnitud de sus efectos sobre una población expuesta, 1976 – 1979. Informe técnico.
- Gutiérrez, F.J.; F. Varona-Cordero y F. Contreras. 2006. Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales el estado de Chiapas, México. *Hidrobiológica*, 16: 137-146.
- Haider H y W. Ali. 2011. Fecal Coliform Management Using a Coupled Hydrodynamics and Water Quality Model for the River Ravi in Pakistan. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*. 9: 48-57
- Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine Freshwater Research*. 50: 839-66.
- Hose, G., G. Gordon, F.E. McCullough, N. Pulver y B.R. Murray. 2005. Spatial and rainfall related patterns of bacterial contamination in Sydney Harbour estuary. 3:349-358
- IAvH, IDEAM, IIAP, INVEMAR, SINCHI, 2011. Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 384 p
- Ibarra, K. P., C.A. Villamil, E.A. Viloria, D. Vega, P. A. Bautista, B.C. Cadavid, J.P. Parra, L.F. Espinosa, M.C. Gómez, L.V. Perdomo, D. Mármod y M. Rueda. 2012. 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. Informe Técnico Final. INVEMAR, Santa Marta.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2011. Atlas climatológica de Colombia. Parte II: Distribución espacio-temporal de las variables de clima. 74 p.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2012. Información hidrológica en 26 estaciones ubicadas en los litorales Pacífico y Caribe colombiano. Series históricas a escala mensual. Formato digital. Bogotá: IDEAM, Colombia.
- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010. Estudio Nacional del Agua 2010. Bogotá D.C. 409p.
- IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales. 2012. Documento en línea: <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/jsp/loader.jsf?id=894&lServicio=Publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&lTipo=publicaciones&d=49700-p=1>. Fecha de consulta: Noviembre de 2012.
- IDEAM, 2005. Atlas Climatológico de Colombia: Part 2, Distribución espacio-temporal de las variables del clima. IDEAM, Bogota. 74 p.
- IDEAM, 2010. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “el Niño”. Boletín No. 14. 6p.
- IDEAM. 2011. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “La Niña”. Boletín No. 39. 6p.
- IDEAM. 2011. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “La Niña”. Boletín No. 37. 6p.
- IDEAM. 2012. Boletín informativo sobre el monitoreo del fenómeno de “La Niña”. Boletín No. 43. 6p.
- IDEAM. 2012. Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña". Boletín No.45. 6 p.

- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2008. Atlas básico de Colombia. 7 ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Imprenta Nacional, Bogotá. 704 p.
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2010. Mapa oficial de la República de Colombia. <http://www.igac.gov.co:10040/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/Mapas%20de%20Colombia/Aplicaciones/LimitesEntidadesTerritoriales>. 13/12/2010.
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1996. Diccionario Geográfico de Colombia, 3ª ed. (revisada y aumentada). 1: 288- 294.
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2008. Atlas básico de Colombia. 7 ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Imprenta Nacional, Bogotá. 704 p.
- Iñiguez L., C. Gutiérrez, L. Galeana y A. Lopez. 2007. El impacto de la actividad turística en la calidad bacteriológica del agua de mar. *Gaceta Ecológica* 82: 69-76
- INVEMAR y MADS -Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” – INVEMAR y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS. 2011. Desarrollo de Fundamentos para el Fortalecimiento de los Parámetros y los Límites Permisibles de los Vertimientos Puntuales a las Aguas Marinas en Colombia. Informe Final. Santa Marta. 189 p.
- INVEMAR, 2002. Formulación del plan de manejo integrado de la unidad ambiental costera estuarina del río Sinú y golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano. Fase I, Caracterización y diagnóstico. INVEMAR, CVS, CARSUCRE, Ministerio del Medio Ambiente – Programa Ambiental – Crédito BID 774 OC/CO. Informe técnico, 38 p.
- INVEMAR, 2012. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Base de datos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. <http://www.invemar.org.co/siam/redcam>. 04/12/12.
- INVEMAR, Gobernación de Antioquia, CORPOURABA, CODECHOCO 2007. Formulación de los lineamientos y estrategias de manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera del Darien. Anexo 1-componente biofísico. 55p
- INVEMAR. 2006. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. REDCAM. Informe Técnico 2006. INVEMAR. Santa Marta. 344 p.
- INVEMAR. 2012. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Base de datos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. <http://www.invemar.org.co/siam/redcam>. 10/09/2012.
- 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
- Kiely, G. 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Mc. Graw Hill. Madrid. 1331p.
- Koch, M.S., Schopmeyer, S., Kyhn-Hansen, C., Madden, C.J. 2007. Synergistic effects of high temperature and sulfide on tropical seagrass. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 341: 91-101.
- Lapointe, B.E. 1997. Nutrient Thresholds for Bottom-Up Control of Macroalgal Blooms on Coral Reefs in Jamaica and Southeast Florida. *Limnology and Oceanography*, Vol. 42, No. 5, Part 2: The Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms. (Jul., 1997), p. 1119-1131.
- Leandro H., Coto J y Salgado V. 2010. Calidad del agua de los ríos de la microcuenca IV del río Virilla. *Rev. UNICIENCIA*. 24 (1): 69-74.

- Libes, S.M. 1992. An Introduction to Marine Biogeochemistry. John Wiley and Sons, Inc. N.Y. 734 p.
- Maldonado, W., Baldiris, I. y Díaz, J. 2011. Evaluación de la calidad del agua en la Ciénaga de la Virgen (Cartagena, Colombia) durante el período 2006-2010. Revista Científica Guillermo de Ockham. Vol. 9, No. 2. p. 79- 87.
- Mallin, M. K. Williams, C. Esham y P. Lowe. 2000. Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. Ecological applications. 10 (4): 1047 – 1056.
- Marciales, C. y M. Duarte, 1989. Determinación de Cd, Cu, Cr, Pb y Zn en sedimentos de la Bahía de Cartagena. Mem. VI Sem Nal Cien. Tecnol Mar, Diciembre 5-6 y 7: 314-324.
- Marin, B. 2002. Descripción de la escala conceptual indicativa del grado de contaminación. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de la calidad de las aguas marinas y costeras. Informe Final. Anexo 4. Programa Calidad Ambiental Marina – INVEMAR. 74 p.
- Márquez, A., J. Bonilla, G. Martínez, W. Senior, D. Aguilera y A. González. 2005. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral nororiental del golfo de Cariaco, estado sucre, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente, 44(2): 89-103.
- Márquez, G. 1987. Las islas de Providencia y Santa Catalina, ecología regional. Fondo FEN-Univ. Nacional de Colombia, Bogotá. 110 p.
- Martínez, G., j. Alvarado y W. Sénior, 2001. Estudio fisicoquímico de las aguas superficiales de la cuenca baja y pluma del río Manzanares. Revista Inteciencia, 26(08):342-351.
- MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. Plan Departamental para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento (Ed.). Bogotá. 24 p.
- Mejía, L. S., Solano, O. D., Rodriguez-Ramirez, A. Ocho Nuevos Registros para la Fauna Íctica de las Islas del Rosario (Mar Caribe Colombiano). bol. invemar [online]. 1994, vol.23, n.1 [cited 2012-11-16], p. 189-192. Available from: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97611994000100014&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0122-9761.
- Min Comercio – Ministerio de Comercio, 2004. Perfil de Comercio Exterior Atlántico, Capítulo I, 10 p.
- Mindesarrollo – Ministerio de Desarrollo económico 2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS-2000. Sección II, Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá. 144 p.
- MinSalud - Ministerio de Salud. 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. 61 p.
- Mitch A., K. C. Gasner, W. A. Mitch. 2010. Fecal coliform accumulation within a river subject to seasonally-disinfected wastewater discharges. water research 44: 4776 – 4782.
- MMA/PNUMA/UCR/CAR. 2000. Global Environment Facility; Informe Final. Informe nacional sobre el uso y manejo de plaguicidas en Colombia, Tendiente a Identificar y proponer alternativas para reducir el escurrimiento de plaguicidas al Mar Caribe. Bogotá, 124 p
- Molares R., Cañon M., González M. 2001. Caracterización oceanográfica y meteorológica del Caribe colombiano. Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas (CIOH). Cartagena de Indias. 114 p.

- Montoya, J. L y Toro, M. 2006. Calibración de un modelo hidrodinámico para El estudio de los patrones de circulación en el Golfo de Urabá, Colombia. Avances en Recursos Hidráulicos. 13, 37-54.
- Mvungi, E. F., Lyimo, T. J., Björk, M. 2012. When *Zostera marina* is intermixed with *Ulva*, its photosynthesis is reduced by increased pH and lower light, but not by changes in light quality. Aquatic Botany. 102: 44–49.
- Narváez, S., Gómez, M.L; Salcedo, M.A. 2010. Influencia de las lluvias en la calidad microbiológica de las aguas recreativas de la Bahía Gaira y Santa Marta. 499-503. En: INVEMAR- ACIMAR (Eds). Libro de resúmenes extendidos XIV Seminario Nacional de Ciencias y Tecnología del Mar (SENALMAR). Serie de publicaciones especiales de INVEMAR No. 21. Santa Marta. 578 p.
- NOAA. 1990. A special 20th anniversary report, coastal environmental quality in the United States, chemical contamination in sediments and tissues. Washington. 6p.
- Noble, R., Griffith, J., Blackwood, D., Fuhrman, J., Gregory, J., Hernandez, X., Liang, X., Bera, A., Kenneth Schiff, K. 2006. Multitiered Approach Using Quantitative PCR To Track Sources of Fecal Pollution Affecting Santa Monica Bay, California. Appl. Environ. Microbiol. 2006, 72(2):1604-1612
- Okabe S., Okayama N., Savichtcheva O., Ito T. 2007. Quantification of host-specific *Bacteroides-Prevotella* 16S rRNA genetic markers for assessment of fecal pollution in freshwater.. Ap. Microbiol. Biotechnol. 74:890-901
- OMI - Organización Marítima Internacional. 2005. Lucha contra los Derrames de Hidrocarburos. Segunda edición. Londres. 162 p.
- OMS - (Organización Mundial de la Salud). 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Coastal and fresh waters, vol. 1. Ginebra, 219 p.
- Paerl, H. W. 2006. Assessing and managing nutrient-enhanced eutrophication in estuarine and coastalwaters: Interactive effects of human and climatic perturbations. Ecol. Engineer. 26: 40–54.
- Pagliardini, J. I., M. A. Gomez, H. Gutierrez, S. I. Zapata, A. Jurado, J. A. Garay y G. Vernet. 1982. síntesis del proyecto Bahía de Cartagena. Bol. Cient. CIOH No. 4: 49-110 Cartagena, Colombia.
- Parra, J.P, J. Betancourt, L.F. Espinosa y J. Garay. 2011. Evolución y estado de la contaminación por metales pesados y compuestos orgánicos en la bahía de Cartagena, Colombia. Informe Técnico INVEMAR-IAEA. Santa Marta, 13 p.
- Parra, J.P., Espinosa, L. F. 2008. Distribución de metales pesados (Pb, Cd Y Zn) en perfiles de sedimento asociado a *Rhizophora mangle* en el río Sevilla -Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. 37(1):95-110.
- PNNC- Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2012. Datos Generales del Parque Nacional Natural Sanquianga. Documento en línea: <http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/php/decide.php?patron=01.012402>.
- Pond, K., Cronin A y Pedley S. 2005. Recreational water quality in the Caspian Sea. Journal of Water and Health. 3(2): 129-138.
- Posada, B.O y Henao, W. 2008. Diagnostico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR, Serie de publicaciones especiales No. 13, Santa Marta, 200 p.
- Posada, B.O., Henao, W. y Guzmán, G. 2009. Diagnóstico de la erosión y sedimentación en la zona costera del Pacífico colombiano. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 17, Santa Marta, 148 p.

- Posada, B.O., M.C. Díaz, R. Navas, A.M. Batista-Morales, L.J. Vivas-Aguas, S. Narváez, L.V. Perdomo, C.A. Villamil, A.M. Orjuela, D.I. Gómez-López, J.C. Vega-Sequeda. 2012. Estado del ambiente abiótico, calidad de aguas y biodiversidad marina: indicadores de estado. 27-77. En: Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2011. Serie de publicaciones periódicas No. 8. Santa Marta, 203 p.
- Posada, O. N. Rangel, S. Narváez, L.J., Vivas-Aguas, L.F., Espinosa y C. García. 2012. Aspectos físicos del paisaje en la zona marina y costera. 24 – 43. En: CORPOGUAJIRA-INVEMAR. 2012. Atlas marino costero de La Guajira. Series de Publicaciones Especiales INVEMAR # 27. Santa Marta, 188 p.
- Quiceno V., M., 2008. Patrones de Variabilidad climática y oceánica en la zona costera del río Sinú y su señal en registros naturales lacustres y coralinos. Tesis Magister Ingeniería Recursos Hidráulico, Universidad nacional, Medellín,
- Rajendran, R. B., T. Imagawa, H. Tao y R. Ramesh. 2005. Distribution of PCBs, HCHs and DDTs, and their ecotoxicological implications in Bay of Bengal, India. *Environment International* 31: 503–512.
- Ramos-Ortega Lina María, Luis A. Vidal, Sandra Vilardy Q, Lina Saavedra-Díaz. 2008. Análisis de la contaminación Microbiológica (Coliformes Totales y Fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta. Biol. Colomb.*, Vol. 13 No. 3, 2008: 87-98.
- Ravanelli, N., Tubertini, O., Valcher, S. y Martinoti, W. 1997. Heavy metal distribution in sediment cores from western Ross Sea (Antarctica). *Water, Air and Soil Pollution*. Vol. 99. P. 697 – 704.
- Restrepo, J. 2006. Aporte de los caudales de los ríos Baudó, San Juan, Patía y Mira a la cuenca Pacífica Colombiana. *Boletín Científico CCCP*, (13): 17-32.
- Restrepo, J. D., Paula Zapata, Juan M. Díaz, Jaime Garzón-Ferreira, Camilo B. García, Juan C. Restrepo. 2005. Aportes Fluviales al Mar Caribe y Evaluación Preliminar del Impacto sobre los Ecosistemas Costeros. 189-215. En: Restrepo J. D. *Los Sedimentos del Río Magdalena: Reflejo de la crisis ambiental*. Universidad de EAFIT. Medellín. 189-215.
- Restrepo, J.D. y Albert Kettner. 2012. Human induced discharge diversion in a tropical delta its environmental implications: The Patía River, Colombia. *Journal of Hydrology*.(2012) 124 – 142.
- Restrepo, J.D. y Sergio A. López. 2008. Morphodynamics of Pacific and Caribbean deltas of Colombia, South America. *South American Earth Sciences* 25 (2008) 1 – 21.
- Restrepo, J.D., Björn Kjerfve, Ivan Correa, Juan Gonzalez. 2002. Morphodynamics of a high discharge tropical delta, San Juan River, Pacific coast of Colombia. *Marine Geology* 192 (2002) 355-381.
- Restrepo, J.D., Paula Zapata, Juan M. Díaz, Jaime Garzón-Ferreira, Camilo B. García. 2006. Fluvial fluxes into the Caribbean Sea and The impact on Coastal ecosystem: The Magdalena River, Colombia. *Global and Planetary Change* 50 (2006) 33-49.
- Roldan, G. y J. Ramírez, 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. (Ed 2). Editorial Universidad de Antioquia. 421 p.
- Romero-Murillo, P. y J. Polanía, 2008. Sucesión temprana de la taxocenosis Mollusca-Annelida-Crustacea en raíces sumergidas de mangle rojo en San Andrés Isla, Caribe colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43(1): 63-74.
- Rosado, J. y Márquez, E. 2005. Comportamiento de los parámetros físico-químicos y fitoplancton de la laguna Navío Quebrado, Camarones, Riohacha. Universidad de Riohacha, Facultad de Ingeniería, 35 p.

- Sánchez-Ramírez, C, P.A. Bautista, M. Murcia y M.P. Bolaño. 2011. Calidad de aguas, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en la Bahía de Cartagena. INVEMAR, Coordinación de Servicios Científicos. Segundo Informe Técnico de Avance para Araújo Ibarra S.A. Febrero. Santa Marta. 96 p.
- Serguei, L., C. Parra, C. Andrade, y. Thomas. 2003. Patrones de la pluma turbia del canal del Dique en la bahía de Cartagena. Boletín Científico CIOH. No. 22.77–90 p
- Sericano, J., T. Wade, T. J. Jackson, J. M Brooks, B. W Trip, J.W. Farrington, L.D. Mee, J.W Readman, J. P. Villeneuve y E.D. Goldberg. 1995. Trace organic contamination in the Americas: An overview of the US National Status & Trends and the International “Mussel Wath” Programmes. Marine Pollution Bulletin 31(4-12): 214 – 225.
- Silva, N. 2006. Oxígeno disuelto, pH y nutrientes en canales y fiordos australes. Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas. 37-43. Comité Oceanográfico Nacional – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, 162 p.
- Smith S., R. E. Lizotte y M. T. Moore. 2007. Toxicity Assessment of Diazinon in a Constructed Wetland Using *Hyalella Azteca*. Bulletin Environmental Contamination Toxicology. 79:58–61
- Solano, O. D., Navas, G., Moreno-Forero., Silvia K. 1993. Blanqueamiento Coralino de 1990 en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario (Caribe, colombiano). Bol. Invemar. 22:(1) 97-111.
- Solano, O.D., J. Betancourt, H.F. Sáenz, F. Villalobos, B. Cadavid y J. Sánchez. 2008. Monitoreo de calidad de aguas, sedimentos, fauna asociada a manglar y bentos en el área de influencia del dragado en el puerto de Buenaventura. INVEMAR, Coordinación de Servicios Científicos. Informe Técnico Final para la empresa Jan de Null, Santa Marta. 161p.
- Soler W., Durango H y Soler JP. 2010. Control microbiano de agua de mar mediante microfiltración. Rev Fac Salud Pública. 28(2): 141-148.
- SSPD - Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. 2010. Estudio Sectorial de Aseo 2006-2009. Bogotá. 230 p.
- SSPD-Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. 2009a. Publicación de coberturas de acueducto y alcantarillado 2009. <http://www.superservicios.gov.co/>. 20/10/2012.
- SSPD-Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. 2009b. Sistema de Alcantarillado en Colombia: Visión del Servicio Público. Bogotá, 109 p.
- SUI – Sistema Único de Información. 2012. Reporte por Servicios. Reporte de Alcantarillado. Consulta de Información de Alcantarillado. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Disponible en: http://reportes.sui.gov.co/reportes/SUI_ReporteAlcantarillado.htm. 20/10/2012.
- Tchobanoglous George, Hilry Theisen y Samuel Vigil. 1993. Integrated Solid Waste Management. Ed. McGraw Hill Inc.
- 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. Centro Control Contaminación del Pacífico Colombiano. DIMAR. Serie Publicaciones Especiales Vol. 3. San Andrés de Tumaco. 120 p.
- Tejada, C., L. Otero, L. Castro, F. Afanador, A. Morales, J. Solano y A. L. Fonseca. 2003. Aportes al Entendimiento de la Bahía de Tumaco. Entorno Oceanográfico, Costero y de Riesgos. Ed. DIMAR, San Andrés de Tumaco, 168 p.
- Thorhaug, A., Richardson, A.D., Berlyn, G.P. 2006. Spectral Reflectance of *Thalassia testudinum* (Hydrocharitaceae) Seagrass: Low Salinity Effects. American Journal of Botany 93(1): 110-117

- Tolosa, I., S.J. De Mora, S.W. Fowler, J-P. Villeneuve, J. Bartocci y C.L Cattini. 2005. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Gulf and the Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*. 50: 1619–1633.
- Toro, F.M., C. Mejía, H. Escorcía y L. Villada, 2008. Estudio de la relación entre la dinámica oceanográfica del Golfo de Urabá, y la dispersión de contaminantes orgánicos y de sedimentos y el planteamiento de posibles acciones de manejo. Informe Técnico Final, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 48 p.
- Tous, G., Castro, I., Cañón, M., Quintalia, D., Torres, R. 2007. Panorama de la Contaminación del Caribe Colombiano. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH. 2007. Cartagena de Indias. 120 p.
- Troncoso W., R. Navas, A. Osorno, M. Díaz, A. Bermúdez, J. Parra y J. Betancourt. 2008. Monitoreo de la calidad de aguas y sedimentos, y de los ecosistemas marinos en las zonas afectadas por el derrame de aceite de palma, bahías de Taganga y Santa Marta (Magdalena).realizado para la firma TERLICA S.A. Informe final. Santa Marta, 82 p.
- Troncoso W., R. Navas, A. Osorno, M. Díaz, A. Bermúdez, J. Parra y J. Betancourt. 2008. Informe final del “Monitoreo de la calidad de aguas y sedimentos, y de los ecosistemas marinos en las zonas afectadas por el derrame de aceite de palma, bahías de Taganga y Santa Marta (Magdalena)” realizado para la firma TERLICA S.A. Santa Marta, 82 p.
- Troncoso, W., Vivas, J., Narváez, S., Sánchez, J., Echeverri, L. y Parra, J.P. 2009. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas Marinas y Costeras de Colombia. 185 p
- Tuchkovenko, Y., y Rondón, S. 2002. Estudio del Comportamiento de la Contaminación Bacteriana en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH No. 20*. Cartagena de Indias. 56-67.
- UNEP-RCU/CEP. 2010. Actualización del informe técnico del PAC No. 33 fuentes y actividades terrestres en la región del Gran Caribe. Cargas contaminantes domésticas e industriales y el aporte de las cuencas hidrográficas tributarias. Informe técnico del programa ambiental del Caribe. UNEP-PAC-CIMAB. 84p.
- 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.
- US EPA – UnitedStatesEnvironmentalProtection Agency. 2002. Mid-Atlantic Integrated Assessment. (MAIA) Estuaries 1997-98: Summary Report, EPA/620/R-02/003, 115 p.
- Vega-Sequeda, J., R. Navas-Camacho, K. Gomez-Campo, T. Lopez-Londoño y D.L. Duque. 2011. Estado de los arrecifes coralinos en Colombia. En: INVEMAR. Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2010. Serie de publicaciones periódicas del INVEMAR No 8, Santa Marta.
- Vivas-Aguas, L., M. Tomic, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, L. Echeverri y L. Espinosa. 2010. Diagnostico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. Informe Técnico 2010. INVEMAR. Santa Marta, 208 p.
- Vivas-Aguas, L.J. M. Tomic, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, M. Carvajalino y L. Espinosa. 2012. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas

- marinas y costeras de Colombia – REDCAM. Informe técnico 2011. INVEMAR. Santa Marta, 229 p.
- Walker, C.H., y D.R. Livingstone. 1992. Persistent pollutants in marine ecosystems. A Special Publication of SETAC. Pergamon Press. Oxford, 272 p.
- Walsh, G.E., y S.V. Alexander. 1980. Marine Algal Bioassay Method: Results with Pesticides and Industrial Wastes. *Water Air Soil Pollut.* 13(1): 45-55.
- Wild C., O. Hoegh-Guldberg, M.S. Naumann, M.F. Colombo-Pallotta, M. Ateweberhan, W.K. Fitt, R. Iglesias-Prieto, C. Palmer, J.C. Bythell, J.C., Ortiz, Y. Loya y R. Van Woesik. 2011. Climate change impedes scleractinian corals as primary reef ecosystem engineers. *Marine and Freshwater Research.* 62: 205–215.
- Yixiang Deng, Zheng Binghui, Fu Guo, Lei Kun y Li Zicheng. 2010. Study on the total water pollutant load allocation in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and adjacent seawater area. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86 (2010) 331-336.
- Zang, C., Huang, S., Wu, M., Du, S., Scholz, M., Gao, F., Lin, C., Guo, Y and Dong, Y. 2011. Comparison of Relationships Between pH, Dissolved Oxygen and Chlorophyll a for Aquaculture and Non-aquaculture Waters. *Water Air Soil Pollut.* 219:157–174
- Zapata, F. A., B. Vargas-Ángel., J. Garzón-Ferreira. 2001. Salud y conservación de las comunidades coralinas, p. 41-50. En: L.M. Barrios & M. López-Victoria (eds.). *Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única*. INVEMAR, Ser. Pub. Esp. 7, Santa Marta, 160 p.