

Serie de publicaciones periódicas

Número 4

Marzo, 2014



invemar

Santa Marta - Colombia

ISSN: 2389-8615

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

Vinculado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible



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

Informe Técnico

2013

DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS DEL CARIBE Y PACÍFICO COLOMBIANOS INFORME TÉCNICO 2013

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



MinAmbiente
Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible



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, 2014

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

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

INFORME TÉCNICO 2013

DIRECTIVOS INVEMAR

FRANCISCO ARMANDO ARIAS ISAZA
Director General

JESÚS ANTONIO GARAY TINOCO
Subdirector Coordinación de Investigaciones

SANDRA RINCÓN CABAL
Subdirectora Recursos y Apoyo a la Investigación

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

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

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

PAULA CRISTINA SIERRA CORREA
Coordinadora Programa Investigación para la Gestión Marina y Costera (GEZ)

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

EQUIPO TÉCNICO E INVESTIGADORES

LIZBETH JANET VIVAS-AGUAS
Coordinadora Programa Nacional REDCAM
Fuentes de contaminación e Indicadores de calidad de Aguas Marinas - ICAM

JULIÁN MAURICIO BETANCOURT
Coordinador Laboratorio - LABCAM y Plaguicidas

MARYNÉS QUINTERO
Microbiología

YADI MORENO, CARLOS SANTANA y KAREN IBARRA
Fisicoquímicos

JOSÉ SÁNCHEZ y YADI MORENO
Hidrocarburos

IVÁN CUADRADO
Metales pesados

MARY RÍOS, PAOLA OBANDO y DIANA SÁNCHEZ
Fuentes de contaminación y Base de datos

HALBIN SERRANO, ENNEL NAVARRO, YULLY RUÍZ, BETTY CADAVID, OSMAN ARAGÓN, DEIVIS FLÓREZ, YARSEYLIS SALAS y JUAN GALLEGÓ
Laboratorio de Calidad Ambiental Marina-LABCAM

LEONARDO ARIAS, DANIEL GONZÁLEZ, VENUS ROCHA y FELIPE VALENCIA
Laboratorio de Sistemas de Información-LABSIS

LUISA F. ESPINOSA y JESÚS A. GARAY TINOCO
Asesores

Compilación y Edición General

Lizbeth Janet Vivas-Aguas

NODOS, ENTIDADES PARTICIPANTES Y COLABORADORES

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Elizabeth Taylor y Evelyn Paola Moreno

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL CHOCÓ - CODECHOCO

Iván Restrepo

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA - CVC

Luisa M. Baena

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - CRC

Luz Marina Prieto y Julio Cesar Rodríguez

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE NARIÑO - CORPONARIÑO

Marcela Caviedes y Gerardo Arteaga

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LA GUAJIRA - CORPOGUAJIRA

Jaiker Gómez Sierra y Lianis Charry Molina

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL MAGDALENA - CORPAMAG

Eliana Álvarez e Ismael Acosta Morales

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO - CRA

Efrain Leal y Yiniva Camargo

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE - CARDIQUE

Mady García e Ildefonso Castro

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SUCRE - CARSUCRE

Tulio Rafael Ruíz Álvarez

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

Lina María García y Raúl Mézquida

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE URABÁ - CORPOURABA

Jairo Guillermo Vázquez y José Nelson Morales

CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS,

PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA - CORALINA

Tomás Guerrero y Shelly Palmer

ESTABLECIMIENTO PÚBLICO AMBIENTAL DE CARTAGENA - EPA CARTAGENA

María Angélica García y Dídimo Mendivil

UNIVERSIDAD DE LA GUAJIRA - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES

Carlos Doria

ESTUDIANTES

Gleynis Castañeda y Ana Cuesta



Cítese como:

Vivas-Aguas, L.J., J. Sánchez, J. Betancourt, M. Quintero, Y. Moreno, C. Santana, I. Cuadrado, K. Ibarra, M. Ríos, P. Obando y D. Sánchez. 2014. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico Colombianos. Serie de Publicaciones Periódicas del InveMar No. 4 (2014). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM). Informe técnico 2013. INVEMAR. Santa Marta, 314 p.



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES.....	3
1.1. ÁREA DE ESTUDIO	5
1.2. METODOLOGÍA.....	6
1.2.1. FASE DE CAMPO Y LABORATORIO	6
2.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN.....	8
2.3 CAPACITACIONES 2013	11
2.3 ANALISIS DE CAPACIDADES TÉCNICAS Y OPERATIVAS DE LAS CAR COSTERAS	16
3. DIAGNÓSTICO NACIONAL.....	19
3.1 INVENTARIO NACIONAL DE FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN AL MAR.....	19
3.2 INDICE DE CALIDAD DE AGUAS MARINAS Y COSTERAS.....	27
4. DIAGNÓSTICO CALIDAD DE AGUAS COSTA CARIBE.....	31
4.1 CASO ESTUDIO: FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN EN LA ZONA COSTERA DEL MAGDALENA.	37
Diagnostico de los Departamentos del Caribe	61
4.2 SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA	63
4.3 LA GUAJIRA.....	75
4.4 MAGDALENA.....	93
4.5 ATLÁNTICO.....	127
4.6 BOLÍVAR	147
4.7 SUCRE	177
4.8 CÓRDOBA.....	193
4.9 ANTIOQUIA.....	209
5. DIAGNÓSTICO CALIDAD DE AGUAS COSTA PACÍFICA.....	225
Diagnostico de los Departamentos del Pacífico	231
5.1 CHOCÓ.....	233
5.2 VALLE DEL CAUCA	249
5.3 CAUCA	263
5.4 NARIÑO	279
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	299

INTRODUCCIÓN

El Programa de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia - REDCAM, nació en el año 2001, como la estrategia nacional para cumplir con el objetivo de *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*” planteado en el PNICM – Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de las Fuentes Marinas y Terrestres de Contaminación al Mar”. Desde entonces, la REDCAM ha servido de soporte al Sistema de Información Ambiental para Colombia – SIAC y es parte integral del Sistema de Información del Recurso Hídrico Marino – SIRH (Decreto 1323/2007). Además ha aportado información para atender las metas de país que se canalizan en las políticas y planes nacionales, entre las que se destacan el PNICM, la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia – PNAOCI, la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros – PNOEC, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico – PNGIRH, el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, entre otros. Adicionalmente ha servido de soporte técnico para atender compromisos internacionales de carácter ambiental como la Cumbre de la Tierra 1992 y su Agenda 21, la Convención de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes COP, el Plan de acción del Pacífico Sudeste y su Protocolo para la Protección contra la contaminación marina proveniente de fuentes terrestres, el Convenio de Cartagena, el Convenio MARPOL 72/78, entre otros instrumentos, que establecen las medidas y estrategias necesarias para intensificar los esfuerzos regionales y nacionales orientados a la protección del medio marino y costero.

Desde su inicio la REDCAM ha estado liderada por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, sin embargo, es una estrategia interinstitucional en la que participan las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (CAR) de los doce departamentos costeros, algunos Departamentos Administrativos del Medio Ambiente, los Institutos de Investigación de la Armada Nacional y hasta el 2012 la Universidad de la Guajira que son los nodos del sistema. La REDCAM se financia con recursos provenientes del MADS a través de una ficha BPIN y con los aportes de las Entidades nodo.

El informe diagnóstico REDCAM año 2013, contiene la evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombiano, del período lluvioso del 2012 y el período seco de 2013, así como el análisis histórico de los cambios observados entre el 2001 y el 2013. En este diagnóstico se presenta la descripción espacial y temporal del comportamiento de las variables fisicoquímicas, y microbiológicas indicadoras de calidad, y de los contaminantes (hidrocarburos del petróleo, plaguicidas y metales pesados), en un contexto nacional, regional y departamental destacando zonas de importancia ambiental.

Adicionalmente, 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, el caso estudio sobre las actividades y residuos en la zona costera del departamento del Magdalena; el análisis los resultados 2012 -2013 con el 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



Toma de muestra en campo Caño Guainí- Sucre



Análisis de metales pesados en laboratorio de calidad ambiental marina Labcam-INVEMAR

1 GENERALIDADES

1.1 ÁREA DE ESTUDIO

El presente informe contiene los resultados del monitoreo de calidad de aguas marino-costeras de Colombia en la época lluviosa 2012 y la seca 2013, y durante este período se monitorearon 310 estaciones (Figura 1.1-1). En el Caribe se tomaron muestras en 209 estaciones a lo largo de costa de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Sucre, Bolívar, Córdoba, Antioquia y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina; y 101 estaciones en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño del litoral Pacífico incluidas la isla de Gorgona y Gorgonilla. Las estaciones de muestreo se ubicaron en sitios de interés como golfos, bahías, lagunas costeras, Parques Nacionales Naturales, ciénagas, playas, los frentes y la cuenca baja de los principales ríos que drenan al mar Caribe y al Océano Pacífico, con el propósito de vigilar la calidad de las aguas marino-costeras para su conservación y protección de las fuentes terrestres de contaminación.



Figura 1.1-1. Estaciones de muestreo de la REDCAM en las zonas costeras del Caribe y Pacífico de Colombia

1.2 METODOLOGÍA

1.2.1 FASE DE CAMPO Y LABORATORIO

Los muestreos de la época lluviosa se realizaron entre agosto y noviembre del 2012, y los de la época seca entre febrero y junio del 2013. En los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Córdoba, Sucre, Chocó, Cauca y Nariño, los muestreos se realizaron por personal de INVEMAR, con el apoyo de funcionarios de las corporaciones de cada Departamento. Los muestreos de San Andrés, Bolívar, Antioquia y Valle del Cauca fueron realizados directamente por las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible.

En todas las estaciones de muestreo, se midieron las variables *in situ* usando equipos de campo previamente calibrados y se recolectaron muestras de agua para los análisis en el laboratorio (Tabla 1.2.1). Los análisis de laboratorio se realizaron siguiendo las metodologías del “Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos” (Garay *et al.*, 2003a), el *Standard Methods* (APHA/AWWA/ WEF. 2012), el libro de Análisis del agua de Rodier (2009), los manuales de referencia de la UNESCO (1984), las guías para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos del PNUMA (2008), en el manual de Strickland y Parsons (1968).

Tabla 1.2.1. Listado de las variables, métodos de análisis y unidades de medida del monitoreo de la REDCAM.

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 Suspendidos 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, MetilParation, Bromacil, Clorpirifos, Fenaminfos, Cis-Permetrina y trans-Permetrina,	Cromatografía de gases	ng/L
Hidrocarburos	Hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos	Fluorometría	µg/L
Metales Traza	Cadmio, Cromo, Cobre, Hierro, Níquel, Plomo, Zinc	Espectrometría de absorción atómica con horno de grafito	µg/L
Microbiológicos	Coliformes totales y termotolerantes	Número más probable	NMP/100 mL
	Enterococos fecales, E. coli	Filtración por membrana	UFC/ 100 mL

En el laboratorio de Calidad Ambiental Marina de INVEMAR se hacen todas las mediciones de los departamentos de La Guajira, Magdalena, Atlántico, Córdoba, Sucre, Chocó, Cauca y Nariño; los plaguicidas de San Andrés y Bolívar; los hidrocarburos de San Andrés y Antioquia; y los metales pesados de San Andrés. Las demás variables son medidas en los laboratorios de CORALINA, CVC, CARDIQUE

y CORPOURABÁ, que cuentan con la logística, equipos y profesionales entrenados para hacer los análisis.

1.2.2 Nutrientes

Para el monitoreo REDCAM se miden los nutrientes inorgánicos disueltos de nitrógeno, amonio (nitrógeno amoniacal, NH_4^+), nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-), y de fósforo ($\text{PO}_4^{=}$), por métodos colorimétricos. Las concentraciones de éstos compuestos se expresan con respecto a la masa del elemento (N o P) en lugar del ión completo. Estos nutrientes son parámetros importantes de calidad de aguas, ya que si bien son fundamentales para los procesos biológicos, dependiendo de sus formas químicas pueden tener impactos tanto directos como indirectos de significancia sobre el crecimiento del fitoplancton, concentración de oxígeno, claridad del agua y tasas de sedimentación, por lo tanto, sobre la calidad del agua.

1.2.3 Indicadores de calidad sanitaria

Para determinar la calidad sanitaria de las aguas se utilizaron los indicadores de contaminación fecal “*Coliformes totales* y *Coliformes termotolerantes*”, los cuales se determinaron por el método de recuento indirecto por tubos múltiples de fermentación, expresado en el Número Más Probable (NMP/100 ml). Este número es un estimado de la densidad media de la población en la muestra y los resultados son leídos en una tabla de combinaciones basadas en la distribución de Poisson con dispersión aleatoria (APHA/AWWA/ WEF, 2012). La determinación de los indicadores se hizo en dos fases, la presuntiva, donde se empleó un medio de cultivo para recuperar los microorganismos presentes en la muestra capaces de utilizar la lactosa como fuente de carbono, y la fase confirmativa donde se determinaron los coliformes totales empleando un medio selectivo que permite el desarrollo de aquellos microorganismos capaces de tolerar inhibidores como las sales biliares y el verde brillante.

La determinación de Coliformes termotolerantes, antes conocidos como fecales, se realizó a partir de tubos positivos de la prueba presuntiva, fundamentado en la capacidad de las bacterias para fermentar la lactosa y producir gases cuando son incubados a una temperatura de 44.5 °C por un periodo de 24 a 48 horas. Los resultados se contrastaron con los criterios de calidad permisibles para aguas con fines recreativos por contacto primario (p.e. natación y buceo) y para contacto secundario (p.e. deportes náuticos y pesca) según el Decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984).

Adicionalmente, se hizo seguimiento a los valores guía de “*Enterococos*” propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003). Estos valores son usados mundialmente para determinar la calidad microbiológica de cuerpos de agua, cabe aclarar que no son 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.

1.2.4 Residuos de plaguicidas

Para los análisis de plaguicidas organoclorados (cuyo uso está actualmente restringido pero que siguen siendo de interés ambiental porque tienen una vida media de varios años) y de algunos plaguicidas de uso actual, se siguió la metodología descrita en la guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales: agua, suelos/sedimentos y biota del PNUMA (2008). Las muestras de agua se extrajeron con diclorometano, una vez ajustado el pH y adicionado los estándares de recuperación. Los extractos orgánicos se concentraron en rotavapor a ≈ 10 mL y se purificaron en una columna de sílica-gel/alúmina utilizando 250 mL de diclorometano: hexano.

La cuantificación se realizó en 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 mm de diámetro interno y una fase líquida HP5-MS de 0,25 µm 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 fue 60°C (1 min); 12°C/min hasta 150°C (0 min); 7°C/min hasta 230°C (3 min); 5°C/min hasta 265°C (0 min) y 20 °C/min hasta 300°C (4 min).

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

1.2.5 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.*, 2003) 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 sílice gel para eliminar interferencias y grasas. Los hidrocarburos aromáticos totales (HAT) se midieron por fluorometría en un Espectrofluorómetro Shimadzu RF-5301 PC. Los resultados se cuantificaron con base a una curva de calibración externa generada a partir de soluciones estándar de criseno (Accustandar ®). Las lecturas se realizaron con longitudes de onda de excitación de 310 nm y de emisión de 360 nm. Como control de calidad, por cada lote de análisis se incluyeron muestras de referencia de criseno preparadas con estándares certificados (Accustandar ®), blancos de reactivos, testigos de campo y muestras fortificadas con Criseno.

1.2.6 Metales traza

Para el análisis de metales pesados en aguas se aplicaron los procedimientos descritos en manual de técnicas analíticas del INVEMAR (Garay *et al.*, 2003a). Cada muestra de agua se trató con APDC (Amonio pirrolidinditio carbamato) y MIBK (Metilisobutil cetona) para la extracción selectiva de los metales, seguido de la re-extracción en fase acida con HNO₃ 2N. El extracto acuoso resultante, se transfirió a un balón volumétrico de 25 mL, aforando con solución de HNO₃ 2N. La cuantificación de agua se realizó mediante la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica con llama en un equipo marca Shimadzu, AA 6300. Para estos ensayos los controles de calidad consistieron en el análisis por lote de curvas de calibración diarias preparadas con soluciones estándar Merck® o Accustandar® de cada metal, análisis de blancos de reactivos, testigos de campo y muestras fortificadas con el metal de interés.

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

El Programa Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia – REDCAM, durante sus 13 años de operación se ha convertido en modelo de iniciativas de cooperación para proyectos nacionales e internacionales. La REDCAM cuenta con un sistema de información que nació también en 2001 y que ha evolucionado con los avances tecnológicos, en el 2013 se realizaron las

ajustes para optimizar la plantilla para la carga masiva de datos y verificación de errores que facilita a todos los Nodos el ingreso de los datos desde cada departamento con independencia del nodo central de INVEMAR, garantizando la cadena de custodia y seguridad de los datos. Este año se incluyeron las variables de materia orgánica y grasas y aceites al listado de variables del sistema.

De igual forma se actualizó la base de datos con los resultados del monitoreo de época lluviosa 2012 y seca 2013 con la información que generaron todas las entidades nodos de la REDCAM, lo que permitió mantener integrado y actualizado el sistema de información del programa de monitoreo nacional de calidad del recurso hídrico marino-costero de Colombia, en un gran repositorio de datos central.

Los usuarios pueden consultar la plataforma de REDCAM de manera autónoma y acceder a un escenario local, regional o nacional, a través del enlace <http://siam.invemar.org.co/siam/redcam/index.jsp>, donde accede a la información sobre 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, (Figura 2.2-1).



Figura 2.2-1 Página de acceso a los servicios del portal del SIAM de Colombia, donde se incluye la REDCAM

En el 2013 la base de datos continuó creciendo, se incluyeron 4 estaciones de muestreo para un total de 1032 (Figura 2.2-2) y se sumaron 2 nuevas variables que fueron grasas y aceites y materia orgánica. Comparado con el año anterior 2012, se incrementaron los registros en un 8%, para un total de 285.846 datos históricos medidos en 15.823 muestras analizadas (Tabla 2.2.1). Cabe resaltar que la base de datos

contiene información de los 12 departamentos costeros del Caribe y Pacífico colombiano y datos históricos de otros proyectos.

Tabla 2.2.1. Crecimiento del Sistema de información de la REDCAM a 2013

Año de operación	Estaciones	Muestras analizadas	Registros almacenados	Variables
2001	276	361	4515	42
2002	412	1376	18.114	53
2003	779	5164	109.230	56
2004	826	5974	122.590	56
2005	826	6860	137.042	57
2006	976	8595	164.173	57
2007	976	9229	173.734	57
2008	981	10324	191.230	57
2009	981	11282	277.564	57
2010	999	13198	222.684	101
2011	1008	13293	239.873	101
2012	1028	14379	264.311	102
2013	1032	15823	285.846	104

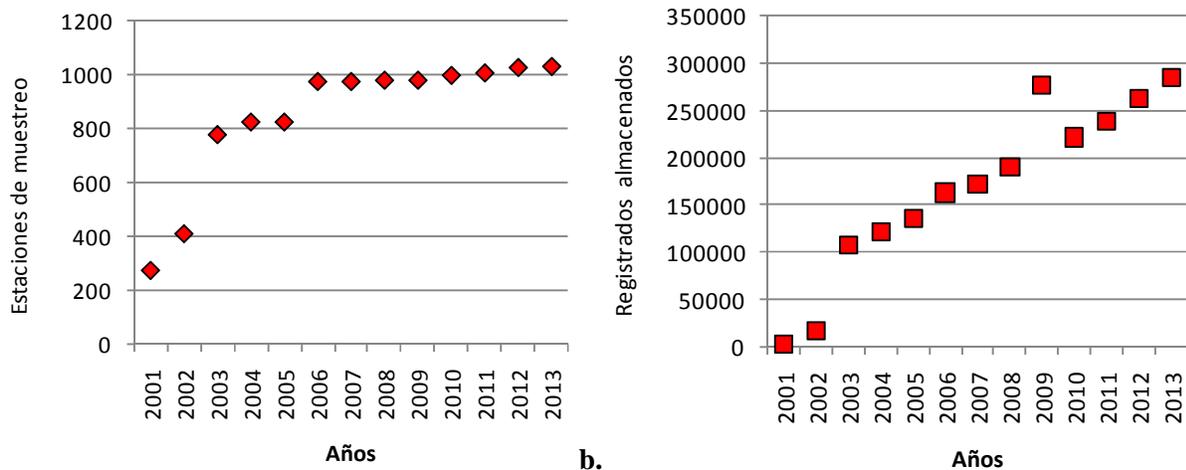


Figura 2.2-2. Crecimiento de la base de datos en los 13 años de operación de la REDCAM

Se actualizaron los servicios de cartografía dinámica en el Geovisor ofreciendo a los usuarios una herramienta de fácil manejo, donde se muestra la representación geográfica de la información ingresada al sistema, visualizando las estaciones de muestreo, calidad microbiológica de las playas, información complementario que sirve de referencia como la cobertura vegetal, sistemas fluviales, ecosistemas marinos y costeros, parques y reservas y la batimetría (Figura 2.2-3).



Figura 2.2-3. Pantalla de inicio del Geovisor REDCAM Colombia

2.3 ACTIVIDADES DE CAPACITACIÓN EN EL 2013

Formación de auditores internos en la norma ISO-IEC 17025:2005

Entre el 14 y 16 de agosto de 2013 se realizó el curso sobre “*Formación de Auditores Internos en la norma ISO-IEC 17025:2005*” dictado por el docente Leonardo Vence de la empresa SGS en las instalaciones de la nueva sede del INVEMAR, en Santa Marta. El curso fue orientado para formar Auditores Internos en la norma ISO-IEC 17025-2005 en los sistemas de gestión, mejoramiento continuo en todas las áreas de la organización, y a desarrollar habilidades para la realización de auditorías en Sistemas de Acreditación de Laboratorios (Figura 2.3-1).



Figura 2.3-1. Desarrollo del curso de Formación de Auditores en la norma ISO-IEC 17025:2005

Durante el curso se trataron aspectos fundamentales de auditoría, las utilidades y contenido de la norma ISO-IEC 17025:2005, requisitos administrativos, de gestión y del contexto legal que debe tener un laboratorio, principios de auditoría y el modelo de gestión de un laboratorio de ensayos, entre otros temas. En este espacio se capacitaron 28 personas representadas por profesionales de las CAR costeras (CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CORPONARIÑO), de los centros de investigación de DIMAR (CIOH y CCCP) y 16 trabajadores del INVEMAR; de los 28 participantes, 27 fueron certificados como auditores internos.



Figura 2.3-2. Participantes del curso de Formación de Auditores en la norma ISO-IEC 17025:2005

En la capacitación se revisaron aspectos fundamentales, utilidades y el contenido de la norma ISO-IEC 17025:2005, que incluye fundamentos de los requisitos administrativos, de gestión y del contexto legal que debe tener un laboratorio; acorde al método, resultado y producto que dependerá de los servicios que éste ofrece. (Figura 2.3-3). Se enfatizó sobre los factores claves para el éxito de la auditoría que son: i) la

revisión documental, teniendo como propósito adquirir el conocimiento sobre los procesos que se van a evaluar, y ii) la coordinación del equipo auditor, compuesto por el auditor líder y el experto técnico. Se hizo una breve introducción de las normas ISO 9011, ISO-IEC 17000 y VIM, que constituyen el manual conceptual de la norma ISO-IEC 17025:2005.

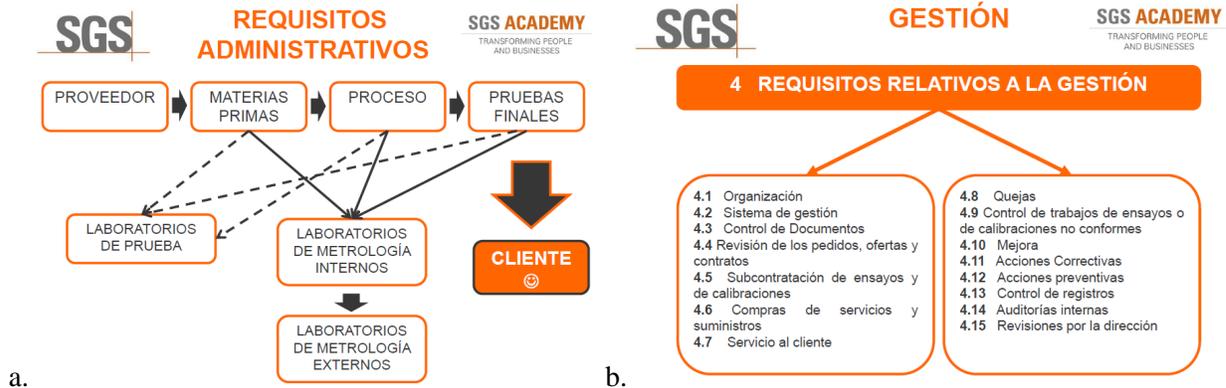


Figura 2.3-3. Cadena de valor de requisitos administrativos (a). Requisitos ISO 17025 relativos a la gestión (b). (Fuente: memorias del curso)

Posteriormente se realizaron ejemplos y talleres prácticos de aplicaciones de la norma, los principios que rige la auditoria basados en la confidencialidad, ecuanimidad, cuidado profesional, independencia, integridad, evidencia y los requisitos para auditar un laboratorio bajo los normativos (ISO-IEC 17025:2005), marco legal (IDEAM), cliente (quien manifiesta como requiere los ensayos) y la entidad. También se presentó el modelo general de gestión de un laboratorio de ensayos (Figura 2.3-4). Cada laboratorio debe documentar sus políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones para asegurar la calidad de los resultados de los ensayos y calibraciones.

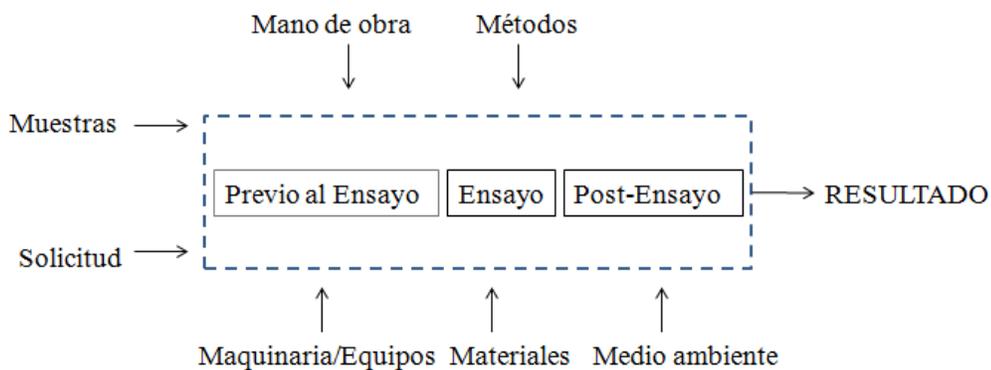


Figura 2.3-4. Modelo de gestión de un laboratorio de ensayos. (Fuente: memorias de la capacitación)

Las políticas incluidas en el manual de calidad son: confiabilidad; no injerencia; calidad, revisión de solicitudes, ofertas y contratos; compras; quejas de clientes y otras partes; ensayo no conforme; acción correctiva, y se debe identificar la necesidad de información. La gestión del programa de auditoría dentro de la norma, consta de cuatro etapas i) planeación, ii) implementación, iii) monitoreo, iv) revisión y

mejora. En la planeación, se definen los objetivos del programa y el establecimiento de los roles, responsables y competencia del personal. En la implementación, se define el alcance, el método de selección de auditores, asignación de responsable, entre otros; verificación y, revisión y mejora del programa de auditoría. El último día de curso se evaluaron los conocimientos para certificar las competencias adquiridas por los participantes, como auditores internos de la norma ISO 17025:2005.

Entrenamiento en validación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP'S) en el laboratorio de CORPOGUAJIRA

Con el propósito de mejorar las capacidades del personal técnico relacionado con el análisis de contaminantes orgánicos en el Laboratorio Ambiental – LAMCOR de CORPOGUAJIRA, el INVEMAR realizó capacitaciones in situ en tres jornadas; la primera del 24 al 26 de abril, la segunda entre el 4 y 7 de junio; y la tercera el 26 y 27 de junio para dar apoyo en el proceso de validación y análisis de hidrocarburos según los lineamientos de la NTC-ISO 17025 en muestras de aguas costeras y aguas de ríos medidos en La Guajira.

Durante la capacitación se hizo la socialización del procedimiento analítico para la determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos HAP, así como de cada una de las etapas contenidas en el plan de validación a llevar a cabo. Se hizo el entrenamiento en las técnicas básicas para la toma de muestras de aguas marinas y costeras y en las fases del procedimiento analítico (extracción, purificación, concentración y determinación instrumental). Se creó el método cromatográfico para lo cual se realizaron análisis de estándares certificados para la construcción de las curvas de calibración, y se realizó el proceso de validación con el tratamiento de las respectivas muestras programadas y cuyo procesamiento fue finalizado por el personal del laboratorio hasta completar los siete días de ensayos programados (Figura 2.3-5).



Figura 2.3-5. Capacitación en el desarrollo del método cromatográfico y proceso de validación del ensayo de hidrocarburos poli-aromáticos y plaguicidas

Capacitación en toma y preservación de muestras de aguas marino-costeras en CORPONARIÑO

Con el propósito mejorar las capacidades del personal técnico relacionado con el monitoreo de aguas de Corponariño, se realizó el curso en “*Toma y preservación de muestras de aguas marinas y costeras*”, siguiendo los lineamientos del Manual de Técnicas Analíticas de INVEMAR, el Standard Methods for the

Examination of Water and Wastewater y la norma técnica para laboratorios de ensayo y calibración NTC-ISO/ICE 17025. Las actividades enmarcadas dentro de la capacitación se llevaron a cabo en las instalaciones del Centro Ambiental Costa Pacífica de la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO), en el municipio de San Andrés de Tumaco, los días 19 y 20 de septiembre de 2013, donde participaron 23 funcionarios de la corporación encargados de realizar los monitoreos de aguas.

Este curso se realizó con el objetivo de asegurar la trazabilidad de las muestras ambientales que ingresan al laboratorio de Corponariño y la confiabilidad de los resultados analíticos. En la etapa teórica se expusieron las instrucciones para la recolección de muestras de agua en campo, de acuerdo con el diseño del muestreo, al tipo de agua, el tipo de material adecuado de los frascos recipientes para transportar la muestra al laboratorio, las formas de preservación, el registro, origen e identificación de las muestras, recepción y registro en el laboratorio. En la parte práctica se trataron los aspectos fundamentales del monitoreo de aguas en campo como son preparación del muestreo, tipos de muestreos (simple, compuesto e integrado), recolección y preservación de muestras, cuidados que se deben tener en cuenta para evitar la contaminación en campo, recepción de muestras en el laboratorio y la cadena de custodia (Figura 2.3-6; Figura 2.3-7).



Figura 2.3-6. Curso en toma y preservación de muestras de aguas marinas y costeras-fase teórica



Figura 2.3-7. Curso en toma y preservación de muestras de aguas marinas y costeras- fase de campo

2.4 ANÁLISIS DE LAS CAPACIDADES TÉCNICAS Y OPERATIVAS DE LAS CAR COSTERAS EN LA APLICACIÓN DE PROTOCOLOS Y MONITOREO REDCAM. CONVENIO 57 MADS- INVEMAR 2013

Con el apoyo e interés de la Dirección de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos - DAMCRA del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, se realizó el diagnóstico de las capacidades técnicas y operativas de las CAR costeras para la aplicación de protocolos y monitoreo de la REDCAM, con el propósito que las Corporaciones asuman las nuevas competencias de la Ley 1450 de 2011 en cada jurisdicción marino-costera. Para la evaluación se aplicó una encuesta a las 12 CAR costeras y posteriormente se realizaron visitas de campo piloto a seis laboratorios (CARDIQUE; CORPOURABA; CARSUCRE; CORPOGUAJIRA; CRC y CVC), con el fin de identificar sus fortalezas y necesidades que tienen las CAR costeras (Figura 2.4-3 y Figura 2.4-4).

Los resultados mostraron que 10 de las 12 corporaciones con jurisdicción marino-costeras cuentan con laboratorios de ensayo propios para realizar los análisis de muestras de la REDCAM, éstos están acreditados ante el IDEAM bajo la norma ISO-IEC 17025:2005, excepto CARSUCRE que está en proceso de acreditación. Las dos restantes (CORPAMAG y CRA), no cuentan con laboratorio, sin embargo, éstas se apoyan del laboratorio de calidad ambiental marina - LABCAM del INVEMAR para realizar el monitoreo en las zonas costeras del Magdalena y Atlántico.

Todos los laboratorios cuentan con técnicas validadas y algunas acreditadas (Figura 2.4-1); cuentan también con equipos de tipo básico, de gama media y alta en diversas proporciones acorde con los ensayos que realizan (Figura 2.4-2). Corporaciones como CARDIQUE y CVC tienen el mayor número de equipos, seguido de CORPOGUAJIRA, CODECHOCÓ, CORPOURABÁ y CRC, los cuales no sólo tienen la capacidad de realizar ensayos básicos, sino también ensayos de mayor complejidad analítica. Las CAR se encuentran en capacidad de asumir las mediciones de variables *in situ*, sólidos suspendidos, DBO₅; nutrientes inorgánicos y clorofila; el 60 % podría analizar variables microbiológicas, el 40 % pueden medir metales traza y el 30 % hidrocarburos del petróleo y plaguicidas.

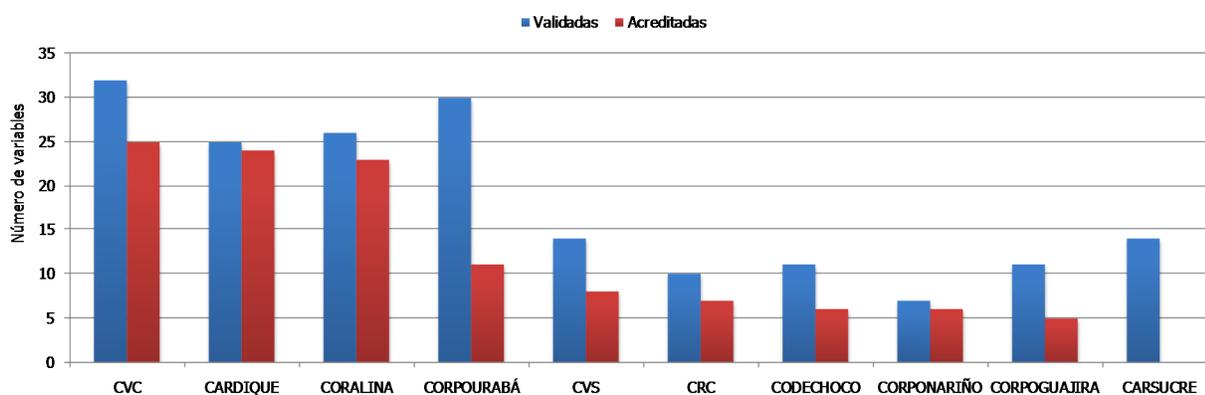


Figura 2.4-1. Número de técnicas validadas y acreditadas en los laboratorios de las CAR costeras

Cabe destacar que aunque los laboratorios tienen capacidad para realizar ensayos de algunas variables de la REDCAM, en la mayoría de los casos no tienen el personal técnico formado para realizar los análisis específicamente en aguas marinas. En este sentido, las próximas actividades de formación deben estar orientadas a capacitaciones puntuales sobre las necesidades identificadas en cada CAR en temas como toma de muestras, determinaciones de nutrientes, microbiológicas, hidrocarburos, plaguicidas, y metales pesados.

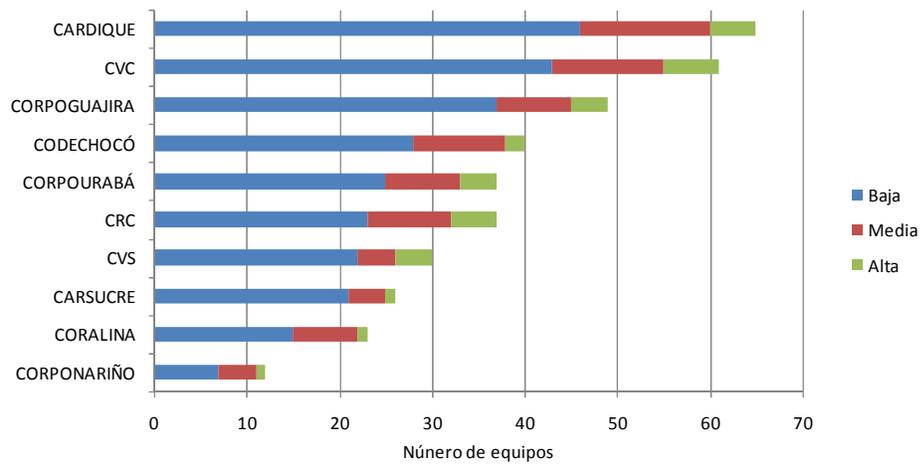


Figura 2.4-2. Clasificación y número de equipos disponibles en los laboratorios de las CAR costeras

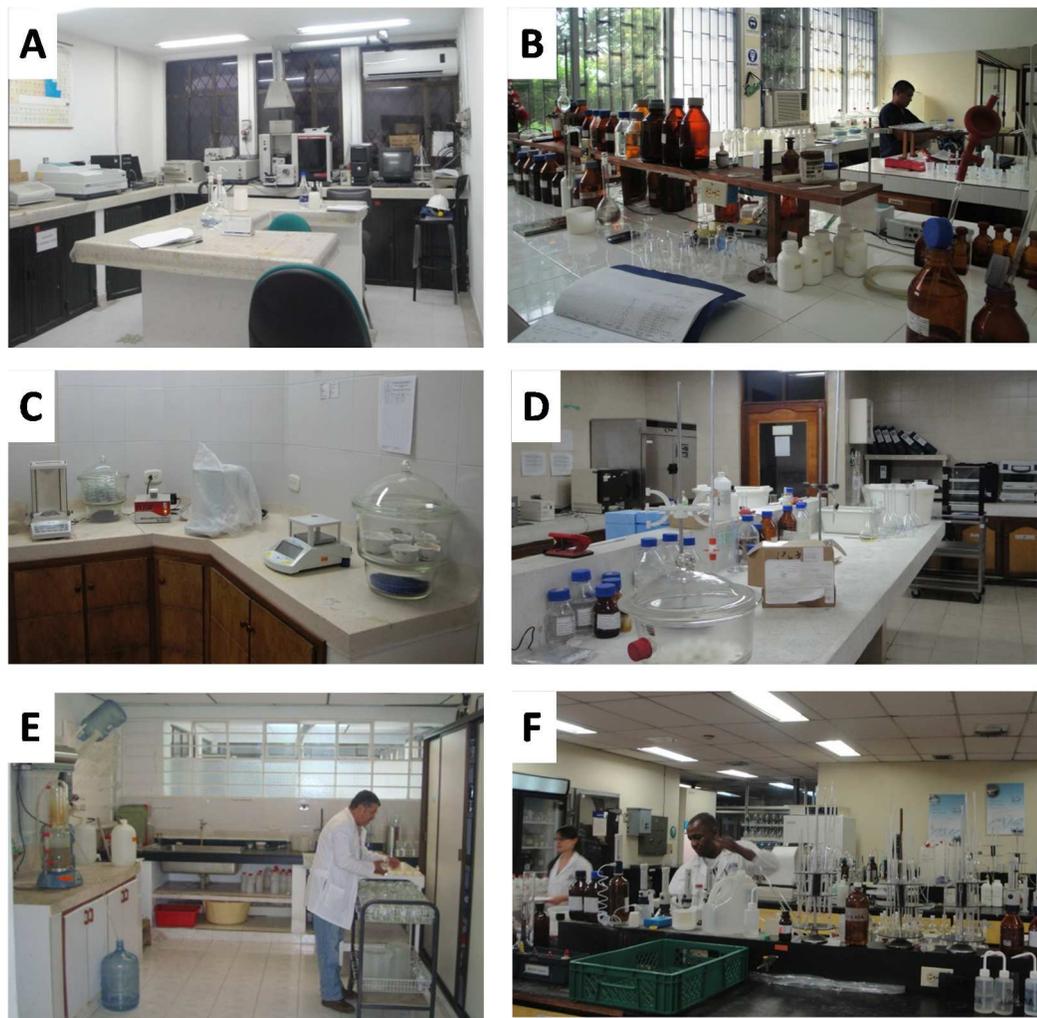


Figura 2.4-3. Algunas sesiones de los laboratorios ambientales de A. CARDIQUE; B. CORPOURABA; C. CARSUCRE; D. CORPOGUAJIRA; E. CRC y F. CVC



Figura 2.4-4. Equipos de trabajo de los laboratorios de A. CVC; B. CARSUCRE; C. CARDIQUE; D. CORPOURABA; E. CORPOGUAJIRA

3. DIAGNOSTICO NACIONAL

3.1 INVENTARIO NACIONAL DE FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN AL MAR

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, poblaciones costeras y otras actividades conexas (Garay et al., 2001).

Las principales fuentes terrestres de contaminación al mar que se han identificado en las zonas costeras de Colombia son los residuos domésticos, municipales, industriales, portuarios y las aguas de escorrentía urbana y agrícola procedentes de cuencas hidrográficas a través de fuentes puntuales y fuentes no puntuales de contaminación (Figura 3.1), que llegan al mar con mayor intensidad en temporadas de lluvias. Aunque no son una fuente propiamente dicha, los ríos que desembocan en el mar son una vía importante de transporte de los residuos 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, debido a que se desarrollan muy cerca de la población (Tabla 3.1).

Cada departamento tiene sus propias actividades socio-económicas y usos de la zona costera que se relacionan con la contaminación (Tabla 3.1). Los residuos provenientes de estas actividades y los resultados del monitoreo han demostrado la incidencia de estas actividades sobre la calidad del agua en la zona costera y los ecosistemas marinos. La mayoría de municipios costeros carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales y tienen baja cobertura de alcantarillado; entre las alternativas de disposición más utilizadas están los pozos sépticos, vertimiento directo sobre cuerpos de agua o canales de desagüe construidos sin mayor especificación técnica, limitando así la calidad del recurso y restringiendo su uso (SSPD, 2009b; DIRPEN, 2011; Vivas-Aguas et al., 2012). En cuanto a los residuos algunos municipios disponen en rellenos sanitarios, en basureros a cielo abierto u otro tipo inadecuado de forma de disposición final como enterramiento y quema.

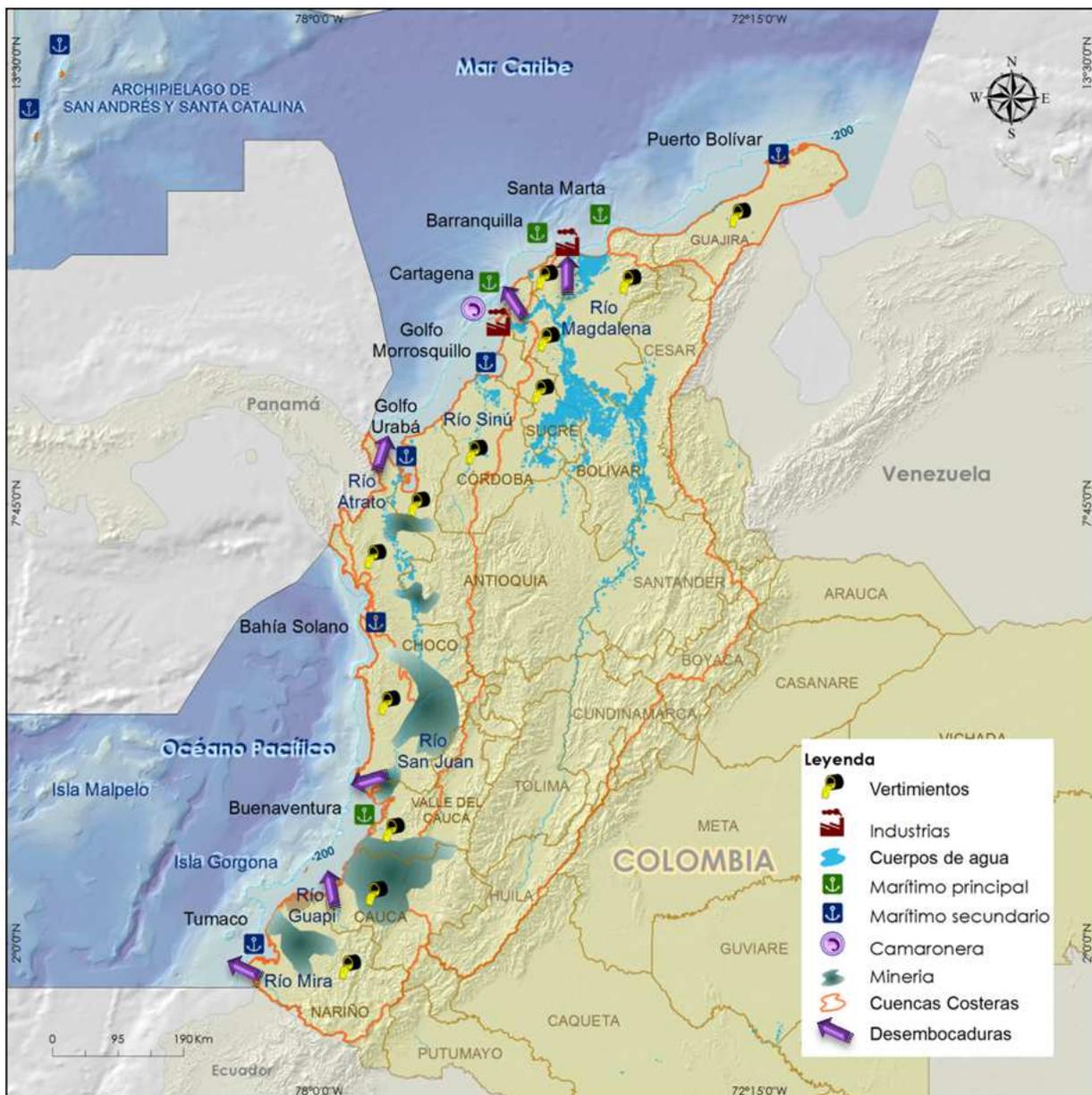


Figura 3.1. Principales fuentes terrestres de contaminación que llegan a las aguas marino-costeras de Colombia. Fuente: IGAC, 2002; Supertransporte, 2008; DANE, 2011.

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, CARSUCE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCO, CORPOURABÁ, CVC, CRC, CORPONARIÑO e INVEMAR.

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
San Andrés, Providencia y Santa Catalina	Dos asentamientos humanos costeros (San Andrés y Providencia), 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	Materia orgánica, nutrientes, aceites lubricantes, detergentes, microorganismos, residuos sólidos y aguas residuales domésticas.

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
	en las microcuencas de McBean, Baley y Fresh water, los cuales aumentan sus caudales durante la temporada de lluvias.	
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, 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.	Materia orgánica, residuos sólidos, aguas residuales municipales, residuos de 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 Tolviejo) y un relleno manual en Sincé, minería (Piedra Caliza en Tolviejo y Palmito), actividad agropecuaria (arroz; pastos, coco, ganadería), maderera, fuentes municipales (aguas residuales domésticas, residuos sólidos), industria pesquera, camarónicas, zocriaderos, actividad portuaria, terminal marítimo de Ecopetrol, muelle de Tolcemento, Zona de cargue de cemento y klinker, manejo y transporte de hidrocarburos, mataderos, estaciones de servicio. Aportes por corrientes naturales (Arroyos Pechelin, Villeros, Ciénaga la Caimanera, Caño Guainí, Zaragocilla, Guacamaya, Alegría).	Materia orgánica, sólidos en suspensión, agroquímicos, heces, residuos sólidos, aguas residuales, microorganismos, aguas de sentina, hidrocarburos, aceites y residuos oleosos, residuos de carbón, Klinker y yeso, metales pesados.
Córdoba	Seis asentamientos humanos costeros (Canaletes, San Antero, San Bernardo del Viento, Moñitos, Puerto Escondido, Los Córdoba), pozos sépticos, basurero a cielo abierto, agricultura (arroz) y ganadería intensiva, distrito de riego de Moncarí y Montería, turismo, residuos sólidos, aguas residuales domésticas, aportes por los ríos Sinú, Canaletes y Los Córdoba.	Materia orgánica, agroquímicos, heces, residuos sólidos, aguas residuales, microorganismos, sedimentos, nutrientes.
Antioquia	Cuatro asentamientos humanos costeros (Arboletes, San Juan de Urabá, Turbo y Necoclí), lagunas de oxidación, 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.

Departamento	Fuentes, actividades humanas y tributarios	Residuos y contaminantes
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.
Cauca	Tres asentamientos costeros (López, Timbiquí y Guapi), fuentes municipales, sistema de saneamiento básico precario, minería de oro, agricultura, aserríos, 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, camarónicas, 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.

3.1.1 Aguas residuales domésticas

La calidad del agua marino costera en Colombia está influenciada por las descargas de aguas residuales domésticas (ARD), las cuales contienen sólidos fijos, disueltos y en suspensión, materia orgánica, detergentes y microorganismos de tipo fecal que aumentan la DBO₅ (MADS e INVEMAR, 2011; IDEAM, 2010).

Los 4.8 millones de habitantes asentados en la zona costera (DANE, 2013) producen cerca 724.000 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 poseen diversos tipos de sustancias contaminantes (Vivas-Aguas *et al*, 2012).

La carga estimada en el 2013 proveniente de los municipios fue de 30.886 t/año de materia orgánica representada en DBO₅ y 61.771 t/año de DQO; además de 7.413 t/año de Nitrógeno; 494 t/año de fosfatos; 30.886 t/año de Sólidos Suspendidos totales y de 1,2 E + 20 NMP/año de coliformes totales, donde la costa Caribe aporta el 71 % y el Pacífico aporta el 29 %. Cartagena de Indias en el Caribe aportó la mayor carga con 3.473 t/año de DBO₅; 6.947 t/año de DQO; 833 de Nitrógeno; 55,58 t/año de Fosforo; 3.473 t/año de Sólidos Suspendidos Totales y 1,4 E + 19 de NMP/año de coliformes totales; en orden de importancia le sigue Tumaco, Buenaventura y Santa Marta.

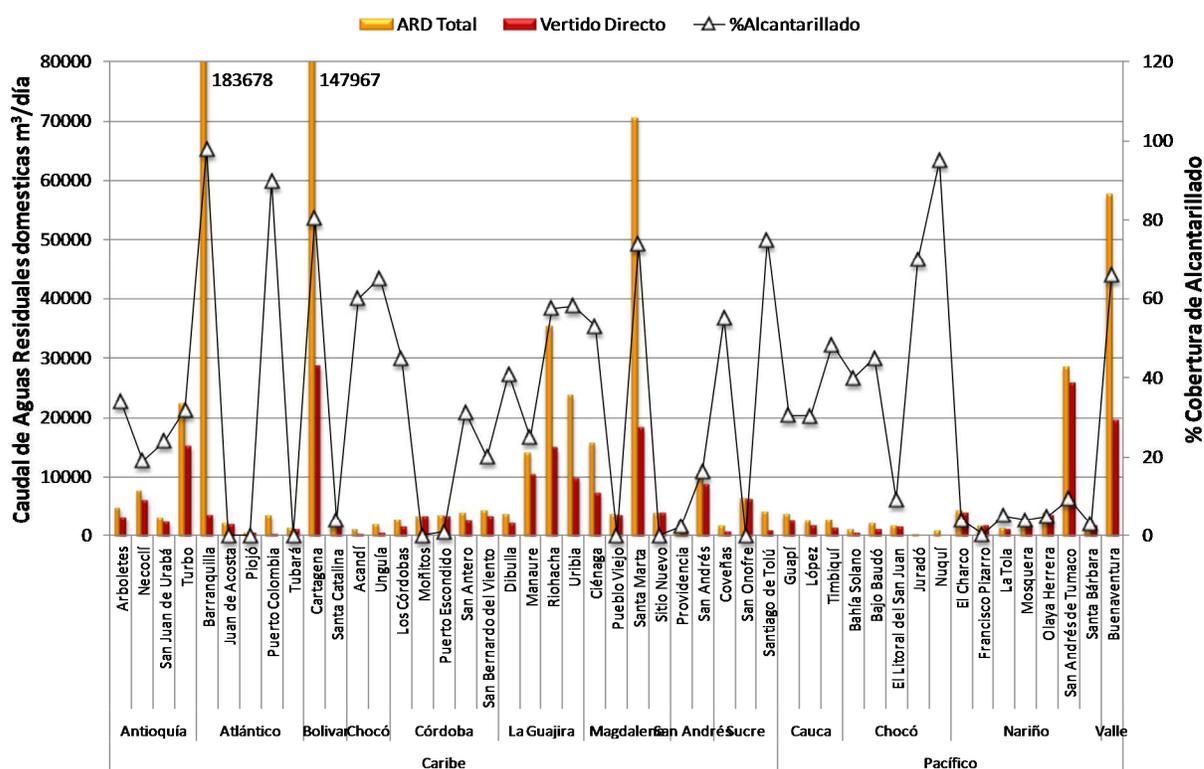


Figura 3.2. Caudal estimado de vertido de aguas residuales domésticas – ARD y cobertura de alcantarillado en los municipios costeros del Caribe y Pacífico colombiano, es de resaltar los picos en grandes centros urbanos. Fuente caudal: cálculo Invepar, UNEP/UCR/2010. Población y cobertura alcantarillado: DANE 2011, SSPD según censo 2005, Federación Colombiana de Municipios, 2012; CORPOGUAJIRA, 2012; CORPOURABA, 2012; CORPAMAG, 2012.

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 por sus bajos costos de inversión, operación y mantenimiento, considerándose una opción para el tratamiento de aguas residuales (Mindesarrollo, 2000).

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; INVEPAR 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 séptica
Pueblo Viejo	159	40	0	0	poza séptica
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

Municipio	Producción residuos sólidos (t/mes)	Cobertura de Aseo %	Cobertura de Acueducto %	Cobertura de Alcantarillado %	Sistema de tratamiento de Aguas Residuales
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
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 Descarga de ríos

A escala mundial muchos residuos son generados a grandes distancias de la costa y son transportados por los ríos y escorrentías, convirtiéndose en las principales vías de entrada de contaminantes a las zonas costeras, y pueden ocasionar cambios en el litoral (sedimentos) y en los ecosistemas (nutrientes y elementos tóxicos) debido al impacto de las actividades humanas generadas en la parte alta de las zonas hidrográficas (Escobar, 2002; Restrepo *et al.*, 2005; Restrepo *et al.*, 2006). En Colombia, las ciudades más pobladas se encuentran en áreas montañosas al interior del país, otras en la ribera de principales ríos haciendo que los contaminantes tengan un acceso directo y un impacto considerable en la calidad ambiental de los ecosistemas marino-costeros (Garay, *et al.*, 2004).

En el año 2012, 40 de los principales ríos que desembocan en la zona costera colombiana, vertieron un total de 16.027 m³/s de aguas cargadas con diferentes residuos y sustancias contaminantes (Tabla 3.3). Los resultados del análisis mostraron que en conjunto estos ríos descargaron 227.209 t/año de nitrógeno

inorgánico disuelto, 22.649 t/año de fósforo inorgánico disuelto, 97,7 millones t/año de sólidos en suspensión, 415 t/año de hidrocarburos del petróleo y 4.67×10^{21} t/año de microorganismos indicadores de contaminación fecal.

Las mayores cargas de nitrógeno en 2012 las aportaron los ríos San Juan (137.306 t/año), Magdalena (61.789 t/año) y Atrato (5.158 t/año), similar al 2011, debido al alto caudal que aportan, a las amplias áreas de drenaje, la cantidad de sedimentos transportados, los fertilizantes utilizados en las riberas de los ríos y por las descargas de aguas residuales que son fuente principal de nitrógeno, en especial el río Magdalena (Restrepo et al., 2006; Cormagdalena, 2007). La carga de fosfatos en 2012 fue más alta en los ríos Magdalena (17.008 t/año) y Atrato (1.732 t/año), mientras que en 2011 la más alta se presentó en los ríos Magdalena (12.047 t/año), San Juan (2.617 t/año) y Canal del Dique (1.684 t/año).

La entrada en exceso de nutrientes en áreas pequeñas o cerradas puede llegar a producir eutrofización y aumento de la comunidad fitoplanctónica, causando disminución de los niveles de oxígeno, mortandad de especies hidrobiológicas e incluso florecimiento de algas tóxicas, favoreciendo enfermedades en la población costeras por uso de estos cuerpos de agua (GESAMP, 2001). De igual forma, el aumento de algas, puede perjudicar los ecosistemas al competir con corales y pastos marinos por espacio, sustrato y luz (Fabircius, 2005).

En cuanto a los aporte de sólidos suspendidos totales, los ríos Magdalena (6.87×10^7), San Juan (1.1×10^7) y Atrato (6.5×10^6), fueron los más altos tanto en 2012 como en 2011. Estos ríos recogen múltiples tributarios en el área de drenaje de sus cuenca y esto hace que la concentración de sedimentos sea mayor al llegar a la zona costera (Restrepo et al., 2005 y Cormagdalena, 2007). El aporte de sólidos en suspensión en los ecosistemas de manglar, corales y pastos marinos, puede influir negativamente al impedir la entrada de luz y afectar la fotosíntesis, lo que se puede ver reflejado en la disminución de tasas de crecimiento y condiciones de hipoxia (Ellison, 1998; Touchette y Burkholder, 2000; Carricant y Merino, 2001). El aporte en carga de hidrocarburos del petróleo se presentó en mayor proporción en los ríos Magdalena (204 t/año), Atrato (68 t/año), San Juan (50 t/año) y Mira (39 t/año).

La mayor contaminación fecal fue aportada por los ríos Magdalena (1.7×10^{21} NMP/año), Mira (3.5×10^{20} NMP/año), Atrato (1.5×10^{20} NMP/año) y San Juan (9.4×10^{19} NMP/año), mientras que en 2011 el mayor aporte fue del río Atrato ($2,1 \times 10^{24}$ NMP/año). Esta contaminación está relacionada con vertimientos de aguas residuales domésticas, que se caracterizan por tener altas concentraciones de coliformes termotolerantes, que pueden producir enfermedades gastrointestinales como el cólera y la hepatitis al usar estas aguas para recreación o por la ingestión de alimentos contaminados. Las concentraciones de CTE en los 40 ríos, sobrepasaron el criterio de la legislación nacional para aguas de contacto primario (200 NMP/100 mL Decreto 1594 de 1984). En los ecosistemas las coliformes pueden afectar comunidades de esponjas y corales produciendo enfermedades que necrosan los tejidos (Gochfeld et al., 2007).

Tabla 3.3. Caudal promedio histórico y carga anual estimada de contaminantes que aportaron en el 2012 los principales tributarios que desembocan en el litoral Caribe y Pacífico colombiano. HAT: hidrocarburos de petróleo, NID: nitrógeno inorgánico disuelto (amonio, nitritos y nitratos), PO₄: ortofosfatos, SST: sólidos suspendidos totales, CTE: coliformes termotolerantes, DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno. Fuente Datos: Caudal ríos de serie de tiempo 1959-2010 (IDEAM, 2012); Restrepo J. 2006; Garay *et al.*, 2006; Concentraciones: Base de datos REDCAM, INVEMAR 2013.

Departamento	Corriente	Caudal m ³ /s	NID t/año	PO ₄	DBO ₅	SST	HDD	CTE NMP/año
Antioquia	Atrato Matuntugo	1874,89	5159	1732	1,2E+05	6,5E+06	68,9	1,6E+20
	Guadualito	2	9	7	1,5E+02	1,1E+03		7,7E+17
	Mulatos	4,69	35	4	2,6E+02	4,2E+04		1,5E+18
	Necoclí	3		4	1,1E+02	2,7E+03		1,1E+17
	Currulao	6,74	1	3	5,6E+02	8,5E+03		1,0E+19
	León	75,05	159	154	3,4E+03	2,4E+05	1,1	2,5E+19
	Turbo	3,57	1	3	9,0E+01	6,3E+03		2,3E+18
Atlántico	Clarín	23	379	48	1,7E+03	2,2E+05	0,9	1,4E+17
	Magdalena	7200,83	61790	17009	4,3E+05	6,9E+07	204,4	1,8E+21
Bolívar	Caño Correa	128,34	625	81	1,4E+04	1,4E+05	0,0	2,0E+16
	Canal del Dique	427,26	1588	607	1,7E+04	2,7E+06	0,0	8,2E+18
Córdoba	Sinú	394,5	1513	153		1,5E+06	5,2	1,9E+21
La Guajira	Cañas	12	49	12		2,5E+03	0,1	3,8E+17
	Jerez	15	58	15		1,2E+03	0,2	1,5E+17
	Palomino	25,37	405	33		7,8E+03	0,3	2,6E+17
	Ranchería	8,22	38	58		7,0E+04	0,4	4,0E+17
Magdalena	Buritaca	89,84	256	135		1,4E+05	7,8	8,6E+18
	Córdoba	10	32	23		3,4E+03	0,2	4,7E+17
	Don Diego	38,62	95	49		1,2E+04	1,4	7,8E+17
	Gaira	2,74	8	9		1,3E+03	0,1	8,4E+18
	Guachaca	15,85	54	26		7,5E+04	4,0	8,7E+17
	Manzanares	1,89	42	13	1,1E+02	2,4E+03	0,1	3,2E+18
	Piedras	4,56	15	17		1,5E+03	0,1	2,6E+17
	Toribio	10	41	17		3,3E+03	0,2	3,0E+18
Sucre	Pechelín	0,93	6	21		1,1E+03	0,0	
Caribe		10378,89	72357	20233	5,9E+05	8,0E+07	295,4	3,9E+21
Cauca	Guapi	357,05	404	378		2,9E+05	3,2	1,1E+19
	Micay	274,41	608	642		4,8E+05	2,7	4,4E+19
	Saija	165,84	290	287		1,3E+05	0,8	2,8E+19
	Timbiqui	147,13	181	161		2,7E+05	1,1	9,3E+18
Nariño	Brazo Patía	374,83	455	136		8,1E+05	2,8	1,3E+19
	Chagui	133,5	592	75		5,9E+05	1,2	1,4E+19
	Iscuandé	212,77	299	210		2,8E+05	0,9	2,9E+19
	Mejicano	45	271	22		1,5E+05	0,5	5,9E+18
	Mira	868,08	1871	420		2,2E+06	39,8	3,6E+20
	Rosario	146	758	86		2,6E+05	3,7	3,1E+19
Valle del Cauca	Anchicayá	74	2463		3,3E+02	4,1E+04	2,7	7,7E+18
	Dagua	125,89	7584		7,1E+02	9,4E+04	5,2	6,6E+19
	Potodo	60	912			9,1E+03	3,1	1,1E+19
	Raposo	70	859			2,3E+04	2,6	1,3E+19
	San Juan	2593,7	137306			1,2E+07	50,1	9,4E+19
Pacífico		5648,2	154853	2416	1,0E+03	1,7E+07	120,5	7,4E+20
Nacional		16027,09	227210	22650	5,9E+05	9,8E+07	415,9	4,7E+21

3.2 ÍNDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS

En los últimos años los indicadores son más utilizados para facilitar la interpretación de los resultados de calidad del agua y su divulgación masiva. En el caso del recurso hídrico marino-costero la Red de vigilancia de la 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 nacionales y regionales (INVEMAR, 2011b).

La formulación del 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_{PFF}) 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 destinación del recurso y la concentración de cada una de las variables.

X_i = subíndice de calidad de la variable i

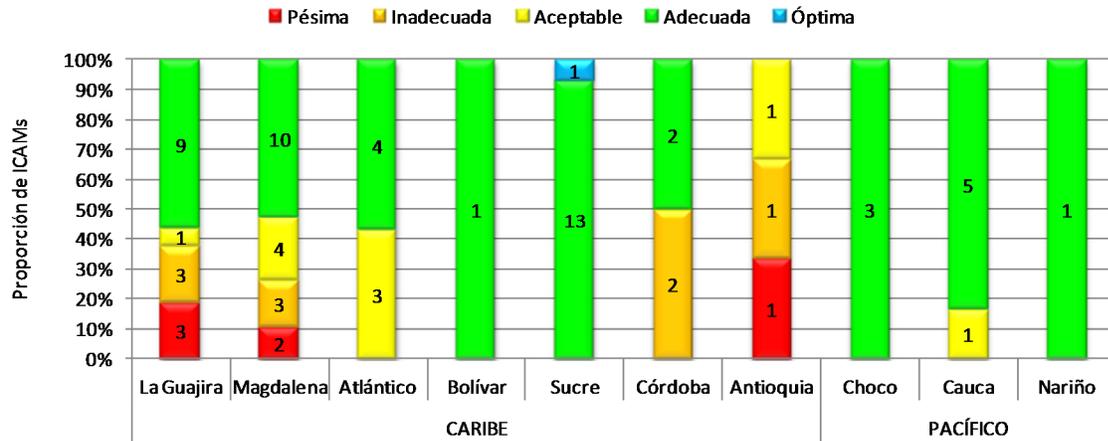
W_i = factor de ponderación para cada subíndice i , según su importancia dentro del ICAM, el cual se pondera entre cero y uno (valor de importancia).

Tabla 3.4. Escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas – ICAM (Vivas-Aguas, 2011)

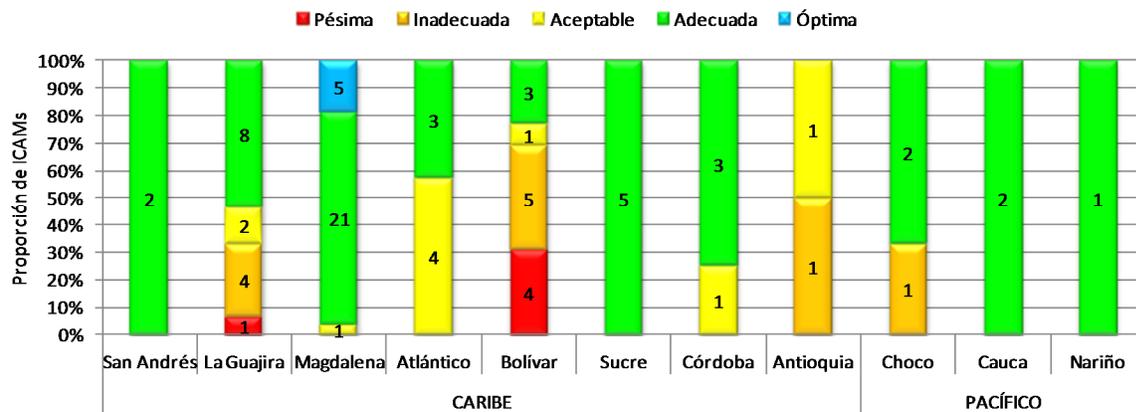
Escala de calidad	Color	Categorías	Descripción
Óptima	Azul	100-90	Calidad excelente del agua
Adecuada	Verde	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática
Aceptable	Amarillo	70-50	Agua que conserva buenas condiciones pero pocas restricciones de uso
Inadecuada	Naranja	50-25	Agua que presenta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

En el muestreo de la época de lluvias 2012 el 1 % (1) de los 64 ICAM_{PFF} calculados estuvo dentro de la calificación óptima y fue en el departamento de Sucre. El 65 % (48) de los ICAM_{PFF} estuvo en la categoría adecuada; el 14 % (10) presentó características aceptables; el 12 % (9) inadecuadas y el 8 % (6) una pésima calidad del agua en estaciones ubicadas en los departamentos de La Guajira (3), Magdalena (2) y Antioquia (1; Figura 3.3a). Mientras que durante el muestreo de la época seca de 2013 las condiciones cambiaron un poco con respecto a la temporada anterior, registrando mejor calidad de las aguas marinas y costeras (Figura 3.3b), ya que de los 81 ICAM_{PFF} calculados el 6 % (5) fueron óptimos, el 62 % (50) con

calidad adecuada, el 12 % (10) aceptable, el 14 % inadecuada y el 6 % (5) obtuvo una pésima calidad, nuevamente en el departamento de La Guajira (1) y Bolívar (4; Figura 3.3b).



a)



b)

Figura 3.3. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAM_{PF}) en la época lluviosa de 2012 (a) y seca 2013 (b) en las zonas costeras del Caribe y Pacífico colombiano. Los valores en las barras representan el número de índices en cada categoría; los colores de las barras representan la calidad de acuerdo con la escala indicativa (Tabla 3.4).

Puntualmente, las estaciones que en el período 2012-2013 mostraron un estado de *pésima* calidad en el Caribe fueron el muelle cabotaje (Magdalena) en la época lluviosa 2012 y, las playas de Riohacha (La Guajira); Manzanillo, Crespo, Bocagrande y Punta Canoa (Bolívar), y Arboletes (Antioquia) en la época seca 2013. Los mejores índices de calidad *óptima* se presentaron en las playas de Coveñas Punta Piedras (Sucre) en la época lluviosa 2012 y en el puente de la calle 22, bahía Chengue y las playas municipal y Neguanje (Magdalena) durante la época seca 2013 (Figura 3.4).

En la región del Pacífico, en ambas épocas climáticas (lluvias 2012 y seca 2013) se presentaron buenas condiciones de las aguas marinas, adecuadas para la preservación de la flora y la fauna en los departamentos de Nariño, Chocó y Cauca, excepto en la estación playa Capurganá en Chocó que presentó una calidad *inadecuada* en la época seca de 2013, debido a la influencia de descargas de aguas residuales (Figura 3.5).

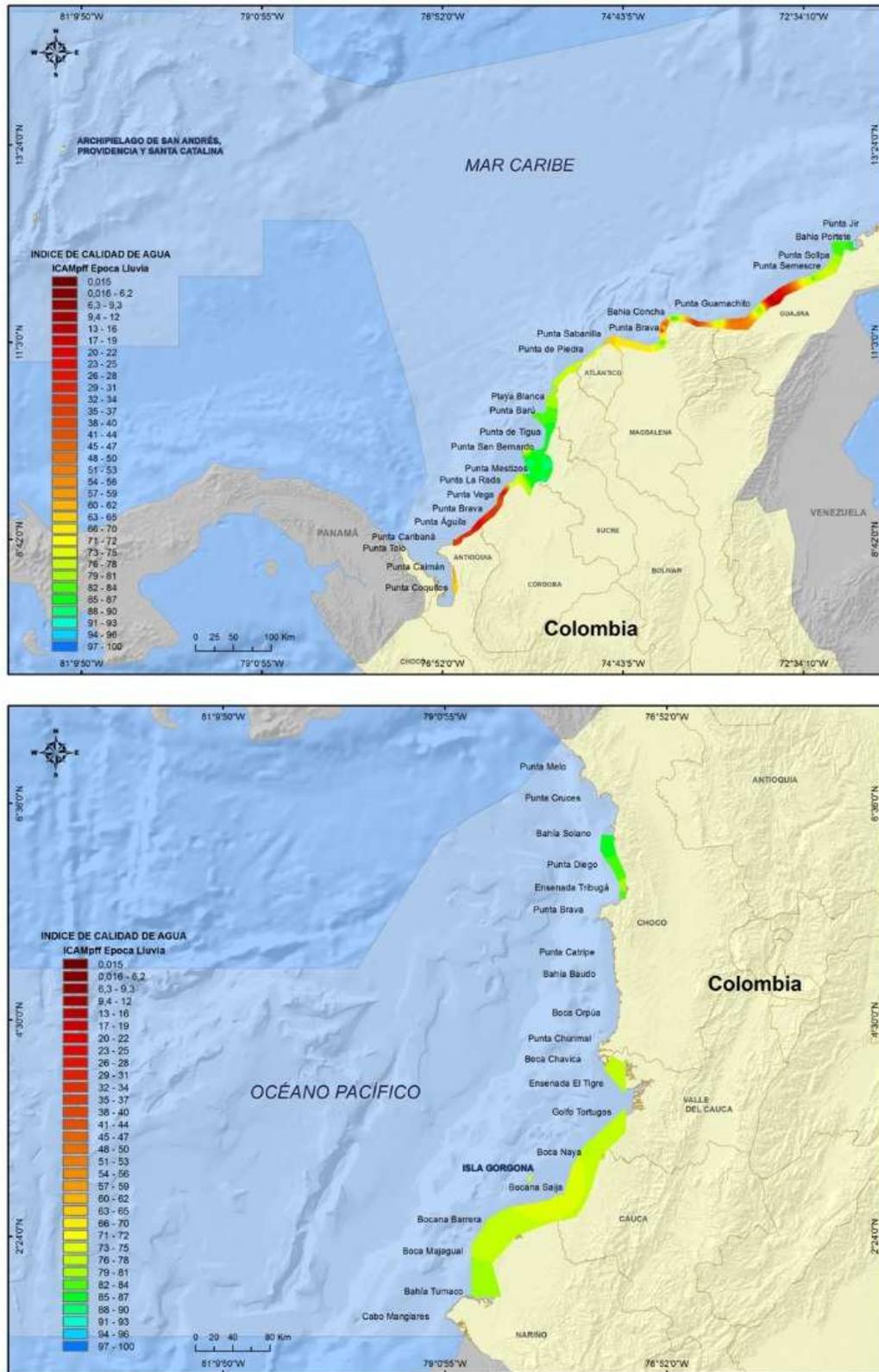


Figura 3.4. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAMPF) en la época lluviosa de 2012 en las zonas costeras del Caribe y Pacífico colombiano.

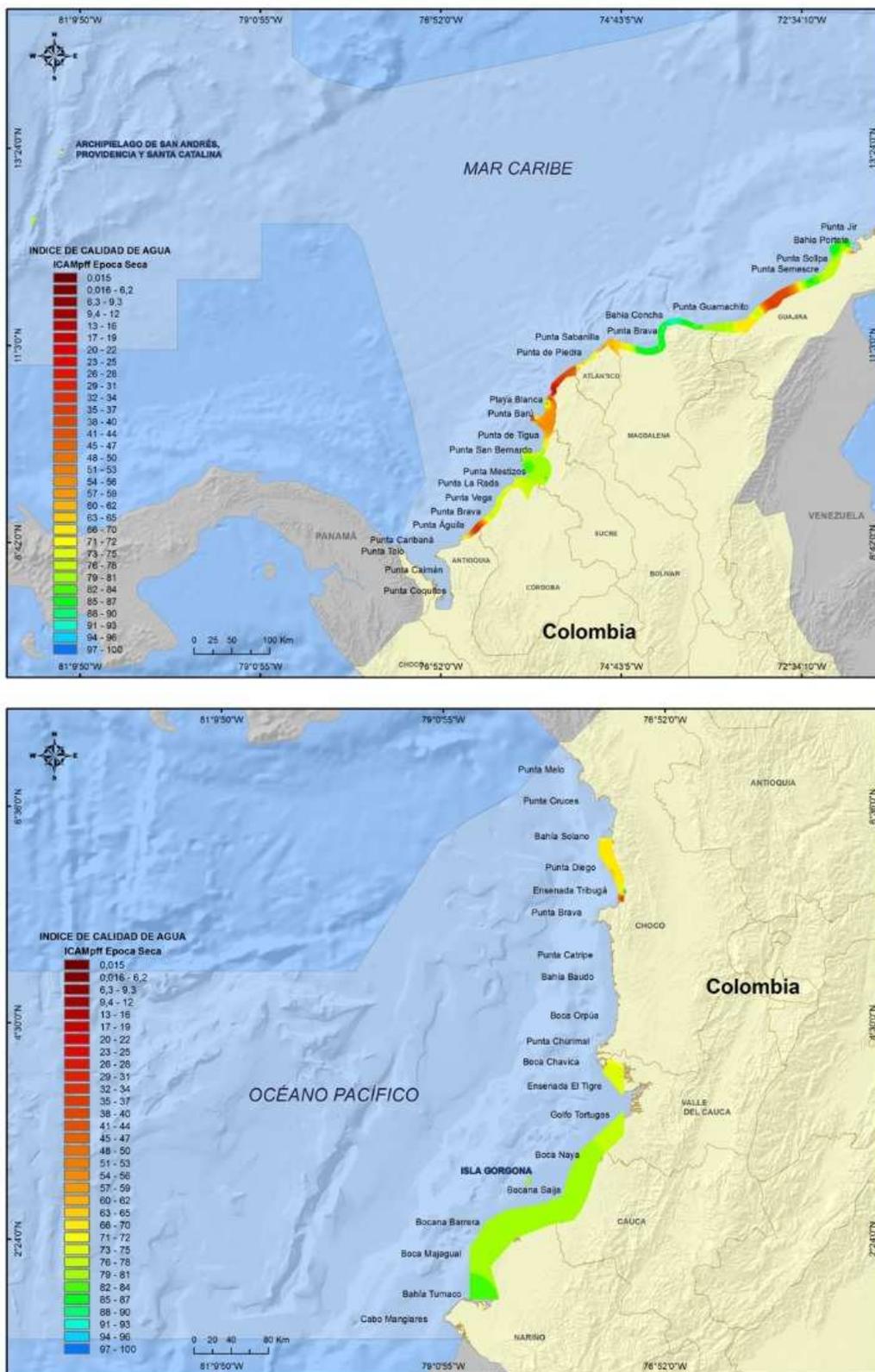


Figura 3.5. Calidad de las aguas marino-costeras evaluadas con el índice para preservación de flora y fauna (ICAMPF) en la época seca de 2013 en las zonas costeras del Caribe y Pacífico colombiano.

Regional Costa Caribe



Río Buritaca, Magdalena. Foto: Diana Sánchez

4. DIAGNÓSTICO CALIDAD DE AGUAS EN LA COSTA CARIBE

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

La calidad de las aguas marino-costeras del Caribe durante la época lluviosa 2012 y seca 2013, mostraron que la temperatura superficial osciló entre 22 y 33,6°C, con las aguas más cálidas en época de lluvias, mientras que las aguas más frías se registraron en época seca, en los departamentos de La Guajira y Magdalena, donde se presentan los dos eventos de surgencia más importantes del Caribe colombiano. No obstante, en la zona norte de San Andrés, el Parque Nacional Tayrona (bahía Chengue) y en las Islas del Rosario que tienen formaciones coralinas, se midieron temperaturas por encima de 30°C, que puede incidir en el blanqueamiento de los corales (Vega-Sequeda et al., 2011; Hoegh-Guldberg, 1999).

La salinidad en el litoral fue altamente variable y osciló entre 3,3 hasta 39,5 durante la época lluviosa de 2012 y seca 2013, debido a la incidencia de los cambios en el régimen de lluvias, la descargas de agua dulce de los ríos, períodos de sequía y por 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).

La concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua está regulada por el intercambio con la atmósfera, la producción y consumo en los procesos biológicos de la fotosíntesis y degradación de la materia orgánica (Emerson y Hedges, 2008), además valores superiores a 4 mg/L es la condición adecuada para la preservación de flora y fauna según la norma colombiana (MinSalud, 1984). El análisis mostró diferencias entre los departamentos del Caribe ($p < 0,05$) siendo Antioquia el que registró menor variación ($7,82 \pm 0,57$ mg/L) y Córdoba la mayor variación ($5,21 \pm 0,98$ mg/L) debido a la influencia de los aportes de aguas continentales cerca de las estaciones de muestreo (Figura 4.1 a). Durante la época de lluvias de 2012 las estaciones de playa Mendihuaca (2,89 mg/L) y muelle de Cabotaje (3,46 mg/L) no cumplieron con el criterio de calidad de la norma (Minsalud, 1984), debido principalmente a la descarga directa de aguas residuales servidas cerca del punto de muestreo. Los valores de pH estuvieron ligeramente alcalinos ($8,0 \pm 0,4$) normal en aguas marinas del Caribe colombiano (7,5 - 8,3; Hernandez et al., 2003; Figura 4.1 b).

En las aguas marinas los nutrientes más representativos son los nitratos y los fosfatos, y deben estar en una proporción nitrógeno: fósforo de 15:1 átomos (Muniz et al., 2001), aunque sus variaciones dependan de la profundidad, temporadas climáticas y la productividad. El análisis espacial mostró que existen diferencias entre departamentos ($p < 0,05$), y entre ellos Antioquia ($76,9 \pm 87,7$ µg/L) registró los promedios más altos de nitratos (Figura 4.2 a), especialmente en las bocanas de los ríos tributarios del golfo de Urabá que pueden traer escorrentías de las plantaciones agrícolas y de las poblaciones ribereñas que descargan sus agua servidas a los cuerpos de aguas. Por otro lado, en La Guajira se presentaron las concentraciones promedios más altas de fosfatos ($38,9 \pm 104,8$ µg/L) en la época lluviosa 2012 y en el vertimiento de Riohacha (491,6 µg/L) y en la playa de Riohacha (150,7 µg/L), debido a la cercanía de las descarga de aguas residuales domésticas y a la influencia del río Ranchería (Figura 4.2 b).

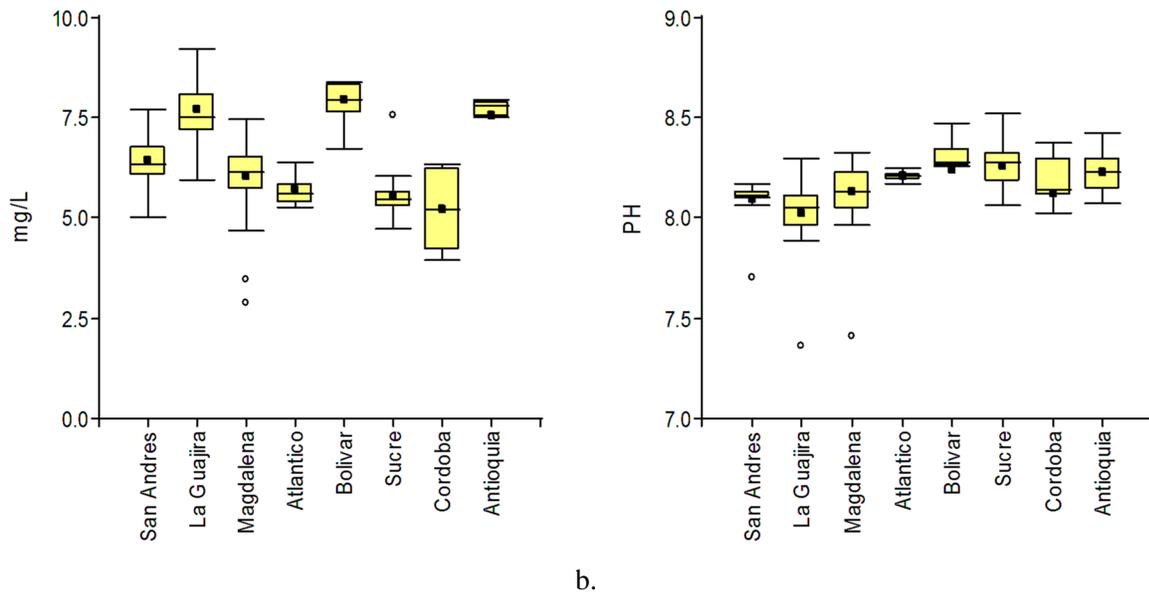


Figura 4.1. Concentraciones de oxígeno disuelto (a) y pH (b) medidos en aguas superficiales de los departamentos de la región Caribe entre las épocas lluviosa de 2012 y seca de 2013. Los puntos por fuera de los rangos representan valores extremos.

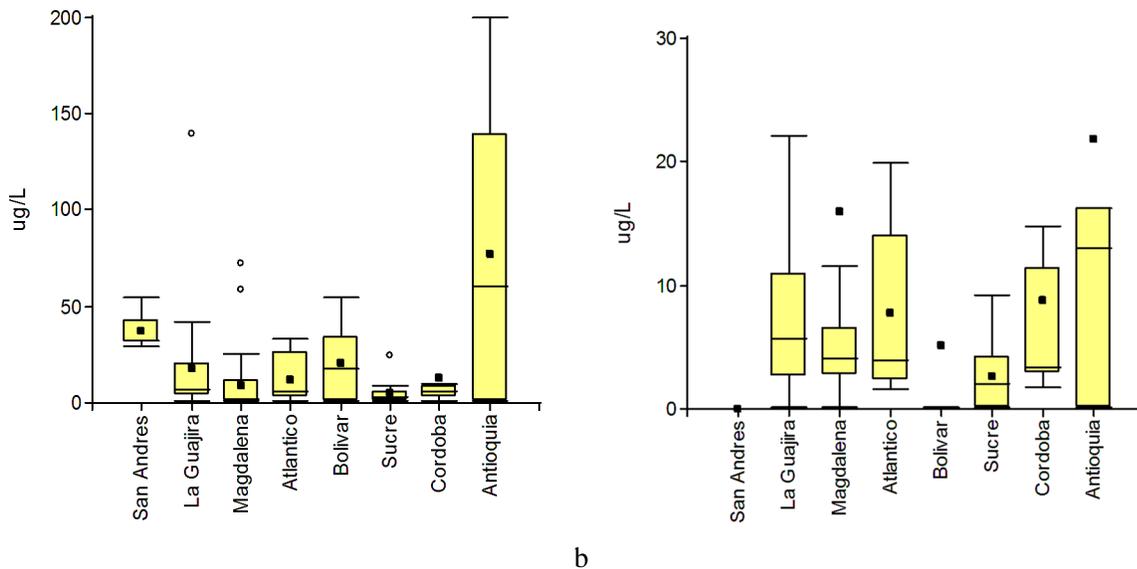


Figura 4.2. Concentraciones de a) nitratosN-NO₃ y b) Fósforo reactivo soluble medidos en los departamentos de la región Caribe entre las épocas lluviosa de 2012 y seca de 2013. Los puntos representan valores extremos.

Las mediciones de sólidos suspendidos totales (SST) en el 2012 y 2013, en general fueron similares a los promedios históricos de la región Caribe, con las concentraciones más elevadas en los departamentos de Córdoba ($148,4 \pm 204,3$ mg/L) y Antioquia ($121,7 \pm 68,1$ mg/L), debido a la influencia de las áreas de drenaje de los ríos que desembocan en estas dos zonas costeras como el Sinú en Córdoba y el Atrato en Urabá, además de la resuspensión de sedimentos por oleaje (Vivas-Aguas et al., 2011; Figura 4.3 a).

El análisis espacial de coliformes termotolerantes (CTE) presentó diferencias ($p < 0,05$) entre departamentos y los promedios más altos en el Magdalena (14930 ± 93914 NMP/100mL), La Guajira

(5920 ± 11307 NMP/100mL) y Bolívar (5705 ± 9142 NMP/100mL). Y las playas que superaron el permisible de 200 NMP/100mL (Minsalud, 1984), fueron Buritaca y Mendihuaca ($3,1 \times 10^3$ NMP/100mL) en el departamento del Magdalena; Riohacha ($4,6 \times 10^4$ NMP/100mL) y Mayapo ($1,7 \times 10^4$ NMP/100mL) en La Guajira y, Bocagrande ($3,4 \times 10^4$ NMP/100mL) y Crespo ($1,1 \times 10^4$ NMP/100mL) en Bolívar, cabe destacar que estas playas en particular están cerca a desembocaduras de ríos o tienen influencia de descargas de aguas residuales servidas a la zona costera (Figura 4.3b). La presencia de coliformes en las aguas recreativas supone la presencia de patógenos, capaces de generar enfermedades, que pueden transmitirse durante la natación, el baño y otras actividades de contacto o ingestión involuntaria de agua, y causar variedad de afecciones tales como gastroenteritis, patologías respiratorias, dermatológicas e infecciones en oídos, nariz y garganta (Hose *et al.*, 2005), de ahí la importancia de seguir monitoreando este tipo de microorganismos en las aguas marinas.

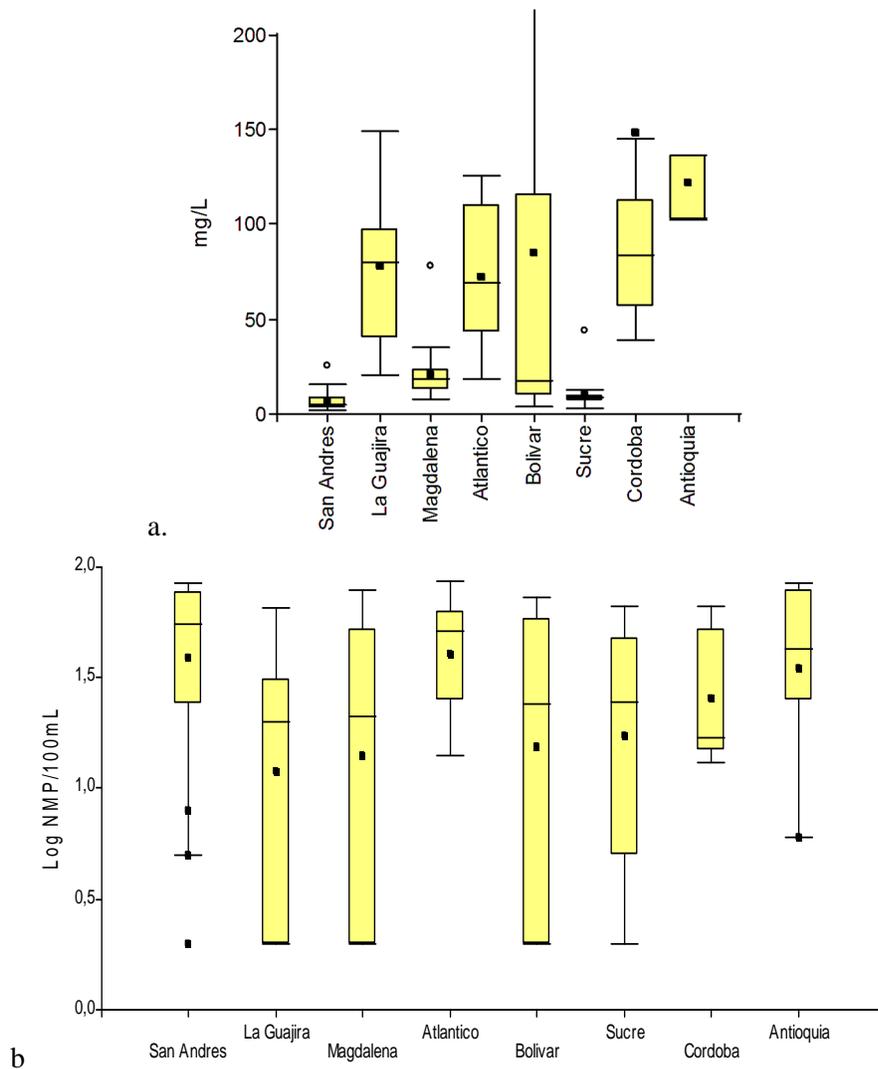


Figura 4.3. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (a) y coliformes termotolerantes (b) medidos en aguas superficiales de los departamentos de la región Caribe entre las épocas lluviosa de 2012 y seca de 2013. Los puntos por fuera de los rangos representan los valores extremos encontrados.

Otros indicadores de contaminación provenientes de actividades antropogénicas como los hidrocarburos, no superaron el valor de referencia de $10 \mu\text{g/L}$ para aguas contaminadas propuesto por la Unesco (1984); pero los residuos encontrados se deben principalmente a la actividad portuaria, transporte marítimo,

vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales y venta de combustibles en la región. Los compuestos de plaguicidas organoclorados y fosforados medidos en aguas marinas de la región estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica; y los organoclorados continúan mostrando una tendencia descendente en sus concentraciones y los plaguicidas de uso actual se presentan en niveles no detectables y no representan riesgo para el desarrollo de los organismos acuáticos.

Los metales pesados registraron concentraciones por debajo de los valores referenciados para efectos agudos sobre las especies hidrobiológicas, según la NOAA y el límite permisible de la legislación de Brasil (Conama, 1986).

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

El Departamento del Magdalena está situado en el norte del país, cuenta con 220 km de costa sobre el mar Caribe, presentando un ecosistema costero que cubre las áreas costeras de los municipios de Sitionuevo, Pueblo Viejo, Ciénaga y Santa Marta (IGAC, 2009; CORPAMAG, 2013). Este ecosistema tiene una extensión aproximada de 2.177 km² y posee un conjunto de ecosistemas de gran fragilidad tales como los Parques Naturales Nacionales Salamanca, Tayrona, Sierra Nevada de Santa Marta y parcialmente el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande de Santa Marta, ubicados en tres zonas: La Norte que se extiende desde la frontera con La Guajira atravesando la desembocadura de los ríos Don Diego, Buritaca, Guachaca, Mendihuaca hasta el río Piedras; el Parque Natural Nacional Tayrona; La zona de Santa Marta, incluye la Bahía Santa Marta, Taganga y el Rodadero; La zona Sur recibe aportes de ríos Toribio y Córdoba, parte del Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande de Santa Marta y el Parque Natural Nacional Salamanca (INVEMAR y MADS, 2011; Vivas-Aguas et al., 2012).

La zona costera del departamento del Magdalena debido a su localización geográfica estratégica facilita el desarrollo de múltiples actividades socioeconómicas en diversos sectores productivos como turismo, portuario, agroindustrial y comercial. Las actividades productivas y los asentamientos humanos generan residuos que en mayor o menor medida son las potenciales fuentes contaminantes del agua y los recursos naturales, si no éstos son manejados y dispuestos de forma adecuada para reducir el deterioro ambiental (Tabla 4.1; Vidal *et al.*, 2004; CORPAMAG, 2013). Los principales problemas relacionados con la contaminación marina en la zona costera del Magdalena son derivados del vertimiento de residuos sólidos, vertimiento de aguas residuales, descargas de contaminantes transportadas a través de los ríos, actividades minera, agrícola, pecuaria, portuaria, turismo, pesca y actividades económicas de los sectores (industrial, comercial y de servicios; Vivas-Aguas *et al.*, 2012; CORPAMAG, 2013). El presente informe es producto de la revisión bibliográfica y recopilación de información primaria resultado de observaciones y estimaciones.

Tabla 4.1. Principales actividades, fuentes contaminantes y cuerpos de agua afectados en la zona Costera del departamento del Magdalena. Fuente: Información secundaria de IGAC, 2009; Ministerio de Minas y Energía, 2009; Corpamag; Dadma; Vivas-Aguas *et al.*, 2011; Vivas-Aguas *et al.*, 2012.

Actividad / Fuente contaminante	Tipo de contaminación	Tributarios afectados	
Minería	Explotación y extracción de minerales metálicos (plata y oro) y no metálicos (mármol, materiales de construcción: arena, arcilla, grava, caliza, yeso, manganeso, feldespato y demás minerales; sal terrestre, roca coralina) - municipios de Santa Marta y Ciénaga.	Sólidos suspendidos disueltos, hidrocarburos de petróleo y sus derivados, metales pesados, compuestos tóxicos orgánicos.	Mar Caribe
Agrícola y pecuaria	Cultivos de maíz, yuca, palma africana, Cacao, Café, Banano, cítrico, Coco, Guayaba, Lulo, Mango, Maracuyá, Papaya, Patilla, Plátano, Tomate de árbol, Ahuyama, Ají, Berenjena, Col, Melón, Tomate, frijol, Ñame, algodón y cilantro. Criadero de animales	Contaminantes orgánicos, fertilizantes, agroquímicos, desechos de animales, contaminación microbiológico.	Ciénaga grande de Santa Marta, Río Manzanares, Bahía de Santa Marta y Mar Caribe.
Marítima- Puertos	Transporte terrestre en el corredor Ciénaga - Santa Marta de carbón e hidrocarburos y transporte marítimo (manejo, cargue de carbón e hidrocarburos)	Aguas de Lastre – residuos de carbón, residuos oleosos e hidrocarburos	Mar Caribe
	Estaciones de servicio	Aceites, grasas, petróleo y sus derivados, sedimentos	Río Manzanares, Bahía de Santa Marta

Actividad / Fuente contaminante		Tipo de contaminación	Tributarios afectados
Municipales Institucionales	Matadero de vacuno y aves en Santa Marta	Materia orgánica, microorganismos, sólidos en suspensión, grasas y aceites	Río Manzanares, Mar Caribe
Eliminación Residuos	de Residuos ordinarios (Relleno sanitario, Botaderos a cielo abierto)	Materia orgánica, sedimentos, contaminación microbiológica, sólidos en suspensión, grasas y aceites, agroquímicos, Metales pesados.	Río Manzanares, Río Buritaca, Guachaca, Ciénaga Grande de Santa Marta, Bahía de Santa Marta, Mar Caribe.
	Residuos Peligrosos (hospitalarios, químicos, plaguicidas, aceites y grasas, tintas colorantes y disolventes, metales pesados, residuos explosivos)		
Vertimientos aguas residuales	Domésticas (emisario submarino)- Santa Marta, (laguna de oxidación)- Ciénaga	Materia orgánica, sedimentos, contaminación microbiológica, sólidos en suspensión, grasas y aceites, Hidrocarburos, agroquímicos, Metales pesados, compuestos sintéticos (detergentes).	Río Manzanares, Ciénaga grande de Santa Marta, Bahía de Santa Marta, Mar Caribe
	Industriales (Industrias alimenticias, explotación de materiales de construcción, cementeras, agrícolas)		
Descarga de Ríos	Ríos Manzanares, Gaira, Córdoba, Toribio, Buritaca, Don Diego, Guachaca, Piedras y Mendihuaca, además del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta.	Presencia de material orgánico biodegradable, y compuestos sintéticos como detergentes y microorganismos patógenos, metales pesados, agroquímicos	Mar Caribe
Actividades Económicas	Turismo (hoteles, restaurantes, Actividades recreativas y de líneas de costa)	Residuos sólidos, Materia orgánica, sedimentos, contaminación microbiológica, disolventes (PCBs), sólidos en suspensión, lodos de depuradoras, grasas y aceites, Hidrocarburos, agroquímicos, Metales pesados, compuestos sintéticos (detergentes).	Ríos Manzanares, Gaira, Córdoba, Toribio, Buritaca, Don Diego, Guachaca, Piedras y Mendihuaca, sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Mar Caribe
	Industria (Alimentos, fabricación de minerales no metálicos, lubricantes y derivados de petróleo, maderas y construcción, agrícola, químicos, portuarias)		
	Servicios (estaciones de servicio, mantenimiento de automotores, explotación de minas y canteras, suministro de electricidad, telecomunicaciones, transporte, químicos, agrícola)		
	Comerciales (Turismo, Alimentos y bebidas, mantenimiento de automotores, suministro de electricidad, salud, portuarios, químicos, agrícola)		

De acuerdo a la revisión bibliográfica (Tabla 4.1), se pudieron identificar varias problemáticas generadas por los residuos domésticos y por las actividades socioeconómicas, la mayoría se localizan en la parte norte de la zona costera, debido a la concentración de la población. En cuanto a los residuales líquidos, la mayor cantidad de vertimientos directos de ARD se encuentran en Santa Marta, provenientes de la prestación de servicios hoteleros, especialmente en la Bahía Santa Marta, el Rodadero y pozos colorados. Ciénaga y Santa Marta cuentan con sistemas de tratamientos de ARD, laguna de oxidación y emisario submarino respectivamente. Por otro lado, la desembocadura de los ríos Piedras, Guachaca, Mendihuaca, Buritaca, Don Diego, Palomino, Manzanares, Gaira, Toribio y Córdoba ubicados en la zona costera, son vías de entrada de cargas contaminantes al mar, provenientes de asentamientos humanos en sus riberas, residuos agropecuarias, entre otros, recibidas a lo largo de su recorrido.

En lo relacionado con los residuos sólidos domésticos, la zona cuenta con dos rellenos sanitarios ubicados en Santa Marta y Ciénaga; Sitio Nuevo y Pueblo Viejo, no cuentan con ningún tipo de tratamiento de sus residuos, y sus habitantes los arrojan en lotes baldíos o a los cuerpos de agua generando un aspecto de desaseo en las áreas urbanas y sus alrededores (Figura 4.4).

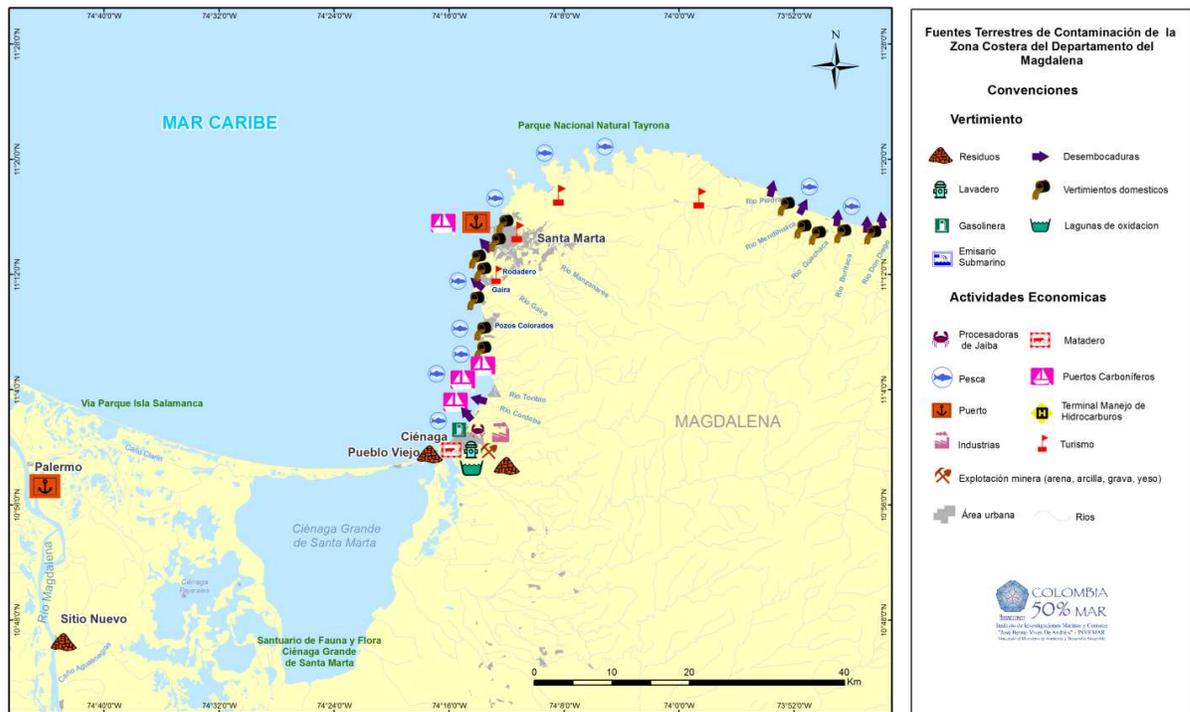


Figura 4.4. Mapa de la zona costera del Magdalena con las principales actividades productivas, usos de tierra y fuentes terrestres de contaminación (CORPAMAG, DADMA, Gobernación del Magdalena, Invemar)

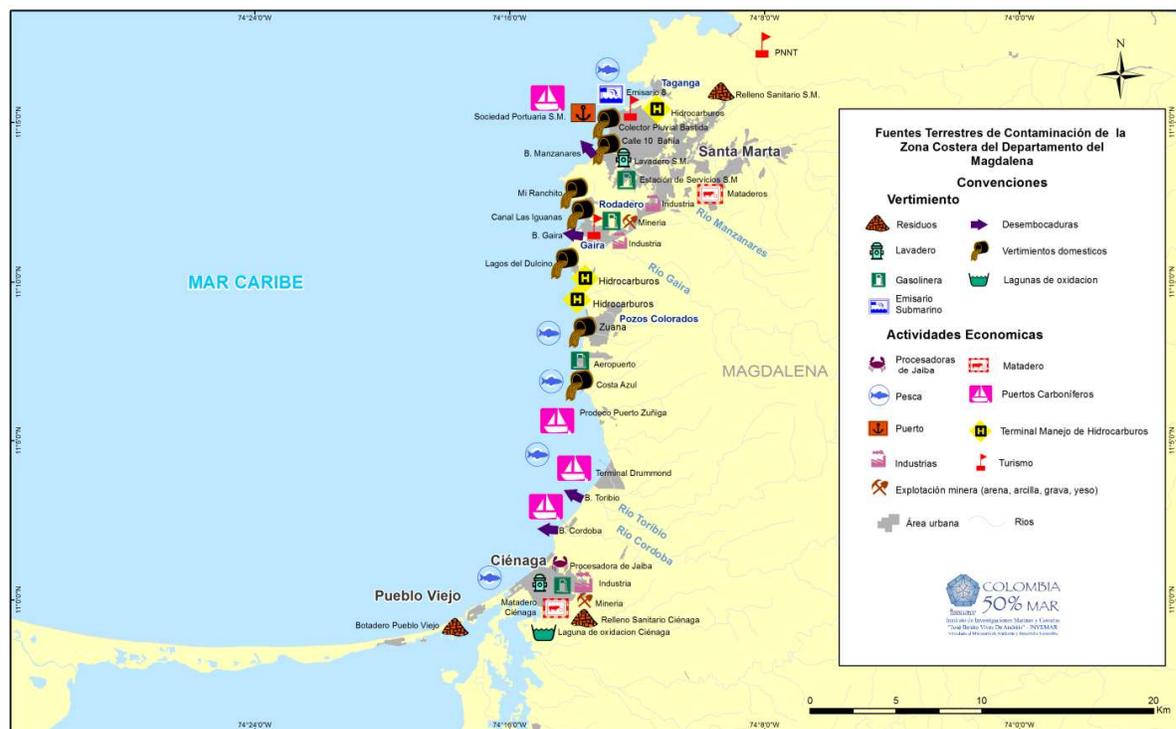


Figura 4.5. Mapa de la zona costera de los municipios de Santa Marta y Ciénaga con las principales actividades económicas, usos de tierra y vertimientos (CORPAMAG, DADMA, Gobernación del Magdalena, Invemar).

Dentro de las actividades socioeconómicas, industria, comercio y servicios se encuentran: La *minería* en

la explotación de materiales de construcción en Ciénaga y Santa Marta; la *actividad portuaria*, la zona cuenta con cinco puertos en total, el de Sitio Nuevo y la Sociedad Portuaria de Santa Marta son multipropósito, los demás son carboneros incluyendo el muelle de Carbosan en SPSM; Los principales sitios de *pesca* en el municipio de Santa Marta, se encuentran en el Aeropuerto, Plenomar, Bello Horizonte, Playa Blanca, Santa Marta, Taganga, Bahía Concha, Chengue, Gairaca, Neguanje, playa del Muerto, Cinto, Los Cocos, Mendihuaca, Cabañas de Buritaca y La Jorará; *Agricultura*, los cultivos más relevantes son el Banano y la palma africana, contando con la presencia de varias industrias extractoras de aceite y exportadoras de banano en la zona; Las *estaciones de servicio* de combustible, lavaderos y *Mataderos*, se ubican en su mayoría en Santa Marta y Ciénaga (Figura 4.5).

4.1.1.1 ***Asentamientos humanos y residuos domésticos***

Los cuatro municipios que conforman la zona costera del Magdalena albergan en total una población de 633.032 habitantes, de las cuales 90 % se encuentran en la cabecera urbana y 9 % en la parte rural, con una diversa composición étnica donde el 9 % son afrodescendientes y el 1 % indígenas. La mayor concentración poblacional se encuentra en Santa Marta con el 74 % de habitantes (Figura 4.3), seguido de Ciénaga y Pueblo Viejo con el 16 % y 5 % respectivamente (DANE, 2005).



Figura 4.6. Población de los cuatro municipios del área de estudio, proyectada a 2013. Fuente: DANE, 2005

Los sistemas de acueductos de los municipios de Santa Marta (Figura 4.7) y Ciénaga, cuentan con un sistema convencional de abastecimiento de agua que opera por gravedad a través de la captación directa del agua de ríos, en el caso del acueducto de Santa Marta es abastecido por tres fuentes superficiales, el río Piedras, río Manzanares y el río Gaira (Figura 4.7a; Metroagua, 2012) y para el municipio de Ciénaga su fuente de abastecimiento es el río Córdoba, además suministra el servicio al municipio de Pueblo Viejo (Operadores del Servicio la Sierra, 2011).

Las plantas de tratamiento de los municipios de la zona costera son insuficientes para tratar y potabilizar el agua de toda la población, debido a que en la mayoría el agua que se distribuye no es apta para el consumo humano, según el Índice de Calidad del Riesgo del Agua (IRCA) realizados por la Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios delegada para acueducto, alcantarillado y aseo en 2009, la calidad de las aguas de los acueductos de Santa Marta y Ciénaga, obtuvieron 12.3 % (riesgo bajo) y 18.8 % (riesgo medio) respectivamente, superando el valor de referencia de 5% del IRCA, lo que genera una alerta, puesto que son los municipios con el mayor número de habitantes. Para los municipios de Pueblo Viejo y Sitio Nuevo no se cuenta con información de la vigilancia reportada al SIVICAP (SSPD, 2009; SSPD, 2009a).

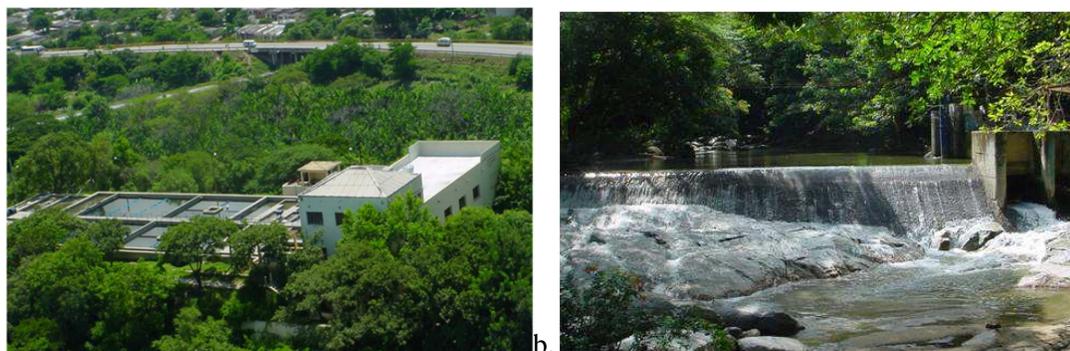


Figura 4.7. Acueducto de Santa Marta Tomada de http://www.metroagua.com.co/wordpress/?page_id=28

Los 633.032 habitantes de la zona costera (DANE, 2013) producen cerca de 95.933 m³/día de ARD según la metodología UNEP-RCU/CEP (2010), de este volumen se estima que el 38 % 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 tratamientos de agua residual de cada municipio y la cobertura de alcantarillado (Figura 4.8; MinDesarrollo, 2000; UNEP-RCU/CEP, 2010).

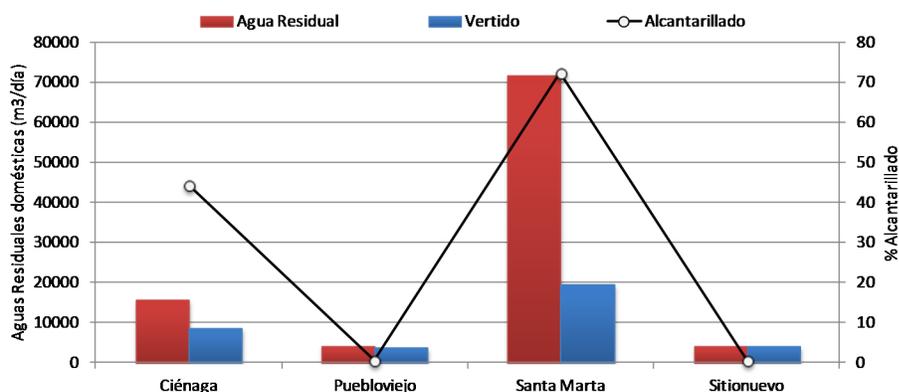


Figura 4.8. Caudal estimado de vertido de aguas residuales domésticas y distribución de la cobertura de alcantarillado en los municipios de la zona costera del Magdalena. Fuente caudal: cálculo Invemar, metodología MinDesarrollo2000. Fuente población y cobertura alcantarillado: Censo General 2005 proyecciones DANE 2013

La carga estimada de contaminantes domésticos proveniente de los cuatro municipios fue de 4.499 t/año de materia orgánica en términos de DBO₅, y de 8.999 t/año de DQO; además con 1.080 t/año de nitrógeno; 55 t/año de fosfatos; 4.499 t/año de sólidos suspendidos totales y 1.80E+19 NMP/año de bacterias indicadoras de contaminación fecal. Las mayores concentraciones de contaminantes son producidas por el municipio de Santa Marta, que genera 2.357 t/año de DBO₅, 4.713 t/año de DQO, 566 t/año de nitrógeno, 38 t/año de sólidos suspendidos y 23.571 t/año de fósforo total y 9.4E+18 NMP/año de coliformes (Figura 4.9).

La calidad del agua de la zona costera del Magdalena se encuentra influenciada por las cargas domésticas que varían dependiendo del sistema de tratamiento y la disposición de las ARD, la cobertura de servicios que tenga cada población, así como las descargas de los ríos Piedras, Guachaca, Mendiaguaca, Buritaca, Don Diego, Palomino, Manzanares, Gaira, Toribio y Córdoba que desembocan en el mar, y si llevan altas concentraciones de sólidos, nutrientes, microorganismo y materia orgánica afectan la calidad del agua marina y pueden representar un riesgo para la salud humana (Figura 4.9; Vivas-Aguas *et al.*, 2011; CORPAMAG, 2013).

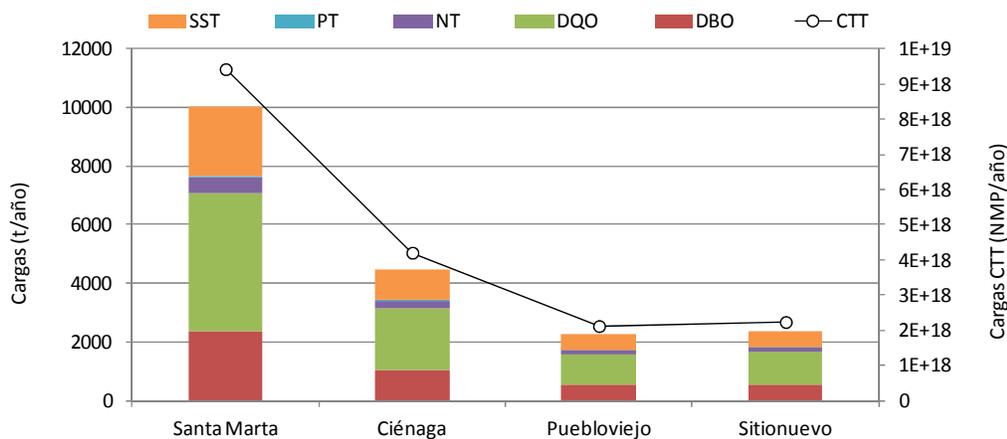


Figura 4.9. Carga anual estimada de contaminantes domésticos aportados por la población de los municipios del Magdalena.

Los residuales líquidos se les aplican diferentes manejos (Tabla 4.2), en el municipio de Santa Marta la recolección de las ARD se hace por medio de la red de alcantarillado que está conectada a través de cinco colectores que transportan el agua residual hacia la Estación de Bombeo- EBAR Norte, donde el agua es bombeada mediante el emisario submarino mar adentro en la Bahía de Santa Marta, que es el sistema de tratamiento de aguas residuales por dilución (Figura 4.10a; Metroagua, 2012) y en Ciénaga las ARD son recibidas en una estación de bombeo que las envía a un sistema de la lagunas de oxidación antes de su vertimiento a la Ciénaga “El Chino” cercana a la Ciénaga Grande de Santa Marta (Figura 4.10b; Operadores de la Sierra, 2012; CORPAMAG, 2012).



Figura 4.10. Disposición y tratamiento de aguas residuales en municipios del Magdalena. a) Vertimiento directo de las aguas residuales a través del emisario submarino a la Bahía de Santa Marta; b) Laguna de oxidación del municipio de Ciénaga.

En materia de saneamiento básico se presentan deficiencias, a pesar de que cada población tiene implementado su sistema de tratamiento de ARD (Tabla 4.2), el 29% de las viviendas en las áreas urbanas no están conectadas a la red de alcantarillado y el área rural alcanza hasta el 97% (DANE, 2005). En cuanto al servicio sanitario en particular, el 60% de las viviendas tienen inodoros conectados al alcantarillado, el 26% conectado a pozo séptico y el 14% restante no tiene servicio sanitario o usan letrinas (Figura 4.11; DANE, 2005), es decir un 40% de los habitantes de la zona no están conectados al alcantarillado, por lo que los sistemas utilizados para suplirlo constituyen un vector de contaminación

ambiental y deterioro de la calidad de vida (Contraloría Distrital Santa Marta, 2012). En el municipio de Santa Marta el sistema de alcantarillado es ineficiente, lo que genera rebosamientos de los manjoles cuando llueve, debido a la colmatación de las redes, bien por falta de cultura ciudadana en el uso del servicio y por su utilización como alcantarillado pluvial, lo cual ocasiona contaminación del medio ambiente y problemas de salud (Figura 4.12).

Tabla 4.2. Cobertura de servicios públicos y producción de residuos sólidos en la Zona Costera del Magdalena. Fuente: ¹MinDesarrollo, 2000; ⁶DANE, 2005; ³Secretaría de planeación distrital Pueblo Viejo, 2008; ⁴Operadores de la Sierra-INTERASEO, 2012; ⁷CORPAMAG, 2012; ⁵PNUD, 2012; ⁸SSPD, 2012; ²Vivas-Aguas et al, 2012.

Municipio	¹ Residuos sólidos (t/mes)	Cobertura Aseo %	⁶ Cobertura Acueducto %	⁶ Cobertura Alcantarillado %	⁷ Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales	⁸ Disposición Final
Santa Marta	7.607	90 ⁵	88	74	Emisario submarino	Relleno Sanitario
Ciénaga	460	84 ⁴	85 ⁴	54 ⁴	Laguna de oxidación	Relleno Sanitario
Pueblo Viejo	1.471	34 ³	53	0	Pozas sépticas	Botadero cielo abierto
Sitio Nuevo	491	40 ²	51	0	Pozas sépticas	Botadero cielo abierto

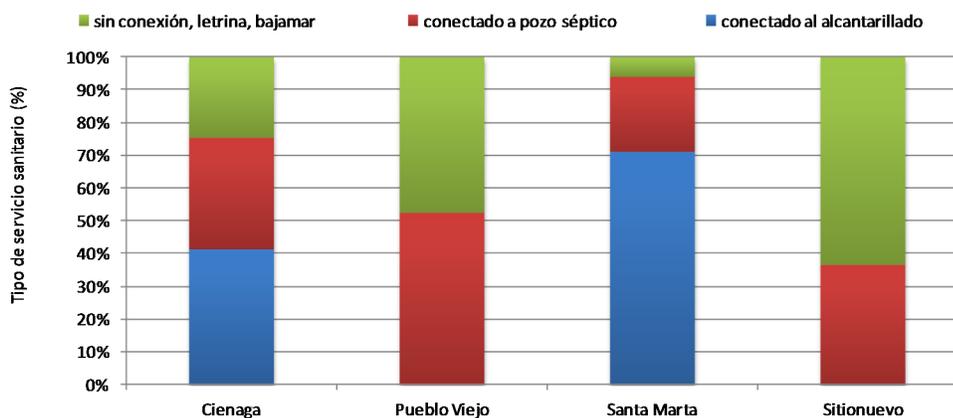


Figura 4.11. Tipo de Servicio Sanitario en los municipios de la zona costera del Magdalena. Fuente: Censo DANE 2005



Figura 4.12. Manejo de aguas residuales y pluviales municipales el Santa Marta - zona costera del Magdalena.

Residuos Sólidos

En cuanto al manejo de los residuos sólidos, en el 83% de las viviendas son recogidos por el servicio de aseo, el 9% queman la basura, el 3% la disponen en patio, lote, zanja (llamados botaderos satélite), el 3% los entierran y el 2% restante son arrojados a cuerpos de agua o utilizan otro tipo de eliminación, es decir el 17% de las viviendas maneja de forma inadecuada los residuos; De esta un alto porcentaje se vierten directamente al mar, generando problemas ambientales como taponamiento en los sumideros de aguas residuales, alta contaminación orgánica en el cuerpo receptor y alteración de los ecosistemas (Figura 4.13; DANE, 2005; SSPD, 2009; Vivas-Aguas et al., 2010).

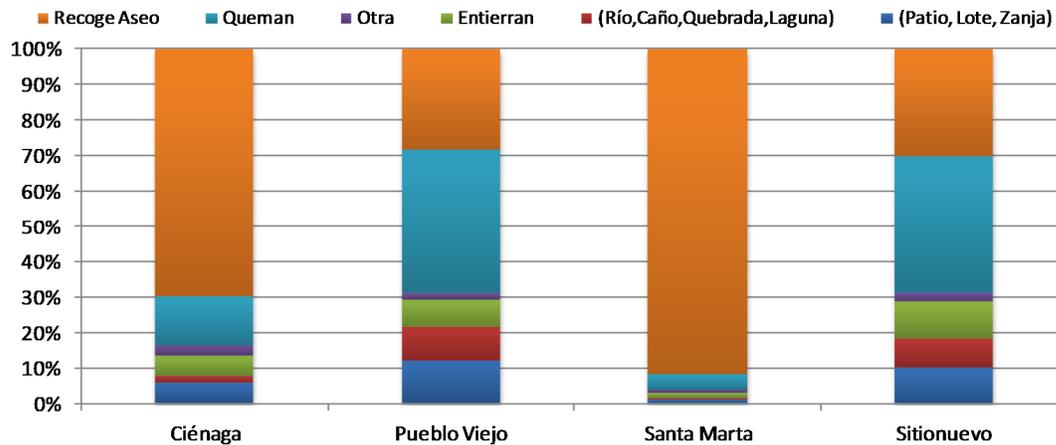


Figura 4.13. Tipos de eliminación de residuos sólidos presentes en el área de estudio. Fuente: Censo DANE, 2005.

En el departamento del Magdalena se producen en promedio 803 t/día de residuos sólidos, de las cuales 211 t/día son dispuestas en botaderos a cielo abierto, 9.79 ton/día son enterradas y 2.93 ton/día son arrojados a los cuerpos de agua. La zona costera del departamento cuenta con dos rellenos sanitarios, ubicados en Santa Marta el relleno sanitario Parque Ambiental Palangana, que recibe únicamente los residuos provenientes del municipio y el de Ciénaga relleno sanitario la María que recibe los residuos de dos municipios (Pueblo Viejo y Ciénaga), con una producción promedio de 482 ton/día y 60 ton/día, lo que representa al 60 % y al 7.46 % del departamento (SSPD, 2009; SSPD, 2012). De acuerdo a los valores típicos de producción per cápita y el nivel de complejidad del sistema (Mindesarrollo, 2000), la producción total de residuos sólidos estimada para los cuatro municipios del área costera fue de 9991 t/día, donde Santa Marta produce el 76 % y Ciénaga el 15 % del total de la zona (Figura 4.14; SSPD, 2009; SSPD, 2012), debido al mayor número de habitantes.

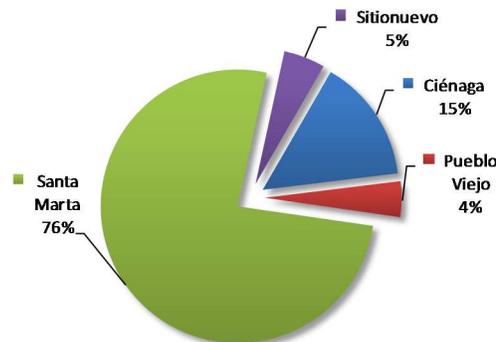


Figura 4.14. Producción de residuos sólidos estimada, de acuerdo a los valores típicos de producción per cápita para municipios de Colombia, según el nivel de complejidad del sistema (Mindesarrollo, 2000).

Por otro lado, Pueblo Viejo y Sitio Nuevo presentan generalmente un aspecto de desaseo, ya que sus habitantes arrojan los residuos en lotes baldíos o por medio de quemas y/o enterramiento, generando deterioro del entorno paisajístico (Figura 4.15), contaminación del suelo, agua y aire, olores ofensivos, producto de la putrefacción rápida de materiales orgánicos o por emanaciones de sustancias tóxicas volátiles de origen industrial o doméstico, como pinturas y disolventes, entre otros (Secretaría de planeación distrital Pueblo Viejo, 2008; Vivas-Aguas et al., 2010). Adicionalmente, puede causar deterioro de la calidad de las aguas superficiales, por la percolación de cargas contaminantes asociadas a los lixiviados, estas a su vez pueden alcanzar las aguas subterráneas generando problemas de salubridad (Mindesarrollo, 2000).



Figura 4.15. Eliminación de Residuos sólidos de forma inadecuada (quema, tirados a la orilla de los ríos y en lotes) en Santa Marta.

4.1.1.2 Actividades socioeconómicas

Las actividades económicas de los municipios de la zona costera del departamento se desarrollan en tres sectores productivos principalmente, Servicios con una participación del 46 %, Comercio con 38 % e industria con el 16 % (Figura 4.16).

Servicios

En los municipios costeros, la actividad económica de prestación de servicios encadena todos los sectores económicos, ya que se integran de manera vertical a los sectores agrícola, pecuario, forestal, minero, entre otras. Ofertando los servicios en telecomunicaciones, hotelería, transporte, electricidad, comercialización y salud (INVEMAR, 2008). De las cuales el 68 % del servicio en la ciudad lo presta el sector hotelero, 12 % servicios sociales y de salud, 3 % servicios portuarios y transporte (Figura 4.17).

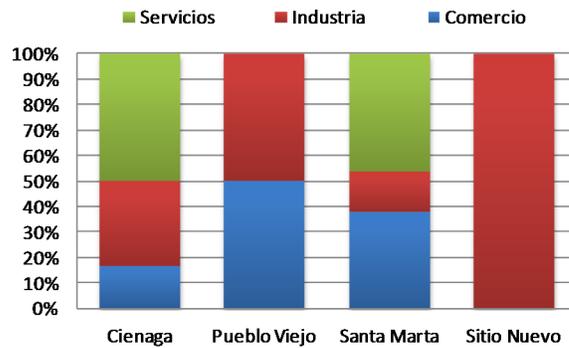


Figura 4.16. Actividades económicas de los municipios de la zona costera del Magdalena

En Santa Marta se ubica el 97 % de las actividades productivas, ya que es aquí donde se mueve la mayor economía y se generan mayores residuos provenientes de las mismas, especialmente de los hoteles quienes tienen mayor participación, estos influyen en gran medida en la carga contaminante aportada al mar a través de las descargas de aguas residuales, ya que según la información recolectada por CORPAMAG, hay varios hoteles en la línea costera que descargan sus aguas residuales domésticas y de piscina (con cloro y carburo) directamente al mar, sin tratamiento previo (CORPAMAG, 2013).

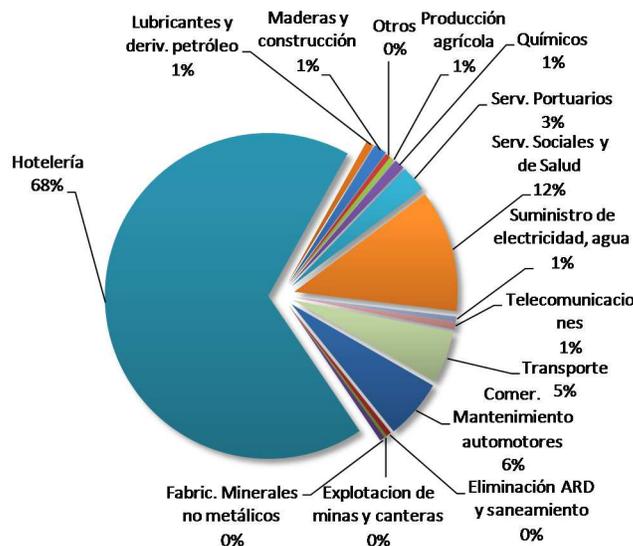


Figura 4.17. Servicios prestados por las empresas de la zona costera del Magdalena

Comercio

En el departamento se tienen registrados 2.968 establecimientos comerciales, siendo Santa Marta y Ciénaga unos de los municipios de mayor actividad comercial (IGAC, 2009). En la zona, el comercio y mantenimiento de vehículos automotores representa el 45 % del comercio, dedicado al mantenimiento y reparación de automotores (talleres), venta de automotores y lavadero de autos, el 33,1 % lo constituye el comercio de lubricantes y derivados del petróleo, el 14 % el comercio de maderas y materiales de construcción, mientras el 2 % corresponde a la comercialización de productos agrícolas. Estas no solo son las actividades comerciales más representativas por el número de establecimientos sino por la gran cantidad de residuos que generan y además porque muchos de ellos son peligrosos, los cuales debe ser

manejados de forma diferente que los residuos comunes, ya que representan un riesgo para la población (Figura 4.18)

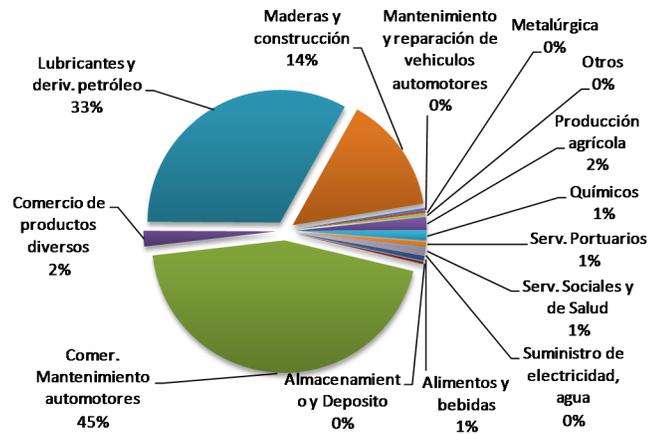


Figura 4.18. Principales Actividades comerciales de la zona de estudio. Fuente: DADMA, CORPAMAG, ALCALDIA.

Industria

La actividad industrial es incipiente, se tienen registrados 275 establecimientos industriales a nivel departamental (IGAC, 2009); se destaca la elaboración de productos alimenticios con un 46 %, aceites de palma africana, Banano, producción de bebidas, trilladoras de café y producción de harina de pescado (procesadoras de carne de Jaiba), Maderas y Construcción, la fabricación de minerales no metálicos 9 %, fabricación de productos metálicos, producción agrícola, servicios portuarios (DNP *et al.*, 2006; INVEMAR, 2008; Figura 4.19).

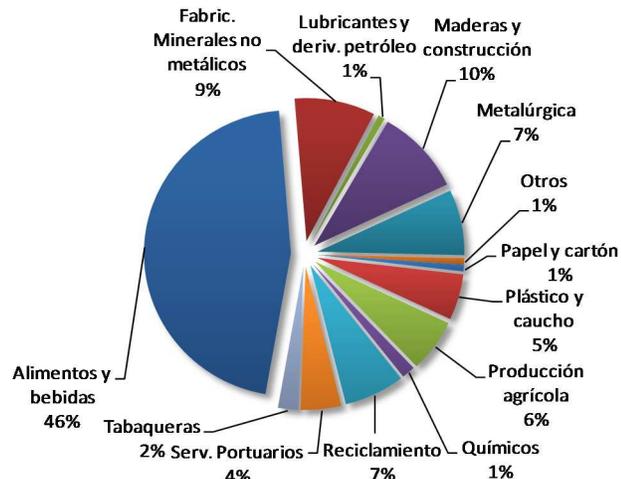


Figura 4.19. Clasificación de las Industrias de los municipios de la zona costera del Magdalena

Agricultura

Algunos sectores del departamento se caracterizan por presentar como principal actividad la agricultura; dentro de los municipios costeros del Magdalena cuentan con 43.055 hectáreas cultivadas según los datos reportados por la Gobernación del Magdalena (2012), de estas áreas cultivadas Ciénaga y

Santa Marta tienen la mayor cantidad de territorios agrícolas con (23,6 %) y (10,7 %) respectivamente (Tabla 4.3). Los cultivos más abundantes son café y cacao ocupando el 57 % del área; en segundo lugar están los cultivos de Banano, cítrico, Coco, Guayaba, Lulo, Mango, Maracuyá, Papaya, Patilla, Plátano, Tomate de árbol con el 24 % de las hectáreas; y en tercer lugar los cereales como maíz con el 8 %, principalmente (Figura 10).

Los cultivos de mayor importancia en los municipios de la zona son: el café, establecido principalmente en Ciénaga con el 56 % y Santa Marta con el 27 %; la palma africana, cubriendo el 10 % en Pueblo Viejo y el 1 % en Ciénaga; el banano, ocupando en Ciénaga el 5 % y en Santa Marta el 6 % de los territorios agrícolas; además del plátano, arroz, maíz, cacao, yuca, ñame, aguacate, y otros frutales (DNP *et al.*, 2006; Gobernación del Magdalena, 2012).

Tabla 4.3. Distribución de los territorios agrícolas en los municipios del departamento del Magdalena. Fuente: Gobernación del Magdalena, 2012.

Municipios	Territorios Agrícolas (has)	%
SitioNuevo	3433	2,0
Ciénaga	19501	11,6
Pueblo Viejo	6044	3,6
Santa Marta	14077	8,4

La producción agrícola tradicional se da en todos los municipios del área de estudio presentándose cultivos permanentes o transitorios; Los permanentes se orientan al mercado local, al mercado contiguo de Barranquilla y a mercados externos e internacionales. Entre ellos se encuentran el café, bananos de exportación, palma africana, yuca, plátano, coco, cacao, tabaco negro tipo exportación, ñame, sorgo y cacao (INVEMAR, 2008; DNP, 2007).

Dentro de los cultivos transitorios se encuentran el maíz tradicional, arroz bajo riego, algodón, ajonjolí, frijol, tomate, ají, ahuyama, entre otros (DNP, 2007; Figura 4.20). Los cuales son considerados tradicionales y típicos; una proporción significativa de dicha producción es destinada al autoconsumo y los excedentes se orientan al mercado local y regional. Siendo este conjunto de productos el sustento del sector agrícola de Santa Marta y Ciénaga (INVEMAR, 2008).

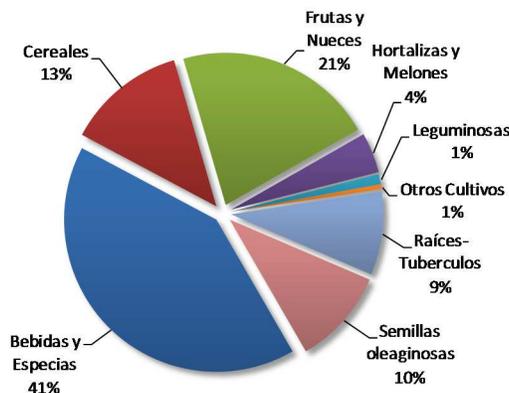


Figura 4.20. Tipo de cultivos por área cultivada (hectárea) presentes en la cuenca del río Ranchería, departamento de La Guajira, según el registro único de usuario del recurso hídrico. Fuente: Gobernación del Magdalena, 2012.

La actividad agrícola está representada por 8 diferentes grupos de cultivos (Tabla 4.4), el grupo que mayor área cubre es el de Bebidas y Especias con el 41 % de cobertura, en segundo lugar están las frutas y nueces con el 21 %, por último el Algodón y el cilantro con el 1% de área (Gobernación del Magdalena 2012). En cuanto a la producción del grupo frutas y nueces, emplean el uso de herbicidas y fungicidas para los cultivos de mango, papaya y Banano; para este último, varias empresas de Santa Marta utilizan el Banole como agroquímico, según el listado de registros de uso de plaguicidas químicos agrícolas del ICA (MADR, 2006; Vilorio de La Hoz, 2008; ICA, 2013). De acuerdo con la hoja de seguridad, este producto se supone poco peligroso para la vida acuática y terrestre e intrínsecamente biodegradable y Bioacumulable (GTM, 2011). Sin embargo, el uso de los plaguicidas, indican un riesgo para los seres vivos y ecosistemas acuáticos, debido a sus características de toxicidad, biodegradabilidad y bioacumulación, estos llegan por escorrentías desde los ríos Toribio, Córdoba, Gaira, Manzanares, Piedras, Mendihuaca, Guachaca, Buritaca y Don Diego y, una vez en el Mar Caribe, experimentan procesos de sedimentación y dilución en el agua, lo cual hace más crítico su uso indiscriminado (Vivas-Aguas et al., 2011).

Tabla 4.4. Grupos y tipos de cultivos presentes en los municipios costeros en el departamento del Magdalena, clasificados según la guía FAO (2007). Fuente: Gobernación del Magdalena, 2012.

Grupo	Tipo de Cultivo	Municipios	Área (has)
Bebidas y Especias	Cacao, Café	Ciénaga y Santa Marta	17.703
Cereales	Maíz	Ciénaga, Pueblo Viejo, Santa Marta y Sitio Nuevo	5.479
Frutas y Nueces	Banano, cítrico, Coco, Guayaba, Lulo, Mango, Maracuyá, Papaya, Patilla, Plátano, Tomate de árbol	Ciénaga, Pueblo Viejo, Santa Marta y Sitio Nuevo	9.143
Hortalizas y Melones	Ahuyama, Ají, Berenjena, Col, Melón, Tomate	Ciénaga, Santa Marta y Sitio Nuevo	1.847
Leguminosas	Frijol	Ciénaga, Santa Marta y Sitio Nuevo	460
Raíces-Tubérculos	Ñame, Yuca	Ciénaga, Pueblo Viejo, Santa Marta y Sitio Nuevo	3.803
Semillas oleaginosas	Palma Africana	Ciénaga y Pueblo Viejo	4.400
Otros Cultivos	Algodón, Cilantro	Santa Marta y Sitio Nuevo	220

Las técnicas utilizadas para la producción de cultivos como banano, café, cacao, mango, aguacate, níspero, naranja, son de carácter semi-tecnificado, con predominio de aplicación de tecnologías limpias. Utilizan los desechos de materia orgánica animal y vegetal como fertilizantes, así como del compost y humus que elaboran las propias fincas (INVEMAR, 2008). Se utiliza la gallinaza como fertilizante en la industria bananera, reemplazando en un 40-50% a la urea. Permittedole obtener un valor agregado en los mercados internacionales, ya que la utilización de fertilizantes nitrogenados, genera eutrofización de las aguas y aceleración de la degradación de la materia orgánica (MADR et al., 2006).

Pecuaria

El sector pecuario aporta el 37 % del valor de la producción agropecuaria del departamento; en términos generales el departamento presenta una ganadería de tipo extensiva y semi-intensiva, se caracteriza por desarrollarse en grandes extensiones de tierra en manos de pocos propietarios y tiene propósitos de cría, ceba y levante (MADR et al., 2006; INVEMAR, 2008); los principales sectores ganaderos de la zona costera están ubicados en los municipios de Santa Marta con el 61 % y Sitio Nuevo con el 31 % de total

de especies (IGAC, 2009; Figura 4.21). En la zona se presentan 1.422.936 especies entre aves, bovinos, caprinos, búfalos, equinos, ovinos y porcinos, de las cuales las más abundantes son las aves con el 98 % y en segundo lugar los bovinos con el 2%. En Santa Marta, se cuenta con la mayor la producción avícola con un 99 % del total registrado de especies avícolas en la zona. El desarrollo de este sector puede asociarse a la proximidad con los principales centros de aprovisionamiento en los insumos de alimentos para estas especies, y por ser el municipio de Santa Marta el principal mercado de los municipios de la región (INVEMAR, 2008).

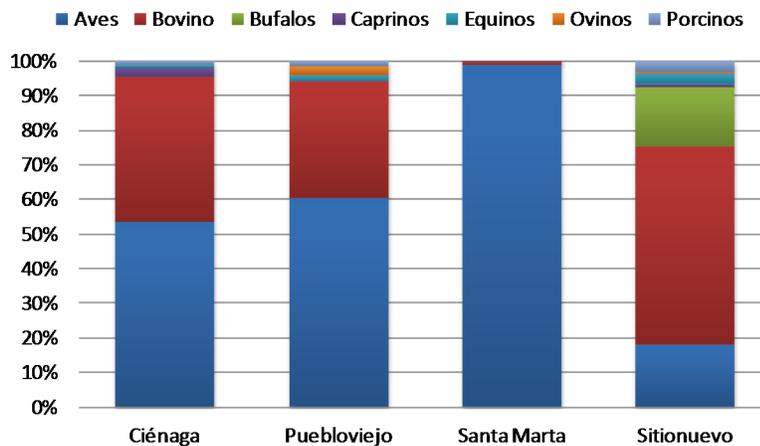


Figura 4.21. Inventario de Especies pecuarias. Fuente: Gobernación del Magdalena, 2012.

La ganadería a través de las escorrentías, recogen en su recorrido sólidos suspendidos, producto del suelo erosionado por el pastoreo; altas concentraciones de nutrientes (nitrogenados y fosforados) que causan la eutrofización, utilizados para fertilizar el suelo, control de plagas y enfermedades; y microorganismos patógenos generados al fertilizar el suelo por medio del estiércol de animal; llegan finalmente con toda esta carga contaminante a los cuerpos de agua, alterando su calidad y causando implicaciones negativas para la salud y los ecosistemas acuáticos (FAO, 2006).

Tabla 4.5. Inventario de especies pecuarias. Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario- Gobernación del Magdalena, 2012

Municipios	Aves	Bovino	Búfalos	Caprinos	Equinos	Ovinos	Porcinos
Ciénaga	1.530	1.206	0	68	34	0	29
Pueblo Viejo	1.478	820	0	0	49	58	38
Santa Marta	1.389.875	15.919	10	393	310	94	425
Sitio nuevo	1.893	6.074	1.839	68	318	50	358
Total general	1.394.776	24.019	1.849	529	711	202	850

Mataderos

En cuanto a mataderos, se identificaron 14 establecimientos dedicados a esta actividad, en Santa Marta se encuentran 12 en total, Ciénaga y Sitio Nuevo cuenta cada uno con su matadero y Pueblo Viejo no tiene. Los mataderos en general no cumplen con las normas sanitarias, debido a que en su mayoría las infraestructuras y equipos son inadecuados para este tipo de actividades, presentando deficiencias en el manejo y disposición de los residuos sólidos y líquidos.

En el caso de Santa Marta, es el principal mercado de abastecimiento de carne, esto se debe a que cuenta con la mayoría de mataderos de la zona, de los cuales 3 presentan condiciones óptimas de operación, ya que tienen algún sistema de tratamiento de sus aguas residuales; 3 vierten sus aguas a campo abierto donde llegan por escorrentía al río; 2 vierten directamente al río; 2 no tienen ningún tratamiento y se desconoce sus destino final y 1 llega a la quebrada Veracruz que desemboca en el río Manzanares; Lo que significa que hay aproximadamente 10 mataderos en el cauce del río Manzanares (INVEMAR, 2008; CORPAMAG, 2011), los cuales generan aguas residuales caracterizadas por contener sólidos en suspensión, materia orgánica, grasa, pesticidas, altos niveles de DBO₅, DQO, nitrógeno y residuos sólidos (Vivas-Aguas *et al.*, 2012); convirtiéndose el río en un vehículo que aporta aguas contaminadas al mar, afectando la calidad de las aguas (Escobar, 2002; CORPAMAG, 2013).

Pesca

El sistema de producción pesquero en la mayoría de los casos proporciona el ingreso diario de la población sector, además ha sido importante para el suministro hacia el interior del país (INVEMAR, 2008; IGAC, 2009). El volumen de pescado obtenido es la principal fuente de abastecimiento y constituye sustantivamente la dieta alimenticia de la zona. Las especies de mayor captura son la mojarra, el róbaló, lebranche, el jurel, la lisa, la cojinúa y el pargo, entre otros. (IGAC, 2009; MAVDT, 2004). La actividad se desarrolla tanto de forma tradicional como empresarial, presentando bajos niveles de tecnificación y control (DNP *et al.*, 2007). La pesca tradicional, se realiza con embarcaciones de poca autonomía para la navegación y con la aplicación de técnicas y herramientas artesanales para la extracción (Alcaldía distrital de Santa Marta, 2000). También se realiza de forma empresarial, en algunos sectores de Ciénaga que producen harina de pescado y procesan la carne de Jaiba (INVEMAR, 2008).



Figura 4.22. Actividad Pesquera en los municipios costeros del Magdalena. a) Pesca en la Bahía de Santa Marta; b) Pesca en Pueblo Viejo - Ciénaga Grande de Santa Marta.

En cuanto al número de pescadores, aproximadamente el 45,6% de la mano de obra pesquera está vinculada con las artes de línea de mano, red de enmalle con el 25,9%, chinchorro 14,6%, en una menor proporción se encuentra el palangre 8,9%, buceo 3,2% y las nasas 1,9% (INVEMAR, 2008). En algunos sectores de Santa Marta y Ciénaga, aun se utilizan métodos ilícitos de captura como el zangarreo, el encierre con trasmallos de las raíces del manglar, con golpeteo, prendiendo fuego a la vegetación de la orilla para espantar a los peces y el uso de tóxicos como la dinamita, lo cual ha incidido en la reducción de la biomasa y en efectos negativos sobre los arrecifes coralinos (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2007). Los principales residuos pesqueros son sangre, aceites y grasas, vísceras y escamas, entre otras, que generan una carga contaminante de nutrientes y materia orgánica. Gran parte de estos desechos van a las redes de alcantarillado municipal o se vierten directamente a las fuentes de agua superficial cercanas, afectando el

ambiente y la salud de los pobladores (Vivas-Aguas et al., 2013).

Minería

En términos generales, las prácticas mineras se vienen realizando de dos formas: una de tipo artesanal, de manera antitécnica, en algunos casos ilegal y desmedida y otra de tipo industrial (Ribon y Rodríguez, 2002). La artesanal, es practicada por los pobladores que viven cerca de los ríos y en las faldas de los cerros, extrayendo el recurso con herramientas rudimentaria y delimitado alcance en la extracción (INVEVAR, 2008). La explotación minera industrial, se desarrolla mediante la instalación de canteras y utilización de maquinaria de gran alcance para la extracción de materiales pétreos (gravillas, calizas y otros materiales) que son empleadas en el sector de la construcción. Estas se ubican principalmente en Santa Marta y Ciénaga (Gobernación del Magdalena, 2006; INVEVAR, 2008). Las principales canteras en el municipio de Santa Marta, se encuentran ubicadas en el casco urbano, lo que restringe el desarrollo de esta actividad. Por otra parte, se practica la extracción de material de arrastre en las riberas de los ríos y quebradas que atraviesan la ciudad para efectos de las obras de construcción (Alcaldía distrital de Santa Marta, 2000; INVEVAR, 2008).

Se destacan los yacimientos de calizas, dolomitas calcáreas, yeso, feldespato, grafito y magnesio. El yacimiento calcáreo más importante está localizado en Ciénaga y Santa Marta; también existen, manifestaciones de yeso en Pueblo Viejo y Ciénaga; el feldespato se localiza en el municipio de Santa Marta (IGAC, 2009; Ministerio de Minas y Energía, 2009). En cuanto a manifestaciones de minerales metálicos, se tienen reportes de estaño en la Sierra Nevada y de manganeso en Ciénaga (Tabla 4.6; IGAC, 2009).

Tabla 4.6. Extracción de minerales en los municipios costeros del Magdalena. Fuente: ¹MinMinas, 2009; ²IGAC, 2009.

Municipios	Mineral
	*Materiales de Construcción (arenas, gravas, calizas y otros materiales) ¹
Ciénaga	Metales Preciosos (Plata) ¹
	Minerales (Yeso y manganeso) ²
Pueblo Viejo	Yeso ²
Santa Marta	*Materiales de Construcción (arenas, gravas, calizas y otros materiales) ¹
	Metales Preciosos (Oro y Plata) ¹

*Según el ministerio de minas y energía, en la explotación de materiales de construcción se encuentran (gravas, arenas, agregados pétreos y recebo), arcillas, calizas, arenas silíceas, feldespato, grafito, asbesto, barita, talco, asfaltitas, fluorita, micas, diatomitas, calcita, dolomita, mármol, rocas ornamentales y minerales de aluminio, manganeso y magnesio (Ministerio de Minas y Energía, 2009).

Aunque en el Magdalena, la minería no es una de las principales actividades económicas, es necesario vigilarla ya que puede causar erosión de los suelos, acumulación de residuos tóxicos, metales pesados en los cuerpos de agua, los cuales son transportados por las corrientes fluviales (Salas, 2004). Por otra parte, la extracción de material de arrastre en las riberas de los ríos para efectos de las obras de construcción en la ciudad, viene agudizando los impactos ambientales negativos en los ríos Manzanares y Gaira (Alcaldía distrital de Santa Marta, 2000).

Actividad portuaria

En los municipios de la zona costera del Magdalena operan cinco puertos en total (Figura 4.23), el de Sociedad Portuaria de Santa Marta-SPSM, Sociedad Portuaria de Palermo-SPP, Puerto Prodeco, Puerto de

la Sociedad del Río Córdoba-Vale y Puerto Drummond; los dos primeros son puertos multipropósito de carácter público uno es marítimo y el otro es fluvial respectivamente. Los tres restantes incluyendo a la sociedad portuaria de Santa Marta con la operadora Carbosan son puertos carboneros ubicados en Santa Marta como la SPSM, Prodeco y Vale; Drummond en Ciénaga y Palermo en Sitio Nuevo (Conpes, 2008; Invemar, 2008; Superintendencia de Puertos y Transportes, 2008).

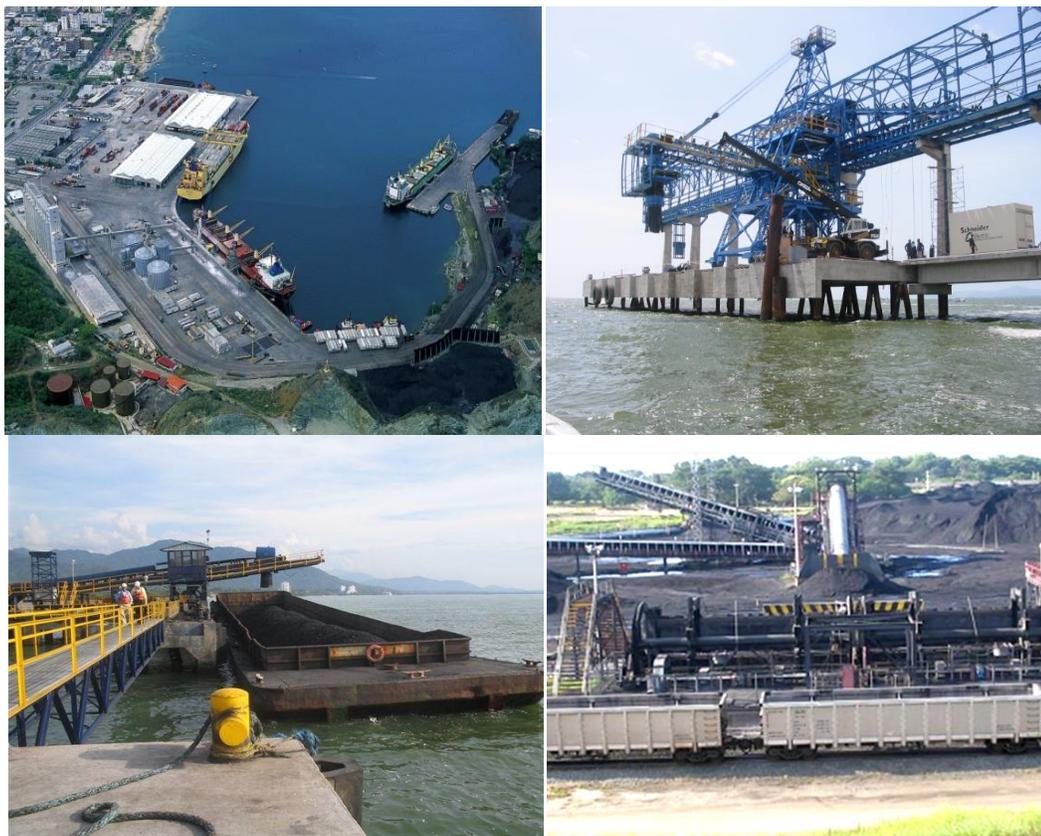


Figura 4.23. Puertos de la zona costera del Magdalena. INVEMAR, 2008.

La SPSM es uno de los principales puertos en el Caribe, lo que genera mayor movimiento de buques, intenso volumen del tránsito de mercancías (hidrocarburos, carbón, sustancias nocivas líquidas transportadas a granel, sustancias perjudiciales transportadas en bultos, aguas de sentinas y residuos sólidos de los buques), mayor tránsito de barcos para transporte marítimo de cabotaje, los cuales eliminan una carga importante de residuos oleosos y residuos de aceites lubricantes en las zonas costeras. Estas actividades ocasionan impactos ambientales, contaminación al paisaje costero, contaminación por residuos oleosos y daños a la infraestructura vial existente. A pesar de que, según la OMI (Organización Marítima Internacional), los puertos colombianos han ido mejorando en la infraestructura para recepción, manejo y disposición final de estos residuos, aun no los poseen a cabalidad (Alcaldía distrital de Santa Marta, 2000; INVEMAR, 2008).

Entre los productos de mayor movilización en el puerto se encuentran los combustibles y lubricantes distribuidos en: aceites crudos del petróleo, aceites, bases lubricantes, carbón, coques, diesel, gasolina, hulla, Nafta y petróleo equivalentes al 89,52%, los productos alimenticios, azúcar, preparados de miel, banano, maíz, subproductos, frijol, soya, subproductos, legumbres, trigo y otros productos alimenticios con el 4,20 % y productos químicos como fertilizantes, fosfatos y cloruros, mezcla de gases, nitratos,

polietileno, potasio, soda cáustica, sulfato de magnesio y productos inorgánicos con un 2,67 % (Tabla 4.7; Superintendencia de Puertos y Transportes, 2008; INVEMAR, 2008).

Tabla 4.7. Tráfico de los principales grupos de productos movilizados en el Puerto de Santa Marta

IMPORTACIÓN	IMPORTACIÓN
Aceites grasas	Aceites grasas
Artículos manufacturados	Artículos manufacturados
Bebidas y tabacos	Combustibles y lubricantes
Combustibles y lubricantes	Maquinaria y equipo de transporte
Materiales crudos no comestibles	Materiales crudos no comestibles
Productos alimenticios	Productos alimenticios
Productos químicos	Productos químicos
	Varios sin especificar

Fuente: Superintendencia de puertos y transportes, 2008

Estaciones de Servicio

Existen 33 establecimientos prestadores de servicios de venta del combustible, según el listado de inscritos como generadores de residuos peligrosos bajo la jurisdicción del DADMA y CORPAMAG. Santa Marta posee el 88% de los establecimientos, Ciénaga el 6% y Pueblo Viejo y Sitio Nuevo el 3 % cada uno (Figura 4.24). Para el caso de Santa Marta, hay aproximadamente 18 lavaderos en el cauce del río Manzanares (INVEMAR, 2008), ubicados regularmente en las estaciones de gasolina, que prestan el servicio de forma simultánea, generándose una potencial fuente de contaminación al río. Lo anterior se produce por recibir de forma directa los residuos líquidos que contienen generalmente gasolina, solventes, aceites y grasa, producto del lavado de pisos, mantenimiento de vehículos, aguas lluvias, derrames y pérdidas de gasolina, que por escorrentía llegan al alcantarillado o a los cuerpos de agua superficiales provocando su contaminación y riesgos en la salud (MMA, 1999).

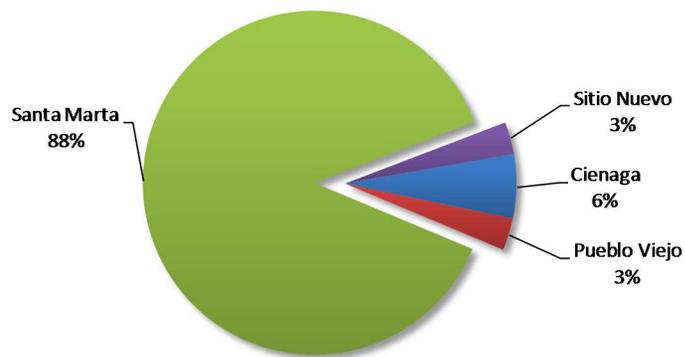


Figura 4.24. Estaciones de servicio de los municipios costeros del Magdalena. Fuente: DADMA y CORPAMAG.

Residuos Peligrosos

Los residuos sólidos se clasifican en comunes y peligrosos. Según el decreto 4741 de 2005, se considera un residuo peligroso, aquel desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas,

inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos (MAVDT, 2005). Las fuentes de residuos peligrosos más comunes son generados por: *actividades productivas* (sector industrial, minero-energético, agroindustrial, de infraestructura); actividades del *sector servicios* (salud, transporte, educación, laboratorios, investigación, administración pública); resultado del *consumo masivo* de productos con características peligrosas (pilas, baterías, envases de plaguicidas, solventes, lámparas de mercurio, desechos electrónicos); y por los *hogares* (limpiadores domésticos, productos automotrices, cosméticos, productos para mantenimiento del hogar; MAVDT, 2007).

En los municipios costeros del Magdalena las principales actividades generadores de RESPEL son las empresas de Servicios Industrial y Comercial, aportados a través de las descargas de aguas residuales de tipo doméstico e industriales, residuos sólidos, escurrientías, entre otras. Santa Marta y Ciénaga cuentan con la mayoría de empresas en comparación con Pueblo Viejo y Sitio Nuevo, generando una variedad de RESPEL, entre ellos los agroquímicos, grasas y aceites, hidrocarburos, residuos de minería, residuos hospitalarios, metales pesados, restos de animales y sustancias químicas. Donde el 60% de las empresas generan aceites y grasas, el 24% residuos hospitalarios, el 10% Metales Pesados, el 2% tinta colorante y disolventes, el 2% residuos químicos y el resto residuos industriales, explosivos y plaguicidas. El sector económico comercial genera el 90 % de los hidrocarburos y el 88 % de agroquímicos; el industrial produce el 67 % total de los residuos provenientes de la minería de la zona y el 31 % de grasas y aceites; y el de servicios el 96 % de los residuos hospitalarios, 88 % de metales pesados y el 60 % sustancias químicas (Figura 4.25).

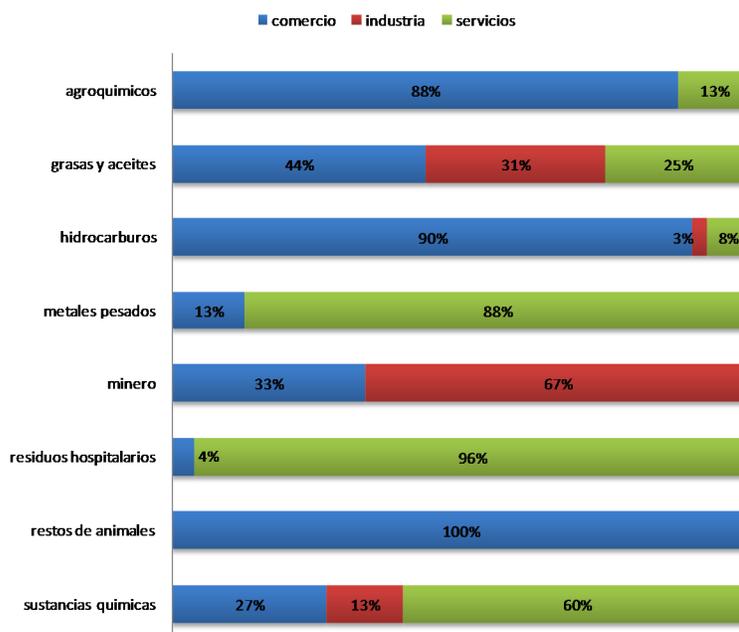


Figura 4.25. Porcentaje de residuos peligrosos generados por los sectores económicos.

De acuerdo al total de empresas registradas en Santa Marta el 34 % de ellas generan residuos hospitalarios, el 30 % hidrocarburos; por otra parte en Ciénaga el 28 % de las empresas producen residuos hospitalarios, grasas y aceites con un 22 % y residuos mineros con el 11 %. En Pueblo Viejo se genera el 50% hidrocarburos y la misma proporción de residuos mineros. Finalmente, Sitio Nuevo aporta el 50% de grasas y aceites, con la misma proporción de hidrocarburos de acuerdo al total de empresas inscritas (Figura 4.26).

Debido a que existen fuentes dispersas de generación de RESPEL, además del sector industrial o manufacturero, y al riesgo que estos representan sobre la salud y el ambiente, se deben manejar de forma especial que los residuos no peligrosos (MAVDT, 2007). Lo que hace indispensable de acuerdo a la ley 1252 de 2008, la minimización en la generación de residuos peligrosos, mediante la formulación, diseño de estrategias de gestión (planes integrales de residuos peligrosos), aplicación de tecnologías ambientalmente limpias y control de residuos que abarquen todo el universo de fuentes generadoras (MAVDT, 2008).

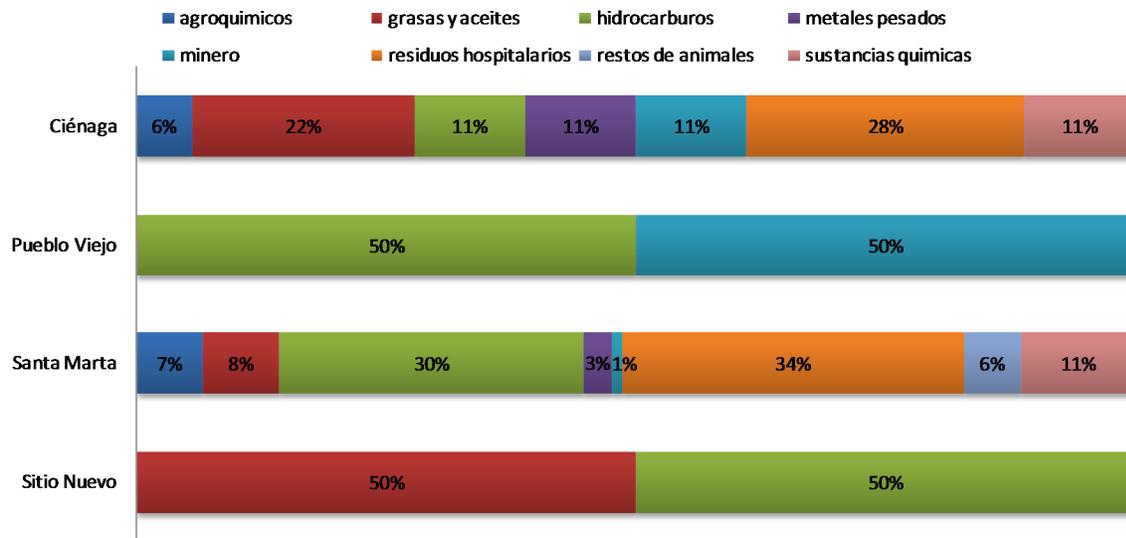


Figura 4.26. Generación de residuos en los municipios por actividad económica. Fuente: DADMA, CORPAMAG y DANE, 2005.

4.1.1.3 Evaluación de Impactos

El objetivo de la evaluación de impacto ambiental es prevenir situaciones de deterioro por los efectos nocivos de la contaminación frente a la salud humana y los recursos naturales como el agua, atmósfera, suelos y sirve de instrumento para establecer las medidas adecuadas y llevar a niveles aceptables los impactos derivados de acciones humanas; buscando con ello proteger la calidad del ambiente y la prevención de los posibles impactos directos e indirectos que las actividades humanas puedan producir en el ambiente (Espinoza, 2001).

Referentes metodológicos

Existen en la literatura, diversas metodologías que permiten evaluar los impactos ambientales, para este estudio de caso, se fundamenta en dos de ellas para la etapa de evaluación, a continuación se precisan:

Matriz de Leopold: Este método consiste en un cuadro de doble entrada -matriz- en el que se disponen como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones que vayan a tener lugar y que serán causa de los posibles impactos, esta matriz utiliza solo dos variables las cuales corresponden a la Intensidad (grado de afectación) y la magnitud (área de afectación en el tiempo) (García, 2004).

Método Conesa: En esta metodología, cada cruce en la matriz o elemento tipo, nos dará una idea del efecto de cada acción impactante sobre cada factor ambiental impactado. Para ello se calcula la

importancia por impacto a través de las nueve (9) variables que contempla (Conesa, 2009).

Metodología para el cálculo de Multas por Infracción a la Normativa Ambiental: La técnica de valoración cualitativa, tiene en cuenta una serie de cualidades de los impactos, asignando valores prefijados según esa cualidad sea alta, media o baja. Finalmente, la valoración de cada uno de estos atributos refleja la importancia del impacto midiendo el efecto de la acción sobre el factor alterado (MAVDT, 2010).

Para la Evaluación de Impactos Ambientales – EIA- se utilizó como base principal la metodología para el cálculo de importancia del impacto ambiental y los factores desarrollados por Conesa (2009); el cálculo de multas por infracción a la normativa ambiental de Colombia (MAVDT, 2010); y se seleccionaron las acciones que pueden causar impacto ambiental según la matriz propuesta por Leopold (1971; Tabla 4.8), que consiste en una matriz de doble entrada en la que se disponen en filas los factores ambientales que pueden ser afectados y en columnas las acciones que tendrán lugar y que serán causa de los posibles impactos (Conesa, 2009).

Se elaboró la matriz de afectación, donde a partir del cruce de información entre el listado de factores y de impactos ambientales se determinaron las afectaciones relevantes para su estimación y se realizó la valoración cualitativa, asignando valores prefijados según la escala de importancia propuesta por Conesa en 2009; Tabla 4.9y Tabla 4.10). Para finalizar se hizo la sumatoria total de la columna de importancia indicando cuales son los impactos más significativos. A manera de resumen se hizo la relación entre las fuentes de contaminación y las actividades identificadas en la zona de estudio con respecto a las acciones que podrían causar impacto ambiental según Leopold (1971;Tabla 4.11).

Tabla 4.8. Listado de acciones propuestas por el método de Leopold que pueden causar impacto ambiental en la zona de estudio, según las actividades encontradas en la zona costera del Magdalena.

ACCIONES IMPACTANTES	
MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN	RECURSOS RENOVABLES
1. Controles Biológicos 2. Modificación del hábitat 3. Alteración de la cubierta terrestre 4. Alteración de la hidrología	15. Repoblación Forestal 16. Recarga de aguas subterráneas
EXTRACCIÓN DE RECURSOS	SITUACIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS
5. Voladuras y perforaciones 6. Excavaciones superficiales 7. Excavaciones subterráneas	17. Vertidos en mar abierto 18. Vertedero 19. Vertido de residuos urbanos 20. Vertido de efluentes líquidos 21. Tanques y fosas sépticas 22. Lubricantes y aceites usados
PROCESOS	TRATAMIENTO QUÍMICO
8. Agricultura 9. Ganadería y pastoreo 10. Industrias 11. Minería	23. Fertilización 24. Control de maleza y vegetación terrestre 25. Pesticidas
ALTERACIONES DEL TERRENO	
12. Control de la erosión, cultivo 13. Paisaje 14. Explosiones	

Tabla 4.9. Calificación de la Importancia de la afectación, adaptado (MAVDT, 2010)

IMPORTANCIA	VALOR
Irrelevante	8
leve	9-20
Moderado	21-40
Severa	41-60
Critica	61-104

Tabla 4.10. Valoración cualitativa de las acciones impactantes y de los factores ambientales impactados. Adaptada de Conesa Fernández (2009)

NATURALEZA		INTENSIDAD (IN) (Grado de Destrucción)*	
Impacto beneficioso	+	Baja o mínima	1
Impacto perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total 1	12
EXTENSION (EX) (Área de influencia)		MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Amplio o extenso	3	Corto plazo	3
Total	6	Inmediato	4
Crítico	(+4)	Crítico	6
PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto)		REVERSIBILIDAD (RV) (Reconstrucción por medios naturales)	
Fugaz o efímero	1	Corto plazo	1
Temporal o transitorio	2	Medio plazo	2
Pertinaz o persistente	3	Largo plazo	3
Permanente o constante	5	Ireversible	7
SINERGIJA (SI) (Potenciación de la manifestación)		ACUMULACIÓN (AC) (incremento progresivo)	
Sin sinérgismo o simple	1	Simple	1
Sinérgismo moderado	6	Acumulativo	6
Muy sinérgico	12		
EFECTO (EF) Relación causa-efecto)		PERIODICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación)	
Indirecto o secundario	1	Irregular (aperiódico y esporádico)***1	1
Directo o primario	6	Periódico o de regularidad intermitente	3
		Continuo 4	7
RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos)		IMPORTANCIA (I) (grado de manifestación cualitativa del efecto)	
Recuperable de manera inmediata	1	$I = \pm (3 IN + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$	
Recuperable a corto plazo	2		
Recuperable a medio plazo	3		
Recuperable a largo plazo	4		
Mitigable, sustituible y compensable	4		
Irrecuperable	8		

Tabla 4.11. Relación entre las fuentes de contaminación identificadas y las actividades encontradas en la zona de estudio con respecto a las acciones que podrían causar impacto ambiental según Leopold (1971).

FACTORES AMBIENTALES	Minería	Agricultura	Pecuaria	Actividades Portuaria	Mataderos	Residuos Sólidos	Vertimientos	Actividades económicas	Descarga de ríos	Importancia del Impacto
Erosión del suelo en la zona	1									286,00
Disposición de desechos	1	1	1	1	1	1		1		766,52
Uso actual	1	1	1			1				372,81
Uso potencial	1					1				369,00
Escorrentía superficial	1		1	1			1		1	346,98
Residuos peligrosos		1				1		1	1	337,43
Nivel freático	1		1			1				139,63
Parámetros fisicoquímicos	1		1	1	1	1	1	1	1	1062,05
partículas en suspensión		1								89,00
calidad visual						1				89,00
Ecosistemas	1	1		1		1	1	1	1	782,48
Cobertura vegetal y bosques	1	1				1				423,00
especies endémicas y áreas especiales						1				63,00
especies endémicas, amenazadas y migratorias	1			1		1			1	315,43
vegetación ribereña	1	1				1				344,00
especies piscícolas de importancia económica	1						1	1		334,00
Forma de tenencia de la Tierra	1					1				321,00
necesidades básicas insatisfechas, relación urbano/rural	1									88,00
Afección a la salud	1		1	1		1	1		1	705,56
Energía, acueducto, alcantarillado y Disposición de basuras			1		1	1	1	1	1	732,31
Sitios de recreación			1	1		1	1		1	590,36
Total de acciones por actividad	15	7	8	7	3	16	7	6	8	

Como resultado del análisis, resultó que el factor ambiental que presentó mayor afectación fueron los parámetros fisicoquímicos, esto se puede atribuir a los vertimientos directos al mar de cargas domésticas e industriales, en su mayoría provenientes de la prestación de servicios hoteleros, sistemas de tratamiento de ARD de Ciénaga y Santa Marta y por las cargas domésticas aportadas por la población a los ríos Piedras, Guachaca, Mendihuaca, Buritaca, Don Diego, Palomino, Manzanares, Gaira, Toribio y Córdoba su recorrido hasta la desembocadura, deteriorando la calidad del agua; para tratar de mitigar dicho impacto, sería necesario aumentar la cobertura del sistema de alcantarillado e implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales en los puntos de mayor afectación.

La EIA permite cuantificar o categorizar el valor de importancia de los impactos, generados por las fuentes de contaminación en la zona costera del Magdalena, las cuales se identificaron a partir del análisis de la información bibliográfica. De acuerdo a ésta las actividades que producen una afectación mayor a los factores ambientales, son la minería, la actividad portuaria y residuos sólidos.

Algunas industrias dedicadas a la minería o explotación de materiales de construcción realizan esta actividad sin las condiciones técnicas adecuadas y en algunos casos de forma ilegal y desmedida; La

mejor manera de garantizar la mitigación de impactos ambientales por esta actividad es con la implementación, desarrollo y ejecución de manera efectiva del Plan de Manejo Ambiental del proyecto. Dentro de este debe contemplar el monitoreo de calidad de aguas, para aguas residuales industriales y domésticas, logrando observar la eficiencia del sistema de tratamiento (Salas, 2004). Al mismo tiempo, debe estar acompañado del control ambiental por parte de las autoridades competentes, evitando así mayores impactos y deterioro de los recursos tanto renovables como no renovables de la zona.

La actividad portuaria es una de las fuentes con un valor de importancia alto, ya que el intenso movimiento de buques, los cuales transportan un volumen alto de mercancías (hidrocarburos, carbón, sustancias nocivas líquidas transportadas a granel, cabotaje, sustancias perjudiciales transportadas en bultos, aguas de sentinas y residuos sólidos de los buques); y una carga importante de ellas (residuos oleosos y residuos de aceites lubricantes) son eliminados en las zonas costeras. Lo que ocasiona impactos ambientales, contaminación al paisaje costero, contaminación por residuos oleosos y riesgos a la salud. Para mitigar los impactos es indispensable mejorar la infraestructura para recepción, manejo y disposición final de estos residuos; además incluir dentro de los planes de manejo ambiental, los monitoreos de las aguas, programas de reducción de residuos sólidos y diseño de barreras para evitar la propagación del polvillo del carbón.

Los vertederos de residuos sólidos, de acuerdo a los resultados de la matriz de importancia es otra actividad que impacta el ambiente, porque afecta de manera directa los parámetros fisicoquímicos, los ecosistemas, el uso del suelo, la contaminación del suelo, factores ambientales estéticos como olor y visibilidad y comunidades cercanas. Como en el caso de Sitio Nuevo y Pueblo Viejo, no cuentan con ningún tipo de tratamiento de sus residuos, y sus habitantes los arrojan en lotes baldíos o a los cuerpos de agua generando un aspecto de desaseo en las áreas urbanas y sus alrededores. Por lo tanto se propone como alternativa de mitigación, aumento de la cobertura de aseo y diseño e implementación de un Plan de Gestión Integral de Residuos-PGIR, para aumentar el aprovechamiento de los mismos así como estrategias para minimizar la cantidad de basuras y de Rellenos Sanitarios de acuerdo a las normas ambientales, esto minimizaría considerablemente los perjuicios al medio ambiente y los peligros para la salud y seguridad pública (Donaires *et al.*, 2005).

Diagnóstico Departamentos del Caribe

San Andrés y Providencia



Playa en Rocky Cay. Foto Shelly Palmer, Coralina

4.1 ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina es un grupo de islas del mar Caribe pertenecientes a Colombia, conformando el único departamento de este país sin territorio continental. Este conjunto de islas, cayos e islotes se localiza sobre una plataforma volcánica del Caribe suroccidental, a unos 720 km del noroeste de la costa colombiana y a 110 kilómetros de la costa nicaragüense (Gobernación del Archipiélago, 2013), entre los 12° y 16° de latitud norte y los meridianos 78° y 82° de longitud oeste (Figura 4.1.1). 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 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).

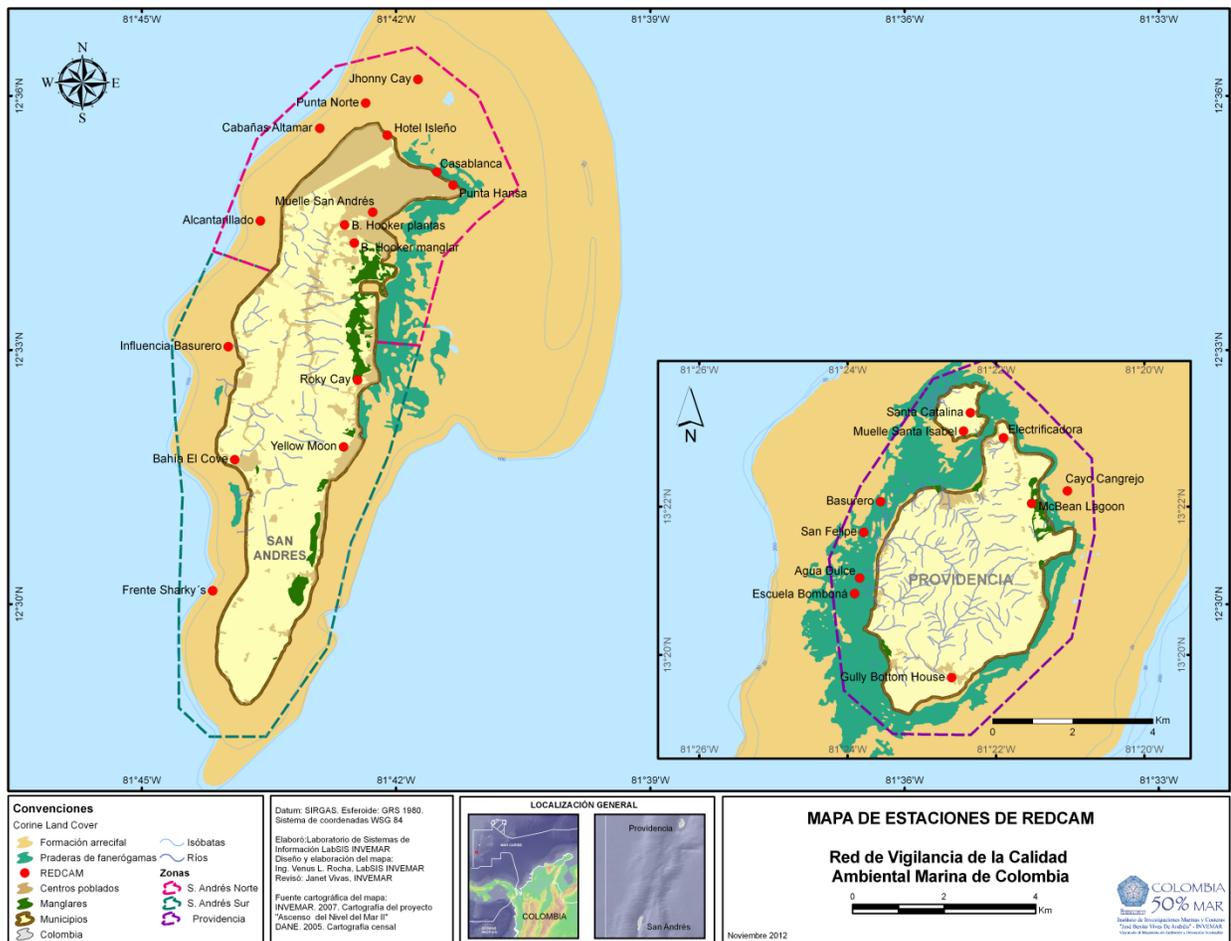


Figura 4.1.1. Estaciones de muestreo en el departamento de San Andrés y Providencia

El Archipiélago tiene una población proyectada de 77084 habitantes (DANE, 2009) y la principal actividad industrial en la isla es el turismo y actividades económicas asociadas como el comercio, 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), además que la red de acueducto no tiene cobertura del 100%. 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 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).

Para el monitoreo de la REDCAM CORALINA recolectó información en 25 estaciones distribuidas en Providencia y San Andrés norte y suren el 8 de agosto, el 21 y 28 de noviembre de 2012 (época lluviosa) y entre el 19 de junio y 26 de julio de 2013 (época seca). El análisis de las variables se realizó por separado, mientras que San Andrés es de origen coralino y no tiene flujos de agua dulce permanentes (escorrentía solo en época de lluvias), Providencia es de origen volcánico y tiene aportes más constantes de agua dulce hacia el mar.

4.1.1 Variables Físicoquímicas

4.1.1.1 *In situ*

Temperatura

Para la época lluviosa 2012 la temperatura superficial del agua en San Andrés presentó un valor promedio de $26 \pm 0,9$ °C y osciló en un rango entre 24,9 °C y 26,8 °C, mientras que durante la época seca de 2013 osciló entre 30,1 °C y 32,1 °C, con un promedio de $31,1 \pm 0,6$ °C. Los valores más altos se registraron en la zona norte de San Andrés en la época seca 2013, especialmente en Punta Norte 32,1 °C (Figura 4.1.2), con temperaturas que sobrepasaron los 30°C, lo que puede afectar a largo plazo la actividad fotosintética, abundancia, florecimiento y distribución de pastos marinos presentes en estas estaciones (Borde *et al.*, 2004). Para Providencia los valores estuvieron entre 27,8- 28,5, con un promedio de $28,1$ °C \pm 0,2°C.

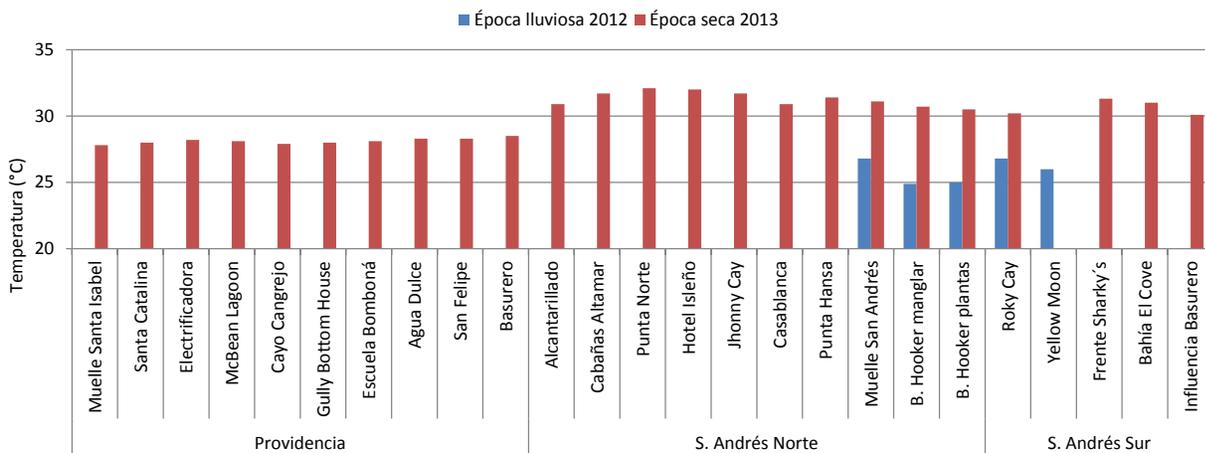


Figura 4.1.2 Temperatura (°C) de aguas superficiales de 3 zonas de San Andrés (Providencia, S. Andrés Norte y S. Andrés Sur) medida en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Salinidad

La salinidad en la Isla de San Andrés fluctuó entre 9,4 y 34,6 para la época lluviosa y entre 33,9 y 35,3 para la época seca con valores promedio de $29,5 \pm 8,5$ y $35,0 \pm 0,4$ en cada época respectiva (Figura 4.1.3). Las estaciones que presentaron las variaciones más notables fueron bahía Hooker Manglar (9,4) y bahía Hooker Plantas (10,1), comparado con los datos históricos (31,5 y 30,7 respectivamente), esta variación se debió al inicio de la temporada de lluvias en el Archipiélago, aspecto confirmado por [IDEAM, 2012](#), lo que generó la disminución de la salinidad. En el caso de las estaciones marinas, el aumento de la salinidad en época seca responde al comportamiento propio de la columna de agua bajo la presencia de eventos de surgencia costera donde ascienden aguas pertenecientes a la Masa de Agua Subtropical Sumergida (MASS) con una salinidad mayor ([Cabrera y Donoso, 1993](#)). En Providencia la salinidad fluctuó entre 32,8 a 33,9 en la época lluviosa 2012 (con un promedio de $33,5 \pm 0,3$ mientras que en la época seca de 2013 la salinidad aumentó en 2 partes con valores entre 35,1 y 35,3.

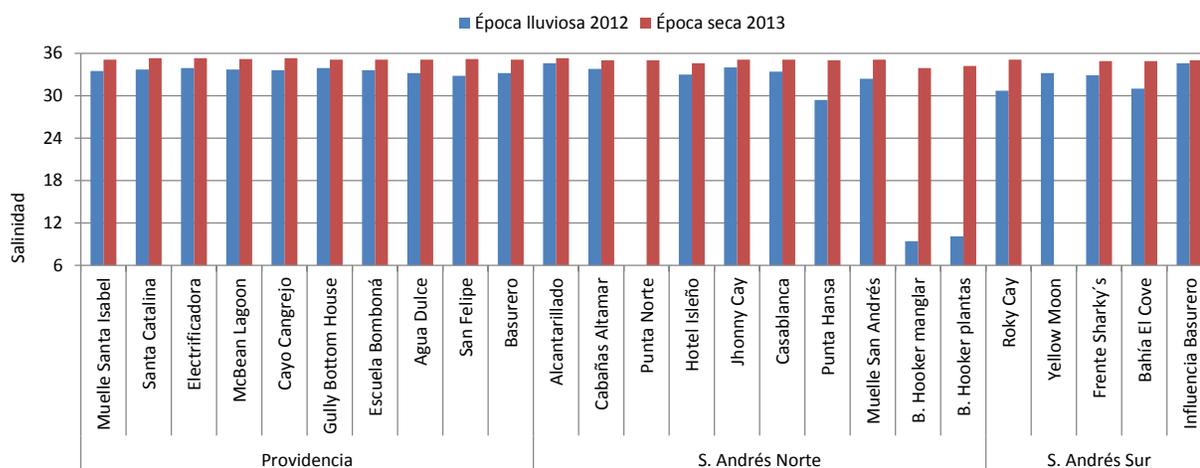


Figura 4.1.3. Salinidad de aguas superficiales de 3 zonas de San Andrés (Providencia, San Andrés Norte y San Andrés Sur) medida en la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

pH

Los valores de pH en las aguas superficiales de San Andrés oscilaron entre 6,2 y 8,1 en la época lluviosa de 2012 y entre 8,0 y 8,2 durante la época seca de 2013 (Figura 4.1.4). Los valores mínimos corresponden a las estaciones en bahía Hooker manglar y plantas que históricamente han mostrado este comportamiento, relacionado con su condición estuarina; además por la presencia de los manglares, son normales pH más ácidos. Las demás estaciones no presentaron mayores variaciones debido a la capacidad de amortiguación carbonato-bicarbonato característica del agua de mar ([Emerson y Hedges, 2008](#)), ubicándose dentro de los criterios de calidad permisibles entre 6,5 a 8,5 para aguas marinas y estuarinas, establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para preservación de fauna y Flora ([Minsalud, 1984](#)).

En Providencia el agua estuvo ligeramente básica con valores entre 7,9 y 8,2 para la época lluviosa 2012 y entre 7,3 y 8,1 para la época seca 2013 con promedios entre $8,1 \pm 0,1$ y $7,9 \pm 0,2$ respectivamente.

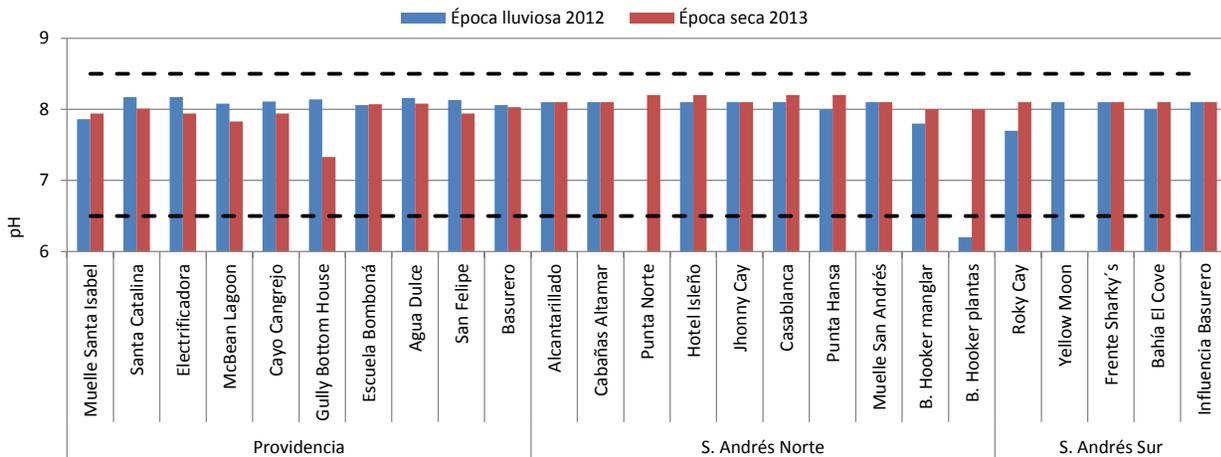


Figura 4.1.4. pH de aguas superficiales de San Andrés medido en la época Lluviosa 2012 y la época seca 2013. Las líneas punteadas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Oxígeno disuelto

El Oxígeno Disuelto (OD) es uno de los indicadores básicos para determinar el estado de calidad o deterioro que pueden tener distintos cuerpos de agua. Para la Isla de San Andrés las concentraciones de OD fluctuaron entre 4,9 mg/L y 6,1mg/L con un promedio de $5,3 \pm 0,5$ mg/L en la época lluviosa de 2012, y entre 4,7 mg/L y 7,7 mg/L en época seca de 2013 con un valor promedio de $6,7\text{mg/L} \pm 1$ (Figura 4.1.5). Aunque las aguas menos oxigenadas se midieron en las estaciones de bahía Hooker (Manglar 5,0 mg/L y plantas 4,7 mg/L) y Roky Cay (5,0 mg/L), estos superaron el criterio de calidad de 4,0 mg/L (Minsalud, 1984) y no representa peligro para la preservación de flora y fauna de los ecosistemas presentes en la bahía.

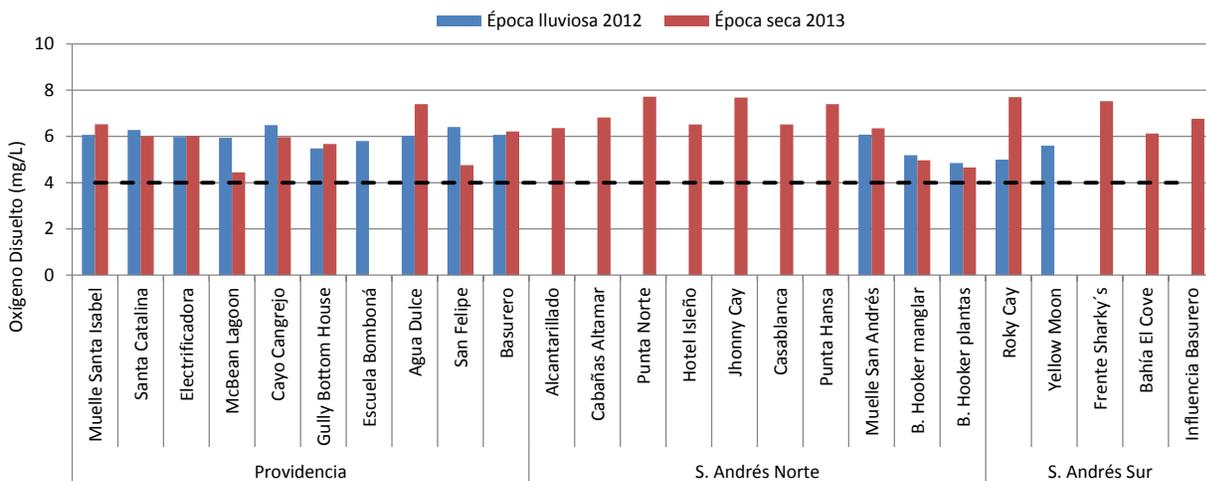


Figura 4.1.5. Concentraciones de OD (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de San Andrés, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea punteada representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

El oxígeno disuelto del agua en Providencia osciló entre 5,5 y 6,5 en la época lluviosa de 2012 con un promedio de $6,1 \pm 0,3$ y entre 4,5 y 7,4 para la época seca de 2013 con un promedio de $5,9 \pm 0,9$. Las mayores variaciones se observaron entre las estaciones de la isla de San Andrés comparado con Providencia, en ambas épocas climáticas.

4.1.1.2 **Sólidos y Nutrientes**

Sólidos Suspendidos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las aguas superficiales de San Andrés fluctuaron entre 3,0 y 25,0 mg/L, promedio $9,8 \pm 7,2$ en la época lluviosa de 2012, y con el valor más alto en las bahía del Cove (25,0 mg/L) y Hooker manglar (19,0 mg/L); mientras que en la seca de 2013 los SST oscilaron entre 3,0 y 15,0 mg/L, promedio $7,8 \pm 4$ con los resultados más altos en bahía Hooker plantas y Jhonny Cay (15,0; y 14,0 mg/L respectivamente; Figura 4.1.6). En Providencia los SST estuvieron entre 2 y 11 mg/L en la época lluviosa de 2012 con promedio de $4,1 \pm 2,9$ y entre 5 y 21 mg/L con un promedio de $11,9 \text{ mg/L} \pm 5,3$ en la época seca; estas concentraciones de SST no representan peligro en las áreas con arrecifes coralinos, ya que no sobrepasaron el límite de 50 mg/L (Fabricius, 2005). Históricamente la mayoría de las estaciones han registrado valores que no superan los 15 mg/L, excepto la estación Escuela Bomboná la cual presentó en 2009 un valor puntual de 98 mg/L en la época seca lo que afectó el promedio histórico y la desviación estándar para esta estación.

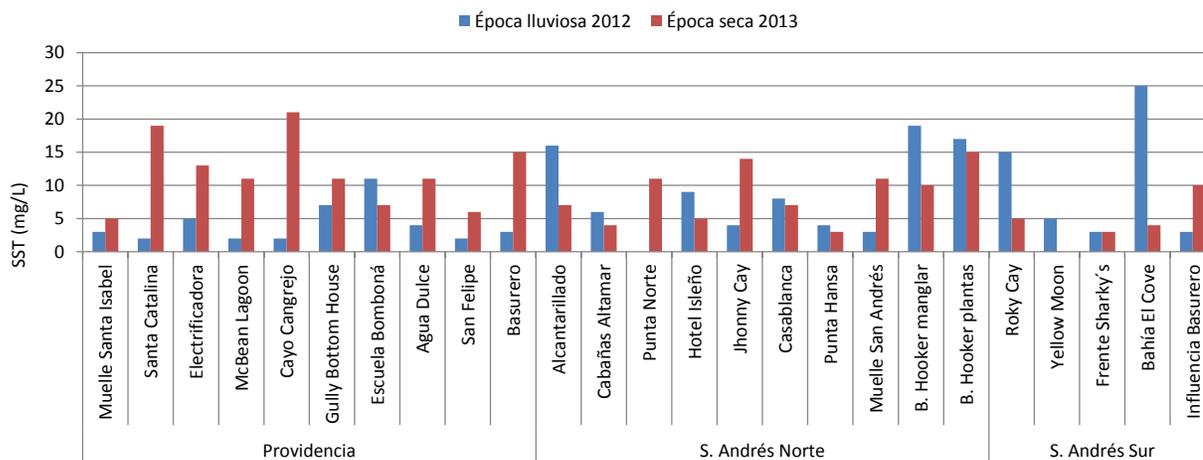


Figura 4.1.6. Concentraciones de SST (mg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de San Andrés providencia y santa catalina en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

4.1.2 Contaminación Microbiológica

La evaluación de la calidad microbiológica de las aguas superficiales de San Andrés y Providencia medidas con Coliformes Totales (CTT) y Coliformes Termotolerantes (CTE) mostró que en la época lluviosa 2012 la mayoría de las estaciones en las zonas norte y sur de San Andrés sobrepasaron el límite de CTT establecido para el desarrollo de actividades de contacto primario, según la norma colombiana de $1.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ (MinSalud, 1984), excepto en las estaciones del Alcantarillado ($540 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$), Punta Hansa ($140 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) y Yellow Moon ($130 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$), mientras que todas las estaciones de Providencia presentaron condiciones aptas para contacto primario (Figura 4.1.7).

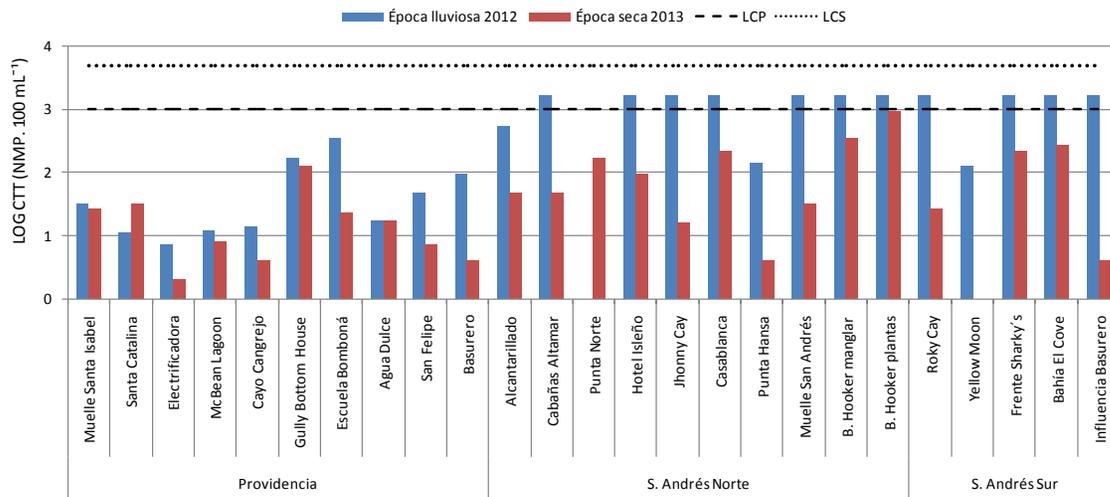


Figura 4.1.7. Concentraciones de CTT (LOG NMP.100 mL⁻¹) medidas en San Andrés y Providencia en la época lluviosa de 2012 y la época seca 2013. La línea cortada equivale al límite para aguas destinadas a contacto primario (LCP) (<1.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) y la línea punteada equivale al límite para aguas destinadas a contacto secundario (LCS) y actividades de pesca (< 5.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

El análisis histórico mostró diferencias entre épocas climáticas (p<0,05), con las mayores concentraciones de CTT en la temporada de lluvias para las dos islas (Figura 4.1.8). Durante el monitoreo algunas estaciones han sobrepasado la norma con casos de incumplimiento recurrente en su registro histórico, especialmente en el Alcantarillado (42 %), bahía Hooker manglar (50 %) y bahía Hooker plantas (46 %), debido que en épocas de lluvias, aumentan las escorrentías, la descarga de aguas servidas, y se incrementa la materia orgánica, factores que afectan la calidad microbiológica en el agua (Vivas-Aguas et al., 2012).

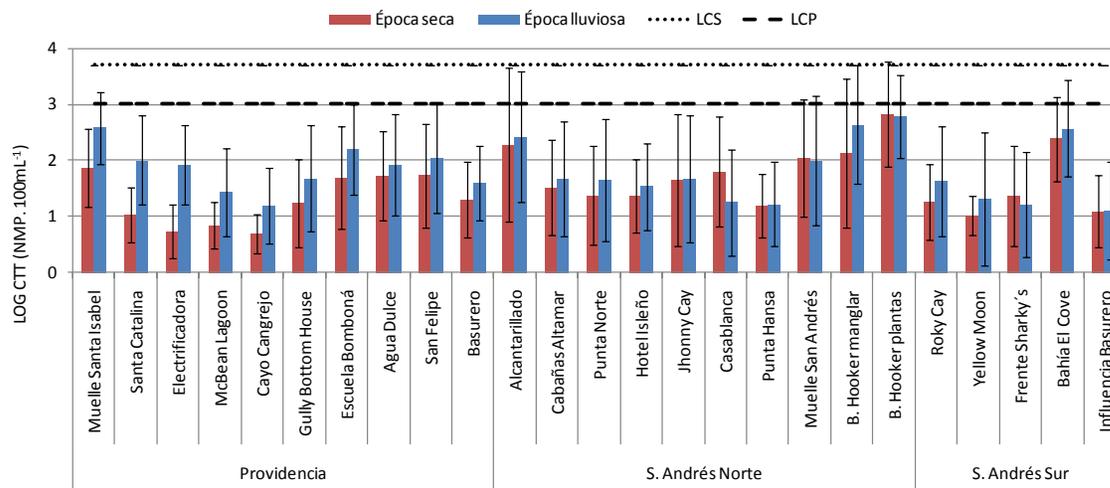


Figura 4.1.8. Concentraciones de CTT (LOG NMP.100 mL⁻¹) medidas en San Andrés y Providencia entre el año 2001 y 2013 en la época lluviosa y la época seca. La línea cortada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (LCP) (<1.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) y la línea punteada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca (< 5.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

Con excepción de Casablanca y Punta Hansa la mayoría de las playas de San Andrés superaron el criterio de calidad para Coliformes Termotolerantes ($< 200 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$ CTE; MinSalud, 1984), lo cual planteó una condición indeseable para el desarrollo de actividades de contacto primario en el momento del muestreo de la época lluviosa 2014. Los mayores casos de incumplimiento se presentaron en el muelle de San Andrés ($5.400 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$), Hotel Isleño ($1.600 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$) y Jhonny Cay ($920 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$; Tabla 4.1.1).

En Providencia todas las estaciones cumplieron con la norma (Tabla 4.1.1), pero en el análisis histórico se han presentado casos de incumplimiento en el muelle Santa Isabel (27 %) y Gully Bottom House (20 %), limitando el uso del agua en estos sitios para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario, especialmente en épocas de lluvia.

Tabla 4.1.1. Concentraciones de CTE (NMP.100 mL^{-1}) medidas en las épocas lluviosa 2012 y seca 2013. En negrilla se muestran los valores que superan el límite para aguas destinadas a contacto primario ($< 200 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$; MinSalud, 1984).

Zona	Playa	Época Lluviosa 2012			Época Seca 2013		
		(NMP.100 mL^{-1})	% casos*	n**	(NMP.100 mL^{-1})	% casos*	n**
Providencia	Muelle Santa Isabel	2	27	11	17	22	9
	Santa Catalina	8	18	11	8	0	9
	McBeanLagoon	12	0	11	7	0	9
	Cayo Cangrejo	4	0	11	2	0	9
	GullyBottomHouse	140	20	10	110	0	9
	Escuela Bomboná	39	10	10	8	11	9
S. Andrés Norte	Hotel Isleño	1600	17	12	94	8	12
	Jhonny Cay	920	17	12	540	25	12
	Casablanca	33	0	8	21	11	9
	Punta Hansa	7	0	12	< LD	0	12
	Muelle San Andrés	5400	17	12	33	0	12
S. Andrés Sur	Roky Cay	220	8	12	17	8	12

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible establecido en el decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación ($\text{CTE} < 200 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$).

**Número de datos existentes por época climática.

<LD: Menor al límite de detección

4.1.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos (HDD) oscilaron en un rango menor al límite de detección ($< 0,07$) y $0,34 \mu\text{g/L}$ en el período de lluvias 2012 y seco 2013, niveles que no superan el valor de referencia de $10 \mu\text{g/L}$ establecido por la Unesco (1984) para aguas no contaminadas.

Los registros históricos desde 2001 a 2013 mostraron diferencias temporales ($p < 0,05$) con los promedios más altos en épocas de lluvia en la zona Norte, especialmente en las estaciones de bahía Hooker plantas ($4,17 \pm 9,27 \mu\text{g/L}$) y Hooker Manglar ($2,79 \pm 4,68 \mu\text{g/L}$), así como en el muelle de San Andrés ($3,60 \pm 6,66 \mu\text{g/L}$); así como en bahía el Cove ($2,76 \pm 6,19 \mu\text{g/L}$) de la zona Sur (Figura 4.1.9). A pesar que estos son residuos que no superan la referencia de riesgo, debe continuarse el monitoreo debido a la influencia del transporte marítimo en estas zonas.

No se observó una tendencia histórica entre años ($p > 0,05$), pero si variación interanual ($p < 0,05$), con datos que superaron el valor de referencia ($10 \mu\text{g/L}$) en los años 2002 en bahía Hooker Manglar ($13,92 \mu\text{g/L}$), Bahía El Cove ($15,38 \mu\text{g/L}$) y Gully Bottom House ($10,01 \mu\text{g/L}$), y en el año 2003 en la bahía Hooker plantas $25,17 \mu\text{g/L}$ y el muelle de San Andrés ($17,02 \mu\text{g/L}$).

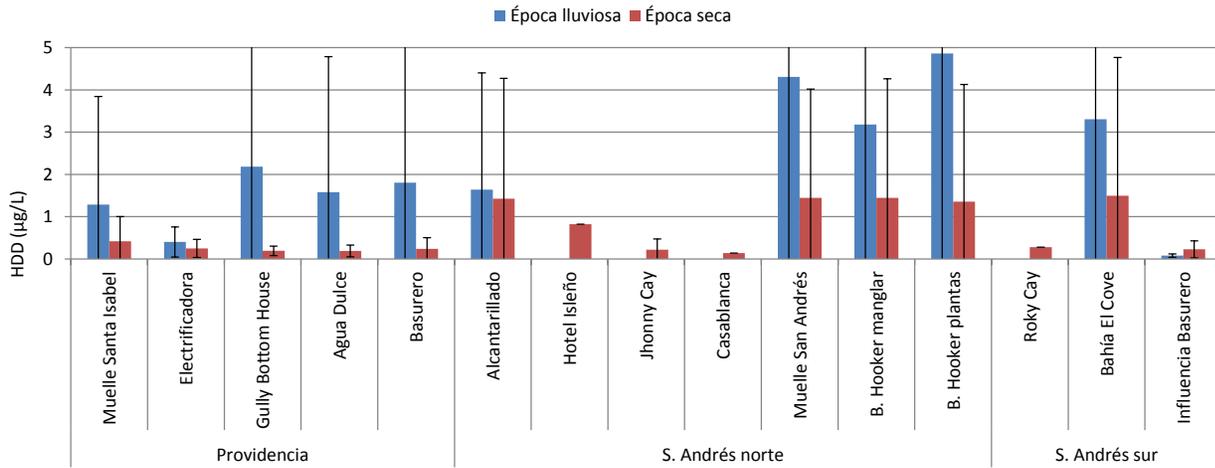


Figura 4.1.9. Promedio histórico de las concentraciones de HDD ($\mu\text{g/L}$) medidos semestralmente en las épocas lluviosas y secas entre 2001 y 2013 en aguas superficiales de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

4.1.4 Plaguicidas

La reducción en el escurrimiento de plaguicidas se ha mantenido en los últimos cinco años, durante el periodo de evaluación 2012 -2013 no fueron detectados los compuestos organoclorados (OC) y plaguicidas de uso actual. En este sentido, el análisis histórico sigue mostrando que las concentraciones más altas fueron halladas entre 2005 y 2006, cuando 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 $59,0 \text{ ng/L}$; y en el 2006 se registró el valor más alto de OC incluso para el país ($148,0 \text{ ng/L}$) nuevamente en el Muelle Santa Isabel. Desde el 2007 las concentraciones de OC han sido inferiores al límite de detección de la técnica. En cuanto a los plaguicidas de uso frecuente la detección de ingredientes activos se ha limitado a la presencia de Clorpirifos y Permetrina durante los años 2009 y 2010 (Tabla 4.1.2).

Tabla 4.1.2. Concentración de plaguicidas de uso frecuente en aguas costeras del departamento de San Andrés. V 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
2011 – seca 2013	-	-	-
Valores de referencia para efectos agudos	Aguas dulces	83	
	Aguas marinas	11	

4.1.5 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 actividades antropogénicas como el vertimiento de aguas residuales y lixiviados, la creciente expansión de las zonas urbanas, las reducidas condiciones del acueducto y alcantarillado, la disposición de los residuos sólidos 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. Por tal razón, además del monitoreo de los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr) que se viene haciendo desde el año 2001, se amplió el monitoreo de metales con Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Hierro (Fe).

El Plomo solo fue detectado en época lluviosa de 2012 en el Alcantarillado (2,64 µg/L) y en época seca de 2013 en bahía Hooker manglar (1,49 µg/L), pero estos valores están muy por debajo del límite de riesgo referenciado en la guía internacional de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

En cuanto al Cadmio, para la época lluviosa de 2012 fue detectado en el 82% de las estaciones monitoreadas con un valor máximo registrado en el Alcantarillado (1,29 µg/L). Para la época seca de 2013 sólo fue detectado en la bahía Hooker manglar (1,49 µg/L), sin superar el valor de referencia en guías internacionales para efectos agudos en aguas superficiales marinas (40 µg/L, [Buchman, 2008](#)). El Cromo, en ambas épocas estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, de forma que no presenta ningún riesgo para la salud (50 µg/L, [CONAMA, 1986](#)).

Históricamente se observan bajas concentraciones de Pb, Cd y Cr en las aguas marinas del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, sin embargo las actividades antropogénicas en las islas pueden ejercer un efecto en la concentración y movilidad del Plomo, constituyéndose en el elemento de mayor presencia en las Islas. De todas maneras los resultados muestran que estos metales se encuentran muy por debajo de las referencias internacionales (210 µg/L Pb, 40 µg/L Cd [Buchman, 2008](#) y Cr 50 µg/L [CONAMA, 1986](#)).

Sólo se detectó Cu en la estación Agua Dulce (19,6 µg/L) durante la época seca de 2013, valor que supera 4 veces el referenciado para riesgos agudos en aguas marinas en la guía internacional de la NOAA (4,8 µg/L, [Buchman, 2008](#)). No obstante, los niveles registrados en la época lluviosa sugieren que es un valor puntual por lo que se hace necesario continuar con el monitoreo de esta estación y extenderlo a los sedimentos para determinar el comportamiento del metal.

Durante la época lluviosa de 2012, el Zn fue detectado en el 82% de las estaciones monitoreadas. El valor máximo se midió en el Alcantarillado (44,6 µg/L) y bahía Hooker manglar (40,8 µg/L); mientras que en época seca de 2013, las estaciones del Muelle Santa Isabel (3,49 µg/L) y Gully Bottom House (2,11 µg/L) fueron las más altas. En general, ninguna de las estaciones marinas superó los niveles referenciados como de riesgo en la guía internacional de la NOAA (90 µg/L, [Buchman, 2008](#)).

En cuanto al Ni, en ambas épocas del año estuvo por debajo del límite de detección de la técnica aplicada (0,60 µg/L), y por ende debajo del valor de referencia de la NOAA para efectos agudos en aguas marinas (74 µg/L, [Buchman, 2008](#)). El Fe, en época seca de 2012, registró máximas concentraciones en la zona de Providencia, obteniéndose los valores más altos en las estaciones Gully Bottom House (0,07 mg/L) y Basurero (0,05 mg/L), mientras que en época lluviosa de 2013 se registraron los máximos valores de Fe con concentración de 0,08 mg/L en bahía Hooker plantas. No obstante, ninguna estación superó el valor de referencia establecido en la NOAA (300 µg/L; [Buchman, 2008](#)) para efectos agudos en la salud de las especies marinas.

4.1.6 Conclusiones

La calidad de las aguas marino-costeras de San Andrés y Providencia presentaron condiciones fisicoquímicas adecuadas para el desarrollo de la vida acuática, propias de las características oceanográficas de la zona en época seca. En la época de lluvias se demostró la influencia de algunos arroyos temporales y escorrentías especialmente en las estaciones de la bahía Hooker donde se registraron valores de pH y oxígeno disuelto cercanos a los niveles mínimos permisibles, los cuales podrían tener efectos negativos sobre los organismos considerando que esta área alberga uno de los parches de manglares más grandes de la Isla y hace parte de la zona núcleo de la reserva de Biosfera Sea Flower. Así mismo, la zona Norte de San Andrés presentó valores de temperatura ligeramente por encima del nivel de referencia de 30°C considerado como riesgo de degradación por blanqueamiento. Los sólidos suspendidos por su parte, fueron consistentes con los datos históricos del archipiélago y no representan riesgo para la supervivencia de arrecifes de coral al no sobrepasar la referencia.

La calidad microbiológica de las playas en Providencia cumplieron con los criterios para uso recreativo, pero en San Andrés presentaron algunos casos de incumplimiento durante la época lluviosa con valores altos de CTE que superaron el límite establecido por la legislación nacional para el desarrollo de actividades recreativas (natación y buceo), a excepción de Punta Hansa y Casa Blanca, que dentro de su registro histórico siempre han mostrado buena calidad a nivel microbiológico. Para aquellas estaciones de monitoreo que en los años analizados en este documento mostraron valores de Coliformes Totales y Enterococos superiores a los límites máximos permisibles planteados en la norma, será necesario continuar con monitoreo más frecuentes en campañas posteriores, de tal forma que se pueda identificar si se trata de un comportamiento constante en el tiempo y espacio o es un evento puntual aislado en estas campañas de monitoreo, analizadas específicamente.

Por otro lado, los hidrocarburos no superaron el valor de referencia para aguas contaminadas y no representan riesgo para las especies marinas. La reducción en la presencia de compuestos organoclorados se mantiene desde el 2006, y en la actualidad tampoco se registran los analitos de plaguicidas de mayor uso como el Clorpirifos y la Permetrina que se detectaron hasta el 2010. Y las concentraciones de metales pesados analizados (Cd, Cr, Pb, Zn, Ni, Fe) durante el periodo de muestreo fueron muy bajas y no superaron los valores referenciados en normas internacionales, excepto el Cu que presentó un valor por encima de la referencia de guías internacionales, y aunque es un caso puntual de una época del año, se recomienda continuar con el monitoreo de este metal y extender el análisis a la matriz sedimento la cual indica mejor la fuente y destino final de estos metales.

La Guajira



Cabo de la Vela. Foto: Yadi Moreno

4.3 LA GUAJIRA.

El departamento de La Guajira está situado en la parte 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; Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

La REDCAM cuenta actualmente con 23 estaciones de muestreo agrupadas en tres zonas: La Alta Guajira presenta lluvias escasas con valores que no sobrepasan los 500 mm/año y se localizan las áreas de muestreo del Cabo de la Vela, Manaure, Puerto Bolívar y Puerto Nuevo. La Baja Guajira donde los vientos alisios transportan las nubes hacia el costado noreste de la Sierra Nevada de Santa Marta, convirtiéndola en la zona de mayor precipitación en el departamento, con valores que sobrepasan los 1.500 mm (río Tapias 1.528 mm) (IGAC, 1996; Andrade, 2000); y 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 es la que presenta mayor influencia urbana con puntos de muestreo en el vertimiento de aguas residuales, el muelle, la parte baja, frente del río Ranchería, las playas Mayapo y Riohacha (Figura 4.3.1).

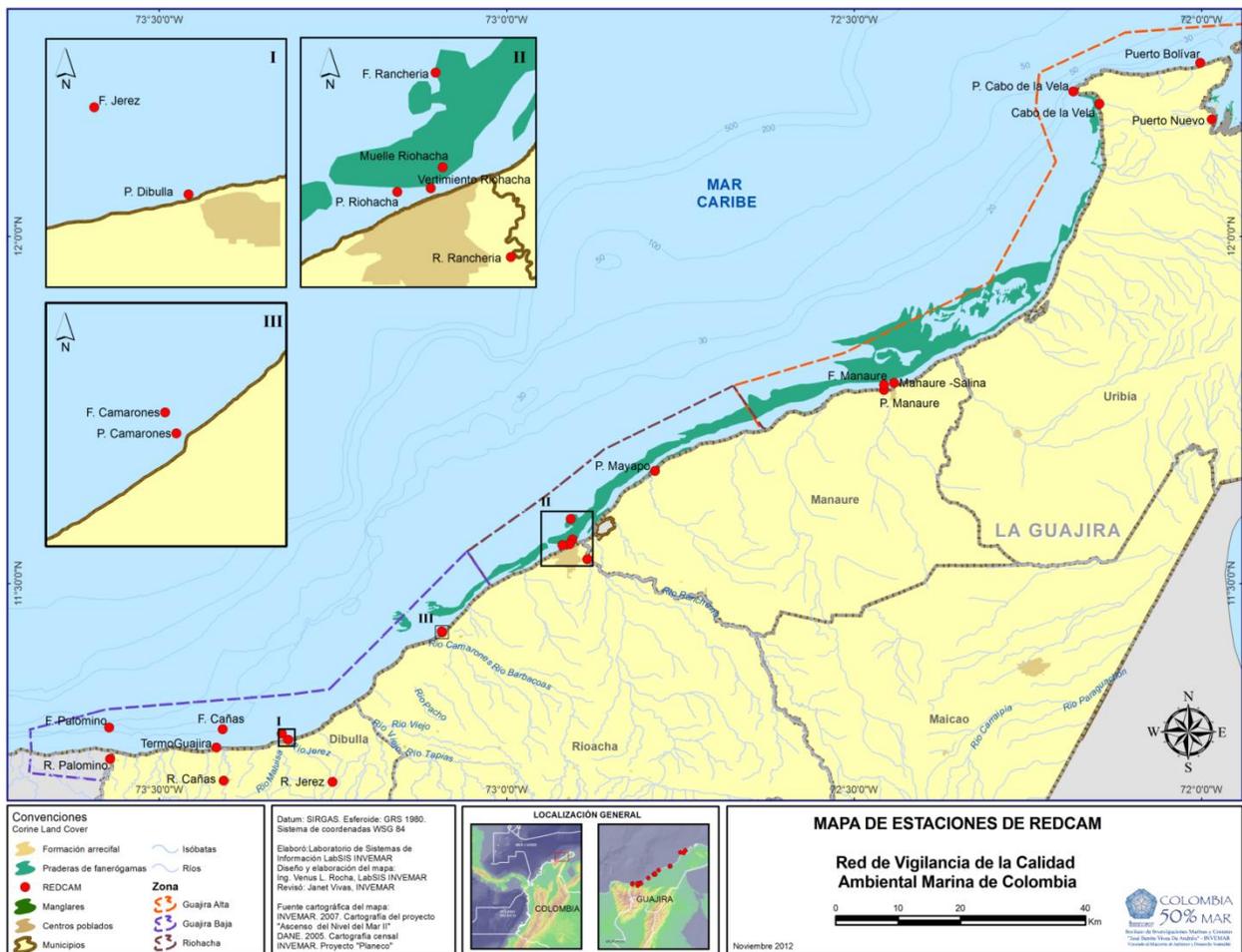


Figura 4.3.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de La Guajira

La península de La Guajira tiene unas características climáticas y oceanográficas especiales por tener aguas cálidas poco profundas y con una orientación general de las corrientes en superficie de este a oeste (Andrade, 2000). En la época seca, el oleaje se dirige perpendicularmente a la línea de costa (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 8 al 10 de noviembre del 2012 (época lluviosa) y los días 24 al 26 de Abril del 2013 (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 (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

4.3.1 Variables Físicoquímicas

4.3.1.1 *In situ*

Temperatura

Los valores promedio de la temperatura superficial del agua en las diferentes zonas de muestreo fluctuaron en la época lluviosa de 2012 entre 27,3 y 32,2°C en Riohacha, de 29,8 a 31,9°C en la alta Guajira y entre 23,5 y 30,9°C en la baja Guajira °C, y en la época seca de 2013 estas zonas oscilaron entre 27,9 – 30,6 °C, 28,7 – 30,9°C y 25,3 – 29,5 °C, respectivamente (Figura 4.3.2). Se observó que la temperatura disminuyó en casi todas las estaciones de las zonas de alta Guajira, Riohacha y algunas estaciones de Baja Guajira, esto coincide con el período en que los vientos alisios que alcanzan su mayor influencia y se desarrolla la surgencia (García *et al.*, 2012; Posada *et al.*, 2012). Las estaciones R. Palomino y R. Ranchería presentaron un aumento en la temperatura entre la época lluviosa y la seca de 3,7 y 3,6 °C respectivamente, los cambios entre las dos épocas climáticas son consistentes con la climatología, oceanografía y la relación los eventos de surgencia de esta región (Arévalo y Franco, 2008).

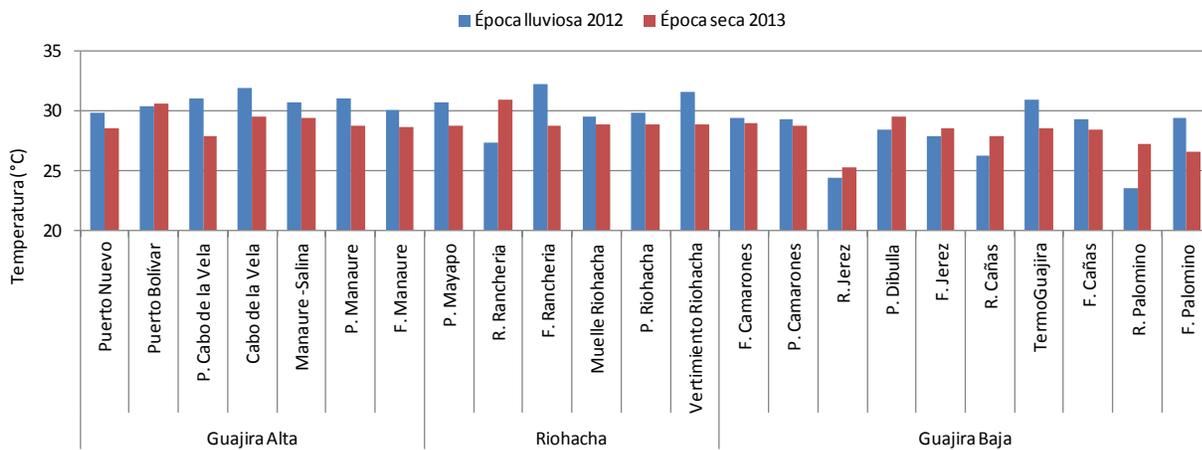


Figura 4.3.2. Temperatura (°C) del agua superficial en las estaciones de muestreo del departamento de La Guajira en las épocas lluviosa del año 2012 y seca del 2013.

Históricamente los valores promedio de temperatura para la mayoría de las estaciones de muestreo del departamento de la guajira, tienden a disminuir en comparación con las épocas lluviosas y secas desde los años 2001 al 2013; a excepción de las estaciones R. Ranchería, R. Palomino, R. Jerez, y R. Cañas que muestran tendencia al aumento (Figura 4.3.3).

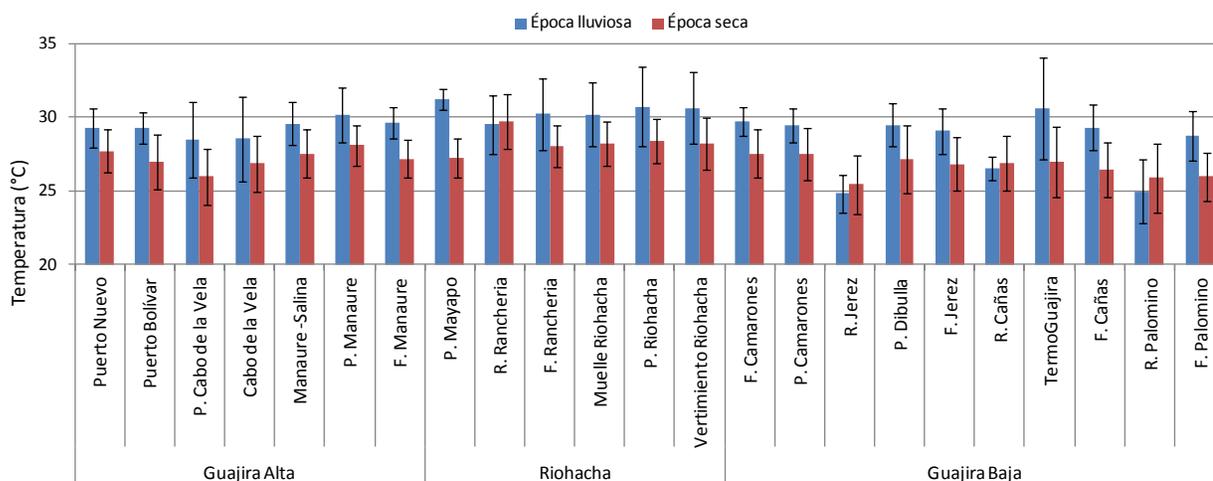


Figura 4.3.3. Promedio Histórico de los valores de temperatura de las aguas superficiales de las estaciones de muestreo del departamento de La Guajira, entre las épocas lluviosa y seca de los años 2001 al 2013.

Salinidad

La salinidad mostró cambios que explican el régimen hidrológico con valores que oscilaron entre 0,03 y 35,3 para la época lluviosa de 2012 y entre 6,87 y 37,8 para la época seca 2013. Históricamente la salinidad ha tendido a disminuir, especialmente en las estaciones de las playas Mayapo, Riohacha y Camarones, frente a Ranchería, Muelle Riohacha, F. Camarones y los ríos Jerez, Cañas, y Palomino que son influenciadas por las desembocaduras de ríos, escorrentías de aguas dulces, y los eventos de surgencia, con excepción de la estación R. Ranchería que se encuentra influenciado por sus suelos salinos y por su desembocadura al océano con promedios históricos de $2,40 \pm 2,85$ (Polanía *et al.*, 2006; Figura 4.3.4).

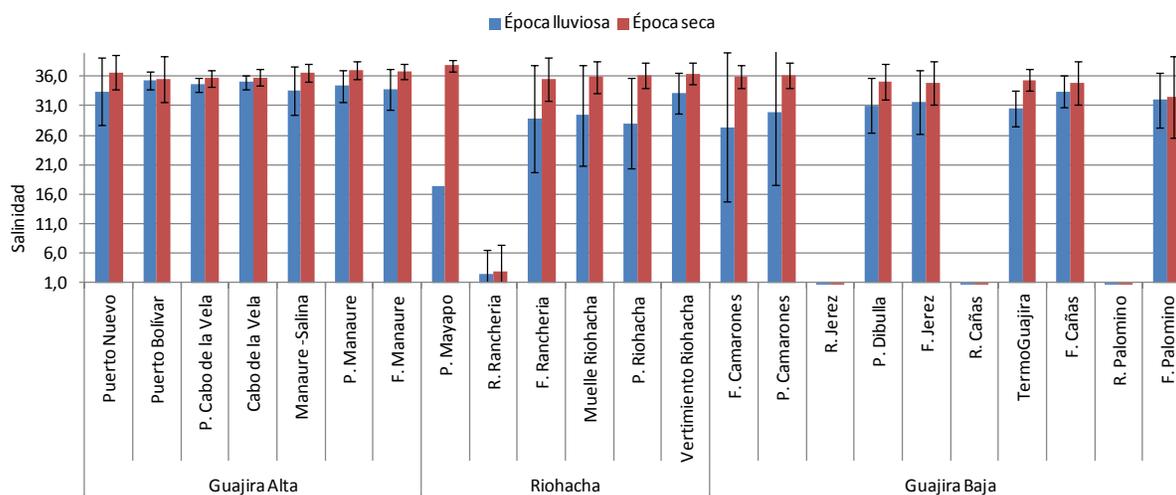


Figura 4.3.4. Promedio histórico de la salinidad en las estaciones del departamento de La Guajira monitoreos realizados entre las épocas lluviosa y seca del 2001 al 2013. Las barras de error representan la desviación estándar de las mediciones históricas.

pH

El pH para las estaciones de muestreo de las zonas Alta Guajira, Riohacha y Baja Guajira en la época lluviosa del 2012 presentó valores entre (7,96-8,30), (7,68-8,23), (7,13-8,17) y para la época seca del 2013 (7,36-8,18), (7,28-8,16), (6,93-8,06) respectivamente; no se presentaron resultados por fuera de los límites

establecidos para la preservación de flora y fauna en aguas marinas, estuarinas y dulces, el uso agrícola pecuario y recreativo (Minsalud, 1984). Los valores de pH más bajos se presentaron en las estaciones de los ríos Palomino (7,13; 6,93), Ranchería (7,74; 7,28) y Cañas (7,48; 7,41) en ambas épocas, debido a su naturaleza fluvial (aguas dulces con pH cercanos a 7,00 y poca capacidad buffer; Figura 4.3.5).

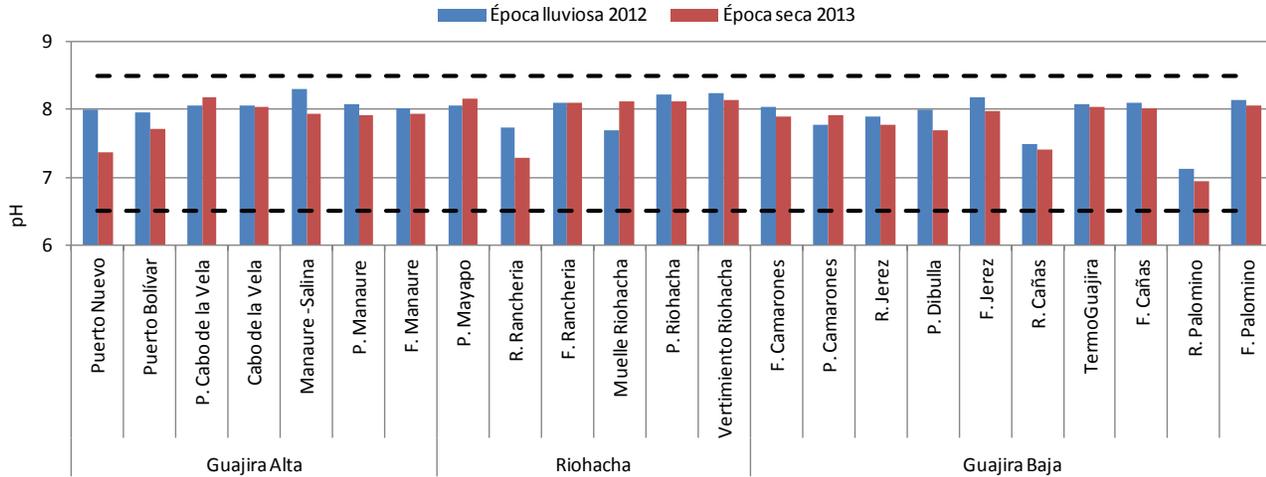


Figura 4.3.5. Valores de pH de las estaciones del departamento de La Guajira monitoreadas en las épocas lluviosas 2012 y seca 2013. Las líneas negras punteadas representan el máximo y el mínimo rango establecido para la preservación de flora y fauna en aguas marinas, estuarinas y dulces según el decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Oxígeno Disuelto

El Oxígeno disuelto (OD) en las diferentes zonas de muestreo Alta guajira, Riohacha y Baja guajira presentó valores que oscilaron entre (6,54 – 8,27), (5,73 – 6,68), (6,54 – 10,17) mg/L, en la época lluviosa de 2012 y para la época seca de 2013 (6,71 – 8,12), (6,38 – 7,61), (6,98 – 9,20) mg/L respectivamente; En este período los datos de todas las estaciones se encontraron por encima del límite mínimo (4 mg/L) para la preservación de flora y fauna (Minsalud, 1984), cabe resaltar que la estación F. Jerez presentó el mayor valor de OD (10,17 mg/L) y el menor se presentó en la estación rio ranchería (5,73 mg/L). No se contó con datos disponibles para las estaciones P. Riohacha, P. Mayapo y Vertimiento Riohacha en la época lluviosa del 2012; por lo tanto, no se presentan resultados de estas estaciones (Figura 4.3.6).

Históricamente las estaciones de muestreo que más han presentado variaciones de OD y especialmente en la época seca son: R. Ranchería, F. Camarones, P. Camarones (Figura 4.3.7); estas variaciones pueden atribuirse a la producción y consumo de oxígeno mediante los procesos biológicos de fotosíntesis y degradación de la materia orgánica que se presenta en estas estaciones, al estar influenciadas por descargas de ríos y aguas residuales producto de las actividades antropogénicas en la región.

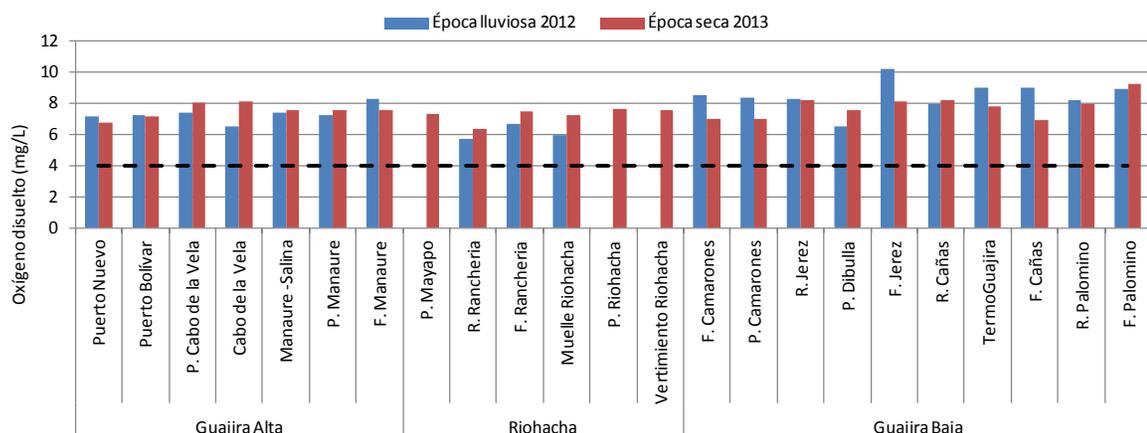


Figura 4.3.6. Oxígeno disuelto OD (mg/L) de las aguas superficiales del departamento de La Guajira monitoreado en las épocas lluviosa 2012 y seca 2013. La línea negra punteada representa el límite mínimo de OD para la preservación de la flora y fauna según el decreto 1594 (MinSalud, 1984).

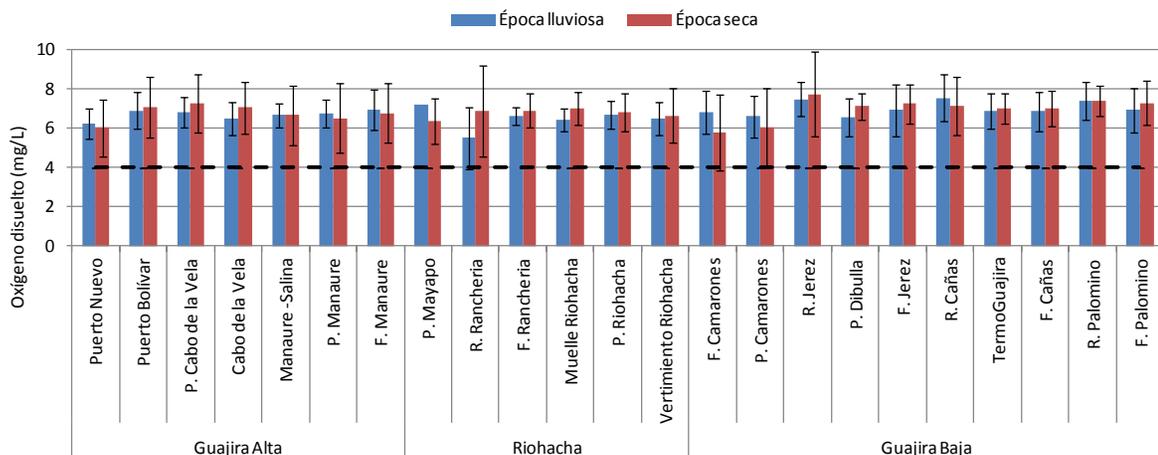


Figura 4.3.7. Promedio histórico del OD en las estaciones del departamento de La Guajira monitoreos realizados entre las épocas lluviosa y seca del 2001 al 2013. Las barras de error representan la desviación estándar de las mediciones históricas.

4.3.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendidos Totales

Como se observa en la Figura 4.3.8, las mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las aguas superficiales del departamento de La Guajira, se encontraron en la zona Riohacha, la cual presenta mayor influencia urbana y recibe aportes del R. Ranchería y vertimientos de las aguas residuales de la ciudad (Vivas-Aguas *et al.*, 2012), los valores registrados en esta zona oscilaron entre 24,5 mg/L a 511 mg/L en la época lluviosa 2012 y en época seca 2013 entre 24,6 mg/L a 149,4 mg/L. Por otra parte, la zona que registró menores valores de SST fue la zona de La Guajira Alta, con valores que oscilaron entre 20,2 mg/L a 126,2 mg/L en la época lluviosa 2012 y entre 33,5 mg/L a 92,3 mg/L para la época seca 2013. A nivel temporal no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), sin embargo los mayores valores se registraron durante la época lluviosa, donde se produce un aumento de las concentraciones

generalmente en los ríos que luego realizan aportes en la zona costera generando un incremento de los SST durante la temporada de lluvias.

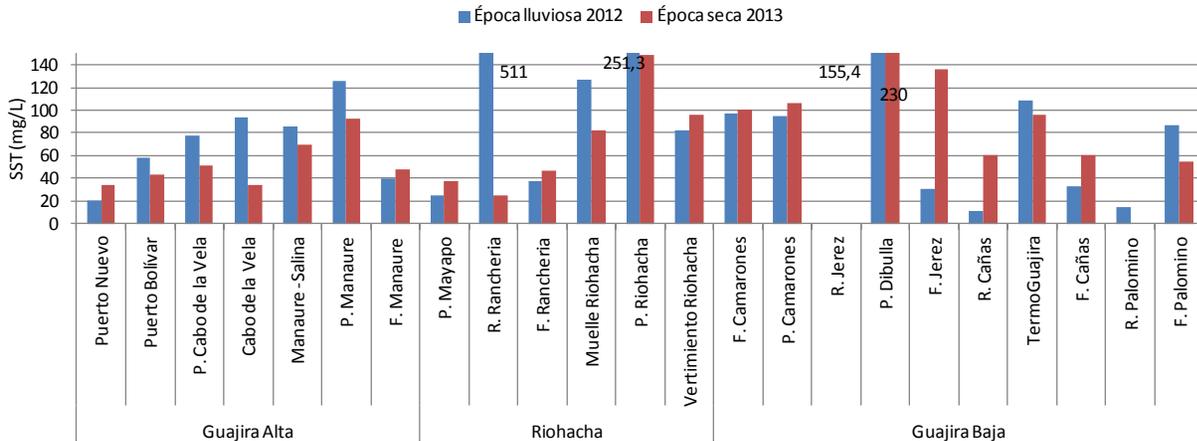


Figura 4.3.8. Concentraciones de SST (mg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales del departamento de La Guajira en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

A nivel histórico los mayores promedios de SST se registraron en la zona Riohacha, con valores de $134,03 \pm 170,5$ mg/L en Vertimiento Riohacha y $128,91 \pm 162,5$ mg/L en R. Ranchería para la época lluviosa, evidenciando que ambas estaciones realizan importantes aportes de SST hacia la zona costera; mientras que para la época seca se registró un máximo de $202,67 \pm 206,86$ mg/L en P. Mayapo (Figura 4.3.9), este valor está asociado a la dinámica de los vientos en la cuenca del Caribe durante la temporada de sequía en la cual se presenta el fenómeno de surgencia (Arévalo y Franco, 2008) favoreciendo el oleaje y la resuspensión de los SST.

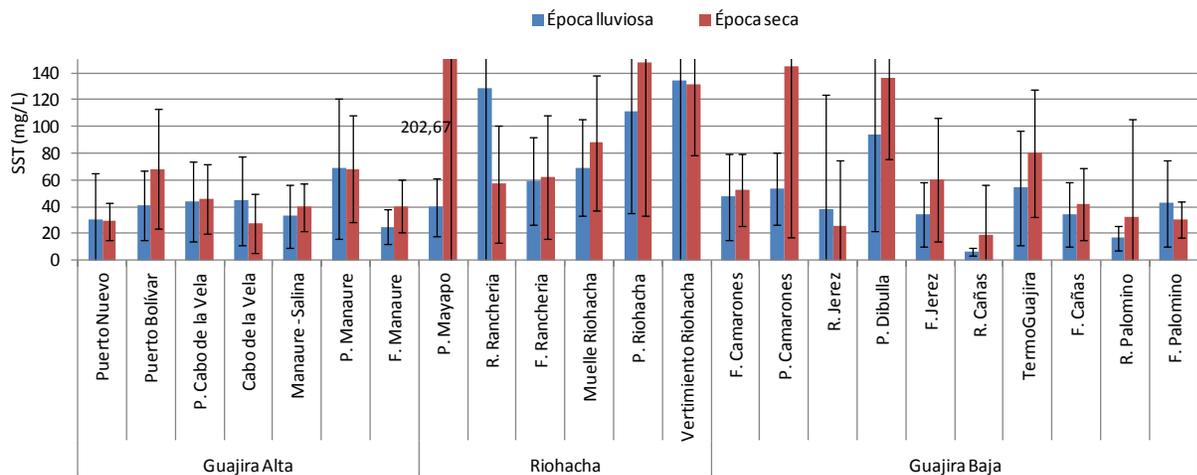


Figura 4.3.9. Promedio histórico de SST (mg/L) en las estaciones del departamento de La Guajira para las épocas lluviosa y seca del 2001 al 2013. Las barras de error representan la desviación estándar de las mediciones históricas.

Nutrientes

En cuanto a los nutrientes, se realizó la determinación de las formas nitrogenadas de nitratos ($N-NO_3^-$), nitritos ($N-NO_2^-$) y amonio ($N-NH_4^+$) y de fósforo reactivo soluble (FRS) o fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-). Las concentraciones de estos nutrientes registradas durante el período de estudio fueron más altas

en las estaciones ubicadas en las zonas Riohacha y Guajira Baja, con valores que oscilaron durante la época lluviosa 2012 desde 0,9 hasta 241,5 $\mu\text{g/L}$ para N-NO_3^- (Figura 4.3.10), de $< 0,3$ hasta 3,8 para N-NO_2^- (Figura 4.3.11) y de $< 0,85$ hasta 1587,1 para N-NH_4^+ (Figura 4.3.12), mientras que para la época seca 2013, se registraron concentraciones desde 1,2 hasta 207,6 $\mu\text{g/L}$ para N-NO_3^- , de $< 0,3$ hasta 11,9 $\mu\text{g/L}$ para N-NO_2^- y de $< 0,85$ hasta 48 $\mu\text{g/L}$ para N-NH_4^+ .

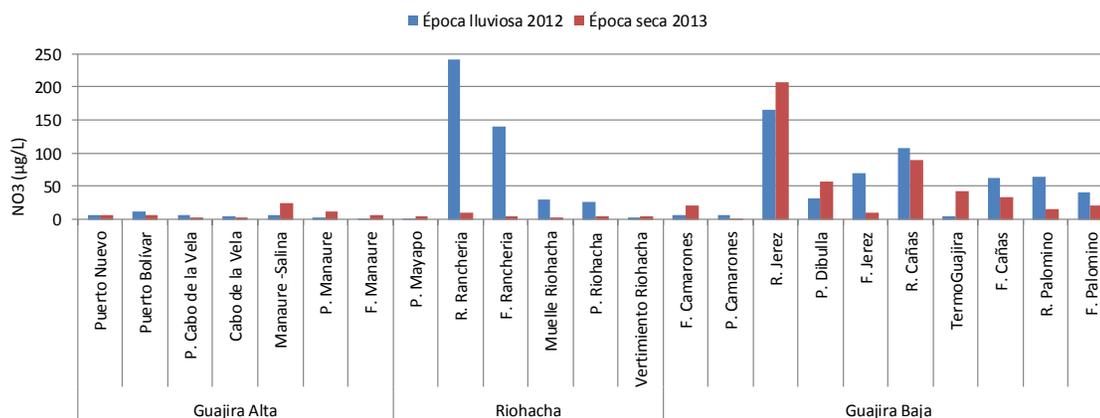


Figura 4.3.10. Concentraciones de nitrato – N-NO_3^- ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento de La Guajira, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

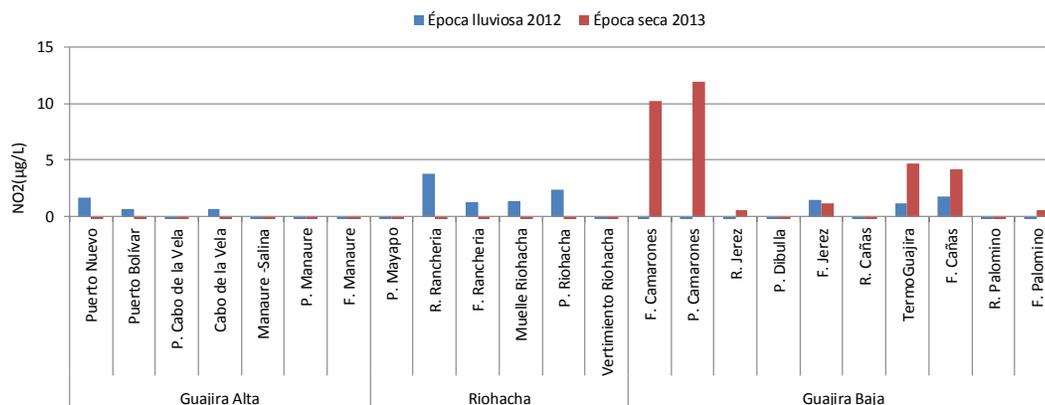


Figura 4.3.11. Concentraciones de nitrito – N-NO_2^- ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento de La Guajira, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

En cuanto a los tributarios, las mayores concentraciones de N-NO_3^- a nivel histórico se encontraron durante la temporada de lluvias. El río Cañas (época lluviosa: $131,28 \pm 79,42 \mu\text{g/L}$; época seca: $76,30 \pm 41,70 \mu\text{g/L}$), R. Jerez (época lluviosa: $113,33 \pm 80,89 \mu\text{g/L}$; época seca: $115,49 \pm 114,11 \mu\text{g/L}$) y R. Palomino (época lluviosa: $112,28 \pm 77,51 \mu\text{g/L}$; época seca: $137,70 \pm 219,70 \mu\text{g/L}$) históricamente han presentado concentraciones que evidencian la influencia de fuentes de contaminación de origen antropogénicas (Vivas-Aguas *et al.*, 2012). Por otra parte, el R. Ranchería en comparación con otros tributarios presentó las concentraciones promedio más altas de N-NO_2^- (época lluviosa $5,899 \pm 3,41 \mu\text{g/L}$; época seca: $2,844 \pm 2,25 \mu\text{g/L}$), mientras que los ríos Palomino y Jerez presentaron los valores más altos para la forma N-NH_4^+ con $262,80 \pm 757,71 \mu\text{g/L}$ (época lluviosa) y $33,86 \pm 40,98 \mu\text{g/L}$ (época seca) respectivamente. Éstos resultados manifestaron que los tributarios son fuentes importantes de nutrientes hacia la zona costera, especialmente durante la época de lluvias que a través de las escorrentías los

transportan desde el suelo hacia las cuencas de los ríos, los cuales descargan al mar (Vivas-Aguas et al., 2012).

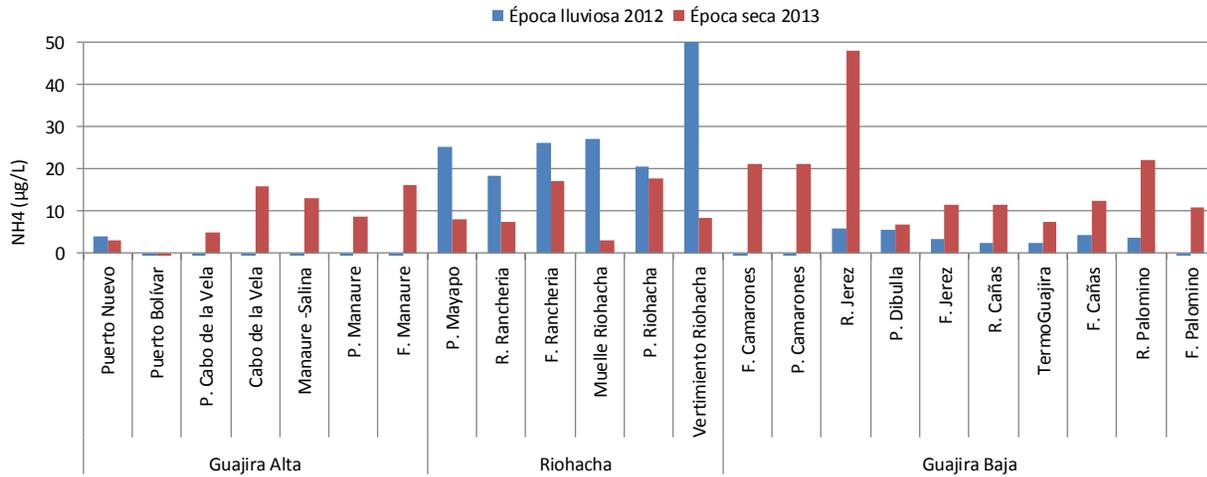


Figura 4.3.12. Concentraciones de Amonio – N-NH₄⁺ (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento de La Guajira, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

La evaluación del nitrógeno inorgánico disuelto (NID), correspondió a la suma del nitrógeno en las formas de nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻) y amonio (NH₄⁺), con base al valor 14 µg/L propuesto por Lapointe (1997) para indicar estados de florecimientos permanentes de macroalgas frondosas en ecosistemas coralinos o potenciales impactos sobre la fisiología de los corales. Los resultados del NID mostraron que las estaciones ubicadas en la zona Riohacha y Guajira baja presentaron valores más altos para la época lluviosa 2012, entre 26,1 µg/L hasta 1590,4 µg/L y entre 6,7 µg/L hasta 170,6 µg/L respectivamente, por otro lado las concentraciones en la época seca 2013 disminuyeron, encontrándose entre 6,2 µg/L hasta 21,9 µg/L en la zona Riohacha y entre 21,8 µg/L hasta 256,2 µg/L en la zona Guajira baja (INVEMAR, 2013), mostrando un riesgo potencial de alteraciones del arrecife coralino y condiciones para la proliferación de macroalgas.

En cuanto al fósforo inorgánico disuelto (PO₄⁻), los valores más altos se presentaron durante la época lluviosa 2012 en las estaciones de la zona Riohacha, influenciadas por las escorrentías de la cuenca del río Ranchería (413,7µg/L), el Vertimiento Riohacha (491,6 µg/L) y Muelle Riohacha (390,1µg/L), mientras que para la época seca, las estaciones no superaron los 33,5 µg/L y sólo se registró un valor máximo en el R. Ranchería (130,4 µg/L) (Figura 4.3.13). El análisis histórico demuestra que los mayores aportes de PO₄⁻ a la zona costera provienen de los ríos (Figura 4.3.14), especialmente del R. Ranchería el cual presentó los mayores promedios para la época lluviosa (169,5 ± 104, 79µg/L) debido al lavado del suelo y a escurrimientos de fertilizantes durante la temporada de precipitaciones (Vivas-Aguas et al., 2012), mientras que en la época seca, los mayores promedios se registraron en el R. Cañas (85,9 ± 150,9 µg/L), seguido del R. Jerez (74,80 ± 158,7 µg/L) y el R. Palomino (53,02 ± 48,0 µg/L).

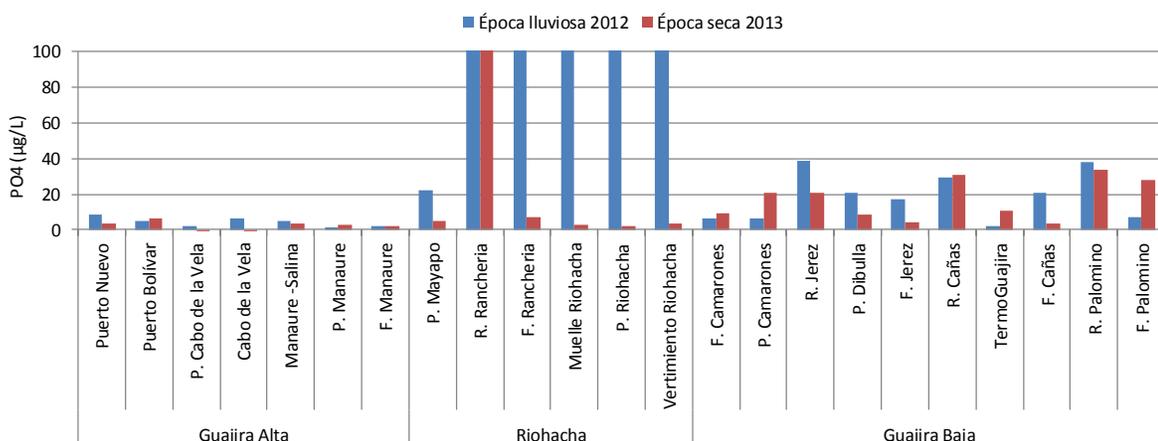


Figura 4.3.13. Concentraciones de fósforo inorgánico disuelto – PO_4 ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento de La Guajira, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

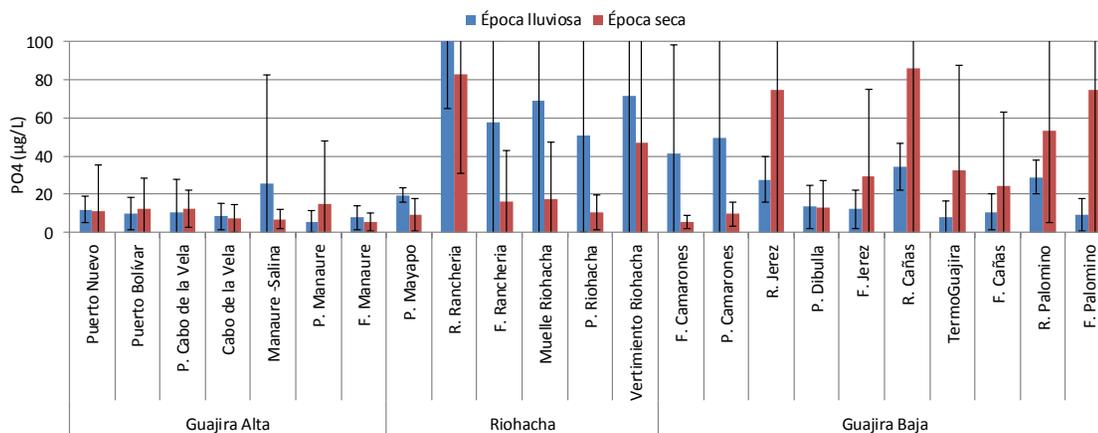


Figura 4.3.14. Concentraciones promedio de fósforo inorgánico disuelto – PO_4 ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 y 2013 en el agua superficial de las estaciones de La Guajira. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

4.3.2 Contaminación Microbiológica

La evaluación de la calidad microbiológica se realizó a través de las mediciones de los indicadores coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) medidos en las tres zonas del departamento. Durante este período, las concentraciones de CTT registradas en los principales tributarios sobrepasaron el límite establecido para actividades de contacto primario ($< 1.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$; *MinSalud, 1984*), donde el río Cañas ($4.500 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$), el río Ranchería ($3.400 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) y el río Palomino ($1.700 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) presentaron los valores más altos. A nivel histórico, las concentraciones de CTT superaron los límites permisibles para el desarrollo de actividades de contacto primario $< 1.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ y secundario $< 5.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ (*MinSalud, 1984*), donde los promedios más altos respecto a los otros tributarios se presentaron en el río Ranchería (época lluviosa $13.583 \pm 0,70 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$; época seca $4.168 \pm 0,61 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) y el río Cañas (época lluviosa $9.120 \pm 0,71 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$; época seca $2.884 \pm 1,35 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$). En cuanto a la tendencia, se evidenciaron diferencias significativas entre épocas climáticas ($P < 0,05$) y los mayores casos de incumplimiento se presentaron durante la época lluviosa, donde el lavado de tierra y el vertido directo de aguas domésticas de poblaciones ribereñas traen

consigo una importante carga de CTT deteriorando la calidad de las aguas (Suárez *et al.*, 2012; Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

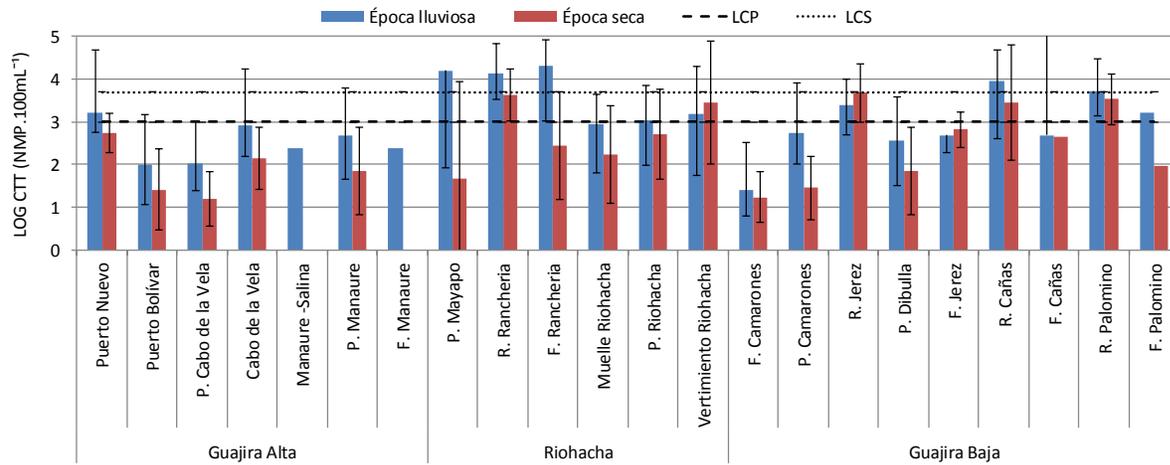


Figura 4.3.15 Concentraciones de Coliformes Totales (LOG NMP.100 mL⁻¹) medidas en el departamento de La Guajira del año 2001- 2013 en la época lluviosa y la época seca. La línea cortada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (LCP) (<1.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) y la línea punteada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (< 5.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

La evaluación de la calidad sanitaria de las 7 playas, se realizó mediante la medición de las concentraciones de CTE. Durante este período de monitoreo, las concentraciones que superaron el límite establecido para el desarrollo de actividades de contacto primario (< 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) se registraron en playa Riohacha con 340 NMP.100 mL⁻¹ para la época lluviosa 2012 y en la época seca 2013 con 46.000 NMP.100 mL⁻¹ (Tabla 4.3.1). A nivel histórico, los mayores casos de incumplimiento se presentaron durante la época lluviosa, donde playa Manaure (78 %) y playa Riohacha (60 %) fueron las estaciones con el mayor número de casos en que las concentraciones han superado al límite permisible.

Tabla 4.3.1. Coliformes Termotolerantes (CTE NMP.100 mL⁻¹) medidos en las épocas climáticas lluviosa 2012 y seca 2013. En negrilla se muestran los valores que superan el límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (< 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

Zona	Playa	Época Lluviosa 2012			Época Seca 2013		
		(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**	(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**
Guajira Alta	Cabo de la Vela	< LD	14	7	2	0	11
	Cabo de la Vela	1,8	33	6	< LD	9	11
	Manaure	430	78	9	ND	10	10
Riohacha	Mayapo	< LD	50	2	17000	33	3
	Riohacha	340	60	10	46000	42	12
Guajira Baja	Camarones	140	25	8	2	0	10
	Dibulla	79	38	8	23	9	11

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible establecido en el decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE <200 NMP.100 mL⁻¹).

**Número de datos existentes por época climática.

< LD: Menor al límite de detección

ND: No dato

4.3.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD no superaron el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la UNESCO y por encima del cual se considera alto riesgo para la biota acuática (UNESCO, 1984). Durante el período de lluvias 2012 los valores fluctuaron entre 0,33µg/L y 4,03 µg/L y para la época seca 2013 estuvieron entre 0,30 µg/L y 1,43 µg/L. Las concentraciones más altas en la época lluviosa de 2012 se registraron en la Zona de Riohacha (Muelle Riohacha: 4,03 µg/L, P. Riohacha: 1,58µg/L y Vertimiento Riohacha: 1,88 µg/L). Para la época seca de 2013, los valores más altos se registraron en la Zona de la Alta Guajira (Puerto Nuevo: 1,43 µg/L, Cabo de la Vela: 0,74 µg/L y Manaure-Salina: 1,14µg/L) (Figura 4.3.16). La presencia de residuos de hidrocarburos en estas zonas del departamento está asociada a las actividades portuarias, actividades petroleras de exploración, explotación y transporte marítimo; así como vertimientos de aguas servidas y lavaderos de vehículos en la zona.

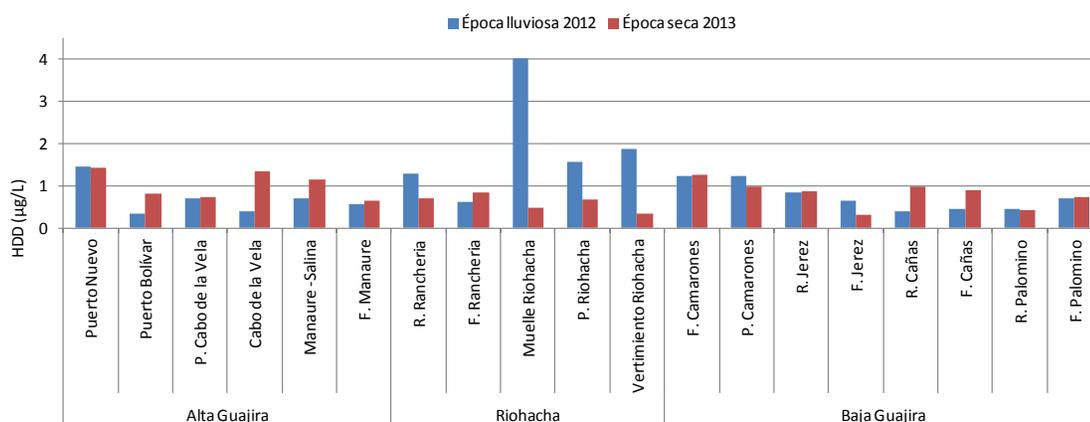


Figura 4.3.16. Hidrocarburos disueltos y dispersos (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de La Guajira en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los datos históricos desde el 2001 al 2013 mostraron diferencias ($p < 0,05$ - Statgraphics. R) entre épocas climáticas con concentraciones de HDD promedio más altas durante la época lluviosa, destacándose estaciones como Cabo de la Vela ($2,54 \pm 0,63$ µg/L) y Punta Cabo de la Vela ($1,59 \pm 0,57$ µg/L). Así mismo, se han detectado altas concentraciones en estaciones como F. Palomino ($8,80$ µg/L en 2001), en el Cabo de la Vela ($8,63$ µg/L en 2003 y $5,59$ µg/L en 2011), sin embargo, ninguna de estas concentraciones sobrepasó el valor de referencia para aguas contaminadas (Unesco, 1984; Figura 4.3.17).

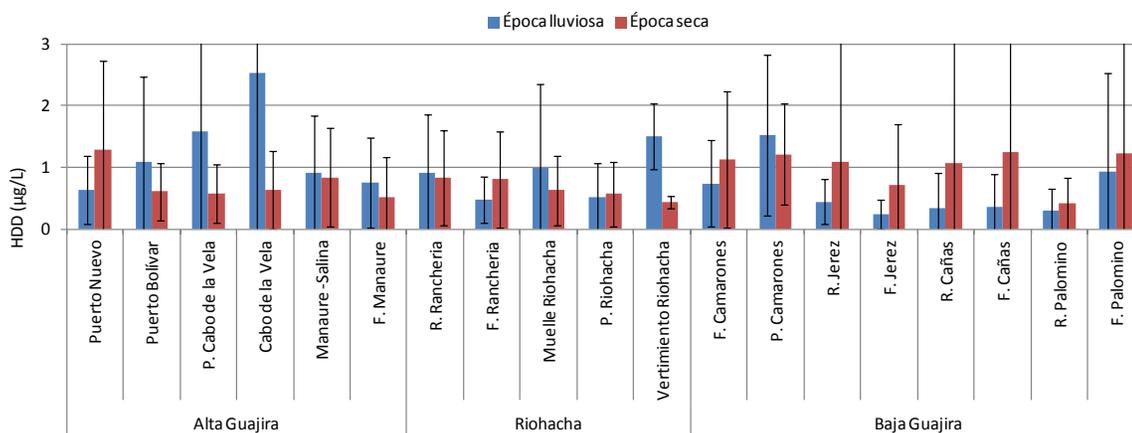


Figura 4.3.17. Hidrocarburos disueltos y dispersos (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de La Guajira en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013

4.3.4 Plaguicidas

En la Guajira la presencia de plaguicidas organoclorados (OC) mantiene la tendencia descendente que se presenta desde el año 2010. En los últimos tres años de monitoreo las concentraciones han estado por debajo de los límites de detección de las técnicas usadas, pese a que durante la primera década del 2000 se registraban con cierta frecuencia, llegando a alcanzar un porcentaje de aparición de ~60% durante los primeros seis años.

La medición de nuevas moléculas de plaguicidas de uso no restringido, mostraron un descenso en el escurrimiento en los cuatro años que llevan analizándose, sólo se han detectado clorotalonil, metilparation y clorpirifos en la zona de influencia de descargas de los ríos Ranchería, Palomino y en Riohacha. Como se ha indicado en informes anteriores, posiblemente se han detectado como consecuencia de la agricultura practicada en sus cuencas hidrográficas, debido a su uso generalizado. No obstante desde el 2012 y en la época seca de 2013 no han sido detectados (Tabla 4.3.2).

Tabla 4.3.2. Concentraciones de plaguicidas de uso frecuente encontradas en aguas superficiales de La Guajira desde 2009 y valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).

Temporada	Estación	Clorotalonil (ng/L)	Clorpirifos (ng/L)	Metilparation (ng/L)
Lluvias 2009	Cabo de la vela	20,7	-	-
	Río Ranchería	115,6	-	-
Seca 2010	Río Cañas	-	-	32,3
	Frente a Cañas	-	-	65,9
Lluvias 2010	Río Cañas	-	-	37,1
	Frente a Cañas	-	-	57,5
	Frente a Palomino	-	-	19,7
	Río Cañas	-	27,9	-
Seca 2011	Río Palomino	-	52,2	-
	Río Ranchería	-	22,1	-
	Playa Riohacha	-	16,5	-
	2012	-	-	-
Seca 2013	-	-	-	
<i>Valor de referencia para efectos agudos</i>	<i>Aguas dulces</i>	180	83	CL ₅₀ : 1,9 - 8,9 mg/L*
	<i>Aguas marinas</i>	360	11	

* Ecotoxenet, (2012). – No detectado

4.3.5 Metales Pesados

Para evaluar la calidad de las aguas del departamento de La Guajira, desde el año 2001 se han monitoreado los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), pero teniendo en cuenta la importante influencia de aguas residuales, la actividad portuaria, el transporte en lanchas que puede estar relacionado con aporte de metales pesados en departamento, se amplía el monitoreo de metales, incluyendo para el presente informe los metales Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Hierro (Fe).

El monitoreo de la época lluviosa de 2012, muestra que hay mayor presencia de plomo disuelto en las zonas Guajira Alta y Riohacha, con las mayores concentraciones en las estaciones Manaure Salinas (5,80 µg/L) y Frente al río Ranchería (6,10 µg/L) en cuanto a la zona Guajira Baja, solo las estaciones Río Jerez (6,10 µg/L) y Río Cañas (2,30 µg/L) presentaron concentraciones detectables de Plomo, no obstante, las concentraciones de Pb frentes a estos ríos estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada. En la época seca de 2013, todas las estaciones estuvieron por debajo de límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,15 µg/L). En general, ninguna estación superó el valor límite de riesgo referenciado en la guía internacional de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

El cadmio solo se detectó en época seca de 2013 en el 33% de las estaciones monitoreadas, de estas, solo la estación Frente al río Ranchería registró el valor más alto, siendo dos veces mayor que el valor referenciado en la guía internacional de la NOAA para efectos agudos en aguas superficiales marinas (40 $\mu\text{g/L}$, [Buchman, 2008](#)), generando una alerta ante cualquier evento anormal en organismos acuáticos. En cuanto al Cromo, en ambas épocas estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, de forma que no presenta ningún riesgo para la salud al no superar los valores referenciados en guías internacionales (50 $\mu\text{g/L}$, [Conama, 1986](#)). Históricamente se ha observado que las concentraciones de Pb y Cd han presentado una tendencia a disminuir. Para el plomo, se han registrado los valores más altos en época lluviosa de 2001 (40,49 \pm 4,68 $\mu\text{g/L}$) y seca de 2002 (44,26 \pm 6,93 $\mu\text{g/L}$) y en los posteriores años han estado por debajo de 13,0 $\mu\text{g/L}$. La estación Termoguajira registra el promedio histórico más alto en época lluviosa (16,19 \pm 17,53 $\mu\text{g/L}$). Para el Cd, desde el inicio del monitoreo en 2001 hasta el 2012, los valores promedio no han superado los 2,1 $\mu\text{g/L}$ (Figura 4.3.18). Por tal razón, es importante seguir con el monitoreo debido al registro de la estación Frente al río Ranchería para el 2013 que presentó una concentración de Cd que supera el límite permisible para efectos agudos establecido en la guía de la NOAA.

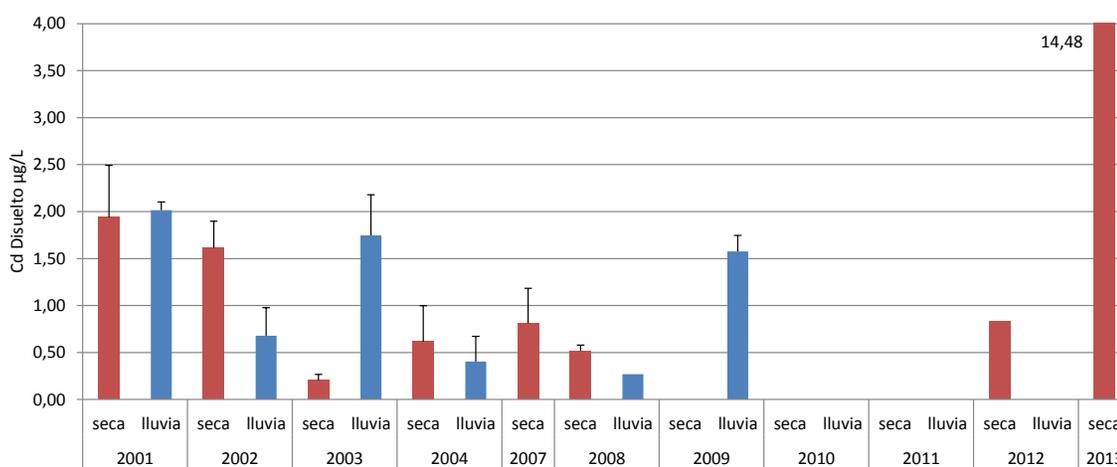


Figura 4.3.18 Concentraciones promedio de Cd disuelto ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de La Guajira, en la época lluviosa y seca entre 2001 y 2013

En cuanto a las concentraciones de Cu, la época seca de 2013 presentó el mayor número de estaciones con concentraciones detectables de este metal, mostrando la importante influencia de aguas residuales que arrastran estos contaminantes al mar. La zona más afectada corresponde a Riohacha, con valores de Cu de 4,8 $\mu\text{g/L}$ en Playa Riohacha, valor que está en el límite establecido en la guía de la NOAA para efectos agudos. Durante la época seca de 2013, solo tres estaciones presentaron concentraciones detectables de este metal, de las cuales únicamente la estación Frente al río Ranchería superó el valor establecido en la guía de la NOAA para efectos agudos, con una concentración de 237,5 $\mu\text{g/L}$, casi 60 veces el valor establecido en la guía de la NOAA (4,8 $\mu\text{g/L}$, [Buchman, 2008](#)).

El Zn en aguas superficiales, registró las mayores concentraciones en época seca de 2013, siendo las estaciones marinas Playa Riohacha (65,3 $\mu\text{g/L}$) y Manaure-Salina (70,3 $\mu\text{g/L}$) las más altas en esta época. El Río Palomino presentó la concentración más alta en época seca (96,6 $\mu\text{g/L}$), sin embargo la estación Frente a río Palomino estuvo muy por debajo de este valor para la misma época (15,1 $\mu\text{g/L}$). Durante la época lluviosa, las concentraciones más altas se registraron en la zona Riohacha, en las estaciones río Ranchería (56,5 $\mu\text{g/L}$), playa Riohacha (53,4 $\mu\text{g/L}$) y vertimiento Riohacha (51,1 $\mu\text{g/L}$). En general, en ambas épocas estacionales, la concentración de Zn en aguas marinas estuvo por debajo del límite establecido en la guía internacional de la NOAA para efectos agudos (90 $\mu\text{g/L}$, [Buchman, 2008](#)).

En cuanto al Ni, solo se detectó en la época de lluvias de 2012 y a diferencia de los otros metales, registró los valores más altos en la Guajira baja, especialmente en los frente de los ríos Palomino (9,6 µg/L), Cañas (10,0 µg/L) y Jerez (8,8 µg/L; Figura 4.3.19). En general, la concentración de Ni estuvo por debajo del valor referenciado en la guía internacional de la NOAA para efectos agudos (74 µg/L; Buchman, 2008) sugiriendo que no existe problemas de contaminación por este metal.

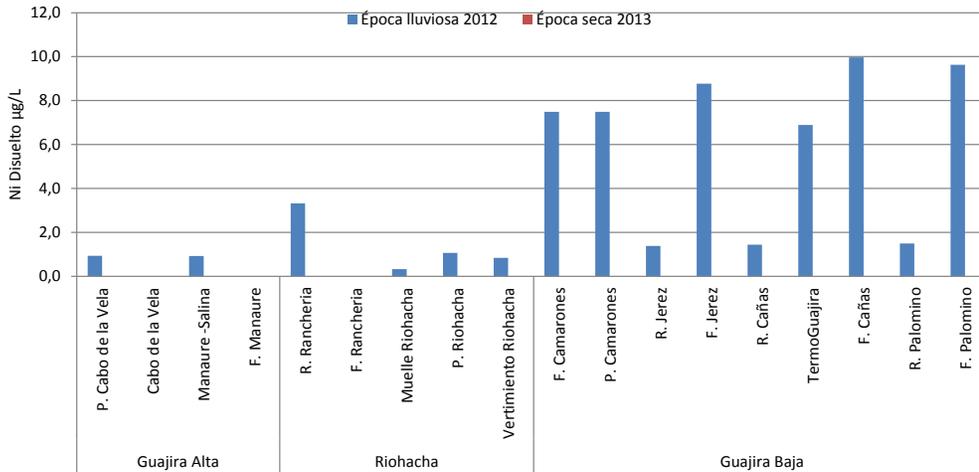


Figura 4.3.19. Concentraciones de Ni disuelto (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de La Guajira, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013

El análisis de Fe disuelto mostró que la zona Riohacha presentó las mayores concentraciones (Figura 4.3.20), indicando que en esta zona hay una mayor influencia antropogénica de este metal. Durante la época lluviosa 2012, la estación con mayor concentración fue el río Ranchería (0,131 mg/L), mientras que en época seca 2013 las estaciones con mayores concentraciones fueron la playa de Riohacha (0,086 mg/L), vertimiento Riohacha (0,066 mg/L) y el río Ranchería (0,063 mg/L). En el caso de las estaciones ubicadas en aguas marinas, ninguna superó el valor de referencia establecido por la NOAA de 0,3 mg/L; Buchman, 2008).

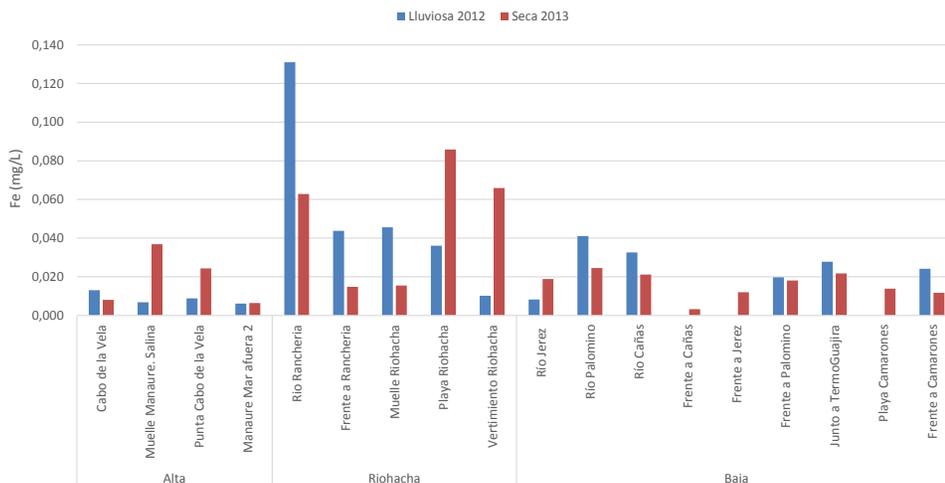


Figura 4.3.20. Concentraciones de Fe disuelto (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de La Guajira, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013

4.3.6 Conclusiones

Para las épocas lluviosa del 2012 y seca de 2013 la temperatura de las aguas superficiales fue consistente con la climatología, hidrología y régimen de precipitaciones de la región, encontrándose comportamientos típicos de aumento y disminución en intervalos que varían en función del tipo de agua fluvial, estuarina y marina, acorde también con los cambios de salinidad por la influencia de las desembocaduras de ríos y precipitaciones que varía según los periodos lluviosos y secos. La información registrada para el pH en estas estaciones, se puede evidenciar que no existen valores por fuera de los límites establecidos. Los valores de oxígeno disuelto presentados para este periodo se encuentran cercanos a los promedios históricos, aunque se puede evidenciar una variación histórica considerable de las estaciones R. Ranchería, F. Camarones, P. Camarones y un aumento en la estación frente a Jerez (10.17 mg/L) que desde la época seca del año 2007 no superaba los 8.0 mg/L.

A nivel microbiológico, la calidad de las playas para uso recreativo presentaron concentraciones que superaron el límite establecido por la legislación nacional, donde playa Riohacha y playa Manaure respecto a las demás playas, fueron las estaciones que incumplieron para las épocas lluviosa 2012 y seca 2013, además este comportamiento a nivel histórico para ambas estaciones, ha mostrado el recurrente detrimento de la calidad de sus aguas, presentando inadecuadas condiciones para el desarrollo de actividades recreativas como la natación y el buceo.

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo en las aguas superficiales del departamento son inferiores al valor de referencia (<10 µg/L), lo cual no representa riesgo para las especies que se desarrollan en estos ecosistemas. Se mantiene desde el 2010 la reducción en la presencia de plaguicidas organoclorados en aguas, tanto de compuestos organoclorados como de plaguicidas de uso actual desde el 2011.

Para el presente informe, se genera una alerta en la estación frente a río Ranchería, puesto que durante la época seca de 2013 presentó altas concentraciones de Cd y Cu, metales que se caracterizan por su alta toxicidad cuando se supera el valor umbral. Por tal razón, es recomendable continuar con el monitoreo y realizar análisis de metales en sedimentos para esta estación, ya que esta matriz puede dar un indicio del destino final de estos metales.

Magdalena



Bahía de Santa Marta

4.4 MAGDALENA

El Magdalena es un departamento de contrastes climatológicos, donde se encuentra desde el clima cálido en las partes bajas, predominando el clima seco en la mayor parte del territorio con temperatura media de 29 °C, hasta el glacial en la región montañosa donde se presentan todos los pisos térmicos, en las cumbres de la Sierra Nevada de Santa Marta-SNSM; los vientos alisios del noroeste ejercen además una decisiva influencia que modifica las altas temperaturas porque arrastra corrientes frías al área. La época de lluvias se presenta entre mayo y noviembre, con un pico máximo en octubre y 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 amplia (2.200 km²), dominado por una serie de ríos que descienden de la SNSM.

La REDCAM en el Magdalena tiene 42 estaciones de muestreo distribuidas en cinco zonas (Figura 4.4.1): la Norte que comprende desde la frontera con el departamento de La Guajira hasta el río Piedras; la del Parque Nacional Natural Tayrona; la de Santa Marta que incluye Taganga y El Rodadero con importantes centros urbanos; la Zona Sur que abarca el área de Pozos Colorados, la Barra, Costa Verde y la franja marina del Parque Isla Salamanca; y finalmente la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) que a su vez tiene subzonas muy características, que se miden bimensualmente por el proyecto denominado “monitoreo CGSM”. En el presente informe se muestran los resultados de los muestreos de calidad de aguas realizados entre el 24 y 25 de septiembre de 2012 (época lluviosa) y entre el 25 y 26 de febrero de 2013 (época seca) en las 4 zonas costeras sin incluir la CGSM, donde se realiza un muestreo mensual, el cual tiene un proyecto específico con resultados que se pueden consultar en el informe técnico 2013.

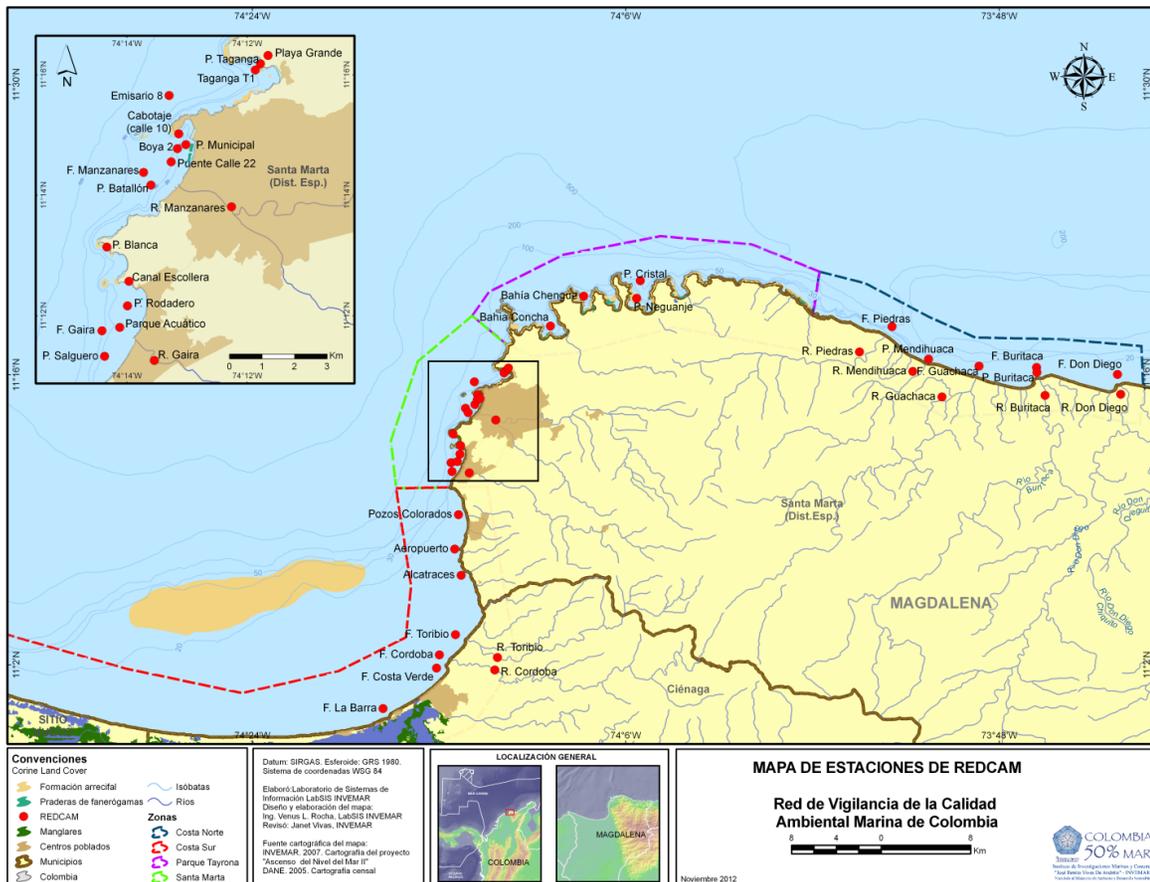


Figura 4.4.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Magdalena

La zona norte se caracteriza por presentar una franja costera expuesta al oleaje, con varios ríos de gran caudal que desembocan en el mar como Don Diego, Buritaca, Guachaca, Mendihuaca y Piedras. La zona del Parque Tayrona es un área protegida que tiene una cuenca pequeña (181 km²) y menos lluviosa (1500-2000 mm/a; [IDEAM, 2005](#)), dominada por espacios naturales, con la presencia de diversos ecosistemas marinos como arrecifes coralinos, praderas de pastos y manglares, reviste gran importancia la calidad de sus aguas para la preservación de estos ecosistemas, que en los últimos años las actividades turísticas han aumentado en esta zona.

La zona de Santa Marta, es un área urbana con más de 415 mil habitantes, y un régimen de precipitación anual entre 1000-1500 mm/a ([IDEAM, 2005](#)). En esta zona, se presentan las mayores descargas de aguas residuales a través del emisario submarino, del río Manzanares, y de los vertimientos estacionales de aguas servidas y de escorrentías urbanas por las Calles 10 y 22, y una serie de colectores ubicados a lo largo de la Bahía Santa Marta. Una porción importante de la población de Santa Marta, Taganga y el Rodadero, no están conectados al sistema de alcantarillado, y realizan los vertimientos de aguas residuales directamente en cuerpos de agua ([INVEMAR y MADS, 2011](#)).

En la zona Sur se realizan diversas actividades productivas como el almacenamiento y transporte de carbón, y actividades turísticas. Adicionalmente, esta zona recibe aportes de ríos Toribio y Córdoba, en cuyas cuencas se desarrollan importantes cultivos de banano y palma africana principalmente. Por otra parte, la CGSM, es una laguna costera con características distintas de las otras 4 zonas. Tiene un régimen de precipitación anual más bajo (500-1500 mm), está bordeada por una franja importante de manglar y una cuenca grande (8.850 km²) a la que drenan los ríos de la SNSM (Aracataca, Sevilla y Fundación) y el río Magdalena. Esta zona tiene la influencia de varios asentamientos humanos como los municipios de Ciénaga, Sitio Nuevo, Pueblo Viejo y Tasajera, sumado a los palafitos de Nueva Venecia, Trojas de Cataca y Buenavista; así como las actividades agrícolas intensivas y la pesca artesanal.

4.4.1 Variables Físicoquímicas

4.4.1.1 *In situ*

Temperatura

Durante la época de lluviosa 2012 y la época seca 2013, las variables físicoquímicas en las aguas de la zona costera del Magdalena presentaron variaciones por factores, como los aportes continentales de los ríos, las escorrentías agrícolas y urbanas, y las precipitaciones, entre otros. La temperatura superficial del agua presentó un valor promedio de $28,7 \pm 1,5$ °C y osciló entre 24,3 °C y 30,3 °C en la época lluviosa de 2012, mientras que en la época seca de 2013 osciló entre 23,6 °C y 32,6 °C, con una temperatura media de $26,9 \pm 2,1$ °C (Figura 4.4.2).

Los datos actuales e históricos de temperatura son coherentes y muestran marcadas diferencias ($p < 0,05$) entre épocas con aguas marinas más frías en la época seca comparadas con la época lluviosa (Figura 4.4.3), lo cual responde a procesos oceanográficos de surgencia generados por los vientos Alisios del noroeste y a la acción de vientos continentales ([Márquez, 1982](#); [Bula-Meyer, 1990](#)), junto a las oscilaciones de la zona de convergencia intertropical, que hacen que las temperaturas del agua de mar sean bajas durante los meses de diciembre a abril ([Bernal *et al.*, 2006](#)); contrario a la tendencia observada en la mayoría de los ríos, donde la temperatura aumentó en época lluviosa, excepto en algunos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta (Don Diego, Mendihuaca y Piedras). El cambio más significativo entre épocas se presentó en la estación del río Gaira (26,7 °C a 32,6 °C), con un incremento de 6 °C en época seca posiblemente por la disminución en la columna de agua donde penetró mayor radiación solar.

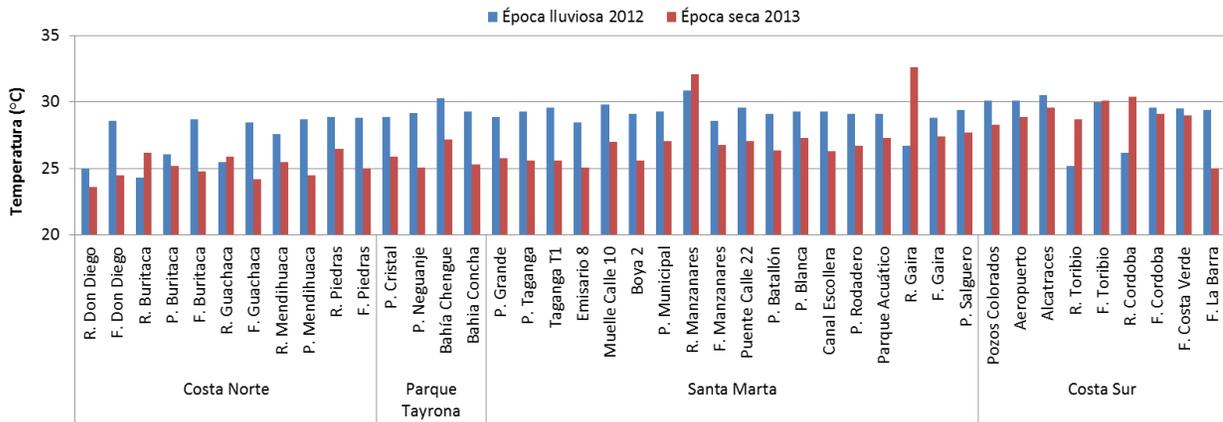


Figura 4.4.2. Temperatura (°C) superficial del agua medida en 4 zonas del departamento del Magdalena durante la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

Por otro lado, en las estaciones del parque Tayrona las mediciones de temperatura son de especial interés debido a la presencia de formaciones coralinas, praderas de fanerógamas y rodales de manglar (Diaz et al., 2002), que pueden verse afectados por cambios bruscos. En la época lluviosa 2012 el promedio de la temperatura en la zona del Parque fue de $29,4 \pm 0,5$ °C y en Bahía Chengue de $30,3$ °C, igualmente, los datos históricos (2001-2013) muestran que la temperatura media de esta zona es $25,9 \pm 0,9$ °C en época seca y de $29,4 \pm 0,6$ °C en época lluviosa (Figura 4.4.2); lo cual evidencia que existen en algunas épocas del año con valores muy cercanos que superan los 30 °C, que es la temperatura asociada a efectos de degradación de corales por blanqueamiento (Kleypas y Hoegh-Guldberg, 2008; Graham et al., 2008). Además, la alta radiación solar que genera elevadas temperaturas del agua, limita las posibilidades de evolución y desarrollo de los manglares (Kathiresan et al., 2001), y afecta negativamente la abundancia, florecimiento y distribución horizontal de los pastos marinos (Borde et al., 2004).

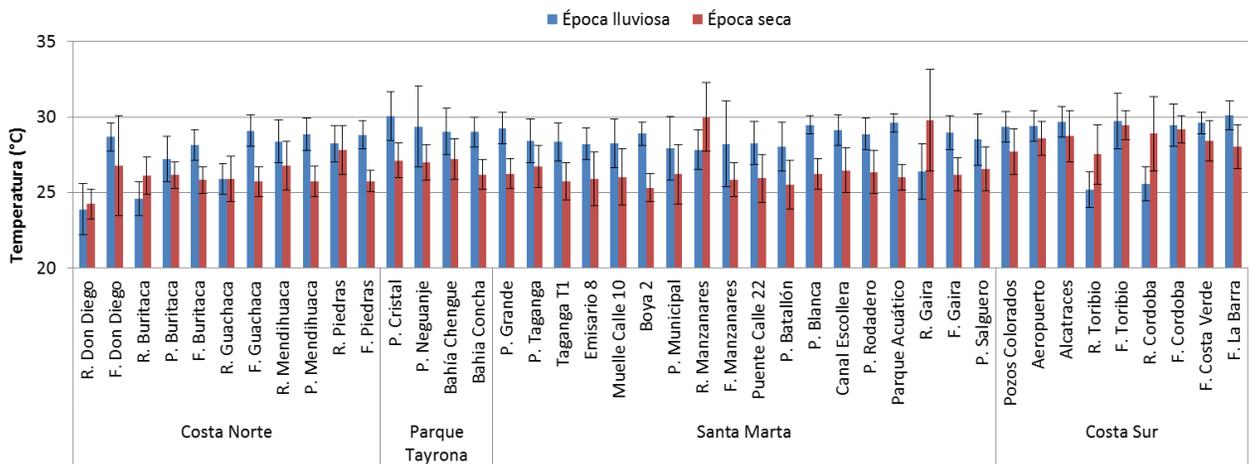


Figura 4.4.3. Promedio histórico de la temperatura (°C) del agua superficial medida semestralmente en las estaciones del departamento del Magdalena, en las épocas lluviosa y seca entre el 2001 – 2013. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

Salinidad

La salinidad en aguas marinas para la época seca fluctuó entre 34,5y 37,3, y entre 21,8y36,3 en la época de lluvia con valores promedio de $36,5 \pm 0,5$ y $34,2 \pm 3,3$ en cada época, respectivamente(Figura 4.4.4), también se encontraron diferencias ($p < 0.05$) entre épocas para las aguas marinas y estuarinas. Las estaciones que presentaron una variación notable entre estas épocas fueron frente a Manzanares, playa Buritaca y frente a la Barra, donde el proceso de mezcla disminuyó la salinidad especialmente en época de lluvias. En el caso de las estaciones marinas, el aumento de la salinidad en época seca, responde al comportamiento propio de la columna de agua bajo la presencia de eventos de surgencia costera donde ascienden aguas de la Masa de Agua Subtropical Sumergida (MASS) con valores de salinidad superiores a 36 (Bula-Meyer, 1990; Cabrera y Donoso, 1993). La salinidad en las estaciones ubicadas río arriba fue inferior a 0.3 partes, de acuerdo a lo esperado.

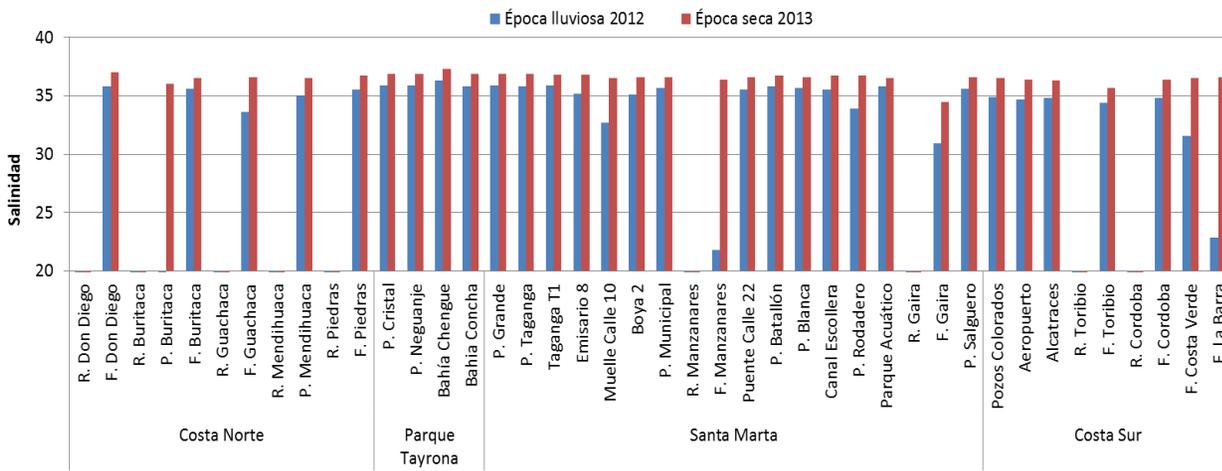


Figura 4.4.4. Salinidad del agua superficial en 4 zonas del departamento del Magdalena (Costa Norte, Parque Tayrona, Santa Marta y Costa Sur) medida en la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

El comportamiento histórico de la salinidad del agua marino-costera en el departamento del Magdalena, reflejalos procesos oceanográficos característicos del Caribe y los efectos de eventos como El Niño y La Niña (Figura 4.4.5). El periodo 2007-2011 se caracterizó por una alta variabilidad intermensual en las condiciones meteorológicas y un comportamiento anómalo en los regímenes hídrico y térmico, debido a la presencia de La Niña 2007-2008 y su reactivación 2008-2009; el Niño 2009-2010 y finalmente, La Niña 2010-2011 (IDEAM, 2013). Estas condiciones pueden asociarse a los valores más bajos de salinidad registrados en las estaciones marinas, durante la época lluviosa de los años 2007 ($29,1 \pm 5,8$ °C) y 2010 ($29,8 \pm 4,8$) cuando las precipitaciones superaron significativamente los promedios según el IDEAM, no obstante, como las mediciones REDCAM son semestrales, no hay evidencia que estos fenómenos hayan desencadenado alteraciones importantes sobre las condiciones típicas de eventos de surgencia.

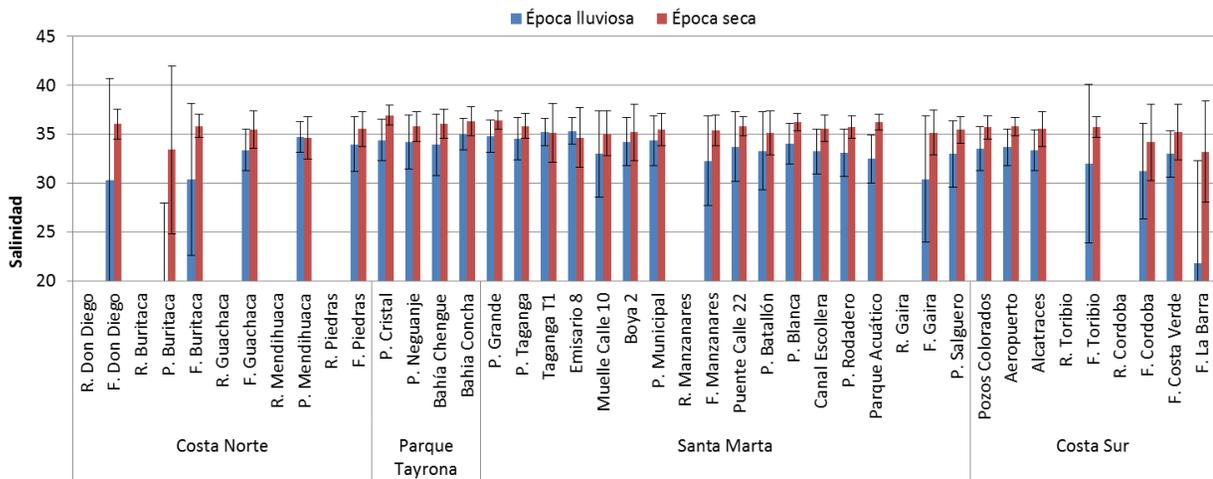


Figura 4.4.5. Promedio histórico de salinidad del agua en 4 zonas del departamento del Magdalena, medida semestralmente en épocas secas y lluviosas entre 2001 y 2013.

pH

Durante la época lluviosa 2012 y la época seca 2013, los valores de pH se ubicaron dentro de los criterios de calidad permisibles de 6,5 a 8,5 y 4,5 a 9,0 para aguas marinas y fluviales respectivamente, establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para preservación de fauna y flora (Minsalud, 1984). Para aguas marinas los valores de pH oscilaron entre 7,0 y 8,3 (promedio $8,1 \pm 0,3$) en la época lluviosa de 2012 y entre 8,0 y 8,3 (promedio $8,1 \pm 0,1$) durante la época seca de 2013 (Figura 4.4.6); y para este tipo de aguas no se observaron mayores variaciones debido a la capacidad del sistema de amortiguación carbonato-bicarbonato característico del agua de mar (Emerson y Hedges, 2008).

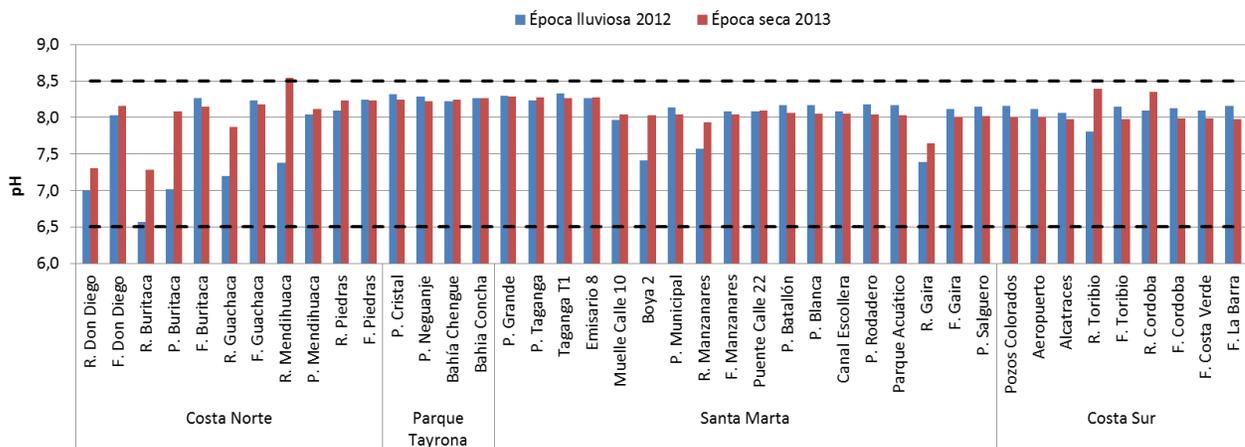


Figura 4.4.6. Valores de pH en aguas superficiales de Magdalena medido en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. Las líneas punteadas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Las mayores variaciones de pH entre épocas se observaron en las estaciones ubicadas en los ríos y en zonas de mezcla (estuarinas), como la playa Buritaca y el río Mendihuaca. La disminución de los valores de pH en la época lluviosa puede deberse al aumento en los caudales de los ríos y por consiguiente a la

disminución de la concentración de carbonatos, bicarbonatos y sales asociadas; así como al aumento del CO₂ producido por la oxidación de la materia orgánica y por procesos biológicos tales como fotosíntesis y respiración (Cognettiet al.,2001 y Morales, 2001). Pero, los datos históricos muestran que, los valores de pH medidos en este último periodo de análisis están dentro de los rangos de variación del departamento, tanto para aguas estuarinas (7,34 a 8,64), ríos (6,52 a 8,36) y aguas marinas (7,04 a 8,46).

Oxígeno Disuelto (OD)

El Oxígeno Disuelto (OD) es uno de los indicadores básicos para determinar el estado de calidad o deterioro en diversos cuerpos de agua. Los niveles de OD en aguas marinas fluctuaron entre 2,9 y 6,9 mg/L en la época lluviosa 2012 con un promedio de $5,6 \pm 0,8$ mg/L; mientras que para la época seca de 2013, osciló entre 5,7 y 8,1 mg/L, y con promedio de $6,6 \pm 0,5$ mg/L. En el caso de las estaciones fluviales y estuarinas el OD osciló entre 3,55 y 6,47 mg/L en época lluviosa y de 4,51 mg/L a 10,13 mg/L en época seca, observándose variaciones significativas entre estos muestreos ($p < 0,05$) y tendencia al aumento en la época seca con respecto a la época lluviosa.

A pesar de las variaciones observadas entre épocas y zonas de muestreo (Figura 4.4.7), el oxígeno disuelto en la mayoría de estaciones estuvo por encima del valor mínimo de calidad (4,0 mg/L) para la preservación de flora y fauna según la legislación colombiana (Minsalud, 1984), y fue en la zona Norte y en la época seca 2013 donde se presentaron los OD más altos. Sólo en las estaciones de playa Mendihuaca (2,9 mg/L), Muelle de Cabotaje-Calle 10 (3,5 mg/L) y río Manzanares (3,6 mg/L), estuvieron por debajo del límite, en la época lluviosa 2012; condición que puede deberse a un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno generada por la descarga de aguas residuales. Es de resaltar también el valor de 10,13 mg/L en río Mendihuaca que también se considera no adecuado para la vida acuática.

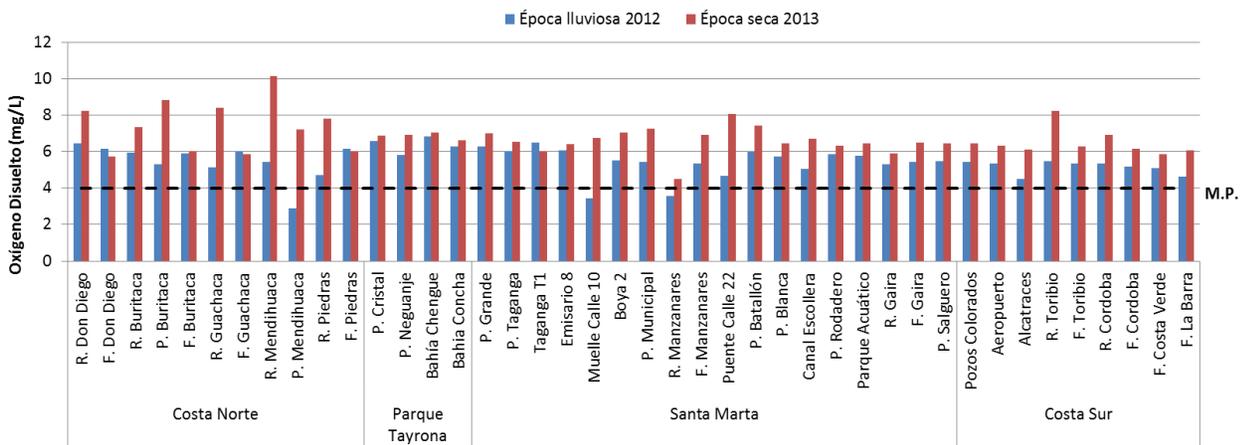


Figura 4.4.7. Oxígeno disuelto (mg/L) medido en aguas superficiales del departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea punteada representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

El análisis histórico de OD mostró pocas fluctuaciones interanuales; sin embargo, en la época lluviosa del año 2010 las estaciones ubicadas en aguas marinas, con excepción de playa Mendihuaca, presentaron valores de OD por debajo del valor mínimo permisible ($2,98 \pm 0,4$ mg/L), este hecho está relacionado con el incremento inusual y prolongado de la temperatura, sumado a las elevadas descargas de aguas continentales por las fuertes precipitaciones de La Niña registrado en 2010 contribuyó a la disminución de los niveles de OD en el agua de la zona costera del departamento.

4.4.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendidos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) mostraron notables intervalos de variación entre épocas y estaciones de muestreo con valores que fluctuaron entre 7,7 y 287 mg/L durante la época lluviosa de 2012 y entre 1,7 y 93 mg/L en la época seca de 2013, los cuales se enmarcaron dentro del rango de valores históricos medidos en la REDCAM para este departamento (0 – 644 mg/L). Durante este periodo de análisis, la tendencia de los SST aumentó en la época seca 2013 en comparación con las lluvias de 2012, en especial en las zonas de Santa Marta, la costa Sur y ligeramente en el Parque Tayrona (Figura 4.4.8).

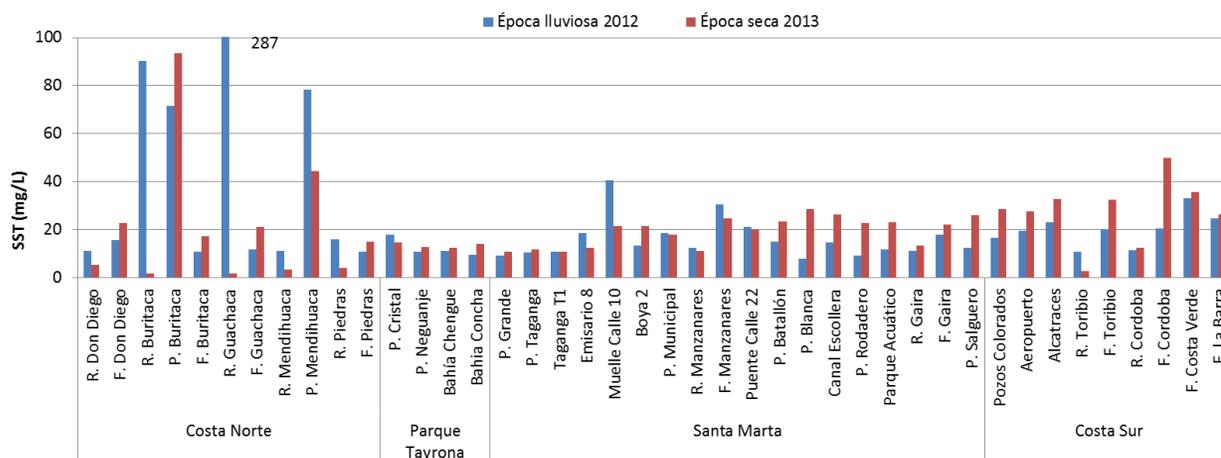


Figura 4.4.8. Sólidos suspendidos totales (mg/L) medidos en aguas superficiales del departamento del Magdalena en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

En cuanto a la zona norte, los SST más altos se presentaron en la época de lluvias 2012, particularmente en la playa Mendihuaca (1,8-287 mg/L) y en los ríos Buritaca y Guachaca que superaron el promedio histórico de la zona ($36,2 \pm 32,7$ mg/L; Figura 4.4.8); niveles que se pueden atribuir al aumento de las escorrentías y erosión del suelo debido a las precipitaciones (Escobar, 2002). No obstante, en su comportamiento histórico los ríos de la zona norte han sido más bajos (promedio $19,2 \pm 34,4$ mg/L) comparados con la zona de Santa Marta (promedio $62,9 \pm 101,7$ mg/L; Figura 4.4.9) por la influencia de los ríos Manzanares y Gaira. La tendencia histórica muestra un marcado aumento entre las estaciones de la zona sur desde Pozos colorados hasta La Barra (Figura 4.4.9).

Los resultados de SST en las estaciones del Parque Tayrona oscilaron entre 9,5 y 18 mg/L, lo cual no representa un riesgo para la salud de los ecosistemas coralinos, ya que estuvieron por debajo del valor de referencia (50 mg/L; Fabricius, 2005) que podría afectar la penetración de la luz e inhibir los procesos fotosintéticos de las algas asociadas a los corales.

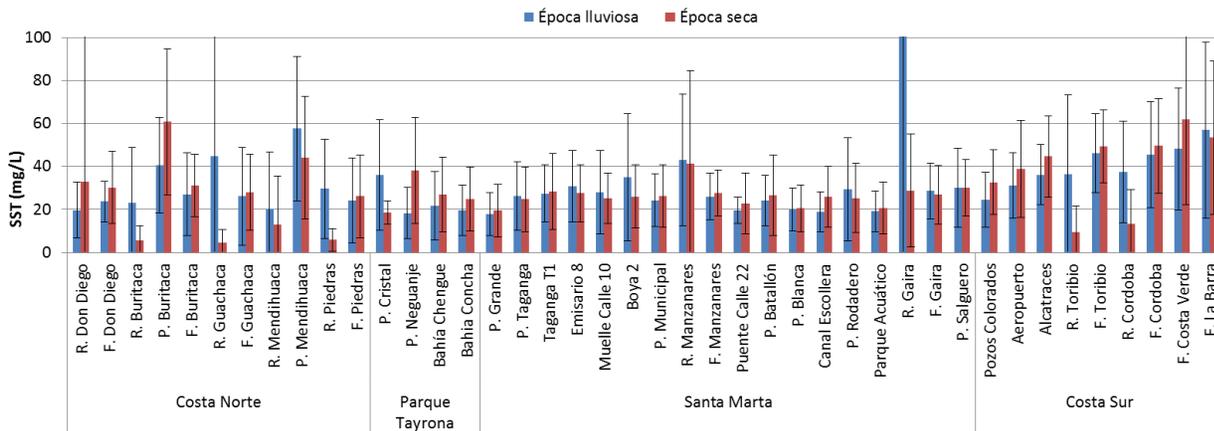


Figura 4.4.9. Sólidos Suspendidos Totales -SST (mg/L) medidos semestralmente en las épocas lluviosas y secas entre el 2001 y 2013 en aguas superficiales del departamento delMagdalena. Las barras de error representan la desviación estándar.

Nutrientes

En cuanto a los nutrientes, se realizó el análisis de las formas nitrogenadas de los nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y amonio (NH_4^+), y de fósforo reactivo soluble (FRS) o fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-). Las mediciones de estos nutrientes mostraron cambios entre épocas de muestreo, con valores que oscilaron desde menores al límite del método ($<0,3$) hasta $512 \mu\text{g/L}$ para los NO_3^- , de $<0,3$ hasta $45,4 \mu\text{g/L}$ para NO_2^- , y de $<0,85$ hasta $2237 \mu\text{g/L}$ para NH_4^+ ; y se registraron las concentraciones más altas de estos nutrientes en la época seca de 2013 para la mayoría de estaciones de las zonas Norte, Parque Tayrona y Santa Marta, pero no en la zona Sur (Figura 4.4.10 a).

La mayor variación entre épocas se observó en la forma de NO_3^- , especialmente en los ríos Guachaca, Manzanares, Toribio, Don Diego y Gaira, y en frente al río Manzanares y playa Taganga, con los datos más altos en la época de lluvias 2012 (Figura 4.4.10). Los nitritos (NO_2^-) también presentaron cambios entre épocas, y más en la zona Norte en un rango que osciló entre $0,8$ y $8,3 \mu\text{g/L}$, con los (NO_2^-) más altos en la época seca 2013, y en las áreas de influencia de los ríos Don Diego, Buritaca y Guachaca que tienen influencia de escorrentías agrícolas (Figura 4.4.11), no obstante cabe resaltar que los nitritos son el producto intermedio del ciclo de oxidación-reducción del nitrógeno, y en comparación con los nitratos, son menos soluble en agua y menos estables (Pacheco y Cabrera, 2003), lo cual explica sus bajas concentraciones en el medio. De igual manera, los niveles de amonio fueron más altos durante la época seca de 2013 y la mayor concentración se presentó en el río Manzanares ($766,7 \mu\text{g/L}$; Figura 4.4.12), tal como sucedió con las otras formas de nitrógeno, indicando el alto aporte de aguas residuales domésticas que recibe de la ciudad de Santa Marta (INVEMAR y MADS, 2011).

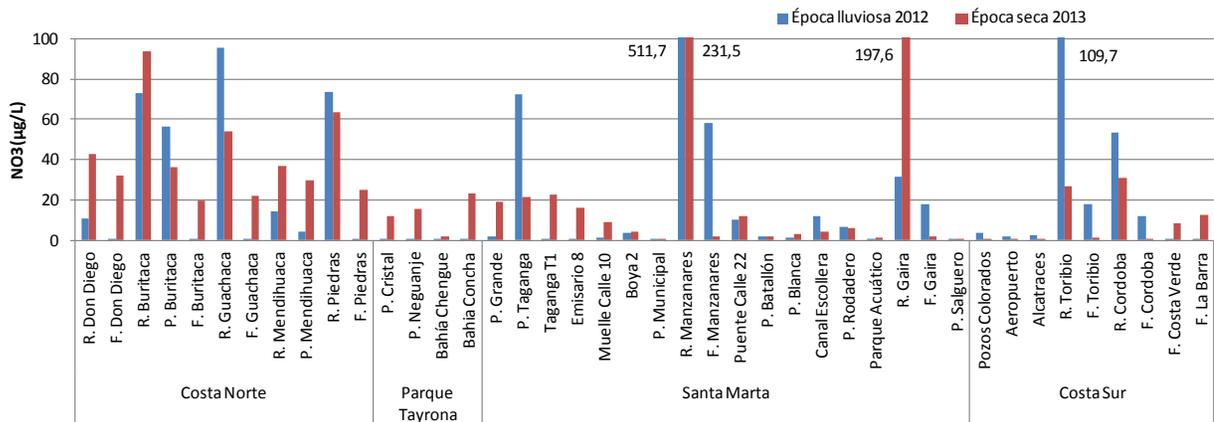


Figura 4.4.10. Concentraciones de nitrato - NO_3^- ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Magdalena en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

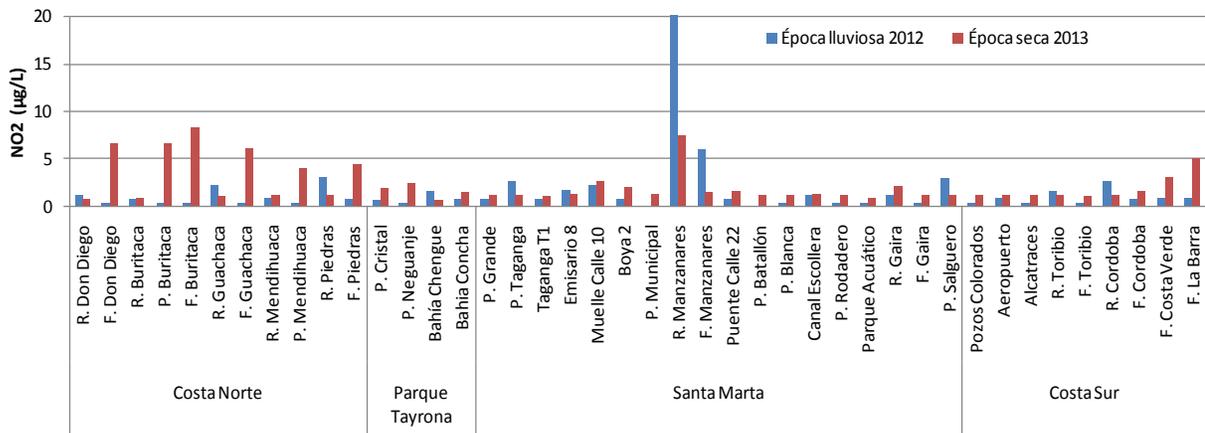


Figura 4.4.11. Concentraciones de nitrito - NO_2^- ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Magdalena en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

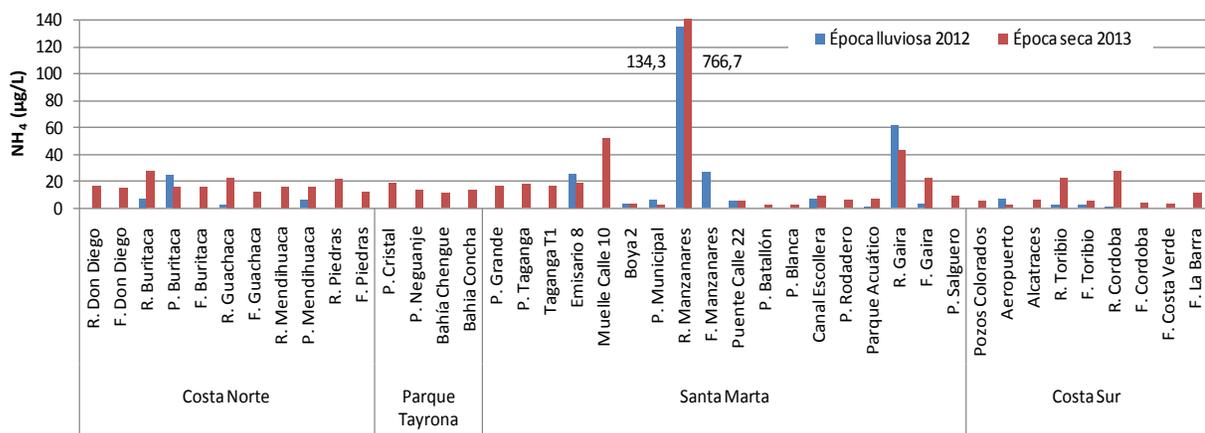


Figura 4.4.12. Concentraciones de amonio - NH_4^+ ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Por otra parte, los ríos han sido fuente importante de nutrientes en la franja costera, particularmente en las épocas lluviosas, cuando aumenta el escurrimiento de fertilizantes. No obstante, las figuras mostraron que esta condición se presentó solo en algunos, entre ellos el río Manzanares en Santa Marta, que superó en más del triple a todos los ríos del departamento, debido a los vertidos directos de aguas residuales que recibe de los pobladores asentados en la rivera del río (INVEMAR y MADS, 2011). En menor proporción, los ríos que también registraron concentraciones altas de nutrientes en forma de NO_3^- fueron, Guachaca (95,5 $\mu\text{g/L}$) y Piedras (73,3 $\mu\text{g/L}$) en la costa norte y los ríos Toribio (110 $\mu\text{g/L}$) y Córdoba (53,2 $\mu\text{g/L}$) en la costa sur, asociado a los residuos de las actividades agrícolas que se desarrollan en sus cuencas; pero a manera general, en este periodo de análisis fue en la época seca donde se presentaron más concentraciones altas de nitrógeno.

Con el Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) que corresponde a la suma de las tres formas de nitrógeno (NO_3^-), (NO_2^-) (NH_4^+) con un valor de 14 $\mu\text{g/L}$ propuesto por Lapointe (1997) para indicar estados de florecimientos permanentes de macroalgas frondosas en ecosistemas coralinos o potenciales impactos sobre la fisiología de los corales; se analizaron los resultados de NID en las estaciones del parque Tayrona, mostrando que en la época seca de 2013 las concentraciones oscilaron entre 12,9 y 39,1 $\mu\text{g/L}$, mostrando un riesgo potencial de alteraciones en el arrecife coralino y condiciones para la proliferación de macroalgas (INVEMAR, 2013), pero en la época de lluvias 2012 los valores de NID fueron bajos y no superaron 1,6 $\mu\text{g/L}$.

En cuanto al fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-), los mediciones más altas, se presentaron durante la época de lluvias de 2012 en las estaciones de muelle de Cabotaje (Calle 10) (629,9 $\mu\text{g/L}$), en los ríos Manzanares (192,4 $\mu\text{g/L}$), Piedras (158,3 $\mu\text{g/L}$), y Gaira (112,9 $\mu\text{g/L}$) en la época seca 2013; y en playa Buritaca (65,1 $\mu\text{g/L}$). Entre zonas, la mayor variación se observó en la costa Norte, donde se ubican los ríos Don Diego, Buritaca, Guachaca, Mendihuaca y Piedras (Figura 4.4.13) que tienen influencia de tierras agrícolas que transportan una carga de materia soluble y particulada de las escorrentías que drenan nutrientes producto de prácticas agrícolas y ganaderas (Seoáñez, 2000) típicas de la Sierra Nevada de Santa Marta.

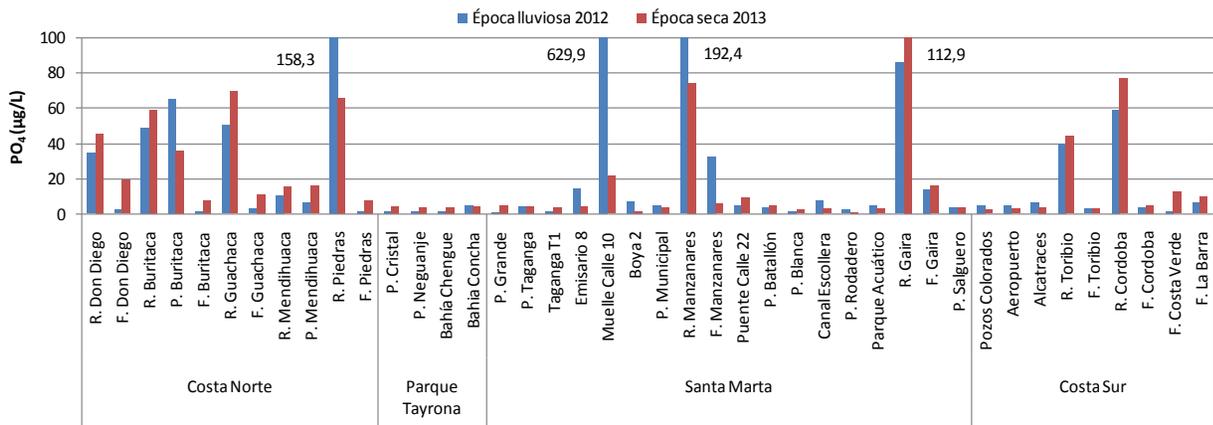


Figura 4.4.13. Concentraciones de Fósforo Reactivo Soluble - FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los resultados de fósforo en las estaciones del Parque Tayrona oscilaron entre 1,6 y 5,1 $\mu\text{g/L}$ en la época de lluvias 2012; y entre 3,5 y 4,3 $\mu\text{g/L}$ en la época seca de 2013, estos datos se compararon con el valor de referencia de 3,1 $\mu\text{g/L}$ (Lapointe, 1997) propuesto como indicador de estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas en ecosistemas coralinos. Y se demostró que estas concentraciones de PO_4^- al sobrepasar el nivel de referencia puede potencialmente afectar las condiciones del medio marino y favorecer el florecimiento de macroalgas, sin embargo, estas concentraciones no se mantiene durante el año si no que disminuyen en época de lluvia, por lo que es posible que dichos efectos sean recurrentes.

4.4.2 Contaminación Microbiológica

Los coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE) utilizados como indicadores de contaminación microbiológica, medidos en la época lluviosa de 2012 mostraron que las concentraciones de CTT en los 9 ríos (Figura 4.4.14) sobrepasaron el límite permisible para el desarrollo de actividades recreativas de contacto secundario (deportes náuticos y pesca; $<5000 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$; MinSalud, 1984) con valores que oscilaron entre $10.000 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ en río Mendihuaca y $410.000 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ en río Manzanares. Cabe resaltar que el monitoreo fue realizado en septiembre de 2012, pero como aún no había iniciado el período de mayores lluvias (IDEAM, 2012), las altas concentraciones de CTT encontradas en los cuerpos de agua pudieron producirse por las descargas de fuentes municipales que afectaron la calidad microbiológica (Escobar, 2002). En cuanto al monitoreo de la época seca realizado en febrero de 2013, las concentraciones de CTT registradas en cuatro de los nueve ríos superaron el límite establecido por la legislación para desarrollar actividades de contacto secundario, con un valor máximo de $240.000 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ en el río Manzanares (Figura 4.4.14).

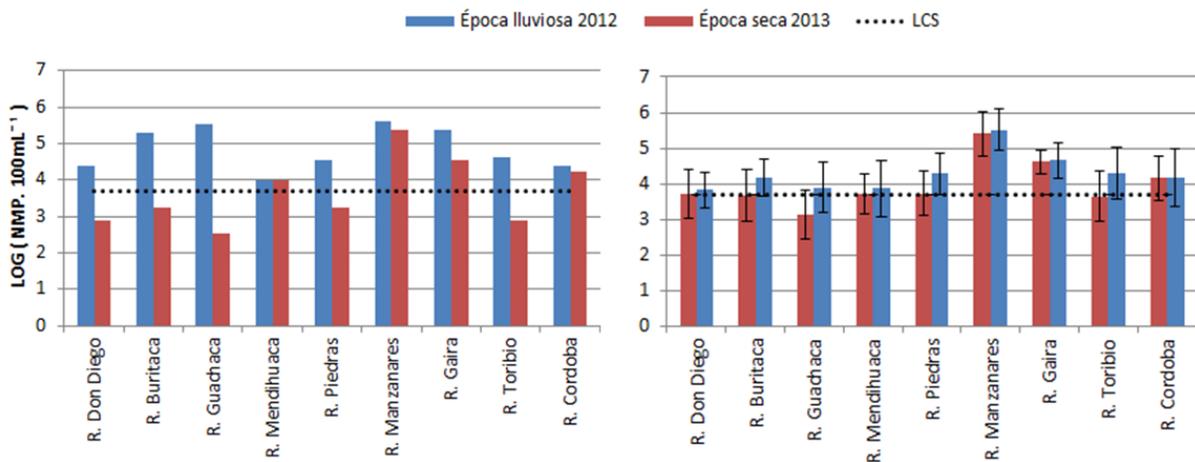


Figura 4.4.14 Coliformes Totales ($\text{LOG NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) medidos en el departamento del Magdalena. a) en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013; b) promedio histórico medido semestralmente entre 2001 y 2013. La línea punteada indica el límite permisible para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto ($< \text{LOG } 5000 = 3.7 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$; MinSalud, 1984).

En el análisis histórico de CTT se presentaron diferencias entre épocas climáticas ($p < 0,05$), y los promedios de CTT en época lluviosa mostraron para los ríos Manzanares ($330.000 \pm 0,57 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$), Gaira ($45.000 \pm 0,51 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$), Toribio ($20.000 \pm 0,71 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$) y Piedras ($19.000 \pm 0,60 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$) que el detrimento de la calidad de sus aguas ha sido recurrente, con condiciones no aptas para realizar actividades recreativas; relacionado con el aumento del vertimiento de aguas servidas de las poblaciones ribereñas, de escorrentías agrícolas y a fuentes puntuales de contaminación provenientes del área urbana (Dragunet et al, 2011; Ramos et al, 2008). Uno de los aspectos importantes de evaluar la calidad de las aguas de los ríos reside en su contribución al ingreso de contaminantes al mar, que pueden afectar los ecosistemas marinos y la salud pública (Escobar, 2002)

Para evaluar la calidad del agua marino-costera destinada para actividades turísticas (Flores et al, 2011) se utilizaron los resultados de los coliformes Termotolerantes-CTE (Tabla 4.4.1) medidos en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013 en 19 playas importantes del departamento del Magdalena y se compararon con el límite establecido en el Decreto 1594 de 1984 para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario ($\text{CTE} < 200 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$; MinSalud, 1984).

El análisis temporal demostró que existen diferencias ($p < 0,05$) entre los CTE medidos en la época lluviosa de 2012 (10 a $650.000 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$) y la época seca 2013 (1 a $17 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$). La mayor

concentración se midió en el muelle de Cabotaje de la Calle 10 con 650.000NMP.100mL⁻¹ (época lluviosa) y correspondió con el segundo valor más alto reportado en los 13 años de muestreo de esta estación (INVEMAR, 2013), donde siempre se han presentado datos altos relacionados con el ingreso de aguas pluviales urbanas de la ciudad de Santa Marta (Vivas-Aguas *et al.*, 2012). Por el contrario, para la época seca de 2013 se evidenció una notable disminución de CTE, con valores dentro del límite establecido en la legislación, y calidad sanitaria de las playas apta para el desarrollo de actividades recreativas como la natación y el buceo (Zafra *et al.*, 2009).

A nivel histórico, los casos de incumplimiento de la norma, se han presentado en todas las zonas del departamento (Tabla 4.4.1), con los porcentajes más altos durante las épocas de lluvia, especialmente, en las playas Cristal (100%), Buritaca (89%) y el Muelle de Cabotaje - Calle 10 (78%); mientras que las playas de Neguanje (10%), Pozos Colorados (11%), playa Grande en Taganga (13%) y bahía Chengue (0%) presentaron los menores casos, y han cumplido con el valor establecido para actividades de contacto primario. Respecto a la tendencia en época seca, han sido recurrentes los incumplimientos en el Muelle de Cabotaje -Calle 10 (60%), y en menor proporción las playas del Batallón (42%), Cristal, Municipal y el Rodadero, cada una con 33% de los casos, respectivamente (Tabla 4.4.1).

Tabla 4.4.1. Coliformes Termotolerantes (CTE NMP.100 mL⁻¹) medidos en las épocas climáticas lluviosa 2012 y seca 2013. En negrilla se muestran los valores que superaron el límite permitido para aguas destinadas a contacto primario en la legislación colombiana (< 200 NMP/100 mL; MinSalud, 1984).

Zona	Playa	Época lluviosa 2102			Época seca 2013		
		(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**	(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**
Zona Norte	Buritaca	3100	89	9	9,3	17	12
	Mendihuaca	3100	44	9	1	27	11
Parque	Cristal	320	100	2	1	33	3
	Neguanje	70	10	10	1	0	12
Tayrona	Bahía Chengue	90	0	9	1	0	11
	Bahía Concha	230	20	10	1	17	12
Santa Marta	Grande - Taganga	180	13	8	17	10	10
	Bahía Taganga	360	44	9	1	17	12
	Muelle de Cabotaje (Calle 10)	650000	78	9	9	60	10
	Municipal	90	44	9	9	33	12
	calle 22	680	44	9	9	30	10
	Batallón	110	50	10	9	42	12
	Blanca	250	25	8	1	0	10
	Rodadero	290	30	10	1	33	12
	Parque Acuático	120	25	8	9	20	10
	Salguero	10	30	10	2	25	12
Zona Sur	Pozos Colorados	740	11	9	1	8	12
	Aeropuerto	260	67	3	2	25	4
	Alcatraces	310	44	9	1	17	12

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible establecido en el decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE <200 NMP.100 mL-1).

**Número de datos existentes por época climática.

Al igual que los coliformes termotolerantes - CTE los *Enterococcus faecalis* (EFE) son considerados un indicador apropiado para determinar la contaminación de origen fecal en los cuerpos de agua destinados para contacto primario (actividades recreativas); ya que existe una relación entre la frecuencia de trastornos digestivos asociados a la natación y la concentración media en aguas marinas (Díaz *et al.*, 2010; Suárez, 2002; Vergaray *et al.*, 2007).

Los EFE como indicador para calidad de playas se vienen midiendo en REDCAM desde el 2006, siguiendo las especificaciones de la Organización Mundial de la Salud para calidad microbiológica de aguas recreativas (OMS, 2003), que de acuerdo con la guía de aguas recreacionales, valores superiores a 40 UFC.100mL⁻¹ pueden presentar riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales (GI) y enfermedades respiratorias febriles agudas (AFRI). Los resultados de la época lluviosa de 2012 (Tabla 4.4.2) mostraron que las playas de Mendihuaca (103 UFC.100mL⁻¹), Calle 22 (127 UFC.100mL⁻¹) y Rodadero (58 UFC.100mL⁻¹) se ubican en la categoría B que está entre 41 y 200 UFC.100mL⁻¹ lo que indicó probabilidades del 1 al 5 % de contraer GI y del 0,3 al 1,9 % de contraer AFRI. De igual forma, en el Muelle de Cabotaje de la Calle 10 se registraron 2000 UFC.100mL⁻¹, ubicándolo en la categoría D, que indica un riesgo de 10% de contraer GI y una probabilidad mayor al 3,9% de contraer AFRI.

El análisis de ambos indicadores, mostró en la época lluviosa de 2012 una relación entre los EFE y CTE estadísticamente significativa ($p < 0,01$) y una correlación moderadamente fuerte entre estas variables ($r = 0,719$), de modo que el uso de EFE contrastado con la presencia de CTE, son indicadores adecuados para evaluar las condiciones microbiológicas del agua en las zonas costeras para actividades recreativas de contacto primario (Basulto et al., 2010; Pica y Ramírez, 2012).

Tabla 4.4.2. Concentraciones de *Enterococcus faecalis* (EFE UFC.100mL⁻¹) medidas en el agua superficial de las playas del departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Zona	Playa	Época lluviosa 2012 (UFC.100 mL ⁻¹)	Época seca 2013 (UFC.100 mL ⁻¹)
Zona Norte	Buritaca	295	1
	Mendihuaca	103	5
Parque Tayrona	Cristal	18	1
	Neguanje	1	1
	Bahía Chengue	1	
	Bahía Concha	1	1
	Grande - Taganga	47	1
Santa Marta	Bahía Taganga	42	1
	Muelle de Cabotaje (Calle 10)	2000	1
	Municipal	23	2
	Calle 22	127	1
	Batallón	4	1
	Blanca	1	1
	Rodadero	58	1
	Parque Acuático	2	1
	Salguero	2	1
	Zona Sur	Pozos Colorados	1
Aeropuerto		1	1
Alcatraces		3	1

4.4.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD, en el período de lluvia 2012 y seco 2013 oscilaron en un rango menor al límite de detección de 0,07 µg/L y 5,06 µg/L, con excepción de un valor de 15,53 µg/L en la época lluviosa de 2012 en la estación del río Guachaca (Figura 4.4.15), que superó el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la UNESCO (1984) para aguas no contaminadas, lo cual se debe posiblemente a las descargas de aguas servidas y residuos de lavaderos de carros en las

poblaciones ribereñas. Pese a que es la primera vez durante el monitoreo, que se registra un valor de esta magnitud en el río Guachaca, cabe resaltar que en esta estación los HDD han fluctuado entre menor al límite de detección 0,06 – 15,53 µg/L y un promedio histórico de $2,00 \pm 4,76$ µg/L para la época de lluvia.

Aunque los HDD no superaron los 6 µg/L, la tendencia mostró las concentraciones más altas en la época lluviosa de 2012 (Figura 4.4.15) y en las estaciones de la zona Norte, especialmente en el río Buritaca (5,06 µg/L), playa Buritaca (3,70 µg/L) y frente al río Guachaca (3,54 µg/L), así como en el puente de la Calle 22 (3,61µg/L) en la zona de Santa Marta. Por otro lado, en la época seca de 2013, los HDD fueron relativamente bajos y no superaron el valor de referencia (Unesco, 1984), siendo el valor más alto 2,43 µg/L que se registró en el río Manzanares(Figura 4.4.15). Los residuos de hidrocarburos que se presentan en el departamento se deben a la actividad portuaria, transporte marítimo, turismo, aguas servidas, expendios informales de combustible y lavaderos de vehículos en la zona.

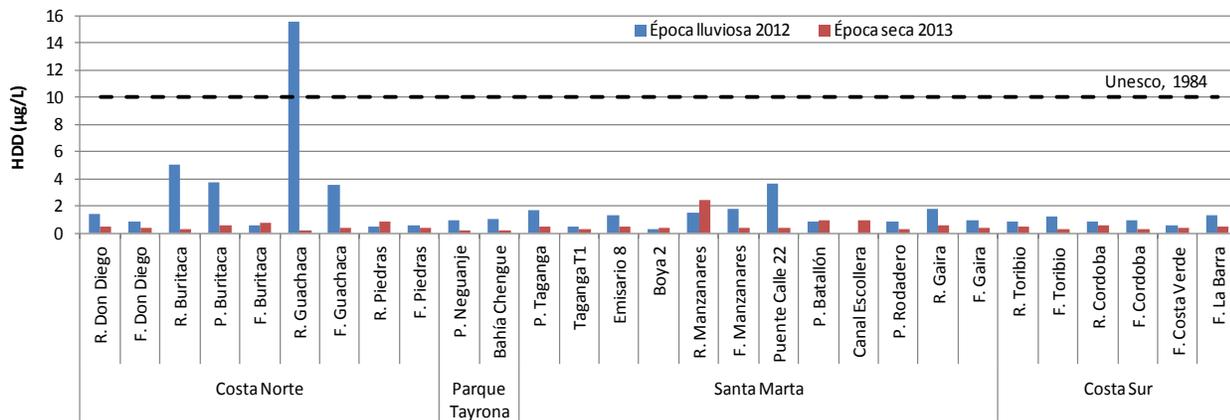


Figura 4.4.15. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de Magdalena en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea representa el valor de referencia para aguas no contaminadas según Unesco (1984).

Los registros históricos de HDD medidos desde el 2001 al 2013, mostraron que las concentraciones promedio más altas se han registrado en las épocas de lluvias, en las estaciones de la zona Santa Marta principalmente, en el Muelle de Cabotaje -Calle 10 ($7,02 \pm 6,95$ µg/L), el puente de la Calle 22 ($5,81 \pm 4,28$ µg/L), playa Salguero ($4,80 \pm 5,90$ µg/L) y el río Manzanares ($1,48 \pm 1,08$ µg/L; Figura 4.4.16). Estos se deben principalmente a las escorrentías de aguas de lluvia, vertimientos de aguas residuales domésticas, actividad portuaria y turística.

El análisis temporal mostró que, si bien durante este período las concentraciones más altas de HDD se registraron en la época de lluvias 2012, en algunas estaciones, no se ha observado una tendencia histórica similar ($p > 0,05$). La variación interanual 2001 a 2013 mostró diferencias ($p < 0,05$), entre años, y en el año 2001 se registraron concentraciones de HDD superiores al valor de referencia para aguas no contaminadas, en el río Manzanares (33,4 µg/L) y su desembocadura (12,6 µg/L), y frente al río Guachaca (21,6 µg/L); además en el año 2011 en la estación frente al río Don Diego (11,75 µg/L).

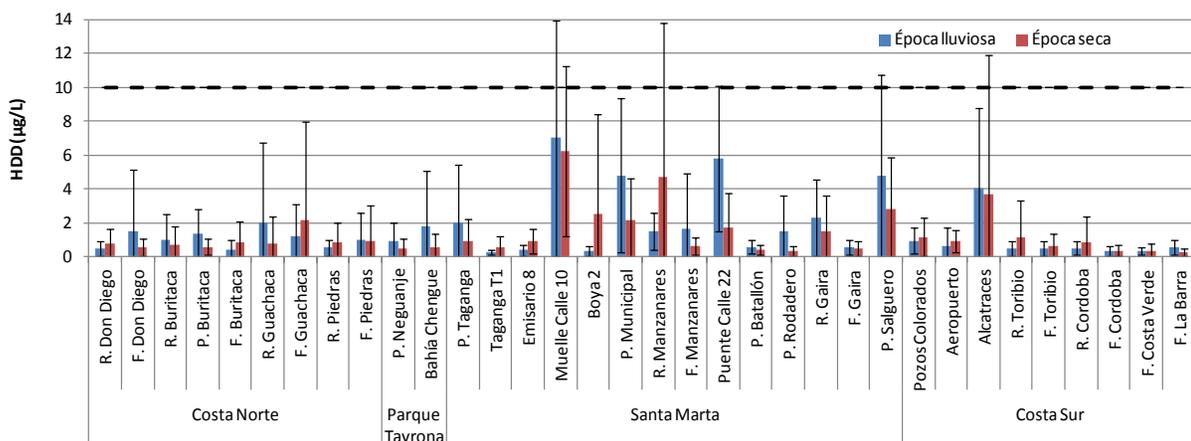


Figura 4.4.16. Promedio histórico de Hidrocarburos disueltos y dispersos (µg/L) medidos semestralmente en épocas de lluvias y épocas secas entre 2001 y 2013. La línea punteada indica el valor de referencia para aguas no contaminadas según UNESCO (1984).

4.4.4 Plaguicidas

En los últimos cuatro años se ha evidenciado una reducción en la aparición de compuestos organoclorados (OC) en las aguas costeras del departamento, en este lapso de tiempo el porcentaje de detección no ha superado el 8% de las muestras (Figura 4.4.17); y en la época de lluvias del 2012 y la época seca de 2013 no se detectaron. Si bien en la actualidad la detección es baja, durante la primera década del siglo, el 49% de las estaciones monitoreadas habían presentado algún residuo de OC y el 74% de los compuestos que se han registrado en las aguas marinas superficiales del departamento correspondían al DDT y sus metabolitos, seguido por los Heptacloros (44%), compuestos del Aldrin (42%), y finalmente los HCH (31%) debido básicamente a la persistencia de estos compuestos.

En 2008, se observó un incremento en el rango de concentración, que obedeció a la implementación del análisis de nuevas moléculas (se incrementó de 12 a 22 moléculas, Figura 4.4.17a); lo que significa que se cuantificaron compuestos que antes no se tenían en cuenta, generando por ende valores más altos de los OC totales. Si se substraen las concentraciones de estos analitos nuevos es evidente en que existe una tendencia descendente en el escurrimiento de plaguicidas OC (Figura 4.4.17b), básicamente debido a las restricciones en su uso.

Como se ha indicado en anteriores informes, históricamente, las concentraciones más altas de OC se han registrado en las estaciones de los ríos Buritaca, Gaira y Guachaca (promedios históricos $9,04 \pm 20,01$, $6,53 \pm 8,19$ y $5,77 \pm 5,86$ ng/ml respectivamente). Lo cual se ha atribuido 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. Por esta misma razón, 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 representar 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).

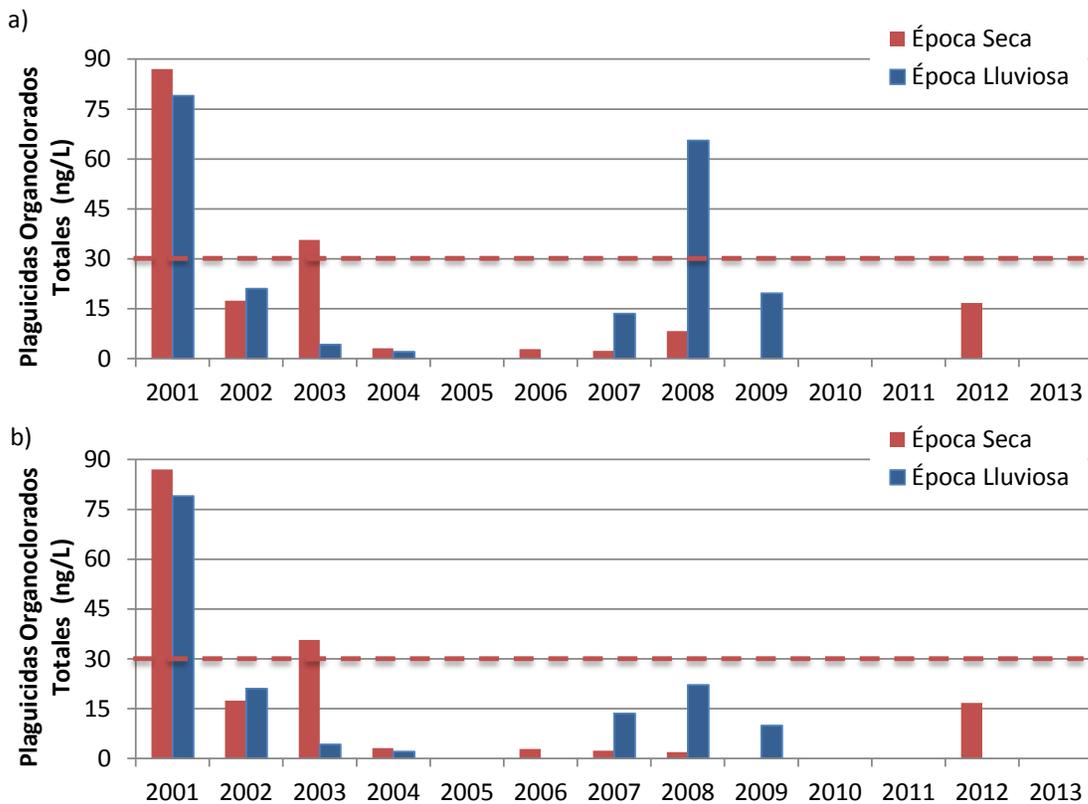


Figura 4.4.17. Rangos de las concentraciones de plaguicidas organoclorados Totales (ng/L) medidas en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2013 en el departamento del Magdalena. a) Suma incluye las concentraciones de las nuevas moléculas medidas desde el 2008 (Endosulfan, Endrin aldehído, Endrin cetona, Metoxicloro y clordano); b) Incluye los analitos medidos desde el 2001. La línea roja representa el Valor de Referencia V.R. (30 ng/L; EPA, 1999).

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	Temporada	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
	2012 -2013	-	-
<i>Valores de referencia para efectos agudos</i> (Buchman, 2008)	<i>Aguas dulces</i>	550	83
	<i>Aguas marinas</i>	65	11

En cuanto a los plaguicidas de uso actual que comenzaron a medirse en el 2009; su presencia ha sido baja (inferior al 3%), únicamente se ha detectado Clorpirifos (en el Río Piedras, 16 ng/L), un 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).

4.4.5 Metales Pesados

El monitoreo de metales pesados es de gran importancia debido a su relación con los procesos biológicos y aunque algunos son esenciales para la vida, pueden presentar toxicidad en concentraciones por encima de los niveles permisibles (Cabon, 2002). A pesar que los metales pesados se encuentran en forma natural en el ambiente marino, se reconoce que las actividades industriales que descargan sus desechos al mar han provocado un aumento de algunas sustancias en niveles peligrosos para la salud de los ecosistemas (Cortés *et al.*, 2011). Sin embargo, en la zona costera del departamento del Magdalena no existen actividades industriales o mineras que liberen estas sustancias al ambiente marino, sino que su aporte se debe principalmente a las aguas servidas y las actividades portuarias que se desarrollan en esta zona costera.

Para evaluar la calidad del agua en términos de metales pesados se vienen midiendo históricamente Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), pero a partir del segundo semestre de 2012 se amplió el número de metales analizados en la REDCAM con el monitoreo de cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni) y hierro (Fe). Los resultados de la época lluviosa 2012 y época seca 2013 mostraron que los niveles de Pb solo se detectaron en seis estaciones ubicadas en las zonas Sur y Santa Marta, en época lluviosa (Figura 4.4.18a), con valores que oscilaron entre 0,27 µg/L y 7,41 µg/L medidos en las estaciones frente al río Córdoba y frente a Costa Verde respectivamente. No obstante, estos valores no superaron el límite de riesgo referenciado en guías internacionales para efectos agudos en aguas superficiales marinas como la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA (210 µg/L; Buchman, 2008). Adicionalmente, durante la época seca, los niveles de Pb fueron no detectables.

De igual manera, las concentraciones de Cd en época lluviosa de 2012 fueron detectables en 8 estaciones (Figura 4.4.18b) en un rango entre 0,42 y 3,45 µg/L; el máximo valor se registró en la estación Muelle de Cabotaje de la Calle 10 (3,45 µg/L), seguido del río Manzanares (2,41 µg/L) y el puente de la Calle 22 (2,04 µg/L). Estos sitios de muestreo están asociados a zonas de descarga de aguas residuales de la ciudad de Santa Marta y la zona agrícola, sin embargo, ninguna de las estaciones supera los valores referenciados en guías internacionales (40 µg/L, Buchman, 2008).

Las mediciones de Cr en la mayoría de estaciones no superaron el límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,50 µg/L), a excepción del río Toribio que en época lluviosa de 2012 obtuvo un valor de 27,1 µg/L, seguido del frente del río Manzanares (1,8 µg/L) y el muelle de Cabotaje -Calle 10 (0,7 µg/L) en la época seca de 2013 (Figura 4.4.18c), pero estos niveles no superaron los valores referenciados como riesgo en guías internacionales (50 µg/L, Conama, 1986).

Los resultados de Pb, Cd y Cr (Figura 4.4.18) muestran que las zonas donde se detectaron estos metales corresponden a las zonas con mayor ocupación urbana como Santa Marta y la zona Sur del departamento del Magdalena, donde hay mayor influencia antropogénica y diversas actividades económicas.

Dada la importancia de medir más metales adicionales al Pb, Cd y Cr, a partir de 2012 se incluyeron metales como el Zinc, hierro, cobre y níquel en el monitoreo REDCAM. El Zn y el Fe son metales presentes en plantas y animales en concentraciones apreciables siendo más elevadas que las de otros metales traza, y cumplen funciones de vital importancia al hacer parte de sistemas enzimáticos y en una multitud de moléculas biológicas. Aunque no se consideran especialmente tóxicos, en ocasiones son liberados al mar en cantidades apreciables. El Cu y Ni son constituyentes de algunos sistemas enzimáticos (Williams *et al.*, 2000), su monitoreo es importante ya que presentan efectos carcinogénicos en humanos por encima de niveles permisibles (Kasprzak *et al.*, 2003).

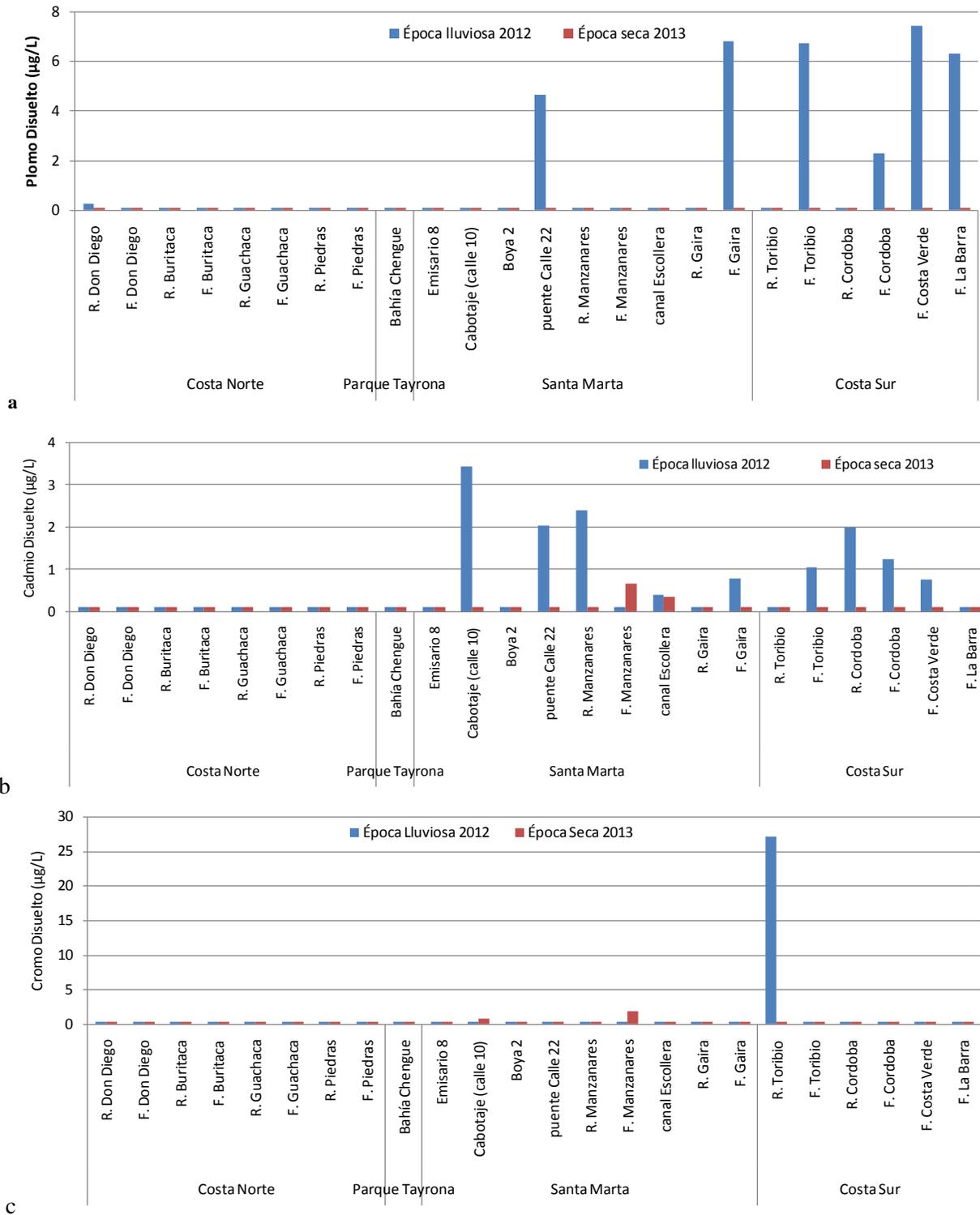


Figura 4.4.18. Concentraciones de metales pesados plomo, cadmio y cromo disueltos (µg/L) medidos en aguas superficiales del departamento del Magdalena, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Las mediciones de cobre Cu en la mayoría de las estaciones estuvieron por debajo de 2,4 µg/L, excepto en el frente del río Buritaca (4,9 µg/L) durante la época lluviosa de 2012, valor que fue ligeramente superior

al valor referenciado de la NOAA para efectos agudos en aguas superficiales marinas (4,8 µg/L, Buchman, 2008), no obstante, en la época seca, el Cu para esta estación estuvo por debajo del límite de detección de la técnica utilizada.

Las concentraciones de níquel (Ni) en las estaciones de la zona de Santa Marta no presentaron diferencias entre épocas de muestreo ($p > 0,05$) y parece que el ingreso de Ni a las aguas marinas es de manera permanente. En la Costa Sur si se mostraron cambios ($p < 0,05$), siendo la época de lluvias la que generó mayor arrastre de este metal desde el continente hacia el mar. Por otro lado, la mayor concentración de Ni fue frente al río Manzanares (11,1 µg/L; época seca), el canal de la Escollera (9,8 µg/L; época lluviosa) y en el muelle de Cabotaje -Calle 10 (10,1 µg/L; época seca), no obstante, ninguna de las estaciones superó los niveles referenciados en la NOAA (74 µg/L, Buchman, 2008).

En cuanto al zinc (Zn), la mayor concentración se detectó en el río Buritaca (115,9 µg/L) durante la época lluviosa 2012; mientras que en la época seca 2013 las estaciones frente al río Manzanares (83,7 µg/L), Boya 2 (73,7 µg/L) en la Bahía de Santa Marta, frente al río Gaira (62,7 µg/L), Canal de la Escollera (58,5 µg/L) y frente al río Buritaca (48,6 µg/L), mostraron valores relativamente altos, pero las estaciones ubicadas en aguas marinas no registraron valores de riesgos para efectos agudos establecidos en guías internacionales (90 µg/L, Buchman, 2008).

Aunque las concentraciones de Fe registradas se consideran bajas según el valor referenciado en la guía de la NOAA (300 µg/L; Buchman, 2008), se detectaron bajos niveles de Fe en los ríos Guachaca en la época lluviosa 2012 (0,46 mg/L) y Gaira en la época seca (0,22 mg/L), las demás estaciones estuvieron por debajo de 0,127 mg/L, en ambas épocas climáticas lluviosa y seca.

4.4.6 CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA

Para evaluar la calidad del agua durante el período octubre 2012-septiembre 2013 en la CGSM, se tomaron muestras en 30 estaciones (Figura 4.4.19), 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. 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.

4.4.6.1 Variables Fisicoquímicas

Temperatura

En el período octubre 2012 - septiembre 2013, la temperatura promedio en las cinco zonas del complejo lagunar osciló entre 25,6°C (zona 1) y 33,8°C (zona 3) (Figura 4.4.20), variaciones atribuibles a las características físicas y a las condiciones climáticas de la región. Las mayores temperaturas fueron medidas en la zona 3 (complejo de Pajarales) y están relacionados con la escasa cobertura vegetal del área y la poca o nula posibilidad de recambio del agua.



Figura 4.4.19. Estaciones de muestreo para el estudio de la calidad del agua en la Ciénaga Grande de Santa Marta

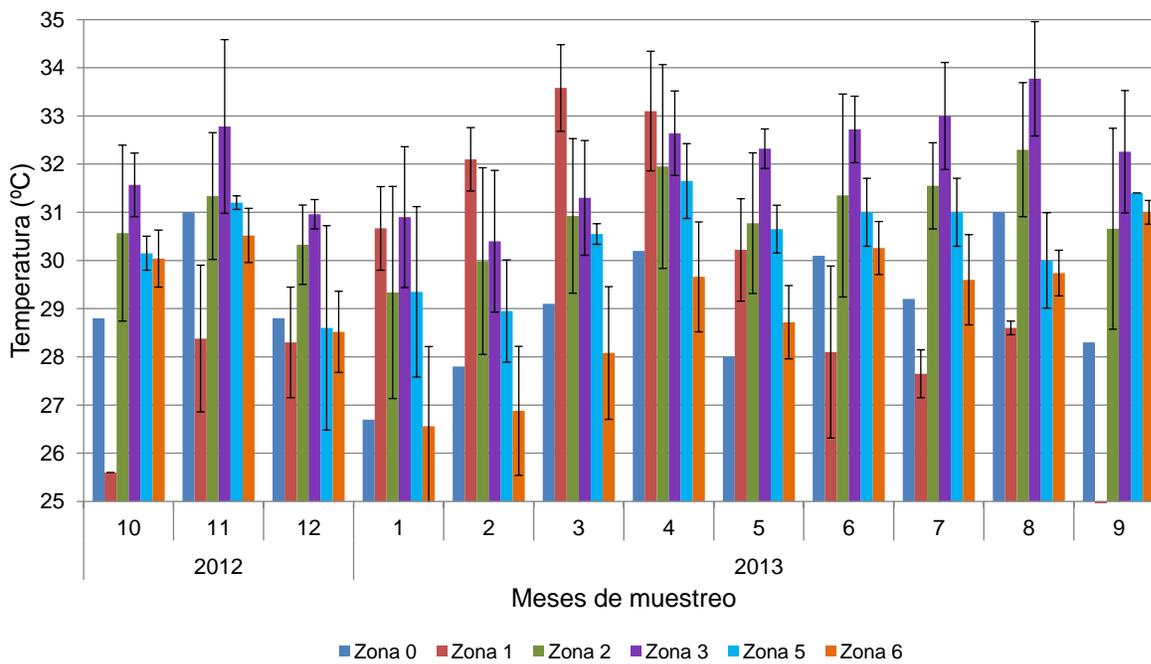


Figura 4.4.20. Temperatura (°C) promedio del agua superficial de las seis zonas de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Entre enero y marzo de 2013, se registró un aumento en la temperatura en las estaciones con influencia del cuerpo de agua principal del complejo lagunar (zona 0) y las ubicadas dentro del mismo (zona 2), a partir de abril, la temperatura disminuyó para las mismas estaciones, situación atribuible a las condiciones climáticas reportadas para estos meses (IDEAM, 2013).

Salinidad

La salinidad en el periodo octubre 2012-septiembre 2013, presentó los promedios más bajos en las zonas influenciadas por los ríos Magdalena (zonas 5 y 6) y los provenientes de la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta (zona 1). Los valores más altos, fueron registrados dentro de las zonas de mezcla entre el mar Caribe y el cuerpo de agua principal (zonas 0, 2 y 3) (Figura 4.4.21).

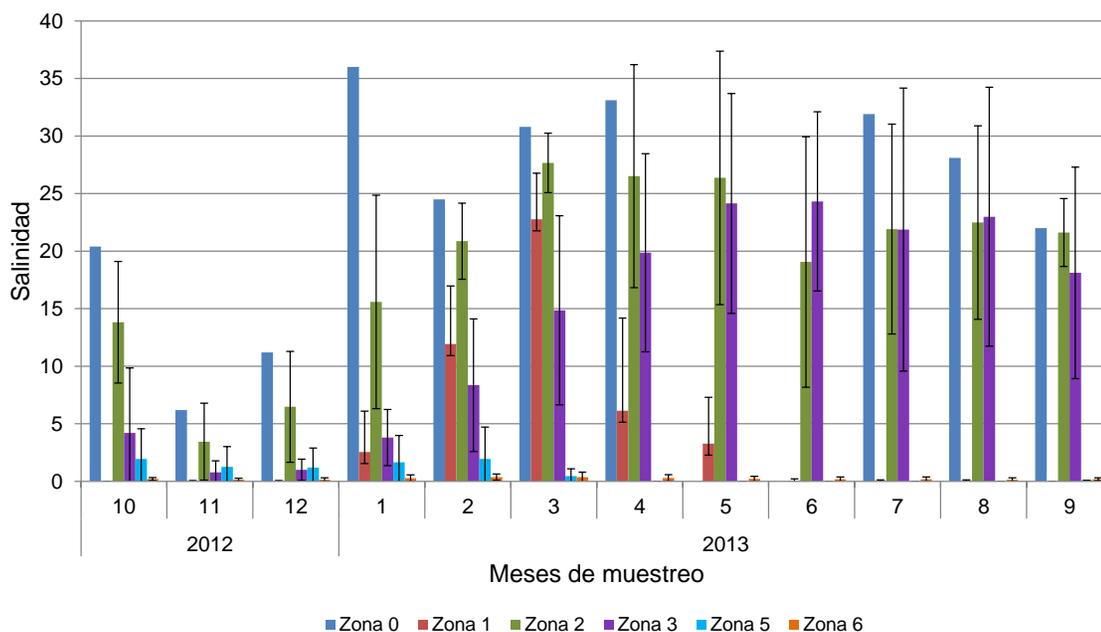


Figura 4.4.21. Salinidad promedio en el agua superficial de las seis zonas de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

En la zona 0 se registraron cambios en la salinidad, con valores que fluctuaron entre 36 y 6,2, evidenciando salida de volúmenes considerables de agua dulce desde la CGSM hacia el mar, particularmente en noviembre y diciembre de 2012, meses de transición de la temporada lluviosa a la temporada seca (IDEAM, 2013). En las zonas 1, 2 y 3 se presentó una tendencia de aumento desde noviembre de 2012 hasta mayo de 2013, ya que en estos meses, en la región Caribe, se registraron bajos niveles de precipitación y predominaron las condiciones secas (IDEAM, 2013), situación que pudo generar una disminución en los niveles de agua y restricciones en la circulación provocando el incremento en la salinidad por evaporación.

pH

En las seis zonas de muestreo durante el período 2012-2013, el pH del agua superficial varió entre 5,64 y 9,04 unidades. En la Figura 4.4.22 se observa que las zonas 0, 2 y 3 presentaron valores de pH característicos de aguas marinas (7,7 - 8,5; Chester, 1990), relacionadas con su cercanía al mar Caribe. Por el contrario, las zonas influenciadas por las descargas de aguas fluviales (zonas 1, 5 y 6), presentaron valores ligeramente ácidos (5,65) y ligeramente básicos (9,04). Al igual que en el monitoreo del período

2012, las menores variaciones en el valor pH, se presentaron en Boca de la Barra (8,03 a 8,50), debido a su capacidad búffer por ser una estación ubicada en la zona marina.

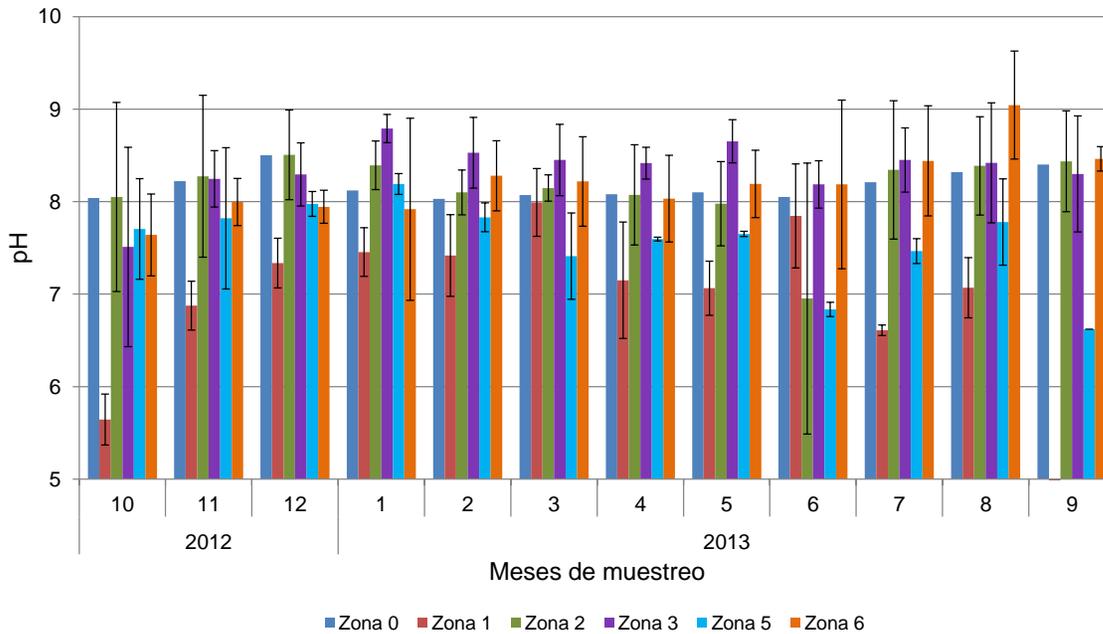


Figura 4.4.22. Valores promedio de pH en el agua superficial de las seis zonas de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. Las barras negras corresponden a la desviación estándar

Para propósitos de flora y fauna (Decreto 1594 de 1984, MinSalud 1984), los valores de pH estuvieron dentro del rango permisible establecido por la legislación colombiana (6,5 - 8,5), con excepción de valores puntuales registrados en la zona 1 (5,64) en octubre de 2012 y en las zonas 3 (8,79) y 6 (9,04) en enero y agosto de 2013, respectivamente.

Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto entre octubre de 2012 y septiembre de 2013, fluctuaron entre 0,6 y 9,4 mg/L. En la Figura 4.4.23 se observa que durante 8 de los 12 meses monitoreados, la zona de la desembocadura de los ríos provenientes de la SNSM (zona 1) presentó concentraciones promedio inferiores a 4,0 mg/L, límite permisible establecido por la legislación colombiana para aguas destinadas a preservación de fauna y flora (MinSalud, 1984). Esta situación puede atribuirse a posibles descargas de aguas servidas de las poblaciones rivereñas, ocasionando un aumento en la concentración de materia orgánica, la cual produce una fuerte demanda de oxígeno para la oxidación de la misma (Appelo y Postma, 1993).

A diferencia del monitoreo del año anterior, durante el periodo 2013, la zona 5 (río Magdalena) sólo presentó dos concentraciones de OD inferiores al límite permisible (3,50 mg/L y 2,73 mg/L, marzo y septiembre, respectivamente), esta situación evidencia una posible disminución de la carga orgánica que llega a este sector. En las zonas 0, 2, 3 y 6 las concentraciones de OD fueron más altas y pueden estar asociadas a intercambios con la atmósfera y a la respiración de organismos fotosintéticos (Silva, 2006).

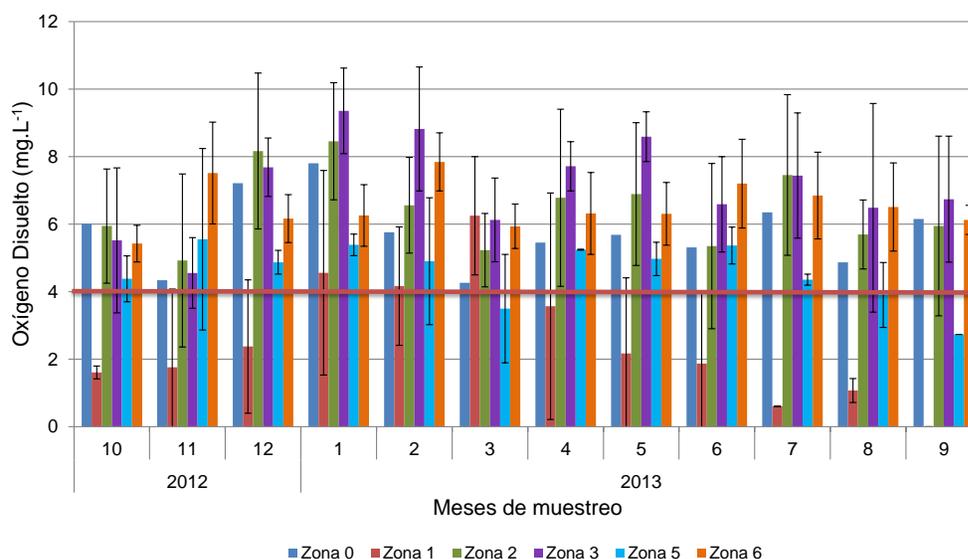


Figura 4.4.23. Concentraciones promedio de oxígeno disuelto (mg/L) en el agua superficial de las seis zonas de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. Las barras negras corresponden a la desviación estándar. La línea roja representa el límite permisible según la legislación colombiana (4,0 mg/L; MinSalud, 1984)

Clorofila *a*

La concentración de clorofila *a* aporta información sobre la productividad primaria, es considerada como un indicador de la biomasa algal existente en un cuerpo de agua (Corredor, 1977). En la Figura 4.4.24 se observa que las mayores concentraciones de clorofila *a*, se presentaron en las zonas 2 y 3, las cuales en el último trimestre de 2012 y en los meses de enero, junio y septiembre, registraron concentraciones 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). En el mes de junio se registró el máximo valor de clorofila *a* de todo el periodo (120,0 $\mu\text{g/L}$, zona 3), mientras que en julio y agosto se presentaron las menores concentraciones, manifestando bajos niveles de fitoplancton y escasa productividad fotosintética en estos meses.

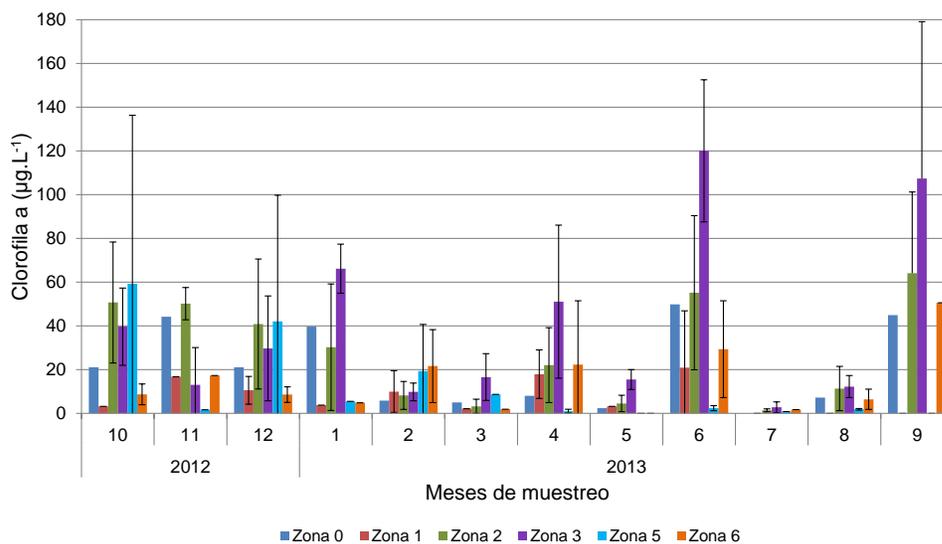


Figura 4.4.24. Concentraciones promedio de clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) en el agua superficial de las seis zonas de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

4.4.6.2 SST y Nutrientes

Sólidos Suspendedos Totales (SST)

De acuerdo a la Figura 4.4.25, las mayores concentraciones de SST se midieron en la zona 5, atribuible a que las estaciones allí ubicadas están influenciadas por el río Magdalena; los valores fluctuaron entre 55,8 y 768,5 mg/L, este último, duplicó la mayor concentración registrada en abril de 2011 en la misma estación (320,5 mg/L). En la zona de los ríos de la SNSM (zona 1) se registraron las menores concentraciones de material particulado (4,8 – 69,0 mg/L).

El aumento en las concentraciones de SST durante abril, mayo, junio y agosto (Figura 4.4.25), puede ser consecuencia del predominio de las condiciones lluviosas en el Magdalena y diferentes sectores del caribe durante estos meses (IDEAM, 2013). Elevadas cargas de material particulado, en sistemas como la CGSM, 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).

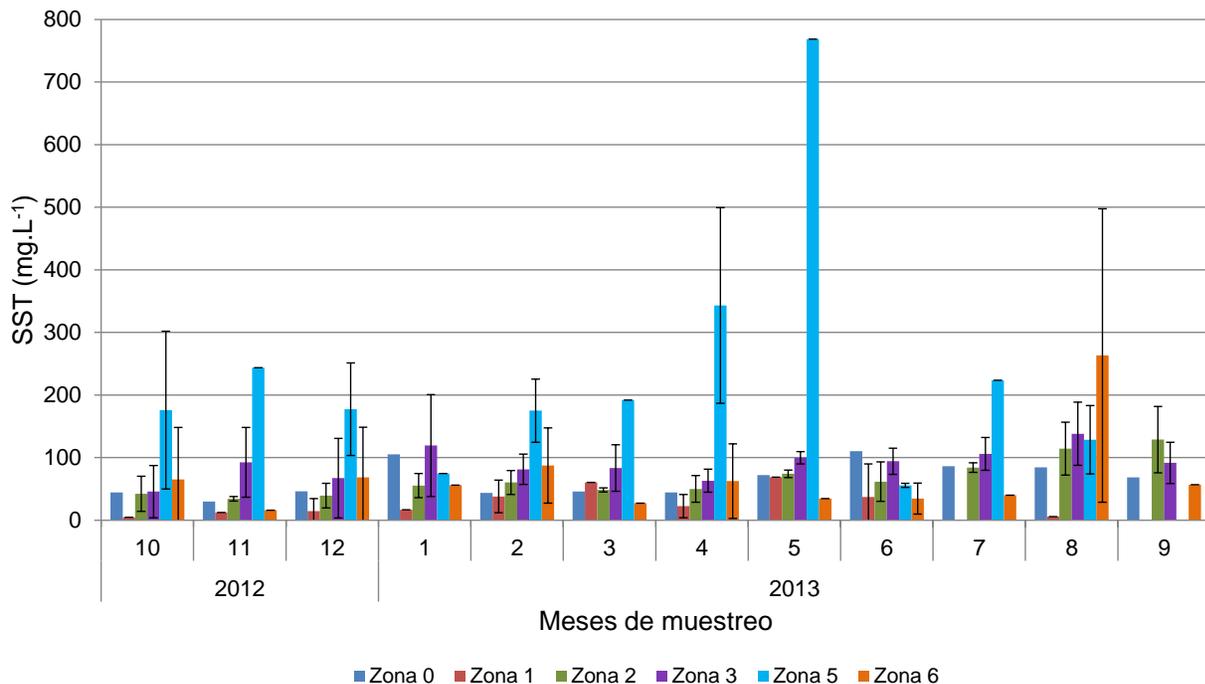


Figura 4.4.25. Sólidos suspendidos totales (mg/L) medidos en el agua superficial en las seis zonas de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Amonio

Entre octubre de 2012 y septiembre de 2013 (Figura 4.4.26), la mayor parte de estaciones monitoreadas presentaron concentraciones de amonio entre 4,2 y 103,7 $\mu\text{g/L}$, a excepción de las estaciones ubicadas en la zona 5, que en abril reportaron la mayor concentración del periodo evaluado, 279,1 $\mu\text{g/L}$, mes que según los reportes de IDEAM (2013), estuvo marcado por exceso de lluvias, lo cual pudo desencadenar el ingreso de materia orgánica.

Las menores concentraciones promedio de amonio fueron medidas en octubre y noviembre de 2012 y enero de 2013, meses con predominio de condiciones secas.

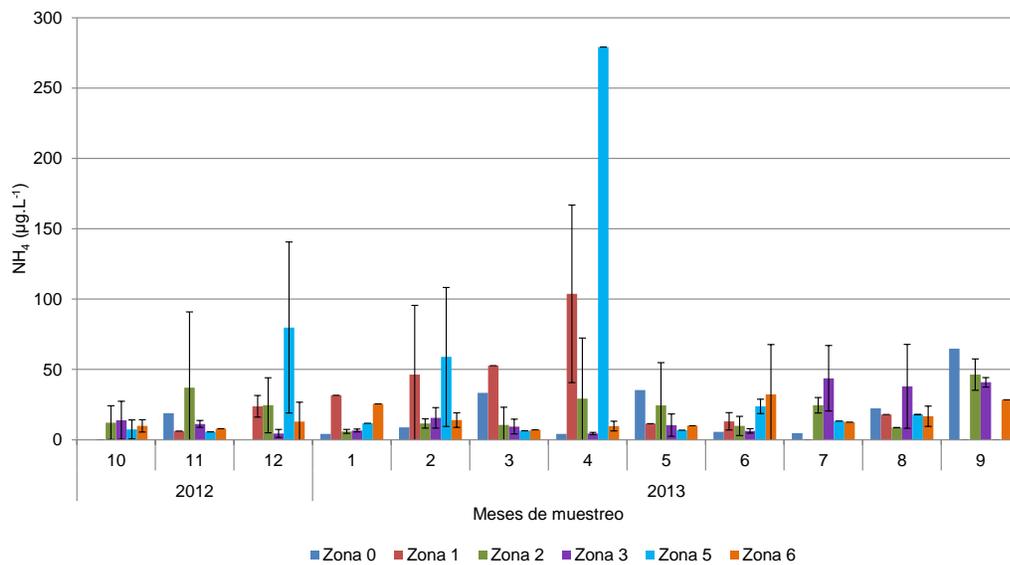


Figura 4.4.26. Concentraciones promedio de amonio (NH_4 , $\mu\text{g/L}$) en el agua superficial de las seis zonas de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Nitritos

Las concentraciones promedio de nitrito en las seis zonas de la CGSM fluctuaron entre 2,7 y 20,3 $\mu\text{g/L}$, valores inferiores a los registrados para las otras dos especies nitrogenadas (amonio, Figura 4.4.26 y nitrato Figura 4.4.28), debido a que son iones inestables y en medios naturales no alterados, sus concentraciones son más bajas que el amonio y el nitrato. En la Figura 4.4.27 se observan ligeros incrementos de las concentraciones en octubre, julio y septiembre, particularmente en este último, la zona 6 presentó la mayor concentración promedio de todo el período, 20,3 $\mu\text{g/L}$, valor que fue 10 veces superior a los registrados en los meses restantes, situación causada posiblemente por los excesos significativos en los volúmenes de precipitaciones en la región Caribe (IDEAM, 2013) durante septiembre, los cuales pudieron desencadenar mayores aportes del río Magdalena al sistema.

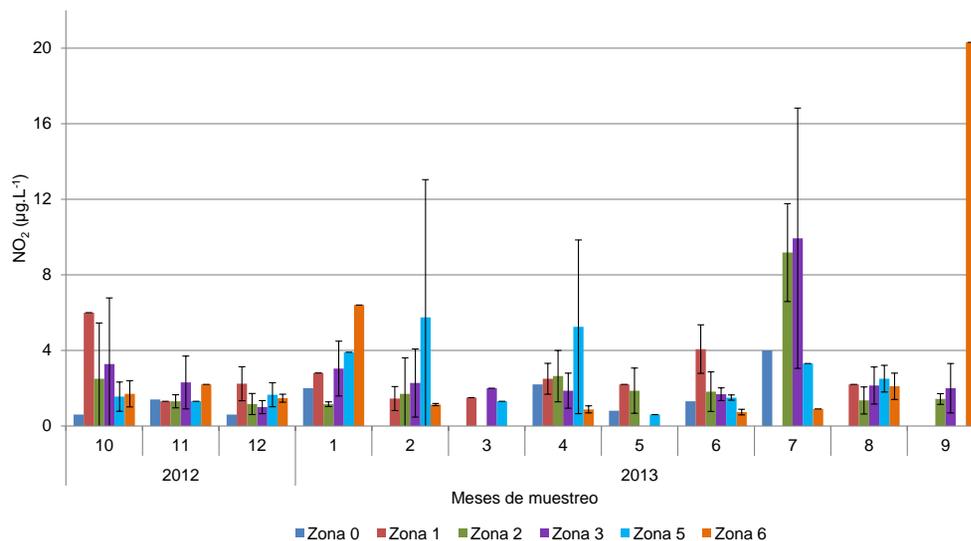


Figura 4.4.27. Concentraciones promedio de nitrito (NO_2 , $\mu\text{g/L}$) en el agua superficial de las seis zonas de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Nitratos

De acuerdo a lo registrado en la Figura 4.4.28, entre octubre de 2012 y septiembre de 2013, las mayores concentraciones de nitratos se presentaron en la zona 5 (19,6 – 234,4 $\mu\text{g/L}$), zona 6 (8,3 – 83,6 $\mu\text{g/L}$) y zona 1 (8,6 – 82,8 $\mu\text{g/L}$). Lo anterior, evidencia que el río Magdalena es la principal fuente de nitratos al sistema lagunar, seguido por los ríos que provienen de la vertiente occidental de la SNSM. Las concentraciones más bajas, fueron registradas en el área de influencia marina (zona 0; 1,2 – 10,6 $\mu\text{g/L}$), seguida por el cuerpo de agua principal del sistema (zona 2; 1,1 – 24,4 $\mu\text{g/L}$).

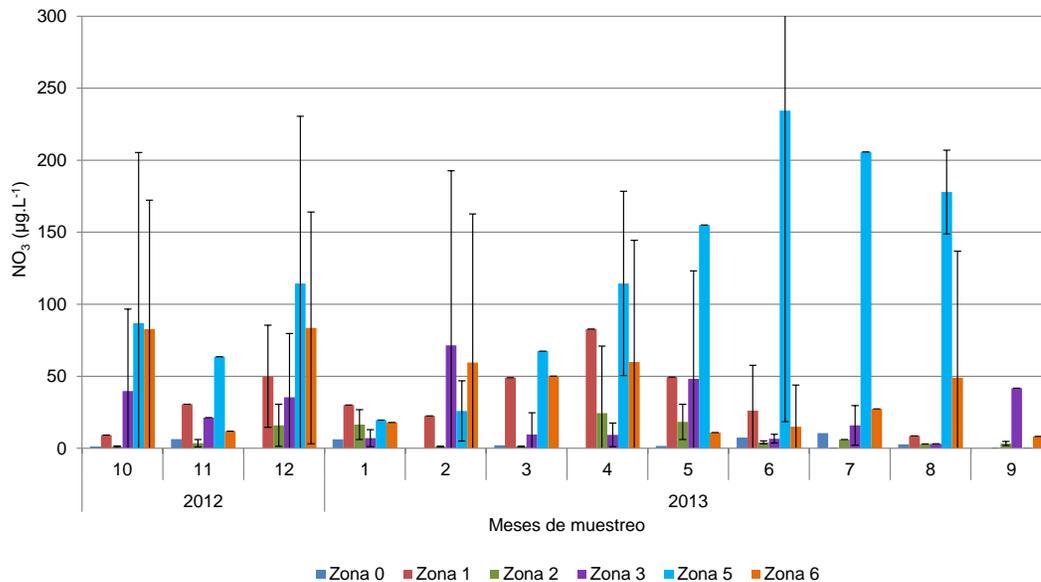


Figura 4.4.28. Concentraciones promedio de nitrato (NO_3 , $\mu\text{g/L}$) en el agua superficial de las seis zonas de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Fosfatos

El fósforo es un nutriente limitante para el fitoplancton y se considera el mayor precursor de la eutrofización en los cuerpos de agua (Manahan, 2007). Parte del fósforo constituyente de la materia orgánica depositada sobre el sedimento, es liberado rápidamente a partir de la actividad degradadora de bacterias y alimentaria de los ciliados (Arenas y De la Lanza, 1990); la fracción de fósforo acumulada en las capas más profundas del sedimento, se puede liberar gradualmente por procesos de reducción química (Navas *et al.*, 2002).

En la Figura 4.4.29, se observa que la zona 1 presentó entre octubre de 2012 y septiembre de 2013, las concentraciones más altas de fosfatos, con promedios que variaron entre 68,8 y 153,4 $\mu\text{g/L}$, situación que evidencia que los tributarios de la SNSM son la principal fuente de fósforo al sistema, atribuible a que estos ríos recorren zonas donde se desarrolla una intensa actividad agrícola en las que se utilizan fertilizantes con compuestos de fosfatos. La zona 5 (12,8 – 64,8 $\mu\text{g/L}$) y la zona 6 (7,1 – 52,1 $\mu\text{g/L}$) influenciadas por el río Magdalena, también representan una importante entrada de este nutriente al complejo lagunar.

Los promedios más bajos de fosfatos se registraron en la zona marina (1,8 – 22,4 $\mu\text{g/L}$), el cuerpo de agua principal (1,8 – 46,5 $\mu\text{g/L}$) y el complejo de Pajarales (7,5 – 42,3 $\mu\text{g/L}$). No se encontró una tendencia de aumento o disminución en la concentración de este nutriente con respecto a las épocas climáticas presentadas durante los meses del monitoreo.

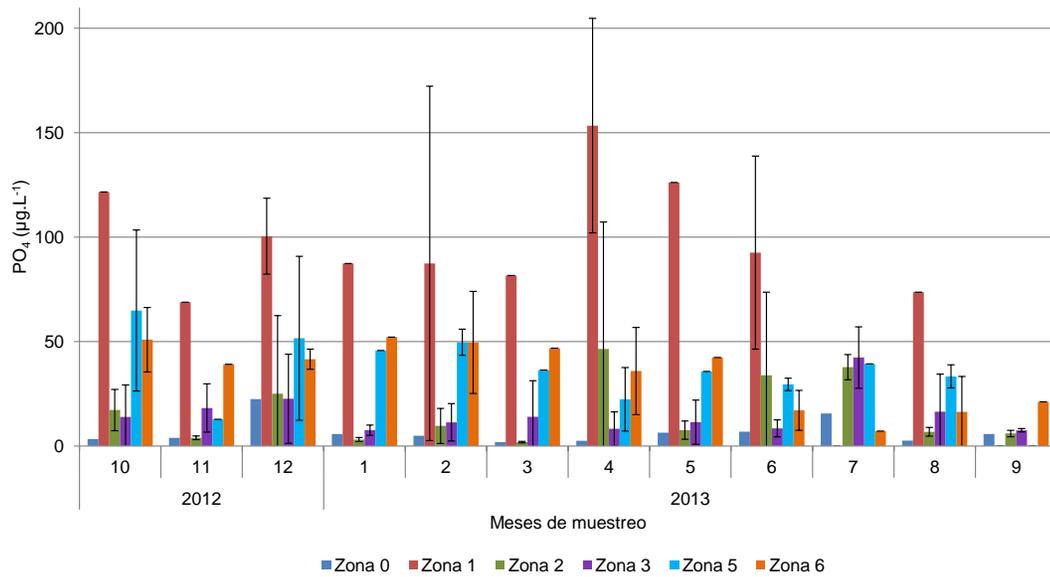


Figura 4.4.29. Concentraciones promedio de fosfato (PO_4 , $\mu\text{g/L}$) en el agua superficial de las seis zonas de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

4.4.6.3 Calidad Microbiológica

Coliformes Totales (CTT): En el análisis de la tendencia espacial se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$), el mayor promedio fue registrado en la zona 1 con concentraciones de $4.754 \pm 0,50$ NMP/100mL, que con respecto a las demás zonas presentó el 44 % de casos de incumplimiento dentro de sus mediciones mensuales, alcanzando una máxima concentración de 54.000NMP/100mLen mayo de 2013 (Figura 4.4.30). Estas concentraciones se atribuyen a que la zona es influenciada por los tributarios provenientes de la SNSM, que durante mayo presentaron leves ascensos por aumento en las precipitaciones registradas en la Sierra Nevada y sectores del caribe (IDEAM, 2013).

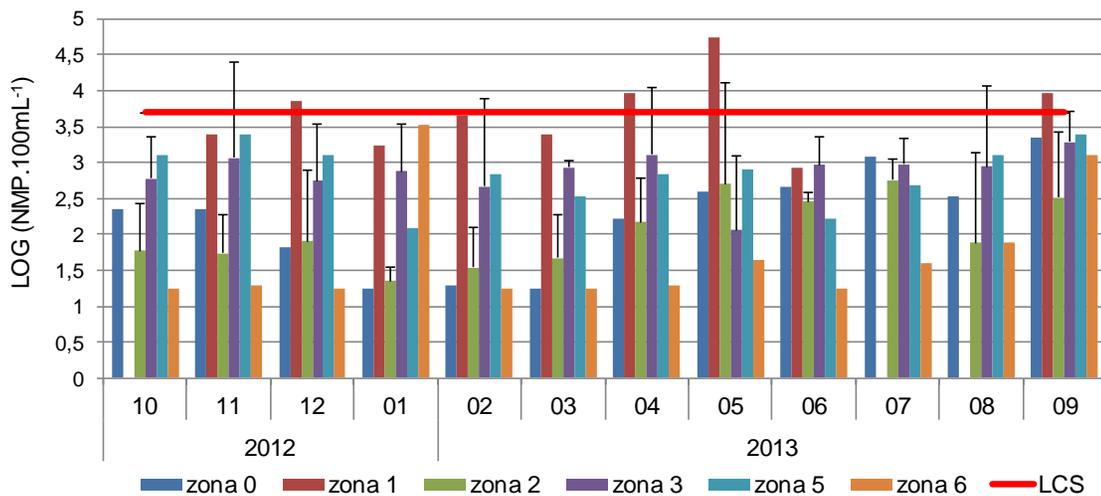


Figura 4.4.30. Concentración promedio de coliformes totales en el agua superficial de las estaciones de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. La línea roja indica el límite establecido por el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984), para el desarrollo de actividades recreativas de contacto secundario (LCS: $< \text{LOG}5.000$ NMP/100mL). Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Coliformes Termotolerantes (CTE): A nivel espacial se encontraron diferencias significativas en los niveles de CTE ($p < 0,05$), el mayor promedio fue registrado en la zona 1 con un aporte de $2.450 \pm 0,73$ NMP/100mL. El 89 % de las mediciones mensuales superaron el límite establecido por la legislación nacional, con concentraciones de CTE máximas de 24.000 NMP/100mL, registradas en mayo de 2013 (Figura 4.4.31).

En las zonas 3 y 5, el 58 % de las mediciones mensuales presentaron valores superiores al límite permisible, con un promedio en el período 2012-2013 de 240NMP/100mLy 262NMP/100mL respectivamente, por lo que estos aportes de CTE a la CGSM, pueden representar un factor de riesgo a la salud de las personas que emplean este recurso para las actividades de saneamiento básico (Ibarra *et al.*, 2013). Las zonas 0, 2 y 6, presentaron los menores casos de incumplimiento con respecto al límite permisible, con un 25 %, 17 % y 8 % respectivamente; la estación Centro CGSM ubicada en la zona 2 presentó la menor concentración y se registró en el mes de septiembre de 2013 (INVEMAR, 2013).

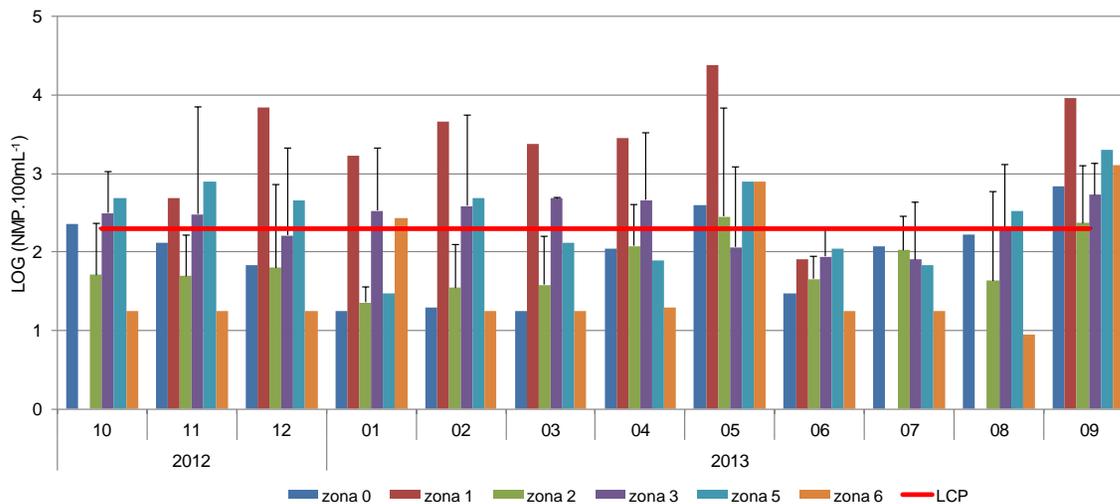


Figura 4.4.31 Concentración promedio de coliformes termotolerantes en el agua superficial de las estaciones de la CGSM, durante el monitoreo octubre 2012-septiembre 2013. La línea roja indica el límite establecido por el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984), para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario (LCP: $< \text{LOG } 200 \text{ NMP}/100\text{mL}$). Las barras negras corresponden a la desviación estándar.

Microorganismos indicadores de riesgo para la salud humana

En la Tabla 4.4.4, se observan los resultados de presencia de grupos bacterianos *Vibrio sp.* y *Aeromonassp.* en las seis zonas de la CGSM entre octubre 2012 y septiembre 2013. El grupo bacteriano *Aeromonassp.* presentó menores registros que *Vibrio sp.* cuando los valores de salinidad aumentaron, ya que está ligado a ambientes dulceacuícolas (Forbes, 2009; Gonzales, *et al.*, 2004; López *et al.*, 2011).

La presencia de estos grupos bacterianos se registró de manera frecuente en las estaciones Rinconada, Tasajera y Centro CGSM (Tabla 4.4.4), las cuales hacen parte del cuerpo de agua principal del sistema lagunar. Su proximidad a la zona marina (Cadavid, *et al.*, 2011) hace que los valores de salinidad varíen de acuerdo a la dinámica del sistema influyendo en la presencia de *Aeromonas sp.*, no obstante, los casos en que se registró la presencia de este grupo, pueden asociarse a la influencia del río Magdalena a través de la Boca del Caño Clarín y por los aportes de las descargas de aguas servidas.

Tabla 4.4.4 Número de veces de registros de presencia para los grupos bacterianos *Vibrio sp.*, y *Aeromonassp.*, en las seis zonas de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Zona	Estación	n*	Presencia de <i>Vibrio sp.</i>	Presencia de <i>Aeromonassp.</i>
0	LBA	10	10	7
1	TRO	8	8	6
2	RIN	8	9	4
	TAS	10	10	6
	ROS	10	10	8
	CEN	10	10	4
3	BVA	10	10	7
	NVE	10	10	8
	CAN	10	10	8
5	BCC	10	10	6
6	CET	10	10	6

*Número de mediciones entre octubre 2012 y septiembre 2013.

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 2012 – época seca 2013), 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 el caso del Pb, las mayores concentraciones se registraron en las zonas 1 (32,7 µg/L, ríos SNSM) y 2 (13,1 µg/L, cuerpo de agua principal); no obstante, los valores han estado por debajo de los niveles de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).

Por otra parte, las concentraciones de Cu y Ni estuvieron por debajo del límite de detección (<0,5) hasta 5,8 (zona 5) y 25,3 (zona 1) µg/L, respectivamente. El Zn, presentó una variación entre <0,8 y 100,4 µg/L, la mayor concentración fue medida en la época de lluvias de 2012 en la zona 2, sobrepasando los valores de referencia de la NOAA.

4.4.7 Conclusiones

Durante la época lluviosa 2012 y seca 2013 las condiciones fisicoquímicas de las aguas marino-costeras del departamento del Magdalena presentaron variaciones en respuesta a fenómenos de surgencia causado por el transporte de Ekman y por acción de los vientos alisios, especialmente en época seca. Así mismo, en época lluviosa se evidenció la influencia de las precipitaciones y descargas continentales sobre las aguas marinas. En las estaciones del Parque Tayrona se continúan registrando temperaturas ligeramente cálidas, cercanas a 30 °C, lo cual implica un riesgo de degradación de los corales por blanqueamiento principalmente en épocas lluviosas. Los valores de pH, salinidad y oxígeno disuelto se registraron dentro de los rangos de variación histórica del departamento y los criterios establecidos en la legislación colombiana. En el caso del oxígeno, las estaciones de playa Mendihuaca, Muelle de Cabotaje y el río Manzanares, estuvieron por debajo del valor de referencia para la preservación de la vida acuática.

Por los resultados de sólidos se evidenció que a la franja costera están llegando considerables descargas continentales a través de los ríos Manzanares y Gaira, y en la Calle 10 por las escorrentías urbanas, no obstante, las altas concentraciones son puntuales y se presentaron durante la época lluviosa de 2012.

En cuanto a las condiciones microbiológicas, las mediciones de CTT y CTE mostraron que los mayores aportes hacia la zona costera, los recibieron de los ríos Manzanares y Gaira, sumado a las escorrentías de la Calle 10 (muelle de Cabotaje), principalmente en la época de lluvias. A pesar de las diferencias climáticas que mostraron los datos históricos, las concentraciones más altas se presentan durante la época lluviosa y por ende, los mayores casos de incumplimiento de la norma, ya que las estaciones sobrepasan los límites permisibles por la legislación nacional para contacto primario y secundario.

En términos de hidrocarburos, la mayoría de las estaciones han permanecido con niveles bajos, pero se presentan algunos casos puntuales que sobrepasan el valor de referencia, como ocurrió en la época de lluvias de 2012 en el río Guachaca, así como los aportes que llegan a la bahía de Santa Marta a través del río Manzanares, el muelle de Cabotaje (Calle 10) y el puente de la Calle 22. Desde el 2008 la tendencia en las concentraciones de plaguicidas en las aguas del departamento es decreciente con una reducción significativa en el tiempo (frecuencia de aparición menor al 8% en los últimos cuatro años, incluso para los plaguicidas de uso actual.

Los aportes de los metales pesados Pb, Cd, Cr, Zn, Ni y Fe en las aguas marinas del departamento fueron relativamente bajos, no generaron riesgo, según las guías internacionales; y su presencia se debe básicamente a las aguas servidas y algunas actividades productivas que se desarrollan en la zona costera. Aunque la estación frente a Buritaca en la época lluviosa, registró concentraciones de Cu ligeramente por encima del valor referenciado como riesgo en guías internacionales, fue un registro puntual, ya que en época seca, estuvo por debajo del límite de detección de la técnica, indicando que no existe riesgo de contaminación en esa zona.

En un contexto general, la mayoría de las estaciones del departamento del Magdalena cumplieron con los criterios de calidad del agua con condiciones adecuadas para la preservación de la flora y la fauna, no obstante, persisten varios sitios que requieren especial atención porque la mayoría de las variables incumplieron con las normas o valores de referencia como el muelle de Cabotaje - Calle 10, la Calle 22, los ríos Manzanares y Gaira; y en una menor proporción los ríos Buritaca y Mendihuaca.

Durante el periodo evaluado (octubre 2012-septiembre 2013), las condiciones fisicoquímicas del sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) no se vieron fuertemente afectadas con las condiciones climáticas registradas en la región Caribe. Se encontraron mínimos cambios en el sistema con respecto al monitoreo del año anterior.

Con respecto al decreto 1594 de 1984 de la legislación Colombiana, se encontró que en el período de estudio el oxígeno disuelto en la mayoría de las zonas presentó condiciones favorables para la preservación de flora y fauna; sin embargo, en las zonas de los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y el río Magdalena, se registraron concentraciones inferiores al valor permisible, atribuidos a procesos de oxidación de materia orgánica por posibles descargas de aguas servidas. Los valores de pH, con excepción de casos puntuales en octubre de 2012 y agosto de 2013, se enmarcaron dentro de los límites permisibles que establece la norma citada.

En el caso de los nutrientes, las principales vías de ingreso al sistema lagunar han sido los tributarios de la SNSM y el río Magdalena, lo cual se evidencia por el aumento de concentración en las zonas de influencia directa de estos ríos (zonas 1-Ríos de la SNSM, 5-río Magdalena y 6-Salamanca).

El río Magdalena genera una gran influencia sobre la distribución de los metales en la CGSM, siendo las zonas 5 (río Magdalena) y 6 (Salamanca), donde se han encontrado las mayores concentraciones de los metales analizados; aporte regido por los factores climáticos que controlan la entrada de aguas al sistema CGSM.

Las concentraciones de coliformes totales presentaron concentraciones por debajo del límite establecido en la legislación colombiana, exceptuando la zona 1 que en abril y mayo, superó este umbral; mientras que

para los coliformes termotolerantes se presentaron mayores casos de incumplimiento en las seis zonas, excluyendo los meses de junio y julio, en los cuales las mediciones no superaron el valor permitido. Es importante destacar que en el período evaluado los niveles de coliformes disminuyeron con respecto a los de 2012, no obstante, la exposición de pobladores de la CGSM a aguas que sobrepasen el umbral de coliformes, puede acarrearles riesgos para su salud por enfermedades gastrointestinales, dérmicas, infección de mucosas, entre otras.

El seguimiento e identificación de otros grupos microbianos permitió establecer otros microorganismos presentes en el sistema que pueden generar problemas de salud, pesca y acuicultura. Es importante continuar evaluando la presencia de *Aeromonas* sp., y *Vibrio* sp., para establecer en un futuro si los problemas de salud en el área de Ciénaga se relaciona a bacterias diferentes a los coliformes termotolerantes, los cuales al no estar incluidos en la legislación nacional como indicadores de calidad no reciben seguimiento adecuado.

Atlántico



Playa Santa Verónica, Foto: Yadi Moreno

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).

Con el fin de establecer la influencia de las actividades desarrolladas en el departamento se han localizado 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). Los muestreos se realizaron el 21 de Noviembre 2012 (época de lluvia 2012) y el 13 de Marzo (época seca 2013).

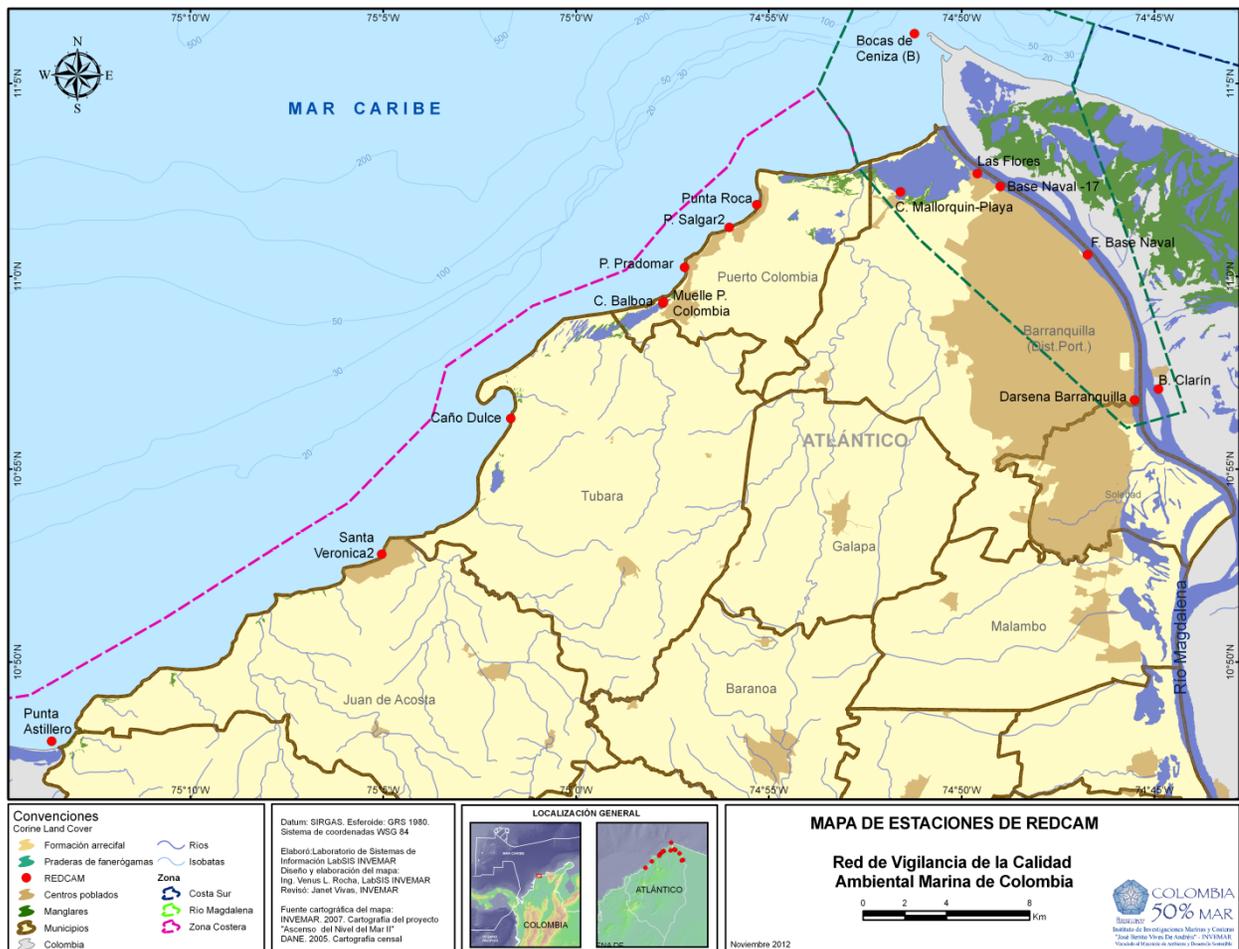


Figura 4.5.1. Estaciones de muestreo en el departamento de Atlántico

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).

4.5.1 Variables Fisicoquímicas

4.5.1.1 *In situ*

Temperatura

La temperatura en las diferentes estaciones de muestreo en el río Magdalena y la zona costera osciló entre 28,1 °C y 30,9 °C en la época lluviosa 2012 y entre 27,4 °C a 30,8 °C para la época seca 2013; se observó una tendencia hacia la disminución de temperatura en la mayoría de estaciones de carácter marino y estuarino, durante la época 2013 con respecto a la época lluviosa del año 2012, esto debido a la influencia de los vientos alisios del noreste (NE) que se presentan históricamente en la región Caribe entre los meses diciembre y abril, y generan temperaturas más bajas en las capas superficiales de las aguas marinas (Bernal et al., 2006). Cabe resaltar el comportamiento de la temperatura en la ciénaga de Balboa, la cual fue la única estación donde se observó un aumento de temperatura (0,9 °C) durante la época seca 2013 posiblemente causado por la disminución del nivel de su columna de agua y la incidencia del fenómeno del niño (IDEAM, 2012; Figura 4.5.2). Históricamente los valores promedio de temperatura registrados para las estaciones de muestreo de la zona costera en el departamento del Atlántico muestran una tendencia marcada hacia la disminución al comparar las épocas lluviosa y seca (Figura 4.5.3); tendencia que ocurre posiblemente según lo explicado anteriormente.

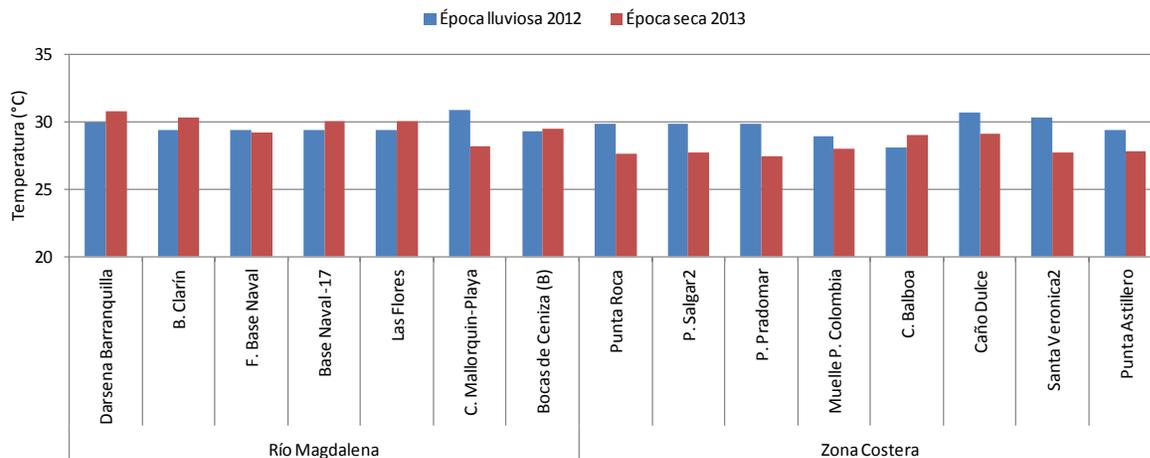


Figura 4.5.2. Temperatura (°C) del agua superficial en las estaciones de muestreo del departamento del Atlántico en las épocas lluviosa del año 2012 y seca del 2013.

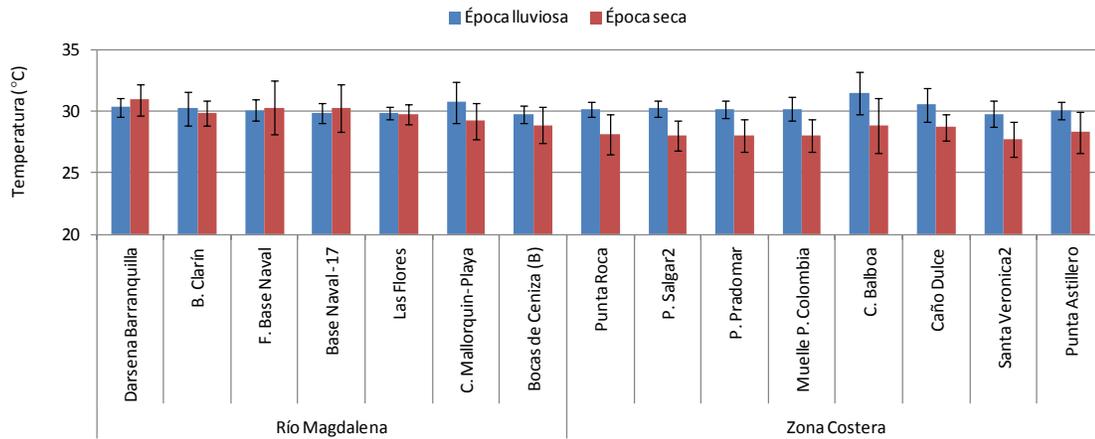


Figura 4.5.3. Promedio Histórico de los valores de temperatura de las aguas superficiales de las estaciones de muestreo del departamento del Atlántico, entre las épocas lluviosa y seca de los años 2001 al 2013.

Salinidad

Durante la época lluviosa del año 2012, la salinidad de las estaciones de muestreo ubicadas en el río Magdalena varió entre 0,0 y 19,8 y en la época seca del 2013 entre 0,0 y 14,3; la mayoría de estas estaciones, por su característica fluvial presentaron valores de salinidad por debajo de 0,8 a excepción de la estación C Mallorquín-Playa, (19,8 época lluviosa) y (14,3 época seca); debido a su naturaleza estuarina. En las estaciones de la zona costera la salinidad presentó ligeras variaciones entre las dos épocas (32,5-33,3 y 34,2-37,2 lluviosa y seca respectivamente) marcándose la tendencia temporal a aumentar en la época seca, como consecuencia de la presencia estacional de los eventos de surgencia causados por el transporte de Ekman y la acción de vientos continentales en el Caribe colombiano durante esta época (Arévalo y Franco, 2008) (Figura 4.5.4).

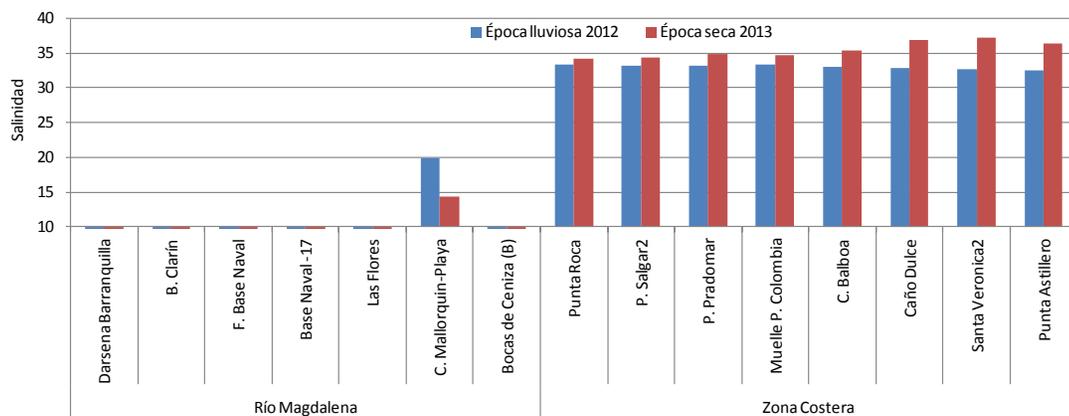


Figura 4.5.4. Salinidad del agua superficial del departamento del Atlántico monitoreada en la época lluviosa del año 2012 y la seca del 2013.

Las estaciones que han presentado históricamente mayor variación entre épocas son C Mallorquín –Playa (9,32), Punta Astillero (6,35) y C. Balboa (6,35) debido a factores tales como los fenómenos de la niña y el niño, su régimen hidrológico y su naturaleza estuarina (Figura 4.5.5).

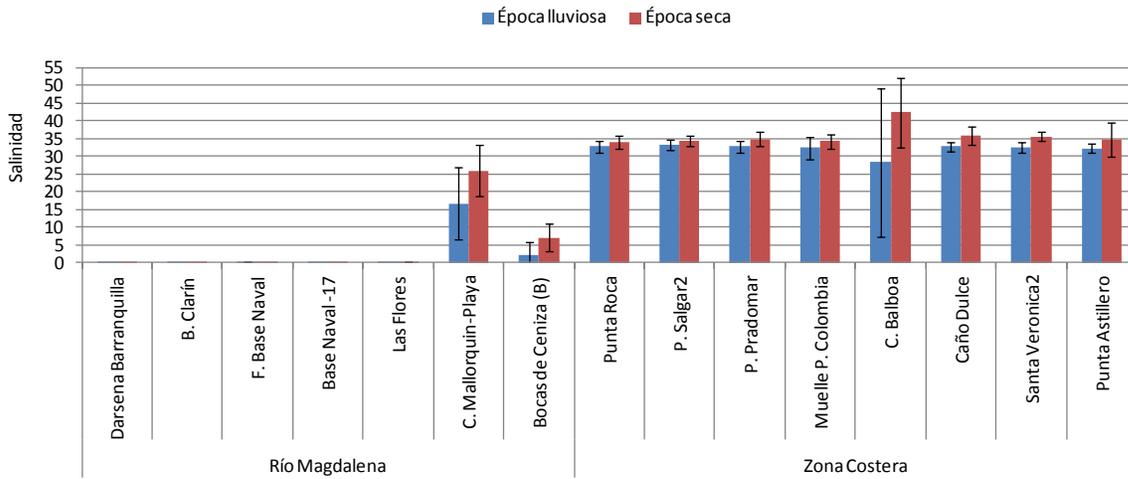


Figura 4.5.5. Promedio de la salinidad de las aguas superficiales del departamento del Atlántico monitoreadas entre las épocas lluviosa y seca del año 2001 a 2013. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

pH

El pH en todas las estaciones de muestreo fluctuó entre 7,12 hasta 9,17 en la época lluviosa de 2012 y entre 5,60 y 8,80 para la época seca del 2013, presentándose la mayor variabilidad en las estaciones del río Magdalena por ser aguas fluviales o estuarinas de poca capacidad paramantener estable el pH (Capacidad Buffer). Durante la época lluviosa 2012 en la ciénaga de Mallorquín estación Urb. playa se registró un pH de 9,17 que superó los niveles de calidad permisibles para la preservación de flora y fauna 6,5 a 8,5 y 4.5 a 9.0 (Minsalud, 1984), de igual manera en la ciénaga de Balboa el pH (8,6) superó ligeramente la norma en la misma época climática (Figura 4.5.6). Este aumento posiblemente se debe a diferentes factores tales como la actividad fotosintética que se produce en la ciénaga y que genera el consumo de CO₂, lo cual favorece el aumento de pH (Mvungi *et al.*, 2012). De la misma manera, la actividad de los organismos que intervienen en el ciclo del CO₂, tales como moluscos y bivalvos que con su muerte, liberan cantidades significativas de carbonatos en el medio (Sanchez *et al.*, 2007).

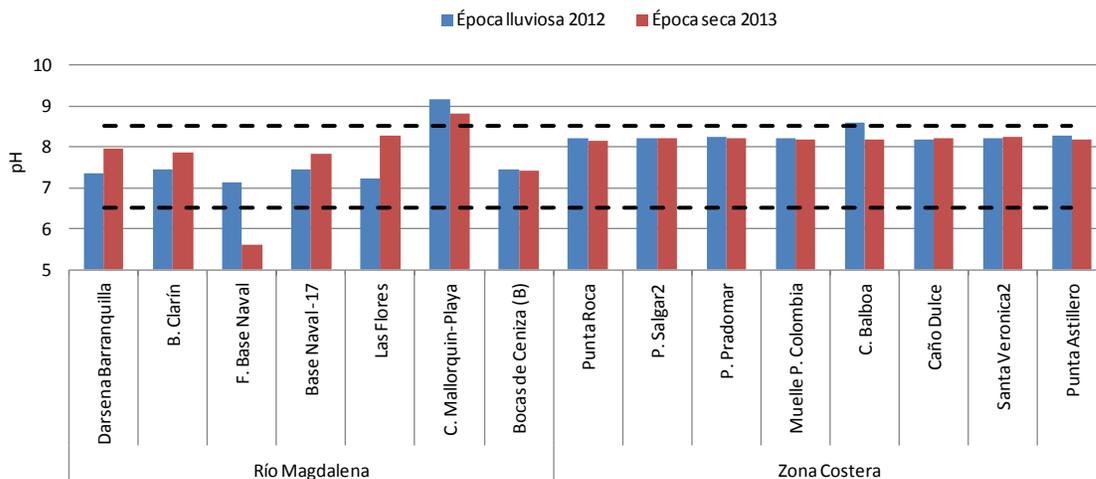


Figura 4.5.6. Valores de pH de las estaciones del departamento del Atlántico monitoreadas en las épocas lluviosas 2012 y seca 2013. Las líneas negras punteadas representan el máximo y el mínimo rango establecido para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Los valores promedio de pH en las estaciones de muestreo de río Magdalena y la zona costera presentados durante los últimos 12 años han registrado variabilidad dentro del rango establecido según la legislación colombiana, a excepción de la estación de C. Mallorquín-Playa que lo ha superado en las épocas lluviosas de los años 2010 al 2012 y en la época seca del año 2013. (Figura 4.5.7).

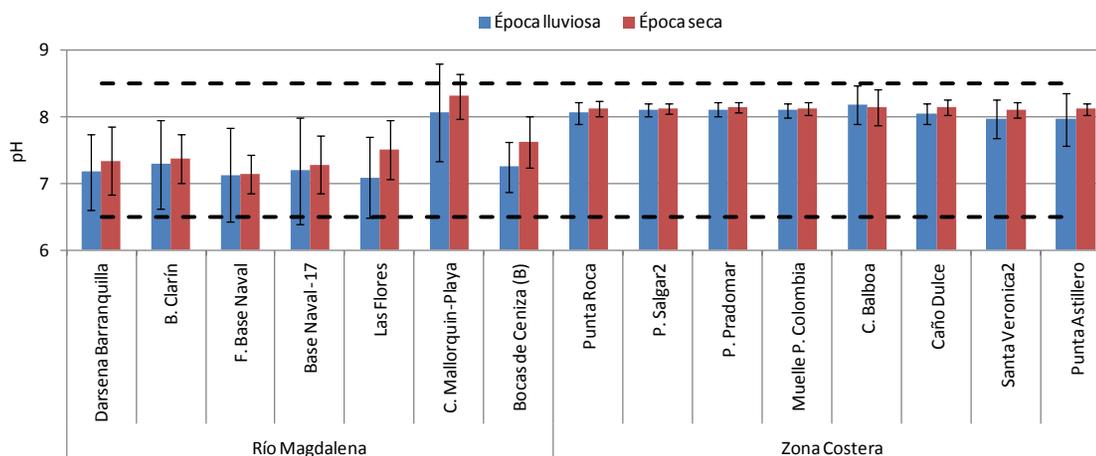


Figura 4.5.7. Promedios de valores de pH de las estaciones del departamento del Atlántico monitoreadas entre las épocas lluviosa y seca del año 2001 a 2013. Las barras de error representan la desviación estándar de las mediciones históricas.

Oxígeno Disuelto

El Oxígeno disuelto (OD) durante las épocas lluviosa 2012 fluctuó entre 0,13 mg/L -14,1 mg/L y en la época seca 2013 entre 4,11 mg/L y 6,84 mg/L. En la época lluviosa del 2012 los valores presentados en las estaciones de muestreo del río Magdalena: F. Base Naval, Dársena Barranquilla, las Flores y Base Naval-17 (0,13 mg/L, 3,65 mg/L, 3,86 mg/L, 3,88 mg/L respectivamente) se encontraron por debajo de 4,0 mg/L considerado el valor mínimo de calidad para la preservación de flora y fauna (MinSalud, 1984). Por otra parte, la estación C. Mallorquín-Playa presentó el mayor valor de todas las estaciones (14,1 mg/L) en la época lluviosa. En las estaciones de zona costera los valores de OD se mantuvieron por encima del límite mínimo y sin mucha variación entre épocas (promedio lluvias: $5,7 \pm 0,9$ y promedio seca: $6,1 \pm 0,5$) (Figura 4.5.8). La disminución en el valor del OD en las estaciones de Río Magdalena durante la época lluviosa, puede deberse a las descargas de aguas residuales e industriales generadas por el complejo industrial (vía 40) de la ciudad de Barranquilla que incrementa la DBO y por ende la disminución de OD en estas aguas.

Los promedios históricos de OD muestran que las estaciones ubicadas en el Río Magdalena presentan la mayor variabilidad entre épocas (lluvias: $5,24 \pm 1,8$ y seca: $5,83 \pm 1,3$). De la misma forma, las estaciones de C. Mallorquín – Playa ($8,89 \pm 4,62$) y C. Balboa ($7,17 \pm 2,46$) presentan los valores promedio más altos de OD en época lluviosa y seca respectivamente; este comportamiento puede estar relacionado con la actividad de organismos fotosintéticos que favorece el aumento del OD en aguas (Sanchez *et al.*, 2007); en el caso de la estación frente a Base Naval, históricamente se ha mantenido por debajo del límite mínimo de OD para la preservación de flora y fauna por las razones discutidas anteriormente (Figura 4.5.9).

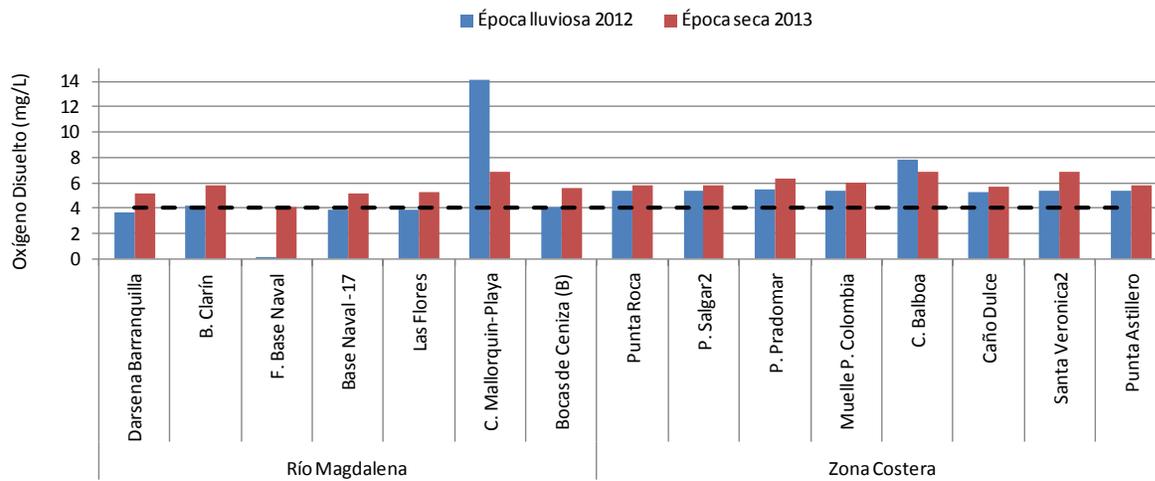


Figura 4.5.8. Oxígeno disuelto OD (mg/L) de las aguas superficiales del departamento del Atlántico monitoreado en las épocas lluviosa 2012 y seca 2013. La línea negra punteada representa el límite mínimo de OD para la preservación de la flora y fauna según el decreto 1594 (MinSalud, 1984).

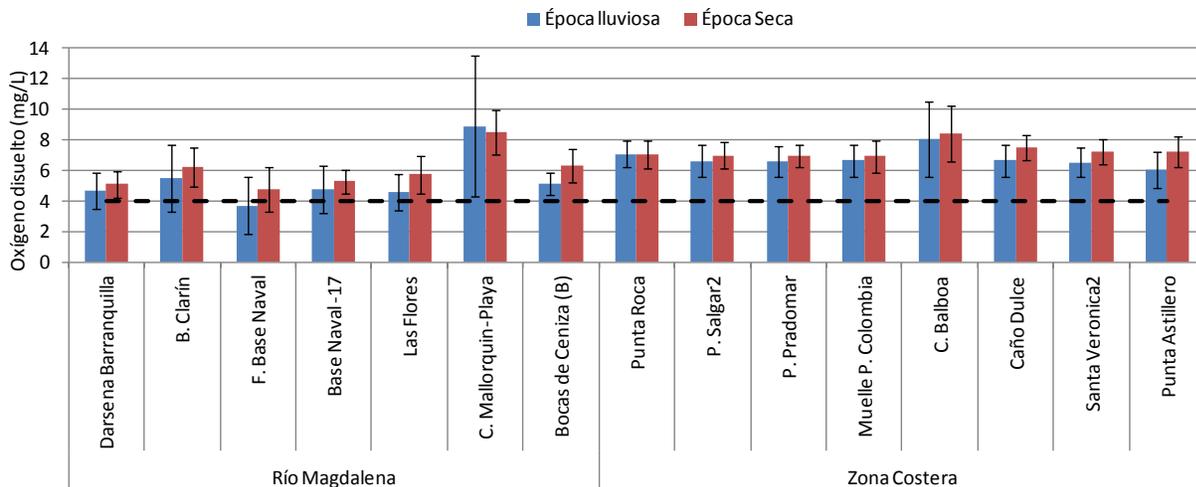


Figura 4.5.9. Promedio histórico del OD en las estaciones del departamento del Atlántico monitoreos realizados entre las épocas lluviosa y seca del 2001 al 2013. Las barras de error representan la desviación estándar de las mediciones históricas.

4.5.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendedos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las aguas superficiales costeras del departamento de Atlántico mostraron amplios intervalos de variación espacial y temporal. Los valores fluctuaron entre 18,1 mg/L y 249 mg/L durante la época de lluvias de 2012 y entre 62 mg/L y 293,8 mg/L durante la época seca de 2013 (Figura 4.5.10). En las estaciones de la zona costera hubo tendencia generalizada de concentraciones más altas durante la época seca 2013, en comparación con la época lluviosa de 2012.

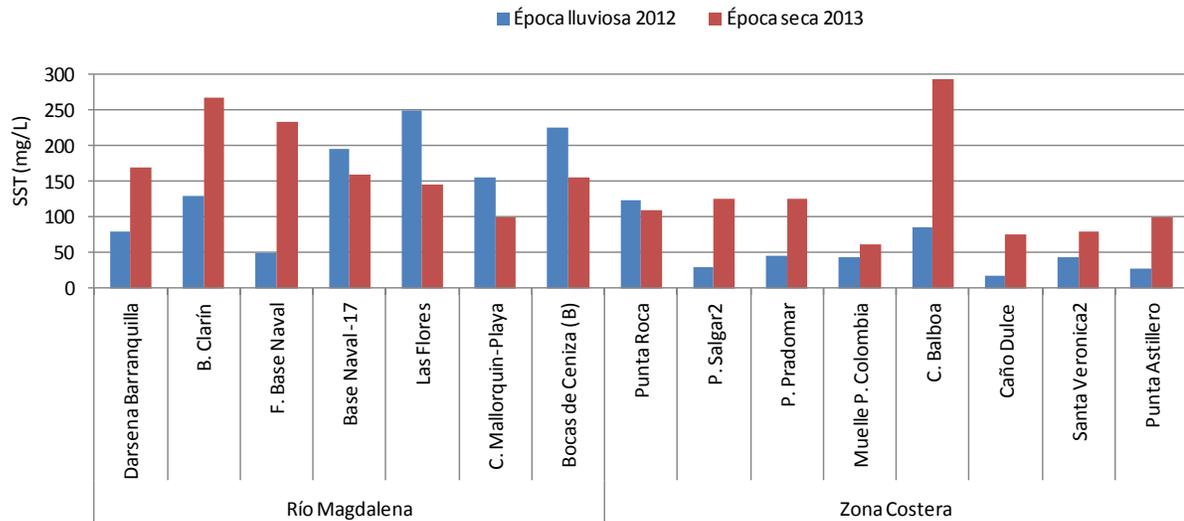


Figura 4.5.10. Concentraciones de SST (mg/L) medidas en aguas superficiales del departamento del Atlántico en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Para las estaciones de la zona del río Magdalena no se observó tendencia entre épocas de muestreo sin embargo se registraron los mayores aportes de SST en la época seca 2013, particularmente en las estaciones Boca Caño Clarín (263,7 mg/L) y Frente Base Naval (233 mg/L), con niveles de SST que sin embargo no superaron los promedios históricos (Figura 4.5.11). Las altas concentraciones de SST y su variación en las estaciones del río han sido relacionadas con la frecuencia y cantidad de descargas de aguas residuales provenientes de la zona industrial (Vía 40) de la ciudad de Barranquilla. En la zona costera las concentraciones de SST fueron bajas durante el último periodo de estudio pese a su exposición a los fuertes vientos y oleaje de la época de seca, a excepción de la estación Ciénaga de Balboa que presenta la concentración más alta de SST (293,8 mg/L época seca) superando el valor promedio histórico de SST registrado en ella hasta el momento ($115,3 \pm 76,8$ mg/L).

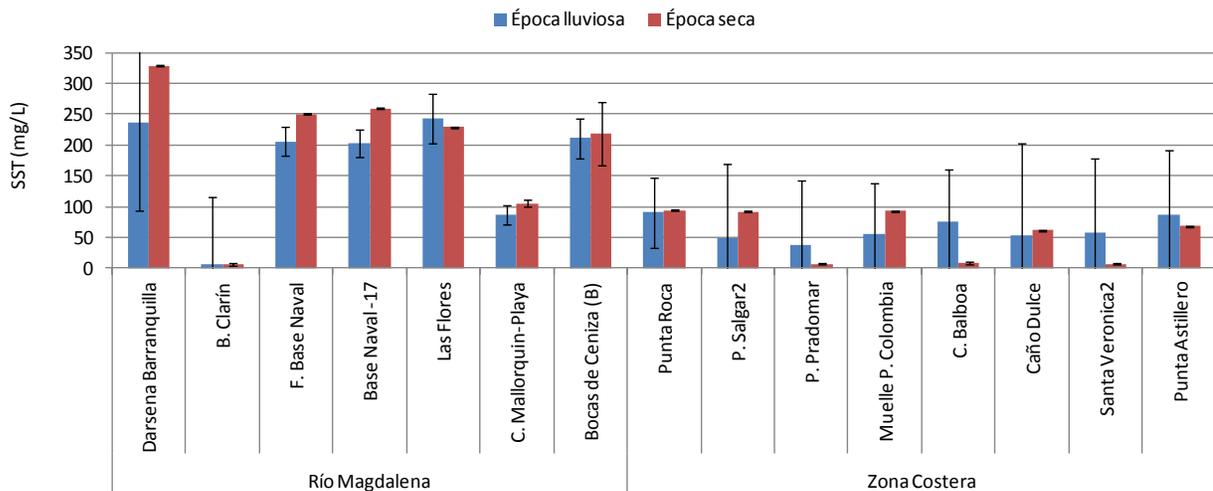


Figura 4.5.11. Concentración de SST (mg/L) medidos semestralmente en las épocas lluviosa y seca entre el 2001 y 2013 en aguas superficiales del departamento del Atlántico. Las barras de error representan la desviación estándar.

Nutrientes

Se realizó el análisis de las formas nitrogenadas de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y amonio (NH_4^+), y de Fósforo Reactivo Soluble (FRS) ó fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-). En cuanto a las concentraciones de NO_2^- se observó variación entre estaciones y épocas de muestreo, con valores que fluctuaron entre 0,9 $\mu\text{g/L}$ y 15, 2 $\mu\text{g/L}$ durante la época lluviosa de 2012 y entre 0,7 $\mu\text{g/L}$ y 45 $\mu\text{g/L}$ durante la época seca de 2013 (Figura 4.5.12). Las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones ubicadas en la zona del río Magdalena siendo la estación de Las Flores la que presentó el valor más alto en época seca (45 $\mu\text{g/L}$) la cual supero el promedio histórico ($23,0 \pm 27,0 \mu\text{g/L}$) registrado en ella. En la zona costera las concentraciones de NO_2^- no superaron los 5,0 $\mu\text{g/L}$; excepto en playa Pradomar y la ciénaga de Balboa que presentaron concentraciones ligeramente superiores (6,8 $\mu\text{g/L}$ y 5,8 $\mu\text{g/L}$ respectivamente).

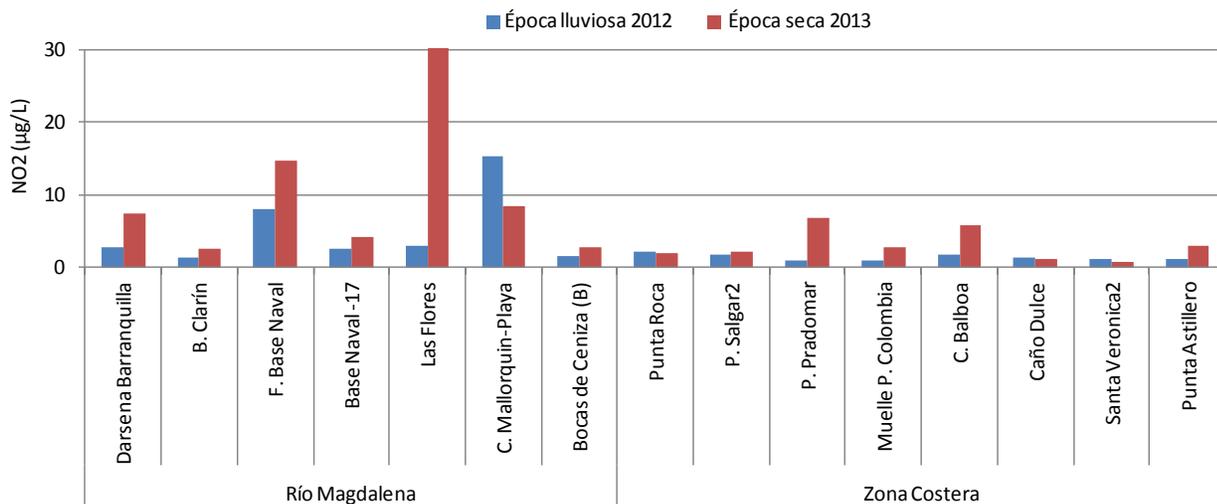


Figura 4.5.12. Concentraciones de NO_2^- ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Atlántico en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

El NO_3^- fue la forma nitrogenada más abundante, cuyos valores se encontraron entre $<0,6 \mu\text{g/L}$ y 216 $\mu\text{g/L}$ en la época lluviosa y entre 2,7 $\mu\text{g/L}$ y 296 $\mu\text{g/L}$ durante la época seca (Figura 4.5.13). Igualmente se observó un patrón de distribución con altas concentraciones de NO_3^- en las estaciones del río y durante la época seca principalmente. Este incremento fue de aproximadamente 9 veces en comparación con las estaciones de la zona costera.

Las concentraciones de NH_4^+ presentaron amplios intervalos de variación entre estaciones y épocas de muestreo, particularmente en el grupo de estaciones ubicadas sobre el río Magdalena. Entre épocas se observó una tendencia de mayores valores durante la época seca en comparación con las lluvias (Figura 4.5.14). La estación F. Base Naval presentó las mayores concentraciones para ambas épocas (lluviosa: 1818,8 $\mu\text{g/L}$ y seca: 1288,5 $\mu\text{g/L}$).

En las estaciones costeras los valores de NH_4^+ fueron más bajos y mostraron una tendencia de incremento hacia las estaciones más alejadas a la desembocadura del río Magdalena (Figura 4.5.14). En general las concentraciones de las diferentes formas de nitrógeno analizadas presentaron amplias fluctuaciones entre épocas y estaciones de muestreo. Los mayores aportes se presentaron en las estaciones que están sobre el río, evidenciando a éste como una fuente directa e importante de nutrientes hacia la zona costera del departamento, debido a las prácticas de fertilización agrícola y de ganadería realizadas sobre su cuenca además de las descargas directas domésticas e industriales de la ciudad de Barranquilla.

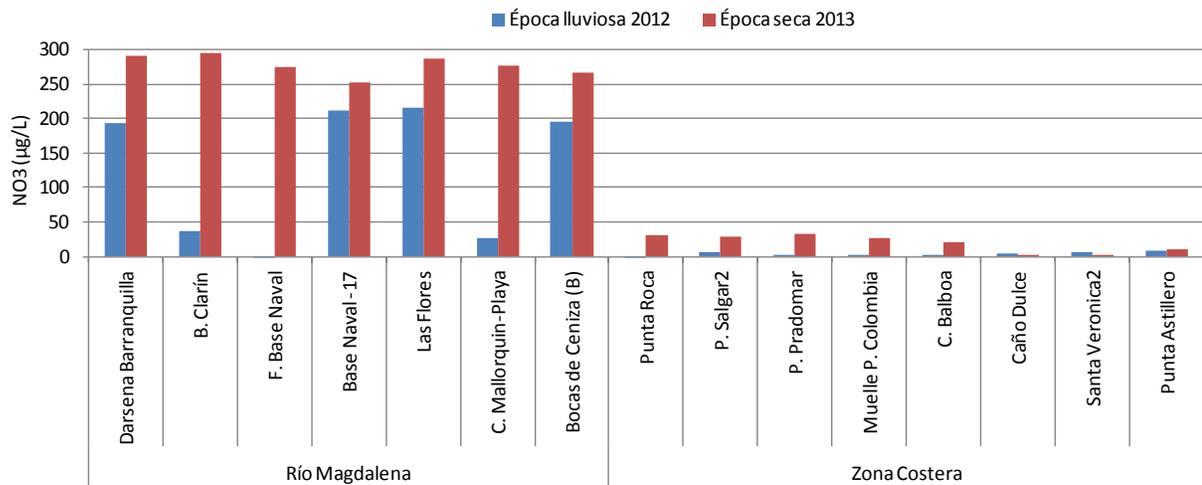


Figura 4.5.13. Concentraciones de NO₃⁻ (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento del Atlántico en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

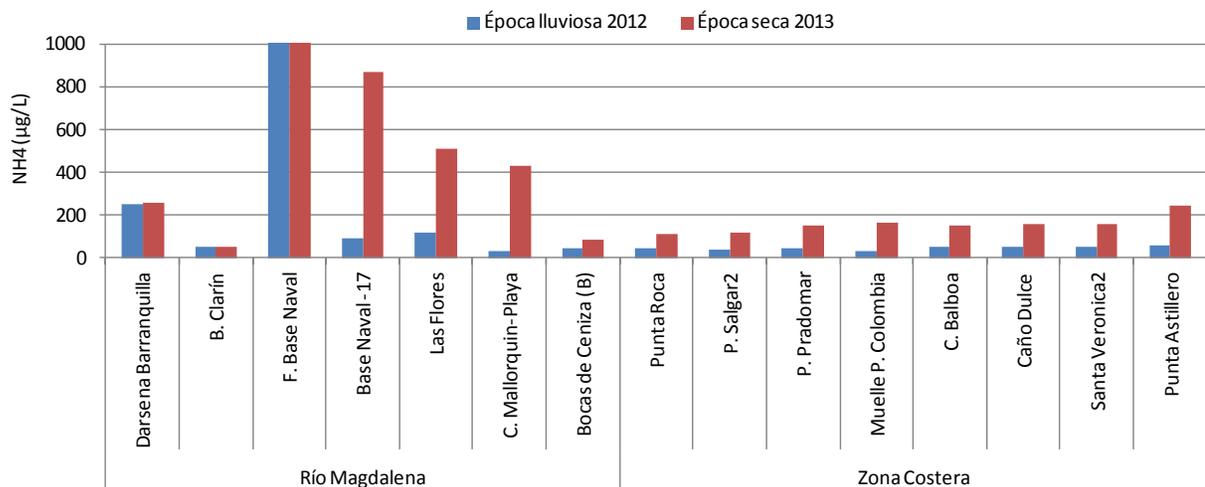


Figura 4.5.14. Concentraciones de NH₄⁺ (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento del Atlántico, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Con respecto al fósforo inorgánico disuelto (PO₄⁻), las concentraciones más altas se presentaron durante la época seca de 2013 en la mayoría de las estaciones de muestreo, excepto en F. Base Naval que registró su máximo valor durante la época de lluvias de 2012 (863 µg/L) constituyéndose en el más alto durante el periodo de muestreo (Figura 4.5.15). Al igual que el comportamiento de los nutrientes anteriormente descrito, se observó que entre zonas las mayores variaciones y aportes de PO₄⁻ se presentaron en las estaciones del río al estar influidas por actividades humanas como las descargas de aguas residuales domésticas e industriales de algunas poblaciones aledañas a su cauce y de la zona industrial de la ciudad de Barranquilla; así como al drenaje de áreas agrícolas que han recibido fertilizantes con gran cantidad de fósforo y que finalmente alcanza altos niveles mediante la escorrentía y filtración de las aguas.

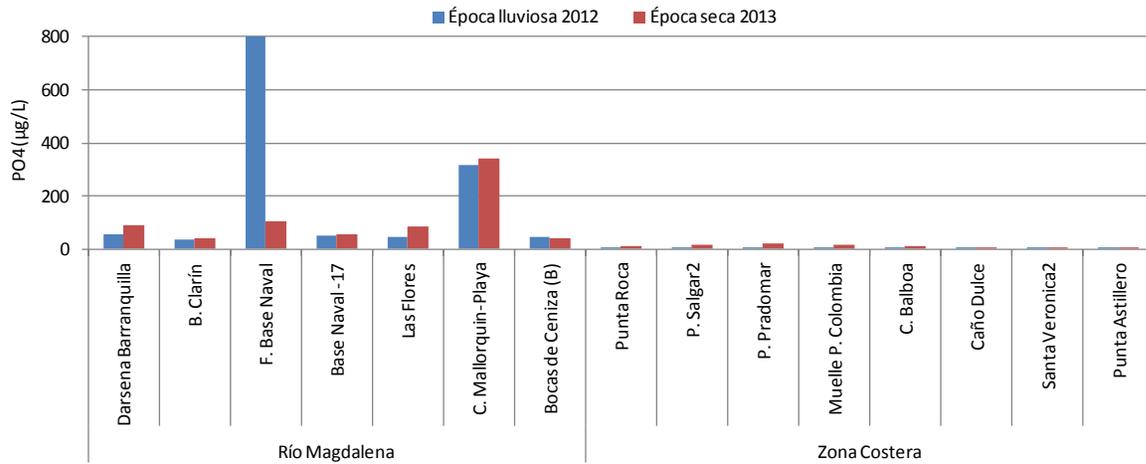


Figura 4.5.15. Concentraciones de Fósforo Reactivo Soluble - FRS (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento del Atlántico, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

4.5.2 Contaminación Microbiológica

En la Figura 4.5.16 se presentan los valores promedio desde el año 2001 hasta el 2013 para coliformes totales (CTT) en las épocas climáticas seca y lluviosa, el análisis histórico no evidenció diferencias significativas entre épocas ($p > 0,05$); sin embargo, los mayores casos de incumplimiento se registraron durante la época lluviosa en las estaciones Dársena Barranquilla ($102.730 \pm 0,82 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$) y frente Base Naval ($222.123 \pm 0,89 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$) con valores promedio que sobrepasaron los límites establecidos por la legislación nacional para el desarrollo de actividades de contacto secundario □ actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto ($< 5000 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$; MinSalud, 1984). Estas concentraciones se atribuyen a la influencia del río Magdalena que durante la temporada de lluvias incrementa su caudal, ocasionando un arrastre de los sedimentos y sustancias contaminantes; así como, al ingreso de aguas residuales de los procesos de producción industrial localizados alrededor de su cauce que aumentan la carga microbiana (Herrera y Galvis, 2012; Vivas-Aguas et al., 2012).

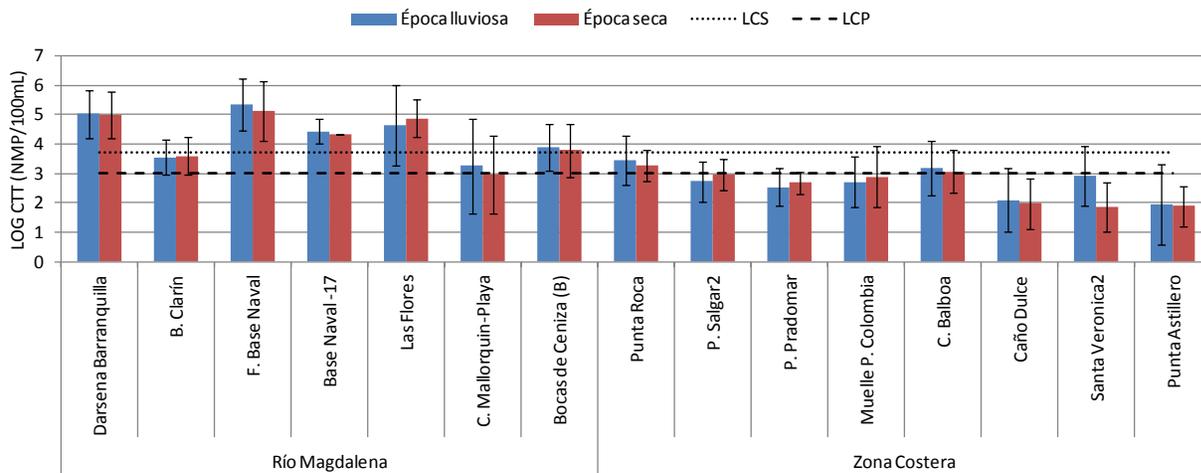


Figura 4.5.16 Concentración de CTT (LOG NMP.100 mL⁻¹) medidos en las estaciones del departamento de Atlántico del año 2001- 2013 en la época lluviosa y la época seca. La línea cortada indica el límite permisible para aguas destinadas a contacto primario (LCP) ($< 1000 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$; MinSalud, 1984) y la línea punteada indica el límite permisible para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto ($< 5000 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$; MinSalud, 1984).

El monitoreo de las aguas superficiales en las 7 playas del departamento del Atlántico, mostró que las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) en el período de estudio oscilaron entre 200 NMP.100 mL⁻¹ a 1.400 NMP.100 mL⁻¹ para la época lluviosa 2012 y entre 160 NMP.100 mL⁻¹ a 980 NMP.100 mL⁻¹ para la época seca 2013 (Tabla 4.5-1). En cuanto al registro histórico no se presentaron diferencias significativas entre épocas climáticas ($p > 0,05$), sin embargo, los casos de incumplimiento fueron registrados en la época seca en la Ciénaga de Balboa □ principal cuerpo de agua de la zona costera del departamento □ que incumplió en el 91 % de las mediciones; de igual forma en la zona de influencia del río Magdalena las estaciones punta Roca (73 %) y playas de Salgar (75 %) sobrepasaron el límite establecido para el desarrollo de actividades de contacto primario como la natación (< 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984), por lo tanto, las altas concentraciones registradas también se deben a las descargas en los cuerpos de agua de desechos industriales y de aguas residuales domésticas generadas por las poblaciones costeras, aumentando la carga microbiana (Vivas-Aguas et al., 2012).

Tabla 4.5-1 Concentración de CTE (NMP.100 mL⁻¹) medidas en las épocas climáticas lluviosa 2012 y seca 2013. En negrilla se muestran los valores que superan el límite de permisible para aguas destinadas a contacto primario (< 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

Zonas	Playa	Época Lluviosa 2012			Época Seca 2013		
		(NMP. 100 mL ⁻¹)	% casos*	n**	(NMP. 100 mL ⁻¹)	% casos*	n**
Río Magdalena	C. Mallorquín- Playa	740	56	9	980	42	12
	Punta Roca	350	56	9	380	73	11
	P. Salgar2	1400	30	10	420	75	12
	P. Pradomar	660	50	8	330	50	10
Zona Costera	Muelle P. Colombia	200	30	10	960	50	12
	C. Balboa	250	57	14	490	91	11
	Caño Dulce	430	33	9	160	20	10
	Santa Verónica 2	430	44	9	270	18	11
	Punta Astillero	360	38	8	160	0	10

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible establecido en el decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE < 200 NMP.100 mL⁻¹).

**Número de datos existentes por época climática.

4.5.3 Hidrocarburos

Las concentraciones HDD, en el período de lluvia 2012 y seco 2013 oscilaron entre 0,50 µg/L y 8,42 µg/L. Las concentraciones más altas se registraron durante la época lluviosa de 2012, en las estaciones de la Zona del río Magdalena, especialmente en Frente a Base Naval (8,42 µg/L), Ciénaga de Mallorquín (5,98 µg/L) y Frente a Dársena (2,3 µg/L). Por otro lado, en la época seca de 2013, los valores más altos se registraron en las estaciones Ciénaga de Mallorquín (4,40 µg/L) y Bocas de Ceniza B (3,20 µg/L; Figura 4.5.17). Los residuos de hidrocarburos que se presentan en el departamento 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 (UNESCO, 1984).

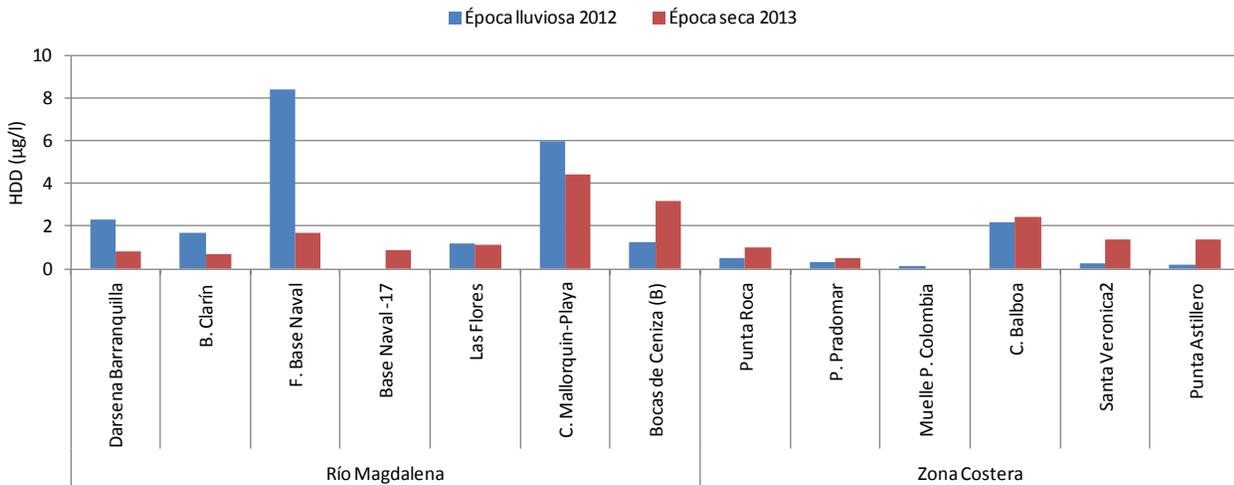


Figura 4.5.17. Concentraciones de HDD (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de Atlántico en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los registros históricos de HDD medidos desde el 2001 al 2013, mostraron que las concentraciones promedio más altas se han registrado en las épocas de lluvias, en las estaciones de la zona río Magdalena principalmente en la Ciénaga de Mallorquín ($2,47 \pm 3,33 \mu\text{g/L}$), las Flores ($2,19 \pm 3,89 \mu\text{g/L}$), y Frente a Base Naval ($2,16 \pm 2,74 \mu\text{g/L}$). Este comportamiento se debe principalmente a las escorrentías de aguas de lluvia, vertimientos de aguas residuales domesticas e industriales, actividad portuaria y turística (Figura 4.5.19).

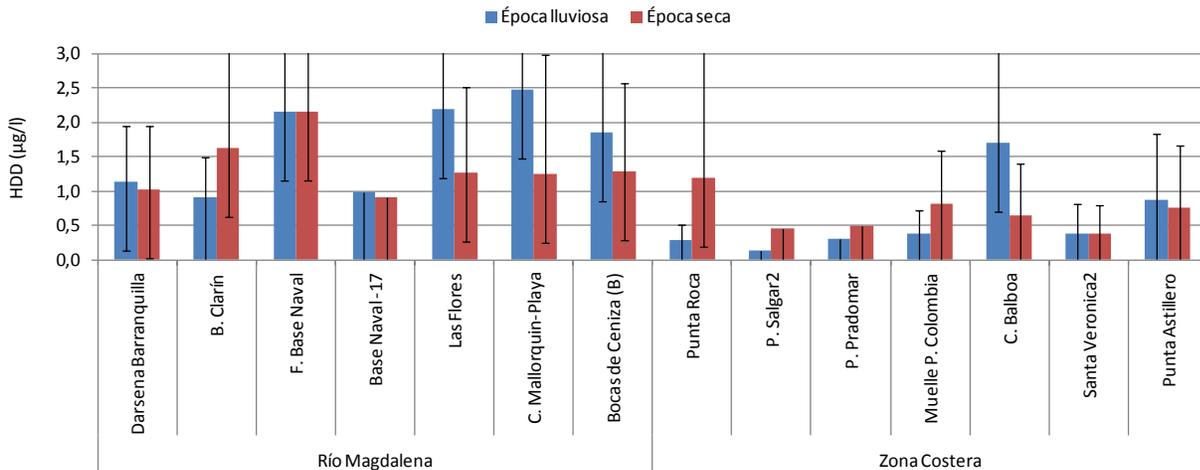


Figura 4.5.18. Concentraciones de HDD (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales del Atlántico en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

La variación interanual 2001 a 2013 mostró diferencias ($p < 0,05$) entre años, asimismo, en el año 2001 se registraron concentraciones de HDD superiores al valor de referencia para aguas no contaminadas, en la Ciénaga de Mallorquín urbanización las Flores ($12,40 \mu\text{g/L}$) y Bocas de Ceniza ($10,50 \mu\text{g/L}$); además en el año 2010 en la estación Frente a Base Naval ($13,69 \mu\text{g/L}$).

4.5.4 Plaguicidas

Desde el 2010 se viene observando una reducción en las concentraciones de plaguicidas organoclorados (OC) en las aguas costeras del departamento, no obstante, en el último monitoreo (época seca de 2013) se detectaron algunos residuos de Endrin aldehído. Como se indicó en anteriores informes, en los primeros seis años de monitoreo el porcentaje de aparición de estos compuestos era superior al 50% mientras que en los dos últimos años permanecieron casi indetectables, como consecuencia de la prohibición en su uso y comercialización.

En los últimos cinco años de monitoreo no se han detectado residuos de estos compuestos, en valores que superen la referencia adoptada de 30 ng/L establecida por la EPA (1999), a excepción del 2010 (Figura 4.5.19). No obstante, los resultados de ese año obedeció a la implementación del análisis de nuevas moléculas en el monitoreo.

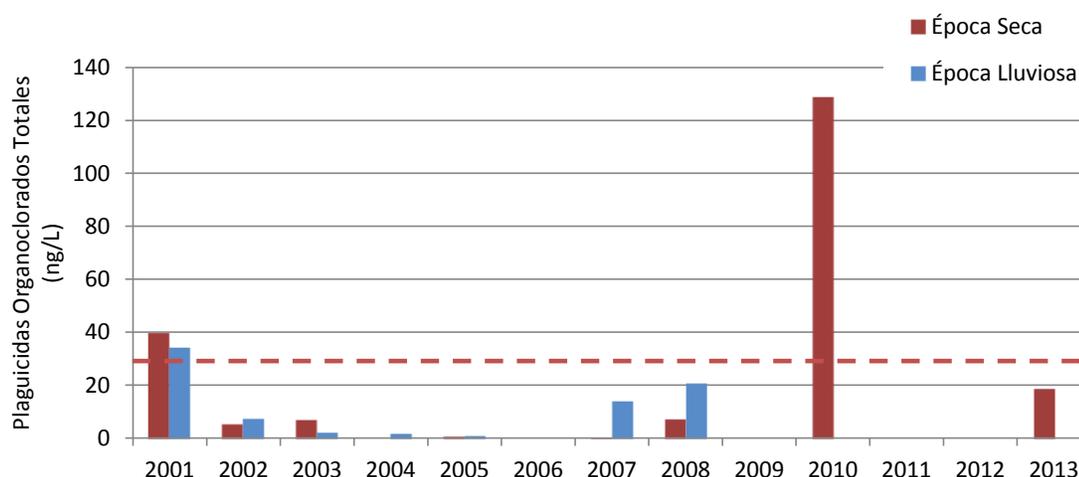


Figura 4.5.19. Rangos de concentraciones de plaguicidas organoclorados (ng/L) medidas en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2012 en el Atlántico. La línea roja representa el Valor de Referencia (EPA, 1999).

Esta tendencia variable que han presentado las concentraciones de OC es un indicador de que los suelos pueden drenar sustancias que fueron aplicadas hace mucho tiempo y que aún se encuentran en el medio debido a su persistencia. En este aspecto, el hecho de hallar un isómero de degradación (como Endrin aldehído) y no el compuesto original (Aldrin) es un indicador de que el producto no fue usado recientemente.

El Endrin Aldehído hace parte de las moléculas que empezaron a medirse en 2008. Si bien, las concentraciones halladas no representan riesgo para los organismos, ya que son inferiores al valor de referencia para efectos crónicos (150ng/L; Buchman, 2008) su presencia indica el escurrimiento de plaguicidas que se usaron hace tiempo, especialmente, porque las estaciones en las cuales fueron detectados estos residuos, todas están en influencia del río Magdalena, que se caracteriza por tener la cuenca más grande, de mayor desarrollo agrícola y más importante del país.

Con respecto a las mediciones de plaguicidas de “uso actual”, en los últimos cuatro años sólo se ha detectado Metil paration, un compuesto activo que hace parte de muchos insecticidas comerciales (y domésticos) y de amplio uso. Como se indicó en informes anteriores, el Metil paration se detectó en la Ciénaga de Balboa (21,9 ng/L) en la época seca de 2010, en el mismo sector también se registraron residuos de endosulfan lo supone un 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 fueron bajas y no representaron riesgo de toxicidad para los organismos.

Tabla 4.5-2. Concentraciones de plaguicidas encontradas en aguas superficiales del Atlántico entre el 2009 y 2012 y valores de referencia.

Época	Estación	Metil paration (ng/L)	Endrin Aldehído(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	-
Seca 2013	Aguas Abajo Base Naval (CRA - 17)	-	15,7
	Boca Caño Clarín	-	18,9
	Bocas de Ceniza (B)	-	11,3
	Ciénaga de Balboa	-	12,4
	Frente a Dársena acueducto Barranquilla	-	14,9
	Las Flores	-	16,3
<i>Valores de referencia</i>		$5,3 \times 10^{6*}$	150**

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

** Valor de referencia para efectos crónicos (Buchman. 2008).

4.5.5 Metales Pesados

Los aportes de las aguas del río Magdalena presentan gran influencia en la calidad de las aguas marino-costeras del departamento. Algunos estudios han identificado al afluente 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 residuales de las principales ciudades del país (Cedeño et al., 2001), además de la contribución directa que hacen las industrias metalúrgicas, productoras de químicos, curtiumbres, agroquímicos, entre otras, de la zona industrial de la ciudad de Barranquilla (Garay y Vélez, 2004).

Para evaluar la calidad de las aguas del Atlántico, desde el año 2001 se han monitoreado los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), pero teniendo en cuenta la creciente industrialización en departamento, se amplía el monitoreo de metales, incluyendo para el presente informe los metales Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Hierro (Fe). El monitoreo de la época lluviosa 2012, muestra que únicamente las estaciones ubicadas sobre el río Magdalena presentaron concentraciones detectables de Pb, siendo el valor más alto el registrado en la Boca del Caño Clarín (7,59 µg/L) y el más bajo en la desembocadura del río Magdalena en la estación Bocas de Ceniza (0,86 µg/L) (Figura 4.5.20), sin embargo ninguna estación superó el valor límite de riesgo referenciado en la guía internacional de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; Buchman, 2008). La concentración de Pb en la época seca 2013, para todas las estaciones, estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,15 µg/L).

El Cadmio al igual que el Plomo, solo se detectó durante la época lluviosa 2012 en estaciones ubicadas en el río Magdalena. Los valores más altos se presentaron en la estación Dársena Barranquilla (1,76 µg/L), Boca del Caño Clarín (1,66 µg/L) y Base Naval (1,49 µg/L). No obstante, ninguna de las concentraciones supera el valor referenciado en guías internacionales (40 µg/L, Buchman, 2008). En cuanto al Cromo, en ambas épocas estacionales estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, de forma que no presenta ningún riesgo para la salud al no superar el valor referenciado en guías internacionales (50 µg/L, Conama, 1986). Históricamente se ha observado que los valores más altos de Pb, Cd y Cr se presentan en estaciones ubicadas en la zona del río Magdalena. Indicando que el aporte de metales pesados está influenciado por las aguas servidas que son descargadas en este cuerpo de agua.

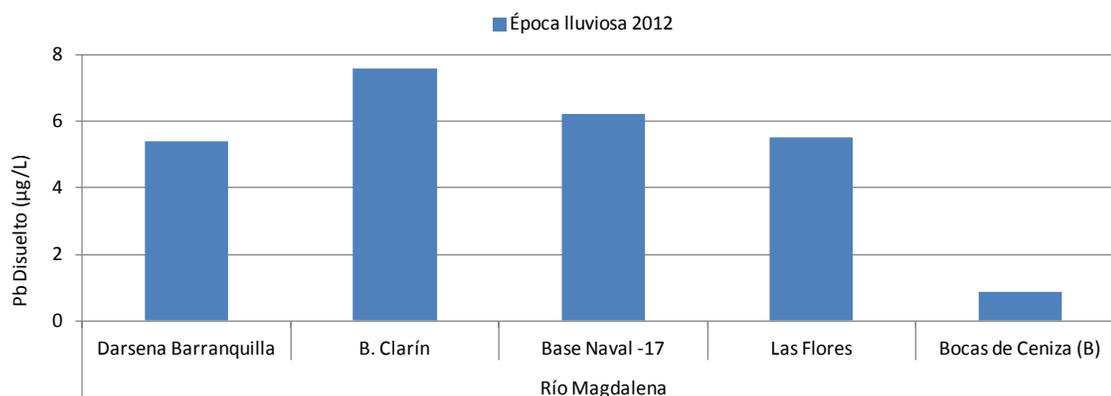


Figura 4.5.20 Concentración de Pb disuelto (µg/L) medida en aguassuperficiales del departamento de Atlántico en la época lluviosa 2012.

En cuanto al cobre (Cu), las estaciones ubicadas en el río Magdalena, registraron mayores concentraciones que en la zona costera, siendo más elevadas en época lluviosa 2012, cuando los contaminantes son arrastrados y llevados hasta el cuerpo de agua por las lluvias; así la estación las flores, registró el valor más alto (6,92 µg/L), seguida por las estaciones Boca Caño Clarín (5,21 µg/L), Base Naval (3,73 µg/L) y Dársena Barranquilla (3,06 µg/L) (Figura 4.5.21). Para efectos de evaluar la calidad de las aguas marinas, se comparan los valores de Cu con los reportados en guías internacionales como la NOAA, infiriendo que aunque las concentraciones de este metal son altas en el río, la descarga final en el mar está por debajo del nivel referenciado en la guía internacional de la NOAA (4,8 µg/L, [Buchman, 2008](#)), esto indica que no existe riesgos agudos por la presencia de Cu en aguas marinas del departamento de Atlántico.

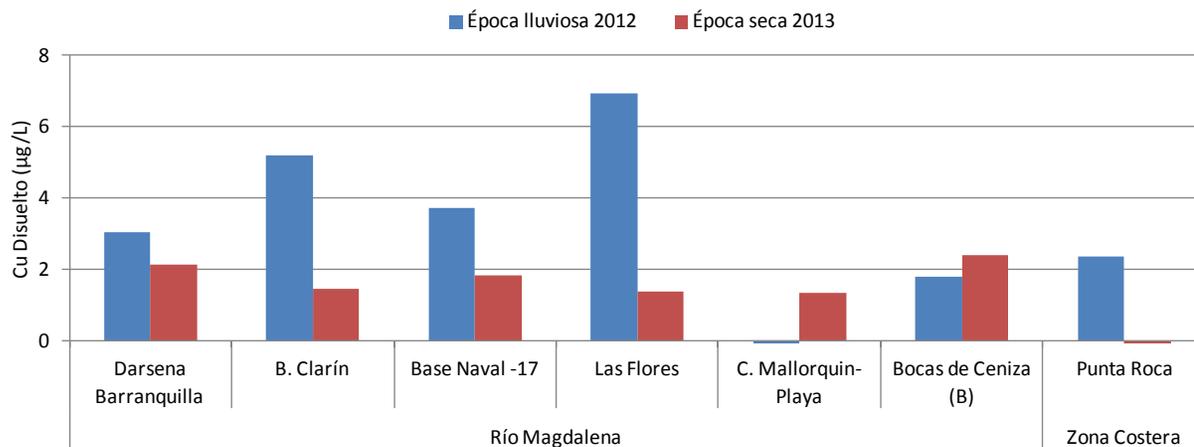


Figura 4.5.21 Concentración de Cu disuelto (µg/L) medida en aguassuperficiales del departamento de Atlántico, en la época lluviosa 2012 y seca 2013.

Al igual que el Cu, el Zn medido en aguas superficiales registró las concentraciones más altas durante la época seca 2013 en las estaciones del río Magdalena; siendola estación Bocas de Cenizas, con una concentración de 19,2 µg/L la que presentó el valormás alto, seguida de la estación Base Naval (87,2 µg/L) (Figura 4.5.22). En época lluviosa las estaciones con los valores más altos de Zn fueron Punta Astilleros (69,9 µg/L) y Ciénaga Balboa (55,1 µg/L). No obstante, ninguna de las estaciones marinas superó el valor de riesgo referenciado en la guía internacional de la NOAA (90 µg/L, [Buchman, 2008](#)).

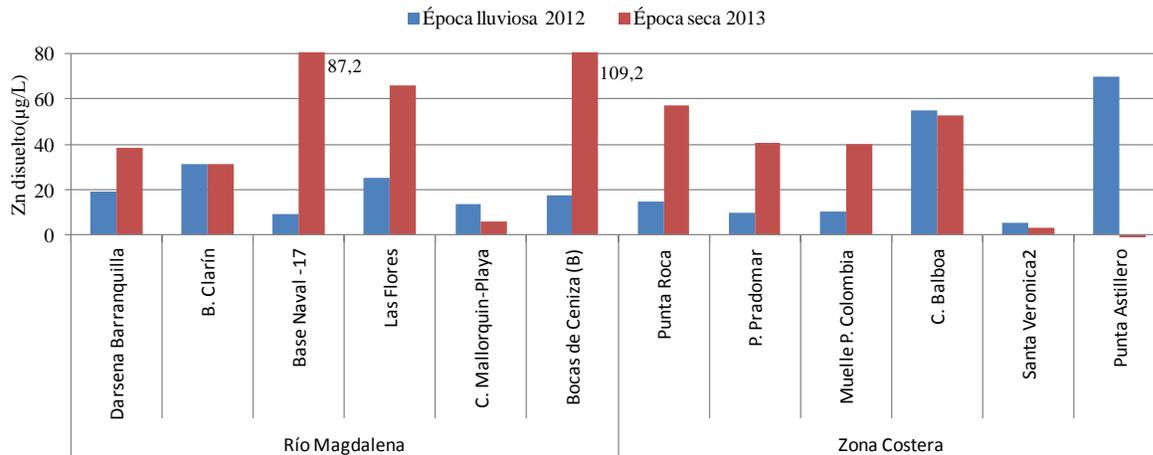


Figura 4.5.22 Concentración de Zn disuelto (µg/L) medida en aguas superficiales del departamento de Atlántico, en la época lluviosa 2012 y seca 2013.

Los mayores aporte de Ni se presentaron solo durante la época lluviosa de 2012 en las aguas marinas y continentales del departamento de Atlántico a causa de las lluvias que arrastraron este contaminante. En zona del río Magdalena, las estaciones con valores más altos fueron Boca del Caño Clarín (21,7 µg/L) y Base Naval (20,2 µg/L), mientras que en estaciones marinas las concentraciones más altas se registraron en Muelle P. Colombia (22,0 µg/L) y Punta Roca (19,1 µg/L) (Figura 4.5.23). No obstante, ninguna de las concentraciones superó el nivel de riesgo referenciado en la guía internacional de la NOAA (74 µg/L, Buchman, 2008).

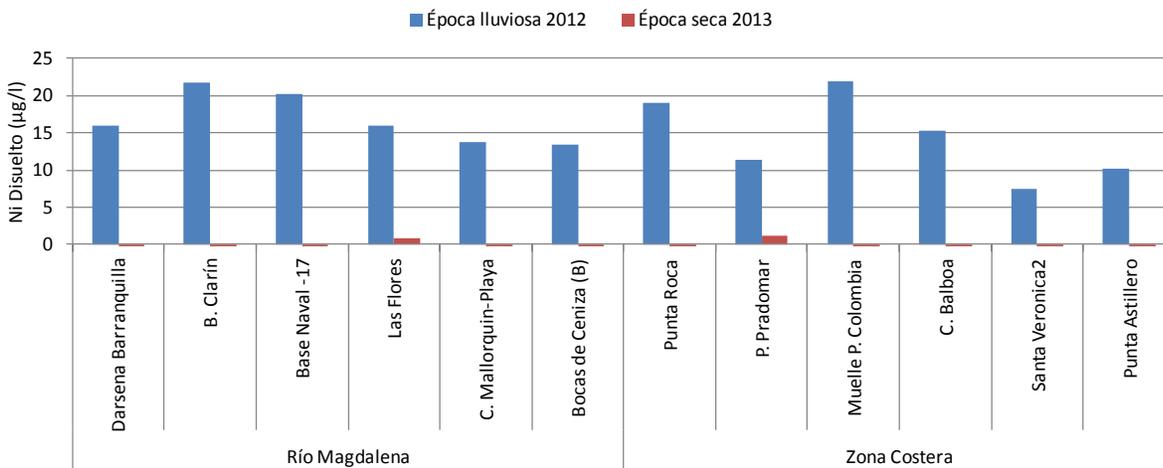


Figura 4.5.23 Concentración de Ni disuelto (µg/L) medida en aguas superficiales del departamento de Atlántico, en la época lluviosa 2012 y seca 2013.

Las mayores concentraciones de Fe se registraron en las estaciones del Río Magdalena: Base Naval (0,50 mg/L), Boca Caño Clarín (0,46 mg/L) y Dársena (0,38 mg/L) durante la época lluviosa 2012. Durante la época seca, la Ciénaga Mallorquín registro la mayor concentración de Fe (0,36 mg/L). En aguas marinas, la concentración de Fe no superó los 0,13 mg/L, valor máximo registrado en la estación Punta astilleros (Figura 4.5.24). En todos los casos, la concentración de Fe en aguas marinas fue inferior al valor referenciado como de riesgo en la guía internacional de la NOAA (0,3 mg/L; Buchman, 2008).

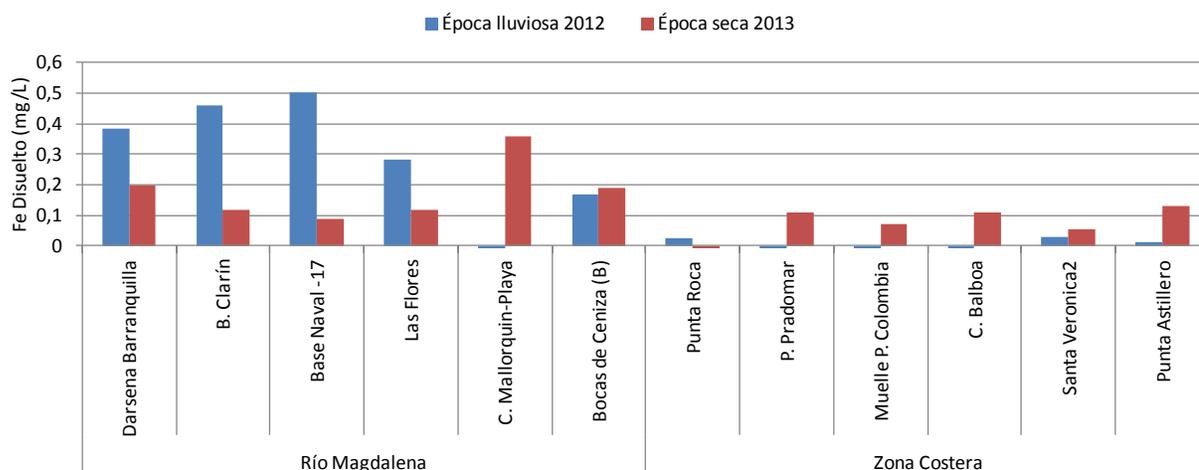


Figura 4.5.24 Concentración de Fe disuelto ($\mu\text{g/L}$) medida en aguas superficiales del departamento de Atlántico, en la época lluviosa 2012 y seca 2013.

4.5.6 .Conclusiones

Para la época lluviosa 2012 y seca 2013 los valores de temperatura y salinidad se encontraron dentro de los rangos observados históricamente. En el caso del pH, la estación de Ciénaga de Mallorquín-Playa, como se ha registrado durante los últimos cuatro años, superó el valor de referencia establecido para la preservación de flora y fauna en ambas épocas (9,17 y 8,80 lluviosa y seca respectivamente), así como la estación Ciénaga Balboa que también superó este valor en la época lluviosa del 2012 (8,6).

Las concentraciones de oxígeno disuelto en las estaciones de la zona del Río Magdalena: F. Base Naval, Dársena Barranquilla, las Flores y Base Naval-17; se encontraron por debajo del límite establecido para la preservación de flora y fauna, durante la época lluviosa 2012. La estación Ciénaga de Mallorquín urbanización la Playa presentó sobresaturación de oxígeno disuelto con un valor de 14,1 mg/L en la época lluviosa 2012. La estación F. Base Naval, según el promedio histórico la época lluviosa ha presentado niveles de OD por debajo del valor establecido para la preservación de flora y fauna.

Las concentraciones de sólidos y nutrientes se encuentran influenciadas principalmente por la escorrentía y erosión del Río Magdalena, ocasionando un potencial efecto sobre la zona costera del departamento. Las altas concentraciones de nutrientes (fósforo y nitrógeno) registradas sobre el río y durante la época seca de 2013 fueron relacionadas con el uso de fertilizantes durante las actividades agrícolas que se desarrollan en sus cuenca, incrementadas con las descargas domésticas e industriales procedentes del complejo industrial de la vía 40 en la ciudad de Barranquilla.

La evaluación de la calidad microbiológica de la zona costera del departamento a través de las concentraciones de coliformes termotolerantes evidenció que los mayores casos de incumplimiento se presentaron durante la época seca en las playas Punta Roca y Salgaren la zona del Río Magdalena con concentraciones por encima del límite permisible para el desarrollo de actividades como la natación y el buceo, donde los promedios de coliformes totales superan los 1.000 NMP.100 mL⁻¹. Por otra parte, los registros en la Ciénaga de Balboa para la época lluviosa 2012 y seca 2013 superaron los 200 NMP.100 mL⁻¹, evidenciando el recurrente detrimento de la calidad de sus aguas.

El mayor aporte de hidrocarburos se continúa generando a través de las estaciones ubicadas sobre el río Magdalena debido a la actividad portuaria e industrial y las descargas domésticas los diferentes arroyos de la ciudad de Barranquilla, mientras que en el resto de estaciones son inferiores al valor de referencia de la UNESCO (<10 $\mu\text{g/L}$).

Aun es evidente la reducción de la presencia de plaguicidas en las aguas del departamento, aunque durante el último monitoreo se registraron algunos residuos de compuestos clorados en concentraciones que no representan riesgo. Por tal razón, es imprescindible mantener el seguimiento ya que los sitios donde se registran los residuos de plaguicidas corresponden en su mayoría a sectores de influencia del Río Magdalena, el cual posee una amplia cuenca con diversas actividades agrícolas e industriales.

Respecto a los metales pesados Pb, Cd, Cr, Zn, Ni y Fe en las estaciones del departamento de Atlántico, su presencia se debe a las aguas servidas y las actividades industriales que se desarrollan en la zona del Río Magdalena, diferente a las zonas marinas donde los valores permanecieron por debajo de los límites establecidos como riesgo en guías internacionales, indicando que no hay peligro de contaminación por metales pesados.

Bolívar



Ciénaga de la Virgen. Foto Yarseylis Salas Ramírez

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). El periodo lluvioso generalmente se presenta entre los meses de agosto y noviembre, con un pico máximo en octubre; donde las precipitaciones anuales más altas se registran en el municipio del Carmen de Bolívar, ubicado en "Los Montes de María" (>300 mm/a; IDEAM, 2005). Para el monitoreo de la REDCAM se han ubicado 33 estaciones de muestreo en la extensión litoral, desde Galerazamba, que limita con el departamento del Atlántico, hasta Barbacoas en el límite con Sucre; estas estaciones se distribuyen en cinco zonas: la zona norte, Bahía Externa, Bahía Interna que incluye el Canal del Dique, Islas del Rosario y Barbacoas (Figura 4.6.1).

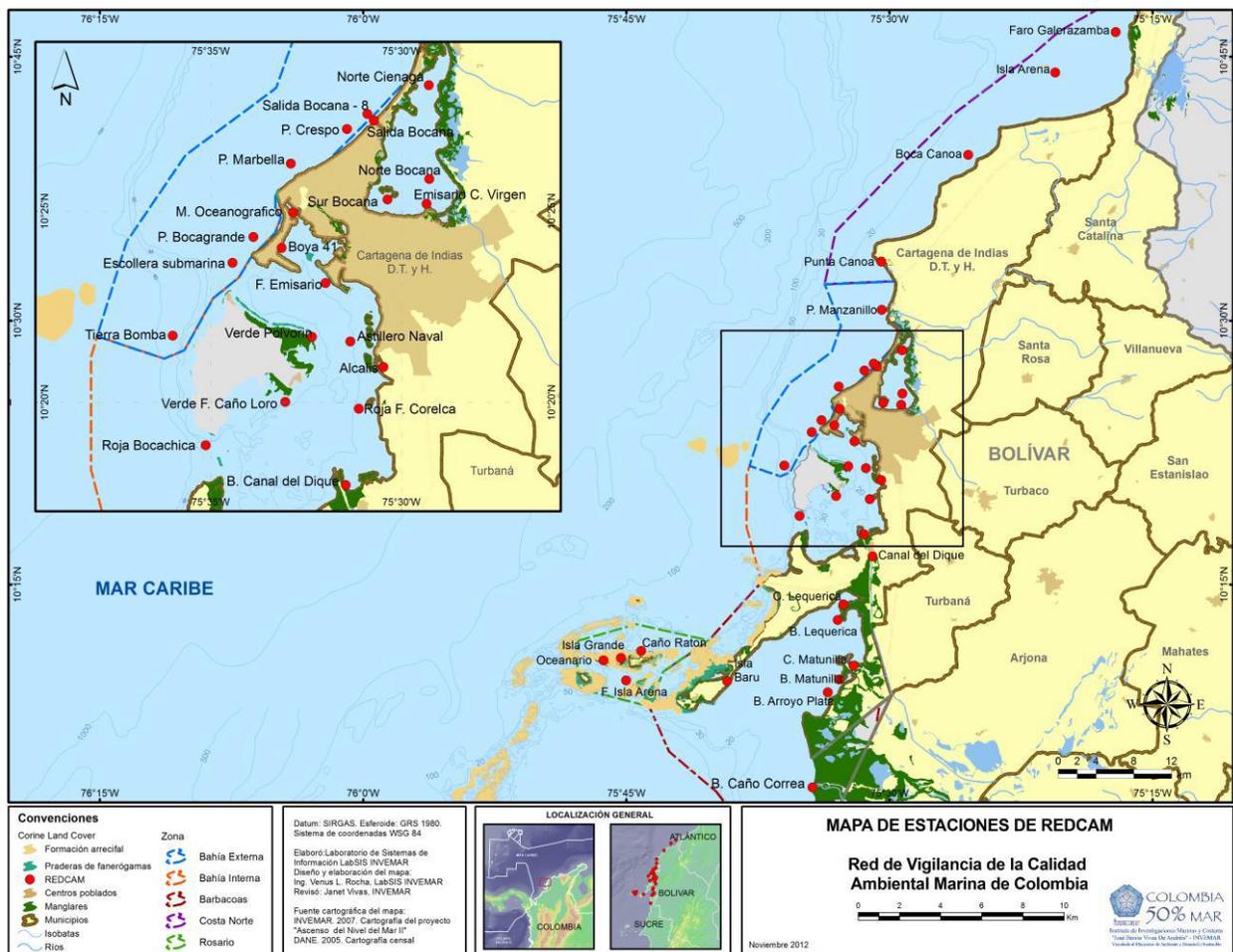


Figura 4.6.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Bolívar

En el departamento también se encuentran la zona de las islas de Rosario, las cuales constituyen una de las áreas arrecifales más importantes del Caribe colombiano, donde el ecosistema predominante es coralino, encontrándose extensiones menores de praderas de fanerógamas marinas y pequeñas lagunas costeras rodeadas por manglares (Mejía *et al.*, 1994). Por su parte la capital se encuentra enmarcada dentro de una Bahía con una superficie de 82 km y una profundidad promedio de 16 m que consta de dos partes: la Bahía Externa e Interna; la primera está conectada con el Mar Caribe a través de dos bocas (Bocachica y Bocagrande), mientras que la segunda se ubica en la parte norte y no tiene intercomunicación directa con

el mar (Tuckovenko y Rondón, 2002; Cañón *et al.*, 2007). Los muestreos para este informe se realizaron entre el 28 de agosto, 19 de septiembre y el 12 de octubre de 2012 (época lluviosa); y entre el 20 y 27 de febrero, el 11 de marzo y el 4 de abril de 2013 (época seca).

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.

4.6.1 Variables Físicoquímicas

4.6.1.1 *In situ*

Temperatura

Entre 2012 y 2013 la temperatura de las aguas superficiales del departamento de Bolívar osciló entre 29,8 °C y 33,4 °C (promedio 31,3 ± 1,0 °C) en la época de lluvias 2012, mientras que en la época seca 2013 la temperatura descendió mostrando aguas un poco más frías con valores entre 26,8 °C y 31,2 °C (promedio 29,1 ± 1,6 °C; Figura 4.6.2). Los datos actuales e históricos son congruentes y muestran aguas marinas más frías en la época seca comparadas con la época lluviosa; lo cual responde a procesos oceanográficos de surgencia generados por los vientos Alisios del noroeste y a la acción de vientos continentales (Bula-Meyer, 1990), junto a las oscilaciones de la zona de convergencia intertropical que hacen que las temperaturas del agua de mar sean bajas durante los meses de diciembre a abril (Cabrera y Donoso, 1993).

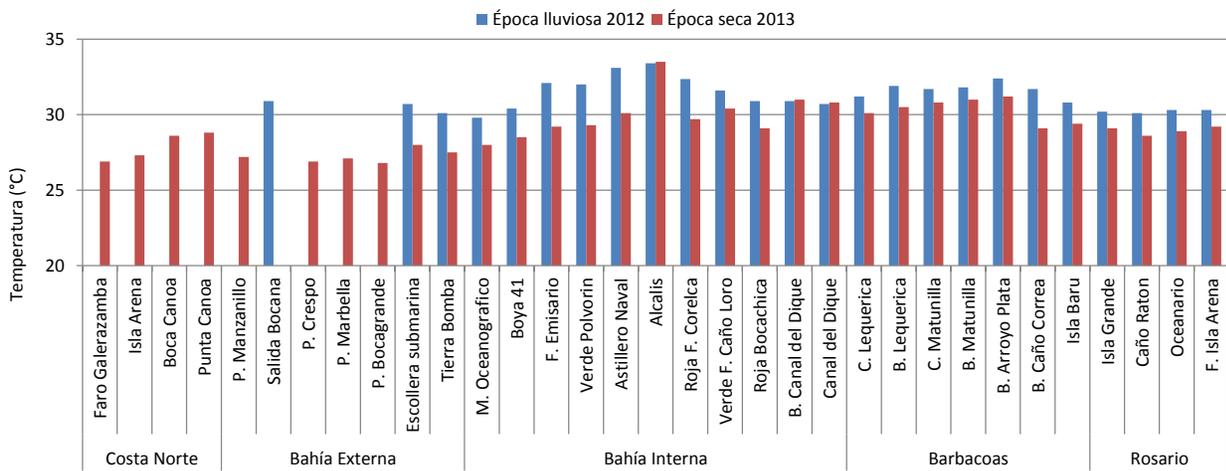


Figura 4.6.2. Temperatura (°C) superficial del agua medida en el departamento de Bolívar durante la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

Las estaciones ubicadas en la zona de Rosario son de especial interés ya que se encuentran en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, el cual posee el arrecife de coral más extenso de la plataforma continental de Colombia, además de ecosistemas de manglar, pastos marinos y un sinnúmero de especies de flora y fauna característicos de estos hábitats (UAESPNN, 2006). En la época lluviosa 2012

el promedio de la temperatura en esta zona fue de $30,9 \pm 1,0$ °C y en época seca de $30,0 \pm 0,3$ °C. Igualmente, los datos históricos (2001-2013) muestran que la temperatura media ha sido $29,8 \pm 0,03$ °C en época lluviosa y $29,0 \pm 0,4$ °C en época seca; lo cual da evidencia que en algunas épocas del año los valores están muy cercanos a 30 °C, temperatura los cuales pueden estar asociados a efectos de degradación de corales por blanqueamiento (Kleypas y Hoegh-Guldberg, 2008; Graham *et al.*, 2008).

Salinidad

Los valores de salinidad fluctuaron entre 0,0 y 33,6 para la época lluviosa 2012 y entre 0,7 y 39,3 para la época seca 2013 (Figura 4.6.3). Como es de esperarse, las estaciones de carácter estuarino donde el proceso de mezcla disminuye la salinidad especialmente en época de lluvias se presentaron las variaciones más notables; de forma sustancial aquellas ubicadas en las zonas Bahía Interna y Barbacoas donde se presenta un aporte importante de aguas continentales producto de la desembocadura del canal del Dique, vertimientos de aguas negras, alcantarillados sanitarios y descargas industriales. Cabe resaltar el comportamiento de esta variable durante la época lluviosa 2012 en las estaciones ubicadas en la zona de Rosario, donde el promedio fue de $10,1 \pm 0,1$ en comparación con el histórico de $26,5 \pm 2,9$ para la misma época climática, lo que muestra la fuerte influencia de la desembocadura del canal del Dique como corriente de agua dulce a la Bahía de Barbacoas por los caños Lequerica y Matunilla (Leble y Chignon, 1987).

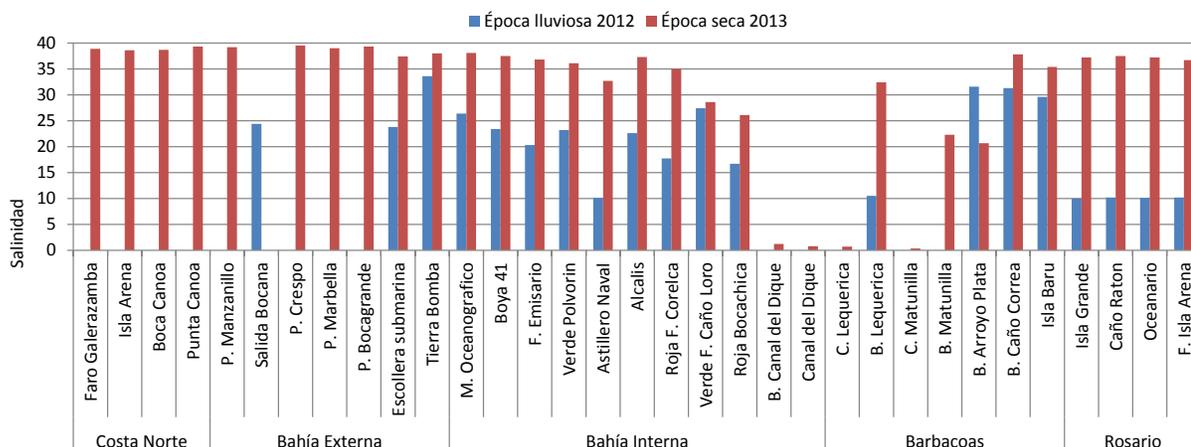


Figura 4.6.3. Salinidad del agua superficial en el departamento de Bolívar medidas en la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

pH

Los valores de esta variable en las aguas superficiales del departamento no presentaron variaciones significativas entre las dos épocas; así en la época lluviosa 2012 el promedio fue $8,1 \pm 0,4$ y en época seca 2013 fue de $8,3 \pm 0,1$ (Figura 4.6.4). En la mayoría de estaciones los valores de pH se ubicaron dentro de los criterios de calidad permisibles de 6,5 a 8,5 y 4,5 a 9,0 para aguas marinas y fluviales respectivamente, para preservación de fauna y flora (Minsalud, 1984), excepto en las estaciones Frente a Emisario (8,54) y B Lequerica (8,74) que presentaron valores de pH ligeramente superiores al límite máximo durante la época lluviosa. Históricamente el comportamiento de esta variable ha mostrado valores más bajos durante la época seca en las estaciones de la zona Bahía Interna donde al no haber intercomunicación directa con el mar se acentúa la formación de ácido carbónico producto de la reacción entre el agua y el dióxido de carbono generado por la degradación de materia orgánica presente en los efluentes continentales (Cognettiet *al.*, 2001); de forma contraria, las estaciones de Barbacoas y Rosario presentan valores más altos de pH durante la época seca, comportamiento característico de zonas donde la producción biológica

es alta y la fijación por el fitoplancton del carbono inorgánico disuelto y su posterior transporte a las capas más profundas eleva el pH del agua superficial (Gage y Tyler, 1999; Cognetti Sara Magazzu 2001).

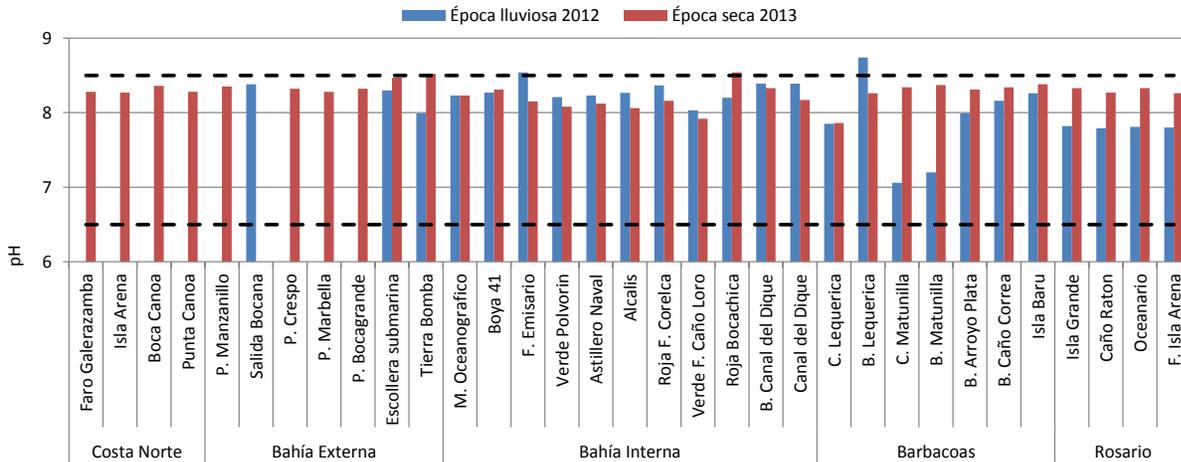


Figura 4.6.4. Valores de pH en aguas superficiales de Bolívar medido en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. Las líneas punteadas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) en la época lluviosa 2012 y para la época seca 2013 fluctuó entre 4,3 mg/L y 7,6 mg/L (promedio $5,6 \pm 0,7$ mg/L; Figura 4.6.5). En la mayoría de estaciones los valores de OD estuvieron por encima de 4,0 mg/L, considerado el valor mínimo de calidad para la preservación de flora y fauna según la legislación colombiana (Minsalud 1984), excepto la estación *Salida Bocana* que en la época lluviosa 2012 presentó un valor de 2,1 mg/L condición que puede deberse a un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno generada por la descarga de aguas residuales de las áreas circundantes.

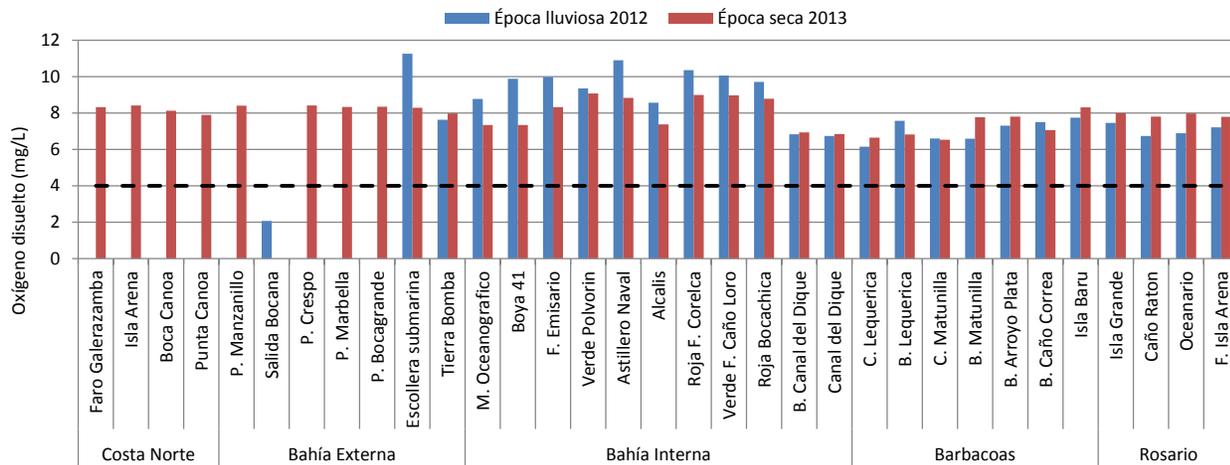


Figura 4.6.5. Oxígeno disuelto (mg/L) medido en aguas superficiales del departamento de Bolívar, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea punteada representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

4.6.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendidos Totales

Las mayores concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el departamento de Bolívar se presentaron en la época seca 2013 las cuales sobrepasan al promedio histórico; en la Costa Norte se destacaron Punta Canoa (728,5 mg/L) y boca Canoa (116,3 mg/L), en la Bahía Externa fueron playa Bocagrande (254,2 mg/L), playa Crespo (183,3 mg/L) y playa Marbella (133,7 mg/L), en la Bahía Interna se destacaron las estaciones Canal del Dique (209,3 mg/L) y Boca canal del Dique (144 mg/L) en la zona de Barbacoas las mayores concentraciones se presentaron en C. Lequerica (289 mg/L) y B. Lequerica (178 mg/L). En la época lluviosa 2012 las mayores concentraciones se presentaron en C. Lequerica (281 mg/L), Canal del Dique (252 mg/L), C. Matunilla (193 mg/L), Boca canal del Dique (152 mg/L), y B. Matunilla (144,6 mg/L). Las demás estaciones presentaron concentraciones inferiores a 50 mg/L (Fabricius, 2005; Figura 4.6.6).

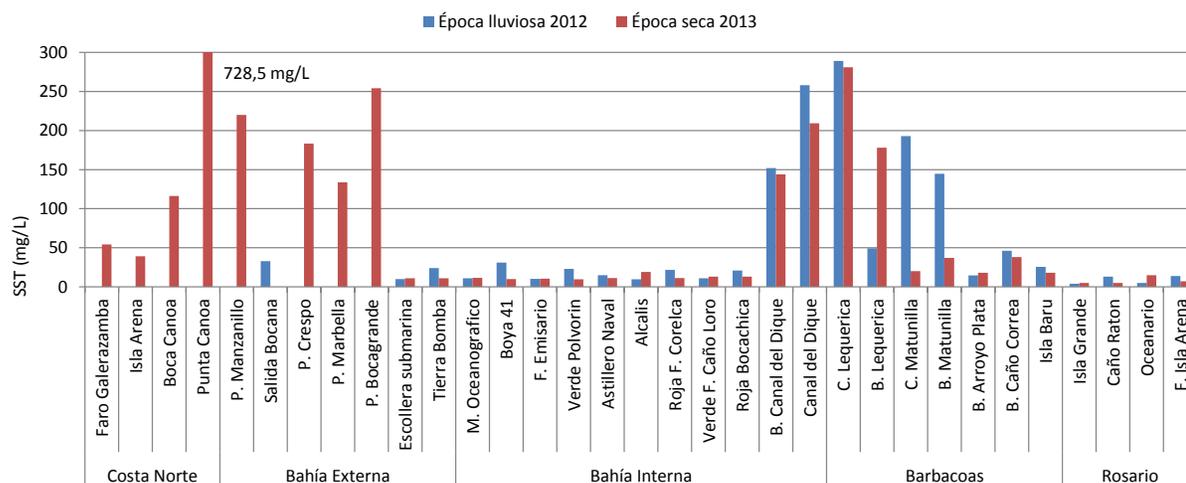


Figura 4.6.6. Concentraciones de SST (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de Bolívar en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los promedios históricos muestran que la mayoría de las estaciones se encuentran en el intervalo temporal, excepto las estaciones del Canal del Dique, además de las de bocas de Lequerica y Matunilla (Figura 4.6.7), las cuales 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). Los SST en las aguas marinas tienen efectos sobre la salud de los ecosistemas coralinos; su aumento puede incidir en la penetración de la luz, afectando los procesos fotosintéticos de las algas asociadas a los corales, es así que en la zona de la Isla del Rosario las concentraciones de SST son mínimas indicando condiciones adecuadas para la salud de los ecosistemas del área.

Nutrientes

Se analizó Nitrógeno en las formas de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+), y el Fósforo como Fósforo Reactivo Soluble (FRS) o Fósforo inorgánico disuelto en forma de ortofosfato (PO_4^-). Las mediciones de estos nutrientes mostraron cambios en las distintas zonas de muestreo, siendo mayores los valores en aquellas que se ven influenciadas por el canal del Dique. Con respecto al NO_3^- en la costa Norte

se encontró un promedio de $29,8 \pm 17,7 \mu\text{g/L}$; en la bahía externa se encontró un promedio de $26,9 \pm 18,2 \mu\text{g/L}$; en la bahía interna $148,1 \pm 191,4 \mu\text{g/L}$; en la zona de Barbacoas se presentó $199,7 \pm 236,5 \mu\text{g/L}$ y en la zona de la isla del Rosario la concentración promedio fue de $10,4 \pm 15,2 \mu\text{g/L}$.

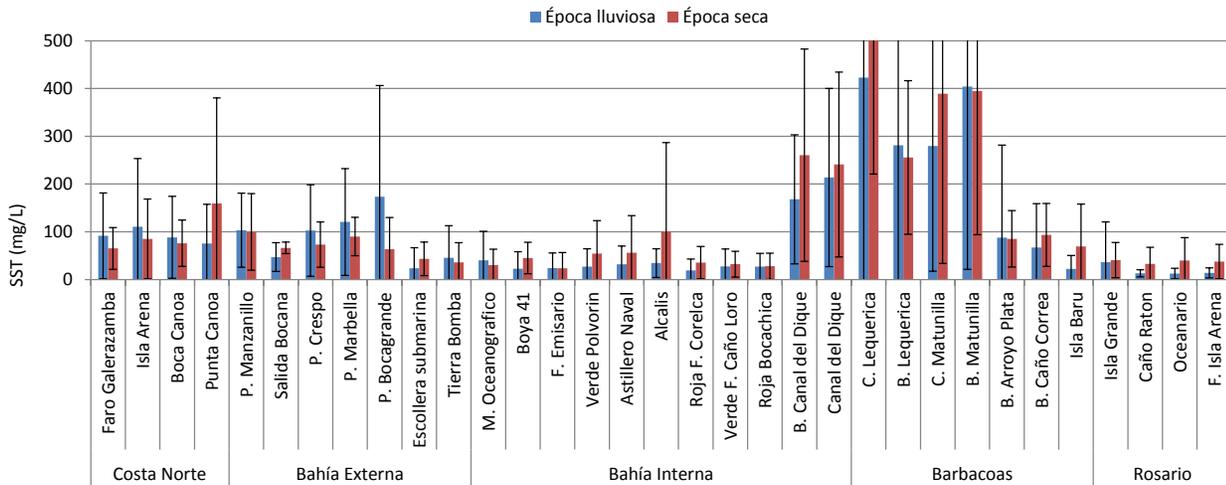


Figura 4.6.7. Promedios de SST (mg/L) medidas en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 y 2013 en el agua superficial del departamento de Bolívar. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

En la época seca 2013 las mayores concentraciones NO_3^- se presentaron en las estaciones Boca Canal del Dique ($674 \mu\text{g/L}$), Canal del Dique ($672,3 \mu\text{g/L}$), la Bahía de Barbacoas se ve influenciada por las estaciones C. Matunilla ($670,8 \mu\text{g/L}$) y C. Lequerica ($698,9 \mu\text{g/L}$). En la época lluviosa las mayores concentraciones se presentaron en Boca Canal del Dique ($368 \mu\text{g/L}$), C. Lequerica ($301,5 \mu\text{g/L}$), B. Matunilla ($306,8 \mu\text{g/L}$), C. Matunilla ($290,8 \mu\text{g/L}$) y B. Lequerica ($170,9 \mu\text{g/L}$) (Figura 4.6.8). Respecto al comportamiento histórico los nitratos más altos se encontraron en estaciones con influencia del Canal del Dique (zona bahía interna), así como los caños Lequerica y Matunilla principales desembocaduras del canal del Dique hacia la bahía de Barbacoas (Figura 4.6.9).

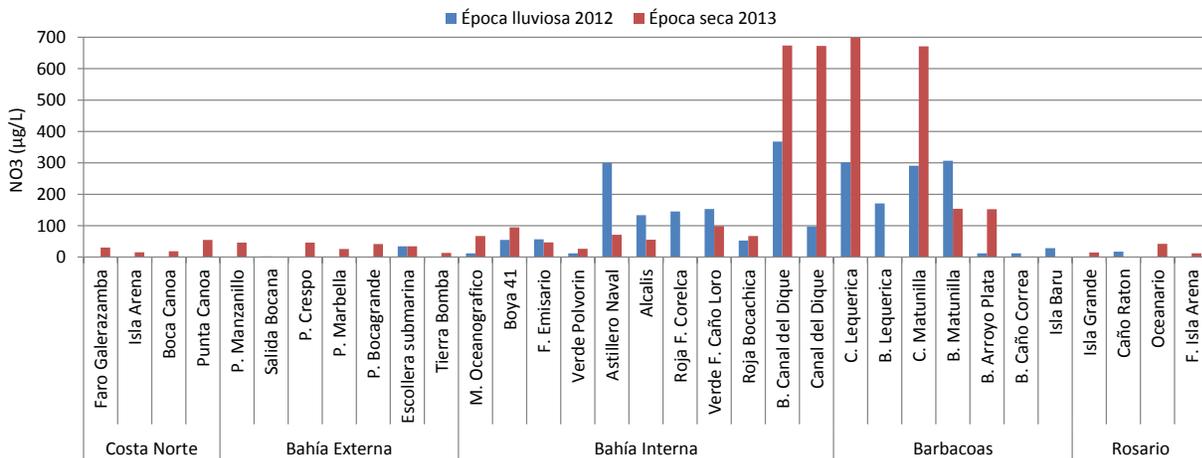


Figura 4.6.8. Concentraciones de nitratos ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de Bolívar, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

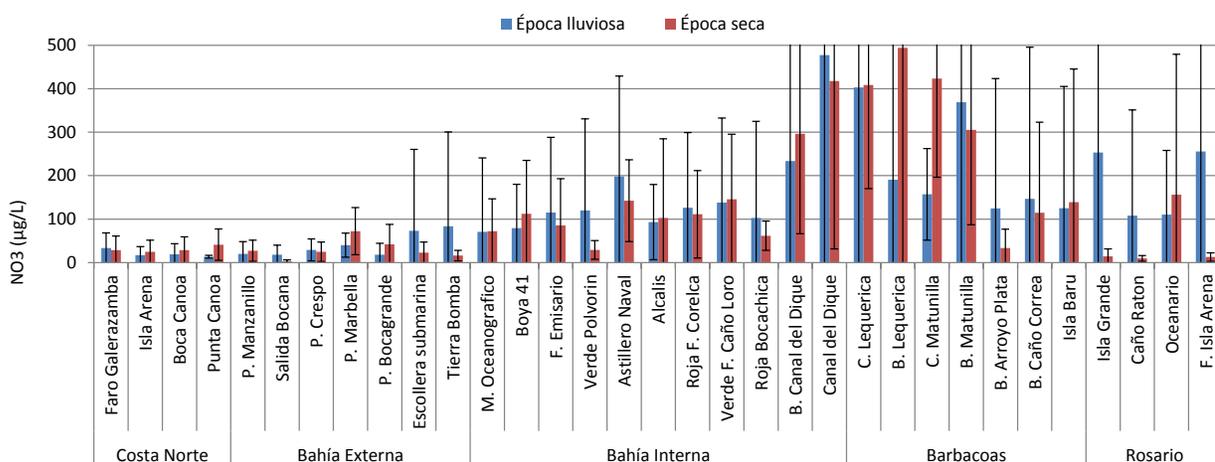


Figura 4.6.9. Promedios de la concentración de nitratos (µg/L) medidas en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 y 2013 en el agua superficial del departamento de Bolívar. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

Las mediciones de nitritos mostraron cambios entre las distintas zonas de muestreo; encontrándose mayores concentraciones en la Bahía Interna y Barbacoas las cuales están influenciadas por el Canal del Dique cuyos aportes provienen de descargas domésticas y del río Magdalena. En la Costa Norte se presentó un promedio de $6,8 \pm 13$ µg/L; en la bahía externa un promedio de $7,4 \pm 3,5$ µg/L; en la bahía interna de $9,3 \pm 9,7$ µg/L y en la bahía de Barbacoas se presentó $16,2 \pm 16$ µg/L. Las mayores concentraciones de nitritos durante la época seca 2013 se presentaron en la estación punta Canoa (26 µg/L) en la Costa Norte y M. oceanográfico (25,8 µg/L) en la Bahía interna, C. Matunilla (37,7 µg/L) y la Isla Barú (55,1 µg/L) en la zona de Barbacoas debido a la entrada de estos nutrientes a través de aguas residuales domesticas urbanas (Tombesiet *al.*, 2000). En la época lluviosa 2012 los valores más altos corresponden a: Alcalis (21 µg/L), Canal de Dique (39,4µg/L), C. Lequerica (21,4 µg/L), C. Matunilla (31,4 µg/L) y B. Matunilla (20,3 µg/L) (Figura 4.6.10). En la zona de la isla del Rosario la concentración de nitritos fue de 3 µg/L para la estación de Isla Fuerte, en las demás estaciones las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección del método <2.2 µg/L. El promedio histórico de la concentración de nitritos de 2001-2013, muestra que las mediciones realizadas en las épocas lluviosa 2012 y seca 2013 se encuentran dentro del intervalo temporal.

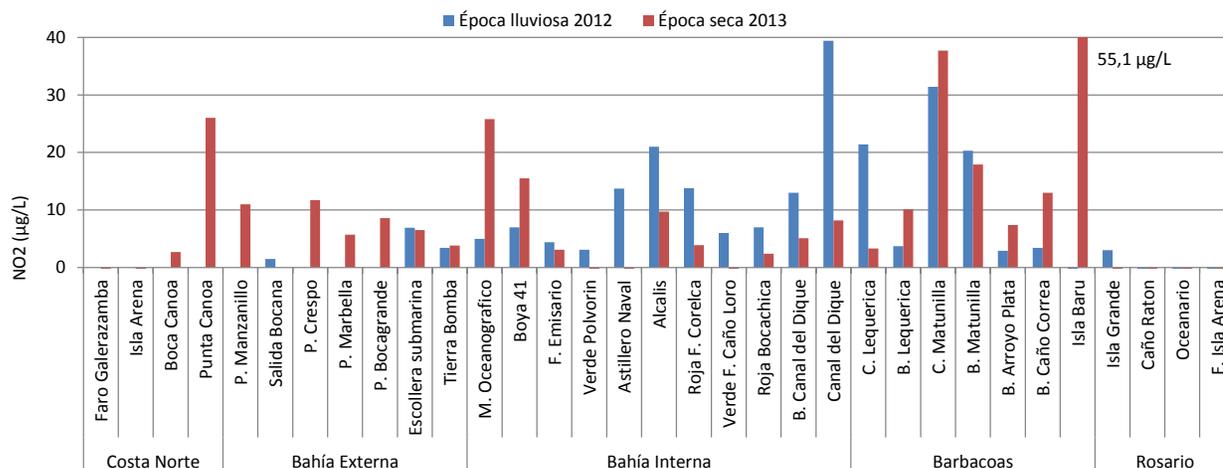


Figura 4.6.10. Concentraciones de nitritos (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de Bolívar, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Las concentraciones de amonio en la mayoría de las estaciones estuvieron por debajo del límite de detección del método ($0,07 \mu\text{g/L}$), excepto en la época lluviosa 2012 donde fue detectado en la salida de la bocana ($97,9 \mu\text{g/L}$) siendo la concentración alta atribuible a las aguas residuales domesticas de la ciudad de Cartagena, al aporte de las lluvias y la entrada de estos nutrientes a través de aguas residuales domesticas urbanas (Tombesiet *al.*, 2000). Las siguientes estaciones con valores detectables en su orden fueron frente al emisario ($2,6 \mu\text{g/L}$), Alcalis ($1,5 \mu\text{g/L}$), y Roja. F. Corelca ($0,2\mu\text{g/L}$). Respecto al comportamiento histórico el amonio se encontró dentro del rango histórico, excepto la estación de la salida de la bocana.

Con respecto al Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) que corresponde a la suma de las tres formas de nitrógeno NO_3^- , NO_2^- y NH_4^+ con un valor de referencia de $14\mu\text{g/L}$ propuesto por Lapointe (1997) para indicar estados de florecimientos permanentes de macroalgas frondosas en ecosistemas coralinos o potenciales impactos sobre la fisiología de los corales; en la zona de la isla de Rosario se presentó un NID de $13,4\mu\text{g/L}$ el cual está ligeramente por debajo al valor de referencia lo cual indica un riesgo potencial de las alteraciones en el arrecife coralino (Fabricius, 2005) y condiciones para la proliferación de macroalgas (INVEMAR, 2013).

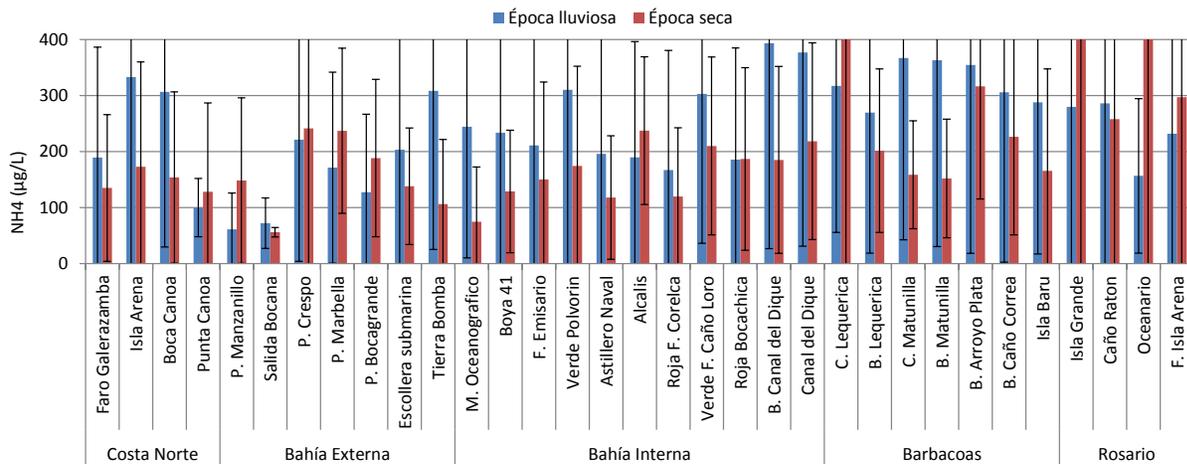


Figura 4.6.11. Promedios de amonio ($\mu\text{g/L}$) medidos en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 y 2013 en el agua superficial del departamento de Bolívar. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

En cuanto a las concentraciones de FRS en la mayoría de las estaciones y en las dos épocas estuvieron por debajo de $3,1 \mu\text{g/L}$ excepto en la estación Salida de la bocana ($75,4 \mu\text{g/L}$) en la costa norte (figura 4.6.8) atribuido a las aguas residuales domesticas de la ciudad de Cartagena descargadas en la Ciénega la Virgen. Al comparar estos resultados con el valor de referencia de $3,1 \mu\text{g/L}$ para ecosistemas coralinos, sugerido como el nivel que indica estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas (Lapointe, 1997) y con el valor de referencia para impactos potenciales a la fisiología de corales ($62 \mu\text{g/L}$; Fabricius, 2005), para la zona de la isla del Rosario donde se ubican los ecosistemas coralinos más importantes del departamento, las concentraciones registradas para los periodo de estudio no sobrepasan los niveles de referencias para el florecimiento de macroalgas e impactos potenciales a la fisiología de corales. Los datos registrados en 2012 y 2013 se encuentran en el intervalo del comportamiento histórico.

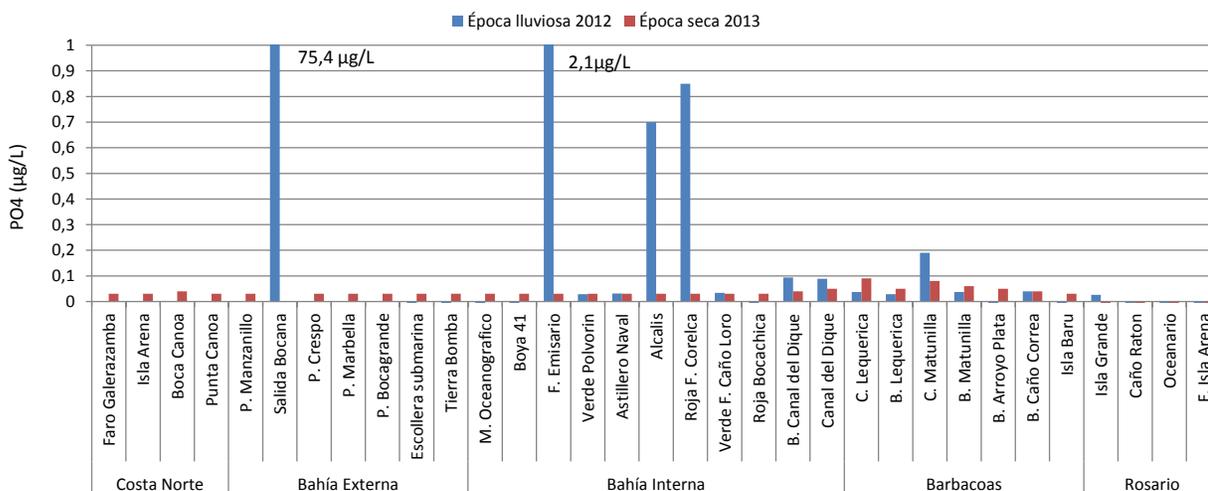


Figura 4.6-1 Concentraciones de Fósforo Reactivo Soluble - FRS (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento de Bolívar, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

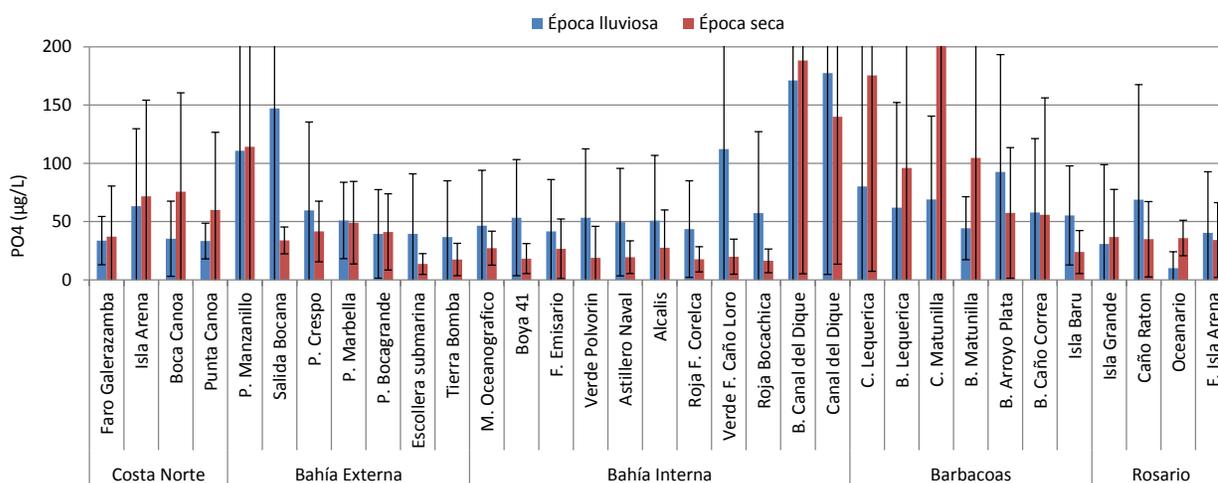


Figura 4.6-2. Promedios de la concentración de FRS (µg/L) medidas en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 y 2012 en el agua superficial del departamento de Bolívar. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

4.6.2 Contaminación Microbiológica

En cuanto a la tendencia temporal del análisis de Coliformes Totales (CTT) y Termotolerantes (CTE), no se presentaron diferencias significativas entre épocas climáticas ($p > 0,05$), sin embargo para el período de estudio las mayores concentraciones de CTT se registraron durante la época seca 2013, con un valor máximo de $2.400.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ encontrado en la estación B. Canal del Dique, debido a la influencia de las descargas domésticas y el río Magdalena (*Vivas-Aguas et al., 2012*), mientras que en la época lluviosa 2012, el valor máximo registrado se presentó en Salida Bocana con $340.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$, producto de los vertimientos de aguas residuales de la ciudad de Cartagena sin previo tratamiento, por lo que los registros superan los límites establecidos para actividades recreativas de contacto primario ($< 1.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) y contacto secundario ($< 5.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) (*MinSalud, 1984*).

Para el período de estudio la mayor concentración de CTE se registró en la zona de la bahía Interna en la estación boca del Canal del Dique para la época seca (Figura 4.6.12; $490.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$), valor que

correspondió a la máxima concentración histórica registrada en los 11 años de monitoreo para esta estación, incumpliendo con los límites establecidos para el desarrollo de actividades como la natación ($< 200 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$; MinSalud, 1984). En cuanto a las playas de interés turístico, los mayores casos de incumplimiento se presentaron en la época seca 2013, donde la playa Bocagrande ($34.000 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$) registró la mayor concentración de CTE, dado que hace parte de la bahía Externa de Cartagena, la cual recibe aportes del Canal del Dique y vertimientos de aguas negras, factores que influyen en el detrimento de la calidad sanitaria (Cañón *et al.*, 2007).

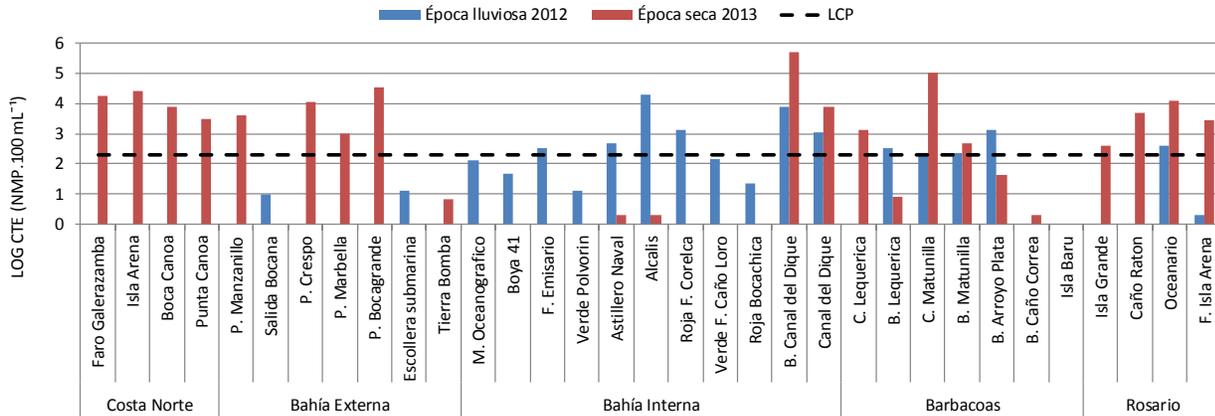


Figura 4.6.12 Concentraciones de CTE ($\text{LOG NMP.100 mL}^{-1}$) medidas en las aguas superficiales del departamento de Bolívar en la época lluviosa 2012 y época seca 2013. La línea cortada corresponde al límite de referencia para el desarrollo de actividades de contacto primario (LCP: $< 200 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$; MinSalud, 1984).

4.6.3 Hidrocarburos

Los Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD en el período de lluvia 2012 y seco 2013 oscilaron entre $0,15 \mu\text{g/L}$ y $3,57 \mu\text{g/L}$. Los HDD más altos en la época lluviosa de 2012 se presentaron en boya roja frente a Corelca ($3,57 \mu\text{g/L}$), Norte Bocana ($1,59 \mu\text{g/L}$) en la Ciénaga de la Virgen y frente al Emisario ($1,41 \mu\text{g/L}$). En la época seca de 2013 el valor más alto se registró en la estación frente al Emisario ($1,33 \mu\text{g/L}$; Figura 4.6.13), sin embargo, estas concentraciones no superaron el valor de referencia de $10 \mu\text{g/L}$ para aguas no contaminadas (UNESCO, 1984). Los residuos de hidrocarburos podrían deberse a las escorrentías con residuos oleosos, sumado al transporte y manejo portuario de petróleo, actividad portuaria, transporte marítimo, turismo, aguas servidas y lavaderos y talleres de vehículos en la zona (Garay, 1993). 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 2012, en algunas estaciones no se ha observado una tendencia histórica similar ($p > 0,05$).

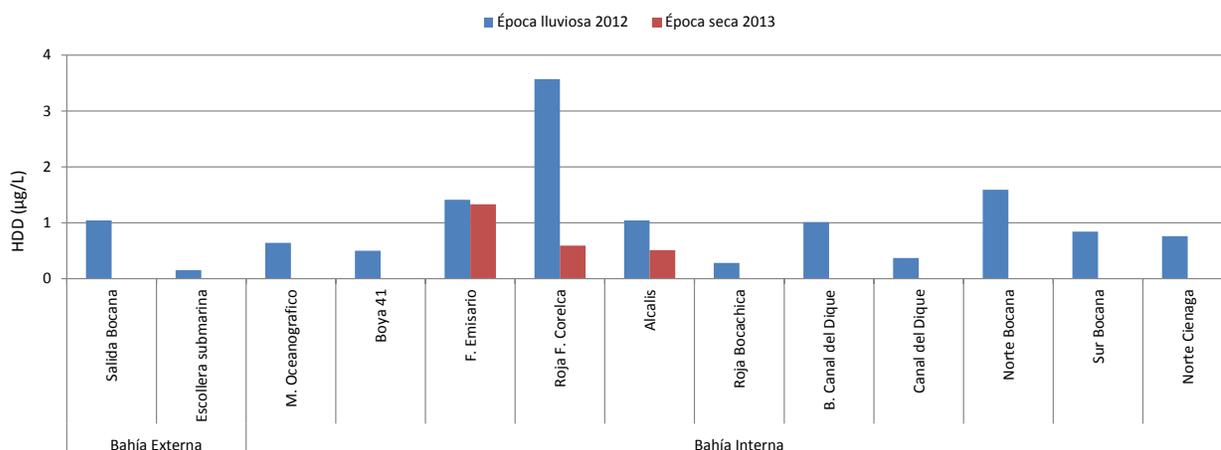


Figura 4.6.13. Concentraciones de HDD ($\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales de Bolívar en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

La variación interanual muestra diferencias significativas ($p < 0,05$), registrando en el año 2001 en la época seca concentraciones de HDD superiores al valor de referencia en las estaciones ubicadas en la Bahía de Cartagena sobre el canal de acceso al puerto, en las estaciones boya de Corelca ($49,41 \mu\text{g/L}$) y las boyas No. 6 y 41 ($12,35 \mu\text{g/L}$) y la desembocadura del Canal del Dique ($37,06 \mu\text{g/L}$) y en la época de lluvias en las estaciones Boya de Corelca ($38,70 \mu\text{g/L}$), Boya No. 6 ($10,10 \mu\text{g/L}$), Boya 41 ($10,80 \mu\text{g/L}$) y la desembocadura del Canal del Dique ($25,40 \mu\text{g/L}$), estas concentraciones pueden afectar a las especies hidrobiológicas que se desarrollan en estas aguas, al registrar concentraciones por encima del valor de referencia de $10 \mu\text{g/L}$ de UNESCO (1984; Figura 4.6.14).

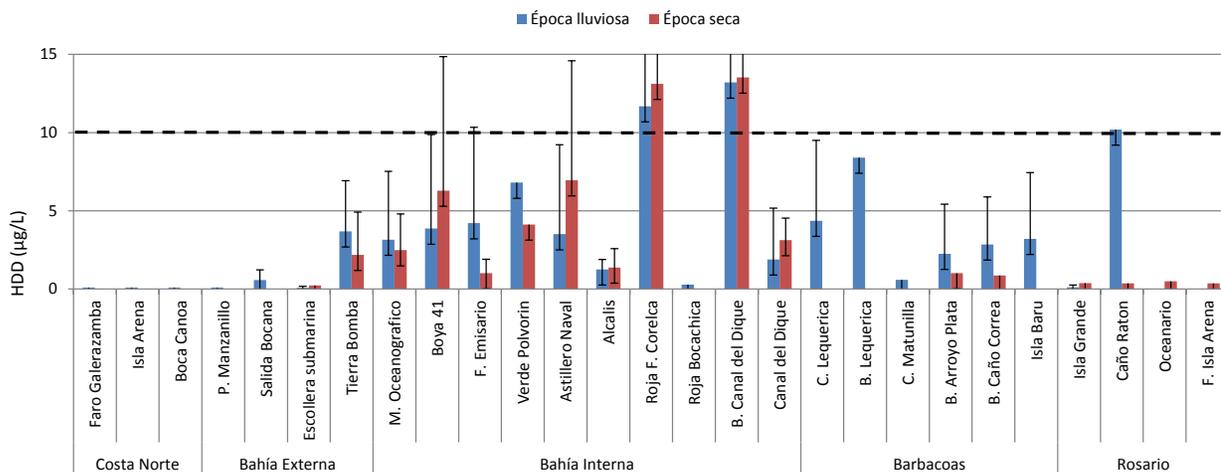


Figura 4.6.14 Concentraciones de HDD ($\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales de Bolívar en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea punteada es el límite permisible para aguas no contaminadas (UNESCO, 1984).

4.6.4 Plaguicidas

Como se comentó en anteriores informes, la ejecución del monitoreo en este departamento no ha sido constante; de 2001 a 2003 se monitorearon algunos plaguicidas organoclorados (OC), sin embargo, no se detectaron residuos de estos compuestos. Entre 2003 y 2008 se interrumpió el monitoreo por inconvenientes logísticos y técnicos; y se reinició en 2009 con el monitoreo del proyecto “*Reduciendo el escurrimiento de plaguicidas al Mar Caribe*” - REPCar, durante su ejecución se detectaron algunos residuos de isómeros del HCH y Endosulfan un plaguicida que no se había monitoreado anteriormente (Tabla 4.6.1).

Durante el último periodo de análisis se lograron monitorear 4 estaciones en la época lluviosa de 2012 (Álcalis, Boya roja Frente a Corelca, Ciénaga - Norte de la pantalla de Boca y Frente al emisario de Acuacar) y en la seca de 2013 se amplió el monitoreo a 11 estaciones. No obstante, las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección de las técnicas analíticas, mostrando con esto una tendencia al descenso en la frecuencia de aparición OC desde 2011.

Como se discutió en el informe 2012, la contaminación por plaguicidas en el departamento se centraliza principalmente en el sector de la bahía de Cartagena y la Ciénaga de la Virgen debido a las actividades agrícolas en sus alrededores (Garay, 1993; Vivas-Aguas *et al.*, 2010); al aporte de aguas del río Magdalena por el Canal del Dique y la presencia de industrias productoras de agroquímicos en el sector industrial de Cartagena muy cerca de la bahía. Por esta razón, desde que se inició el monitoreo de plaguicidas de uso actual (en el 2008), se detectaron clorpirifos y metilparation en la Ciénaga de la Virgen y la Bahía de Cartagena (Tabla 4.6.1). No obstante, es difícil establecer su procedencia ya que son insecticidas de amplio uso.

Tabla 4.6.1. Concentración de plaguicidas en aguas superficiales del departamento de Bolívar de 2009 a 2013 y valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).

		ΣIsómerosHCHs (ng/L)	Endosulfan (ng/L)	Clorpirifos(ng/L)	Metilparation (ng/L)
Seca 2009	Boya Corelca	7,7	-	-	-
	Ciénaga de la Virgen	-	-	32,0	-
Lluviosa 2009	Des. canal del Dique	-	-	38,8	-
	Boya Corelca	-	-	31,6	-
	Bahía Cartagena	-	-	19,3	-
Seca 2010	Ciénaga de la Virgen	19,1	20,0	-	-
	Frente a Álcalis	-	-	-	59,1
Lluviosa 2010	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 –seca 2013		-	-	-	-
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 metales pesados en el departamento de Bolívar se han llevado a cabo en la bahía de Cartagena, principalmente el análisis de mercurio ya que la extinta planta de cloro-álcali que

utilizaba este metal como cátodo en la electrólisis para la producción de cloro, realizaba sus descargas en los sedimentos de la bahía. 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”. Desde 2001 se realizan 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.

Para el periodo actual, correspondiente a la época lluviosa de 2012 y seca de 2013, los niveles de Plomo, Cadmio y Cromo estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica (Pb= 25 µg/L; Cr= 25 µg/L y Cd= 32 µg/L) de forma que no existe riesgo de contaminación al estar por debajo de los niveles de referencia de guías internacionales (Pb: 210 µg/L y Cd: 40 µg/L, Buchman, 2008; Cr: 50 µg/L, Conama, 1986).

Históricamente se observan valores más altos de Pb en las zonas Costa Norte, Bahía Interna y Bahía Externa. El valor promedio más alto se alcanza en la estación Tierra Bomba (506,9±423,8 µg/L) durante la época seca, sin embargo, en la época lluviosa se registra un valor promedio para esta estación de 98,7 µg/L (Figura 4.6.15). En general, para el Pb y Cr, las zonas Barbacoas e Islas del Rosario han presentado valores promedios por debajo del valor de referencia de guías internacionales indicando que no hay problemas por contaminación aguda de metales pesados. En cuanto al Cd, la zona Bahía Interna reporta los valores promedios por debajo del valor de referencia de la NOAA, salvo algunas ocasiones que se ha superado este valor, de manera general se infiere que no existe problemas de contaminación aguda por Cd en aguas superficiales marinas. Para Cd los valores más altos se han determinado en la Costa Norte y Bahía Externa siendo la estación Punta Canoa la del mayor valor promedio (82,0±14,1 µg/L), reportado en época seca, mientras que en época lluviosa la estación Roja Bocachica con 34,1±40,5 µg/L presenta el valor promedio más alto de la época.

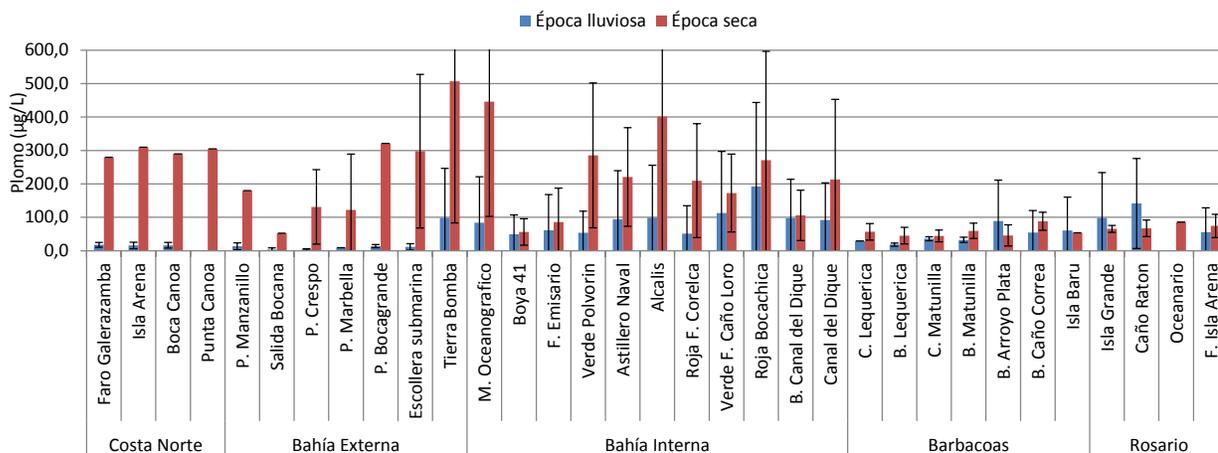


Figura 4.6.15 Concentraciones promedio de Pb disuelto (µg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca de 2001 a 2013, en estaciones de aguas superficiales del departamento de Bolívar. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

4.6.6 Ciénaga de La Virgen

La Ciénaga de la Virgen es un sistema estuario ubicada al nororiente de Cartagena con un área de 520 km² y en la cual tributan ocho arroyos provenientes de la zona rural y 20 canales en el perímetro urbano de Cartagena y esta ciénaga recibe alrededor del 60% de las aguas servidas de Cartagena, con un volumen aproximado de 114.000 m³/día, aunque en los últimos años se está implementando la construcción del nuevo emisario submarino que espera cambie esta situación. La capacidad de intercambio de sus aguas es muy reducida debido al taponamiento periódico del canal que comunicaba con el mar Caribe, provocando problemas de eutrofización, salinidad, muerte de peces, reducción del flujo lagunar y pérdida de su dinámica ambiental (Maldonado, *et al.*, 2011).

Para este análisis se utilizaron los datos de los muestreos del 28 de agosto de 2012 (época lluviosa) y del 29 de octubre de 2013 (época lluviosa); en 2013 se monitorearon 9 estaciones al interior de la Ciénaga (Figura 4.6.16), y se midieron parámetros fisicoquímicos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), materia orgánica, microbiológicos, hidrocarburos, aceites y grasas, plaguicidas y metales pesados.

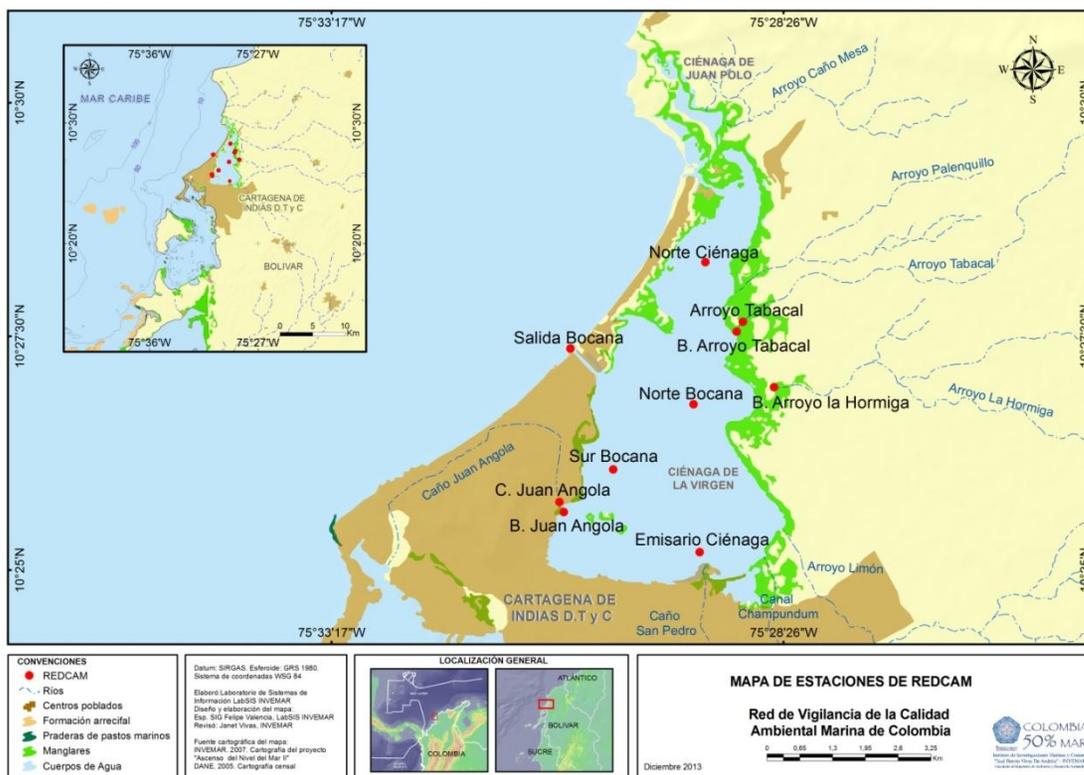


Figura 4.6.16. Estaciones de muestreo de la Ciénaga de la Virgen

4.6.6.1 Calidad de Aguas

Temperatura

La temperatura de las aguas superficiales de la Ciénaga de la Virgen osciló entre 30,9 °C y 32,8 °C (promedio 32,0°C ± 0,68 °C) en la época de lluvias de 2012; mientras que en la época de lluvias de 2013 entre 29,5 °C y 31,5 °C (promedio 30,5 °C ± 0,81 °C; Figura 4.6.17). En el emisario se registraron aguas más cálidas, debido a que los monitoreos se realizaron en la mañana, donde las condiciones de radiación solar son mayores y a que este sistema estuarino tiene poca profundidad 0,85 m promedio, calentándose la

capa superficial del agua (INDERENA, 1994; Tuckovenko y Castro, 2001). Por otro lado, los datos históricos reflejan que las temperaturas más altas se observan en las estaciones norte de la Ciénaga y salida de la bocana para la época de lluvias (30,1 °C y 30,0 °C, respectivamente).

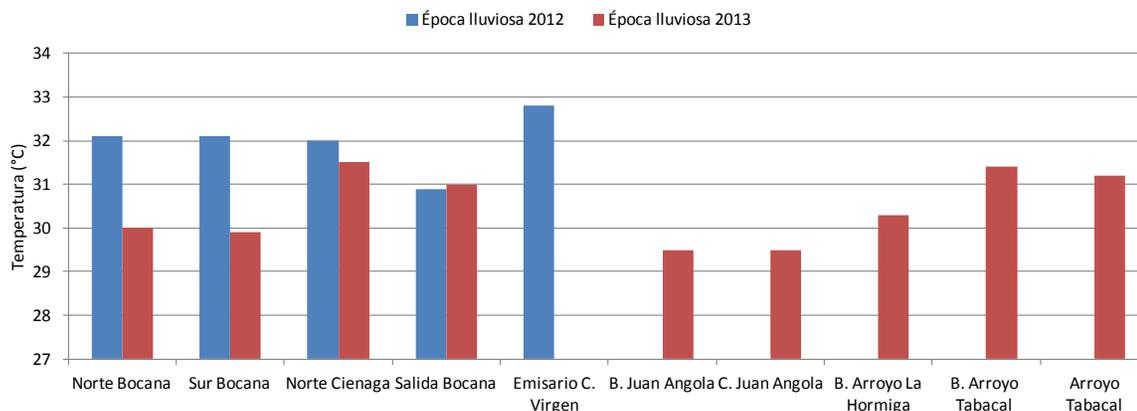


Figura 4.6.17. Temperaturas (°C) superficial de las aguas medidas en la Ciénaga de la Virgen durante la época de lluvias de 2012 y 2013.

Salinidad

Los valores de salinidad fluctuaron entre 9,5 y 31,3 para la época lluviosa de 2012, y entre 19,8 y 27,1 para la época lluvias de 2013 (Figura 4.6.18). El comportamiento encontrado con respecto a esta variable está respondiendo a la época del año y la entrada de agua por los diferentes afluentes hídricos que drenan en la ciénaga; es decir que las estaciones que se encontraron cerca de la influencia estuarina registraron las mayores salinidades; mientras que las ubicadas en la boca de los arroyos o cerca a estos tuvieron los menores de esta variable, tal como se esperaba.

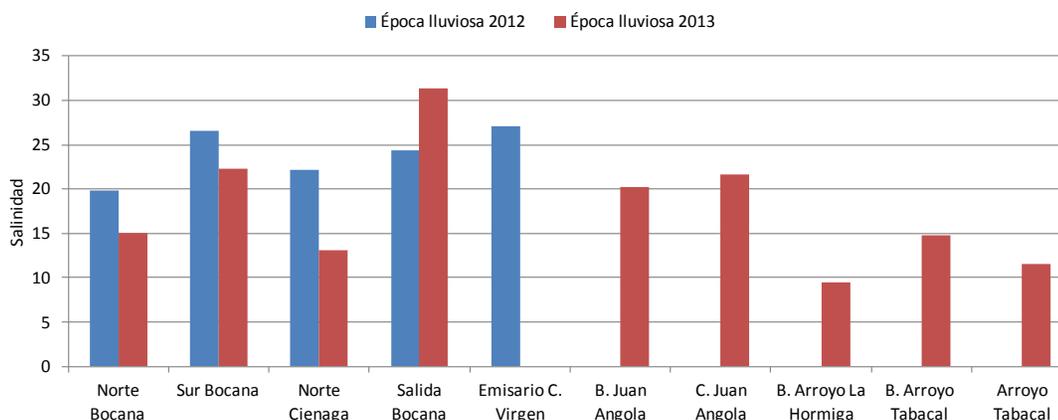


Figura 4.6.18. Salinidad superficial del agua en la Ciénaga de la Virgen en las épocas de lluvias de 2012 y 2013.

pH

Los valores de pH en la época de lluvias de 2012 oscilaron entre 8,4 a 8,7 con un promedio $8,5 \pm 0,1$; mientras que en el 2013 fluctuaron entre 5,4 a 8,4 con un promedio $8,0 \pm 0,8$ (Figura 4.6.19). En la mayoría de las estaciones los valores de pH se mantuvieron dentro de los valores permisibles por la legislación Colombiana (Decreto 1594 de 1984), sin embargo la estación Norte Ciénaga obtuvo el valor más bajo con 5,4; dicho valor se encuentra por debajo al rango establecido para agua marinas y estuarinas establecido en la legislación Colombiana de 6,5 a 8,5 (MinSalud, 1984).

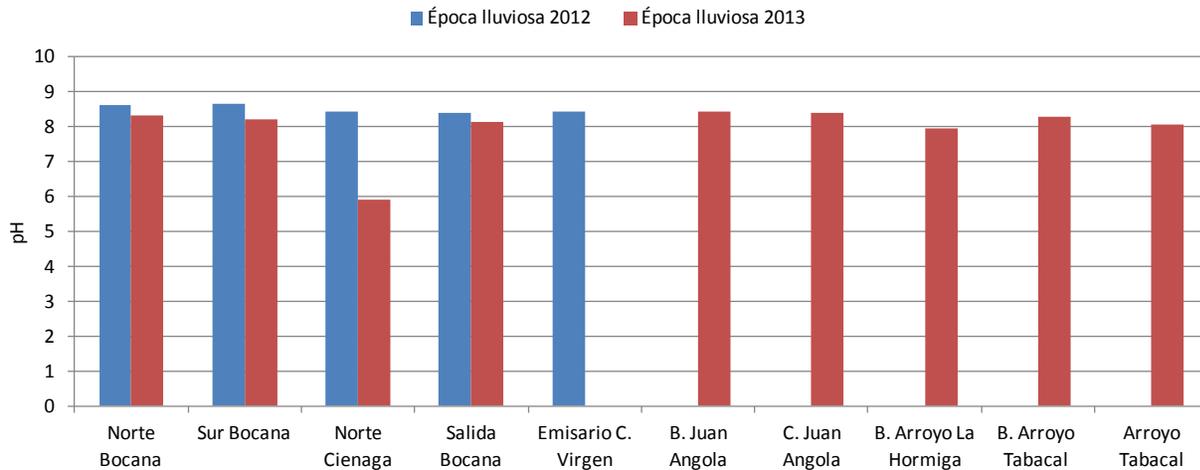


Figura 4.6.19. Valores de pH en aguas superficiales en la Ciénaga de la Virgen medidos en la época de lluvias de 2012 y 2013.

Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) en la época lluviosa 2012 fluctuó entre 2,1 y 7,2 mg/L (promedio de $4,5 \pm 2,3$); en la época lluviosa 2013 entre 2,8 y 4,9 (promedio de $4,3 \pm 0,8$) para la época de lluvias de 2013 (Figura 4.6.20). En la mayoría de las estaciones los valores de OD estuvieron por encima de los 4,0 mg/L, excepto salida Bocana y Emisario Ciénaga Virgen (2,1 mg/L), y en 2013 la estación Boca Arroyo de la Hormiga 2,7 mg/L. Esta condición es inadecuada para la preservación de la flora y la fauna según la legislación colombiana ($<4,0$ mg/L; MinSalud, 1984). Asimismo, según las metas propuestas en el proyecto de la boca estabilizada; este valor se encuentran por debajo de la meta (> 4 mg/L).

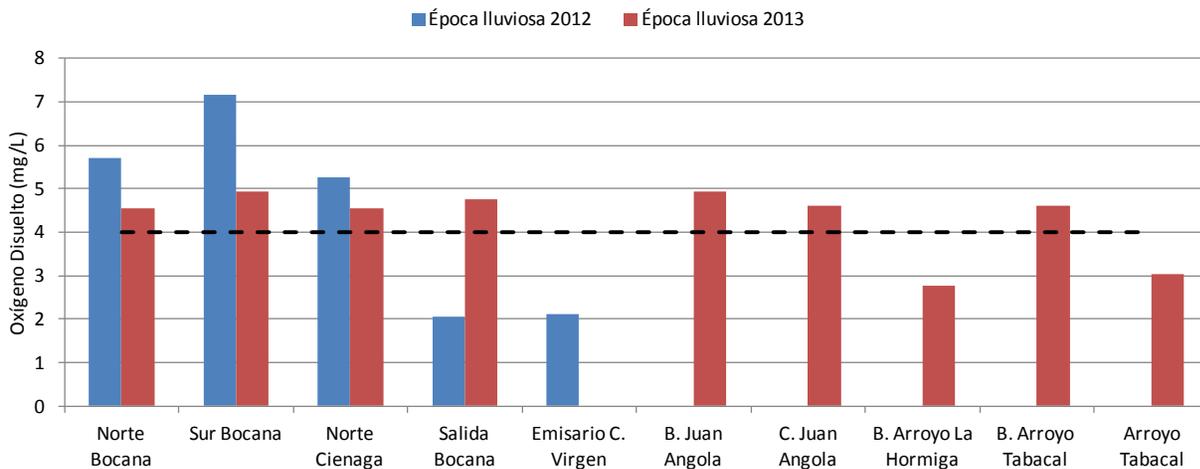


Figura 4.6.20. Oxígeno disuelto (mg/L) medido en aguas superficiales en la Ciénaga de la Virgen, en la época de lluvias 2012 y 2013. La línea punteada representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

Sólidos Suspendedos Totales

Los sólidos suspendidos totales (SST) no sobrepasaron los 60 mg/L (Figura 4.6.21) y los mayores valores se presentaron en la estación Norte Bocana y el Emisario en el 2012, mientras que en el 2013 fue en el

arroyo La Hormiga. Es importante mencionar que las variaciones de SST encontradas en las estaciones Norte Bocana, Boca Arroyo la Hormiga y Emisario, se debe al cambio de la marea y al drenaje de los arroyos que desembocan en la ciénaga, que resuspenden los sedimentos del fondo (INDERENA, 1994). Y el emisario también aporta altos contenidos de sólidos suspendidos a la ciénaga por la descarga de aguas residuales.

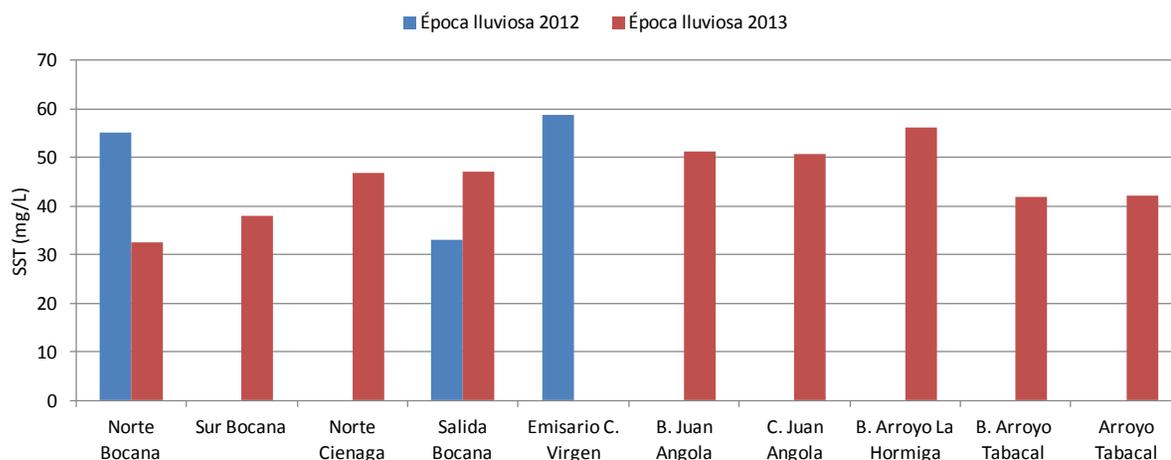


Figura 4.6.21. Concentraciones de SST (mg/L) medidas en agua superficial de la Ciénaga de la Virgen en la época lluvias 2012 y 2013.

Nutrientes

Se analizó el nitrógeno en formas de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+), y el fósforo inorgánico disuelto en forma de ortofosfato (PO_4^-). Las mediciones de estos parámetros mostraron variaciones entre estaciones de muestreo durante la época de lluvia de 2012 y 2013, registrándose los mayores valores en las estaciones ubicadas en los arroyos que drenan la ciénaga (Salida Bocana y el Emisario). Los valores de NO_3^- fluctuaron entre 0,7 $\mu\text{g/L}$ y 1,9 $\mu\text{g/L}$ con un (promedio de $1,4 \pm 0,6 \mu\text{g/L}$) para la época de lluvias del 2012 y, de 3,4 $\mu\text{g/L}$ y 24,3 $\mu\text{g/L}$ con un (promedio de $10,7 \pm 7,4 \mu\text{g/L}$) para la época de lluvias 2013. Las mayores concentraciones de NO_3^- , se registraron en la época de lluvias de 2013 en las estaciones Caño Juan Angola, Boca Arroyo de la Hormiga, Sur Bocana y Norte Bocana (Figura 4.6.22).

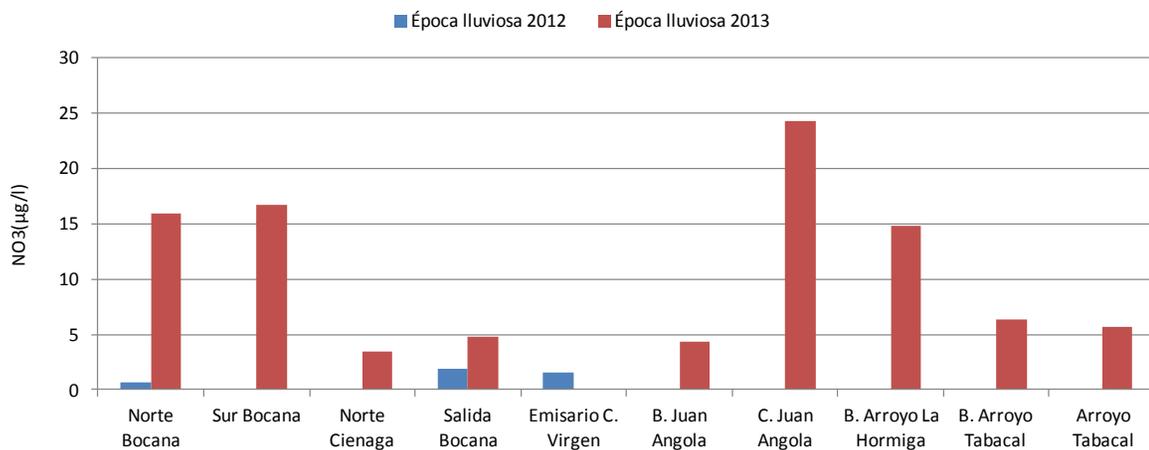


Figura 4.6.22. Concentraciones de nitratos ($\mu\text{g/L}$) medidas en agua superficial de la Ciénaga de la Virgen en la época lluvias 2012 y 2013.

Con respecto a las concentraciones de NO_2^- oscilaron entre 1,5 $\mu\text{g/L}$ y 2,0 $\mu\text{g/L}$ con un promedio de $1,7 \pm 0,39 \mu\text{g/L}$ en época lluviosa 2012, y de 1.6 $\mu\text{g/L}$ y 2,2 $\mu\text{g/L}$ con un promedio de $1,9 \pm 0,3 \mu\text{g/L}$ en época lluviosa 2013 (Figura 4.6.23). Siendo las estaciones muestreadas en la época de lluvias en el 2013 las que registraron los mayores valores, entre estas estaciones se encuentra Boca y Caño Juan Angola, Boca de arroyo de la Hormiga, Norte de la ciénaga y Norte de la Bocana, ésta última estación presentó altos valores en ambos periodos climáticos (2 $\mu\text{g/L}$ en 2012 y 1,9 $\mu\text{g/L}$ en 2013).

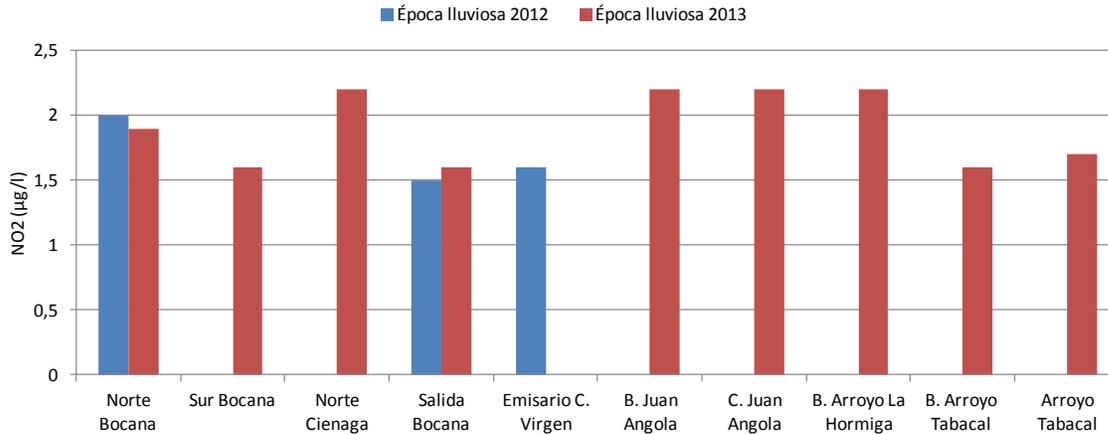


Figura 4.6.23. Concentraciones de nitritos ($\mu\text{g/L}$) medidas en agua superficial de la Ciénaga de la Virgen en la época lluvias 2012 y 2013.

Por su parte las concentraciones de NH_4^+ tuvo valores altos entre estaciones muestreadas en la época de lluvias 2012 (Figura 4.6.24). Los valores obtenidos para esta época sobrepasaron los 60 $\mu\text{g/L}$, siendo la estación salida de la Bocana la que registro el mayor valor, seguida de la estación emisario. Con respecto época de lluvias de 2013 las concentraciones de éste nutriente no sobrepasaron los 20 $\mu\text{g/L}$, siendo la estación Boca de Juan Angola la que registró el mayor valor 18 $\mu\text{g/L}$.

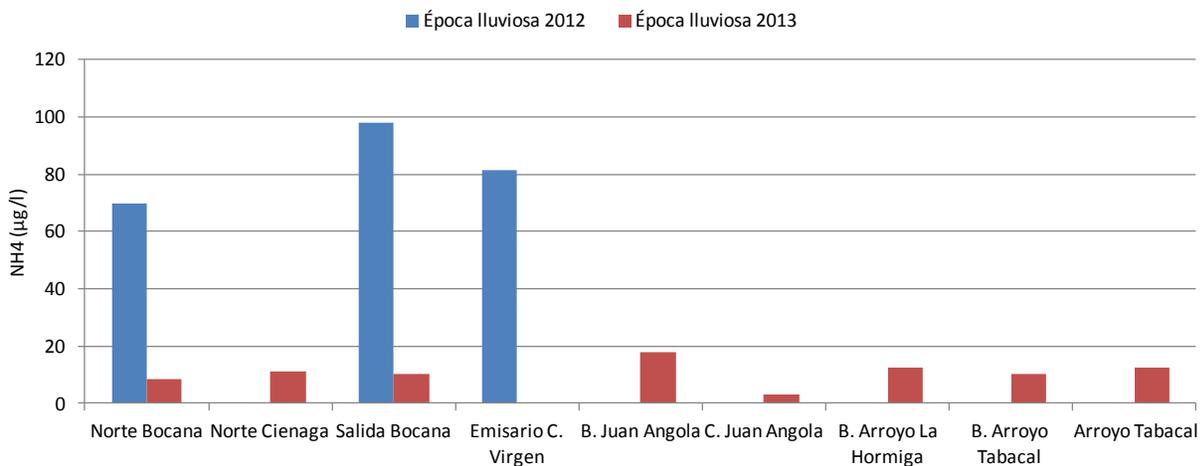


Figura 4.6.24. Concentración de amonio ($\mu\text{g/L}$) medidas en agua superficial de la Ciénaga de la Virgen en la época lluvias 2012 y 2013.

Por otro lado el comportamiento de PO_4 , registró las concentraciones más altas en la época de lluvias 2013 (Figura 4.6.25), en la estación emisario la que tuvo el mayor (149 $\mu\text{g/L}$), seguida de Norte Bocana (114,1

µg/l). Los menores valores se registraron en la época de lluvias de 2012. Es importante mencionar que la contaminación por esta variable en la ciénaga es focalizada por la estación el emisario, debido a descarga de aguas servidas.

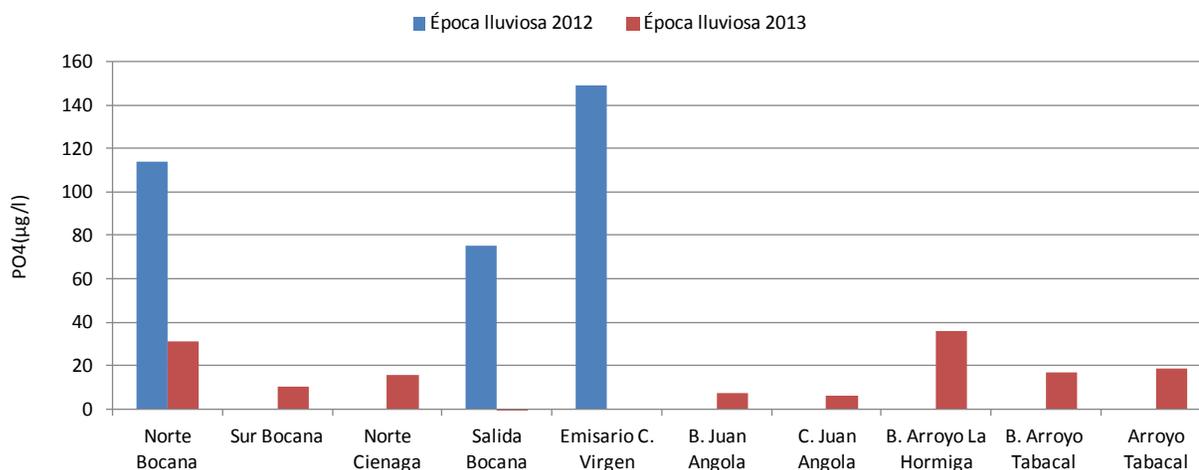


Figura 4.6.25. Concentración de fosfato (µg/L) medidas en agua superficial de la Ciénaga de la Virgen en la época lluvias 2012 y 2013.

Clorofila

La concentración de clorofila en la ciénaga fluctuó entre 3,2 y 51,2 mg/L con un (promedio de $23,2 \pm 20,2$; Figura 4.6.26), encontrándose la mayor concentración de clorofila al norte de la ciénaga, este comportamiento estaría influenciado por las descargas de los arroyos que drenan en este sistema estuarino, además los nitritos y amonio fueron también elevados, razón que estaría explicando los altos valores por procesos de remoción de la materia orgánica.

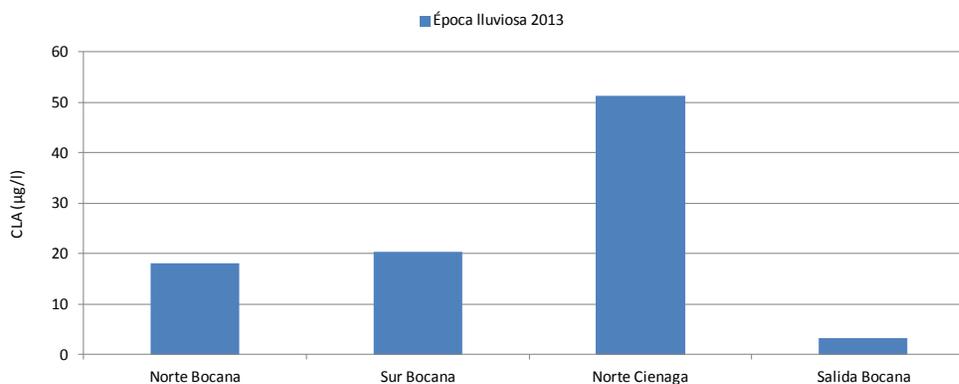


Figura 4.6.26. Clorofila (µg/L) medidas en agua superficial de la Ciénaga de la Virgen en la época lluvias 2012 y 2013.

Microbiológicos

El monitoreo de la calidad microbiológica de la Ciénaga de la Virgen mediante la determinación de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) mostraron la época lluviosa 2012 condiciones no aptas para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario y secundario, con valores de CTT que superaron los $1.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ (MinSalud, 1984), mientras que en la época lluviosa 2013 los CTT

oscilaron entre 20 NMP.100 mL⁻¹ hasta 24.000 NMP.100 mL⁻¹, con el valor máximo registrado en norte de la Bocana (Figura 4.6.27).

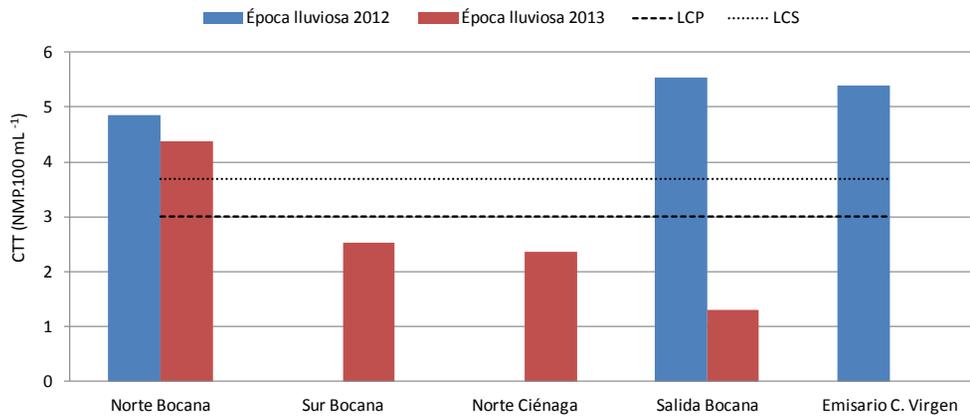


Figura 4.6.27 Concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en la Ciénaga de la Virgen en las épocas lluviosa 2012 y 2013. La línea cortada corresponde al límite de referencia para el desarrollo de actividades de contacto primario (LCP: < LOG 1.000 NMP.100 mL⁻¹) y la línea punteada equivale al límite de referencia para actividades de contacto secundario (LCS: < LOG 5.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto.

En la Tabla 4.6.2, se observa que las concentraciones de CTE medidas para el período de estudio. Los resultados muestran que sólo en norte de la Bocana en ambas épocas superaron el límite para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario (< 200 NMP. 100 mL⁻¹), estas concentraciones son atribuidas a la contaminación puntual por basuras y por las escorrentías que durante la temporada de lluvias producen mayor arrastre de materia orgánica aumentando las concentraciones. Estas mediciones en comparación con el registro histórico, muestran una mejora de la calidad del sistema, sin embargo históricamente se han registrado promedios por encima de 1.000 NMP. 100 mL⁻¹, mostrando el recurrente detrimento de la calidad microbiológica de la ciénaga, por lo que la presencia de estos microorganismos puede presentar un riesgo para la salud de los pobladores que empleen este recurso.

Tabla 4.6.2. Coliformes Termotolerantes (CTE) medidas en la Ciénaga de la Virgen, Bolívar para las épocas lluviosa 2012 y 2013.

Estación	Época lluviosa	
	2012 (NMP. 100 mL ⁻¹)	2013 (NMP. 100 mL ⁻¹)
Norte Bocana	5200	4900
Sur Bocana	-	-
Norte Ciénaga	-	20
Salida Bocana	10	20
Emisario C. Virgen	10	-

DBO₅ y Materia Orgánica

La DBO₅ y la materia orgánica oxidable en agua, son ensayos indicadores del contenido de materia orgánica debido a que sus comportamientos están correlacionados. En la Ciénaga de la virgen, como consecuencia de las múltiples descargas de aguas residuales que recibe, es de esperar que estas variables presenten valores altos, indicativos del deterioro de origen antrópico. Los resultados de DBO₅ mostraron

para el 2011 en la mayoría de estaciones los valores fueron superiores a 5 mg/L (Figura 4.6.28) evidenciando alto contenido de materia orgánica según Kiely (1999), excepto en la salida Bocana y la Ciénaga Juan Polo. En el 2013 se observa un descenso en las concentraciones de DBO₅ y MO oxidable en las cuatro estaciones monitoreadas.

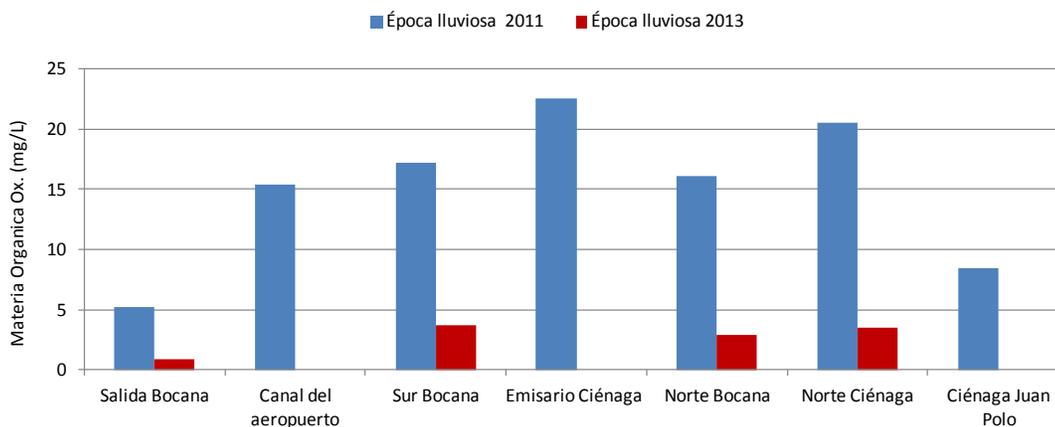


Figura 4.6.28. DBO₅ (mg/L) medido en el agua superficial de la Ciénaga de la Virgen en las épocas de lluvia de 2011 y 2013
 En las estaciones donde se registraron mayores valores de DBO₅, se presentaron los contenidos más altos de materia orgánica, especialmente en la época lluviosa de 2011 (Figura 4.6.29) 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); para la época de lluvias de 2013 fue evidente la disminución de la materia orgánica donde las concentraciones oscilaron entre 0,8 y 3,7 mg/L, valores aproximadamente 6 veces inferiores al máximo valor medido en el período de lluvias de 2011. Esta situación puede ser una evidencia de la disminución de las descargas de aguas residuales hacia la ciénaga con la entrada en funcionamiento del emisario y la adecuación de nuevos canales recolectores de aguas residuales

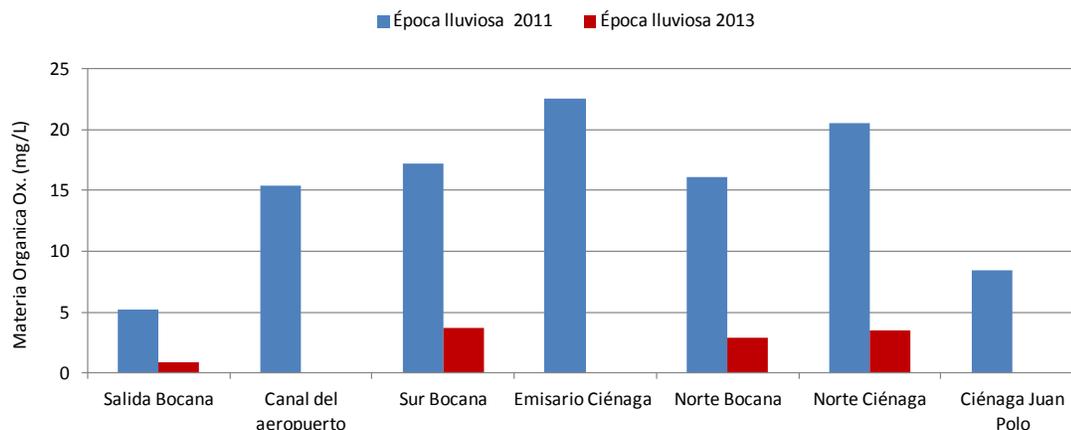


Figura 4.6.29. Materia orgánica (mg/L) medida en el agua superficial de la Ciénaga de la Virgen en las épocas de lluvia de 2011 y 2013.

Hidrocarburos

Las concentraciones de los hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) determinadas en las estaciones de la Ciénaga de la Virgen no superaron el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la UNESCO y por encima del cual se considera alto riesgo para la biota acuática (UNESCO, 1984). Durante el período de lluvias 2012 los valores fluctuaron entre 0,84 µg/L y 1,59 µg/L y para la misma época del 2013 estuvieron entre 0,17 µg/L y 0,67 µg/L. Las concentraciones más altas en ambos periodos de muestreo se registraron

en las estaciones de Norte Bocana y Salida Bocana (Figura 4.6.30). El vertimiento ocasional de residuos de hidrocarburos en ésta zona está asociado a descargas tanto de aguas servidas como del sector industrial en la zona.

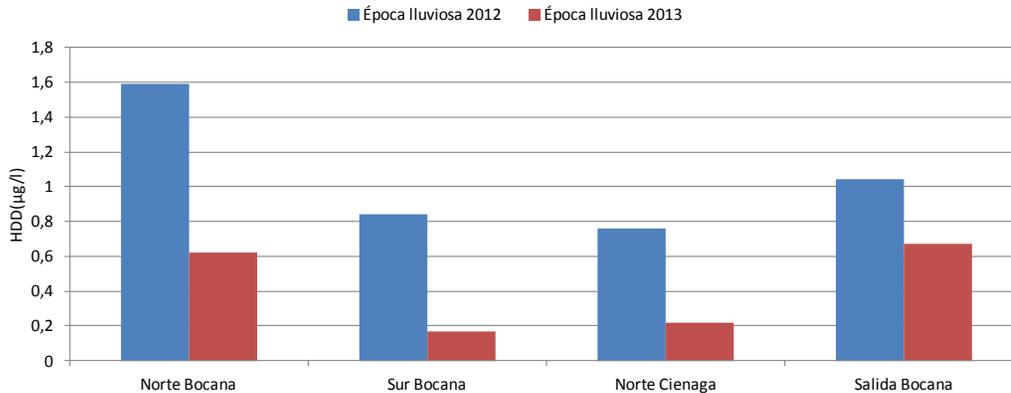


Figura 4.6.30. Hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g/L}$) medidos en aguas superficiales de la Ciénaga de La Virgen, en las épocas lluviosas de 2012 y 2013.

Los datos históricos registrados en la Ciénaga de la Virgen muestran que hasta el momento, únicamente durante el muestreo realizado en época lluviosa 2011 se han presentado valores de HDD que superan el valor de referencia para aguas contaminadas de $10 \mu\text{g/L}$ (Unesco, 1984), de manera sobresaliente en Norte Bocana ($10,79 \mu\text{g/L}$) y Salida Bocana ($15,92 \mu\text{g/L}$; Invemar, 2012). Sin embargo y a pesar de que el sector industrial de la zona aumentó casi el doble su producción en los últimos 10 años, la tendencia general de la variable en el tiempo es a disminuir, probablemente porque los vertimientos a la ciénaga se han reducido en relación a la puesta en marcha del emisario submarino y a que actualmente cerca del 90% de las empresas allí ubicadas cumplen con las normas ambientales, especialmente en materia de plantas de tratamiento y producción más limpia. (Cardique, 2011).

Aceites y Grasas

Durante la época lluviosa 2012 las concentraciones de aceites y grasas fluctuaron entre $0,7 \text{ mg/L}$ y $1,5 \text{ mg/L}$ y entre $0,5 \text{ mg/L}$ y $1,9 \text{ mg/L}$ para la misma época 2013 (Figura 4.6.31). Los valores registrados indican baja contaminación en la ciénaga debido posiblemente al recambio de agua en la Bocana de Marea Estabilizada; tomando como referencia de manera informal 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), puesto que la legislación colombiana no cuenta un valor permisible para grasas y aceites en aguas marinas y costeras.

Las variaciones espaciales y temporales pueden deberse a que la matriz agua sólo brinda una imagen instantánea de la situación existente y que factores no vinculados a la contaminación tales como: corrientes, precipitaciones, temperatura e incluso otros procesos químico-biológicos naturales pueden hacer variar los contenidos de estas sustancias en la columna de agua. (Chabalina y Beltrán, 1998).

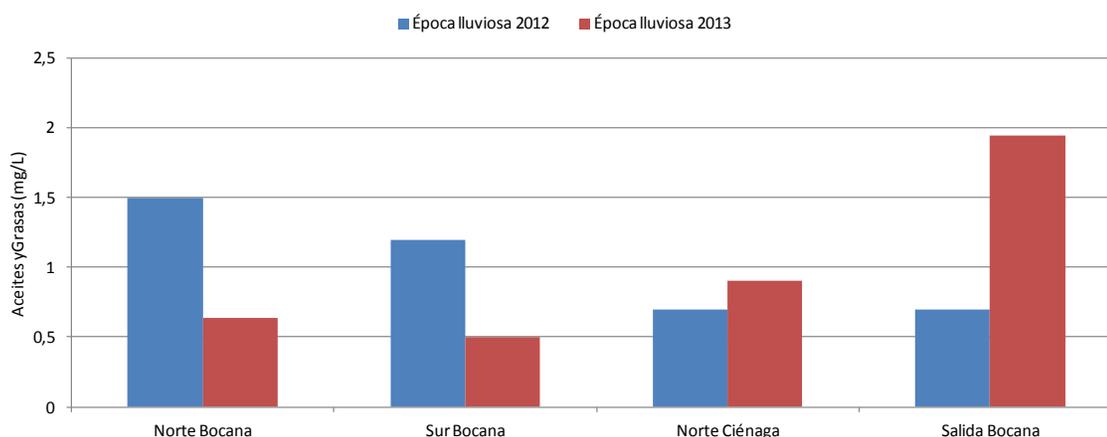


Figura 4.6.31. Concentraciones de aceites y grasas (mg/L) medidas en aguas superficiales de la Ciénaga de La Virgen, en las épocas lluviosas de 2012 y 2013

Plaguicidas

El trabajo de campo en el sector de la Ciénaga de la Virgen contempló la determinación de plaguicidas organoclorados y de uso actual. Durante las épocas lluviosas de 2012 y 2013 las concentraciones de las moléculas evaluadas se encontraron por debajo del límite de detección de las técnicas utilizadas. Sin embargo teniendo en cuenta evaluaciones anteriores, por ejemplo en 2011 (INVEMAR, 2012), donde se determinaron concentraciones de clorpirifos superiores al valor considerado por la NOAA (11 ng/L, Buchman, 2008) como capaz de generar efectos agudos en organismos; no se debe descartar la necesidad de mantener los monitoreos de estos compuestos que puedan evidenciar su presencia, que si bien es esporádica lleva asociada efectos sobre el ecosistema local.

Metales pesados

Los ecosistemas estuarinos, como la Ciénaga de la Virgen, son controlados por complejas interacciones entre la tierra, el océano y la atmósfera, lo que resulta en alta entornos cambiantes y vulnerables. Ellos se caracterizan por las altas fluctuaciones en los parámetros físico-químicos y, en la mayoría de los casos, existe una ocurrencia significativa de las actividades humanas, incluyendo industrial, doméstico y agrícola vertidos de residuos, por lo tanto influyendo fuertemente en estos procesos e interacciones (Beltrameet al., 2009) que se encuentran relacionadas con la biodisponibilidad de metales pesados, los cuales bajo ciertas condiciones ambientales, pueden acumularse hasta alcanzar una concentración tóxica y causar daños ecológicos.

El análisis de metales pesados en la Ciénaga de la Virgen para el periodo actual de 2013, evidencia que solo el Pb y Ni presentan concentraciones detectables. Los metales Cd, Cr, Cu y Zn estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (Cd: 0,25 µg/L; Cr: 0,50 µg/L; Cu: 0,50 µg/L; Zn: 0,80 µg/L). Las concentraciones de Pb registradas en la estación Sur de la Bocana (0,2 µg/L) y Norte de ciénaga de la Virgen (0,9 µg/L), se encuentran muy por debajo de los niveles de riesgos establecidos en guías internacionales para efectos agudos en la salud de especies acuáticas (210 µg/L, Buchman, 2008). De igual forma, las concentraciones de níquel registradas en las estaciones Norte de la Bocana (1,6 µg/L) y Norte de la Ciénaga de la Virgen (2,6 µg/L), se encontraron por debajo del valor de riesgo establecido en la guía internacional de la NOAA (74 µg/L, Buchman, 2008).

4.6.6.2 Calidad de Sedimento

Materia Orgánica

Como se indicó para el año 2012, las concentraciones de MO en los sedimentos de la Ciénaga de la Virgen presentaban valores entre 3,7 y 105,0 mg/g (Figura 4.6.32), que son considerados normales para manglares tropicales, pero adicional a esto, la ciénaga recibe materia orgánica proveniente de las aguas residuales de la ciudad de Cartagena (Tabla 4.6.3). Para el 2013, al igual que lo observado en las aguas se presentó un descenso en las concentraciones de MO en los sedimentos indicando una reducción en la entrada de material orgánico al sedimento de la ciénaga, como se indicó anteriormente puede obedecer a la entrada en funcionamiento del emisario y la adecuación de nuevos canales. En el caso de la Salida de la bocana se puede estar presentando un efecto de acumulación lo cual puede indicar la necesidad de mantenimientos en esta infraestructura.

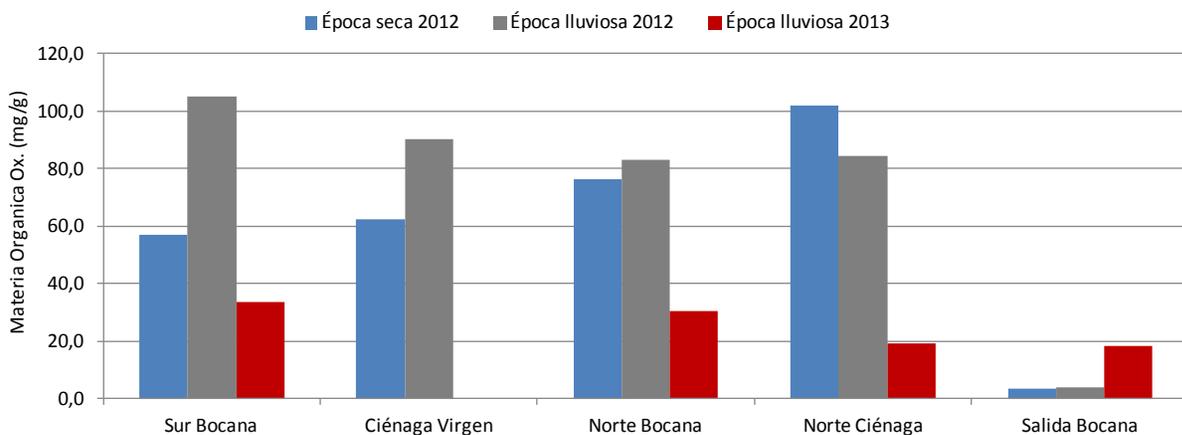


Figura 4.6.32 Valores de materia orgánica oxidable (mg/g) en el sedimento superficial de la Ciénaga de la Virgen en época seca 2012, lluviosa 2012 y lluviosa 2013.

Tabla 4.6.3 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	Solano et al., (2008)
Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela	15,3 -147,0	Márquez, et al., 2005
Baja California, México Sedimentos de Manglar tropical	40,4 - 129 *	Gianiet al., (1996)
Isla Hinchinbrook, Australia Sedimentos de manglar tropical y subtropical	53,3 -177 *	Alongi et al., (1999)
Estuario Jiulongjiang, China (Sedimentos de manglar subtropical)	17,5 - 30,4*	Alongi et al., (1999)
Playas en la Bahía de Taganga	1,1 - 6,4	Troncoso et al., 2008
Ciénaga de la Virgen (Bolívar)	64,4 ±43,4	Presente estudio

Hidrocarburos, Aceites y grasas.

En Colombia no existen criterios sobre niveles permisibles o valores umbrales de hidrocarburos en sedimentos, o referencias de concentraciones que puedan causar efectos tóxicos a la vida marina; por lo tanto se tomó como referencia para el análisis de la información obtenida durante los muestreos el valor

determinado por la NOAA de 3,9 µg/g para sedimentos no contaminados. A diferencia del agua, los sedimentos provenientes de la Salida Bocana mostraron una concentración de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) que supera el valor de referencia durante la época de lluvias 2012 (4,24 µg/g) (Tabla 4.6.4), esto se debe a la gran cantidad de materia orgánica contenida en las aguas residuales, la cual llega al medio marino y se convierte en un absorbente de contaminantes que se encuentran suspendidos, disueltos y/o particulados en las masas de agua. Durante la época lluviosa 2013, las concentraciones estuvieron por debajo del nivel de referencia de evaluación para sedimentos contaminados (NOAA, 1990). La variabilidad espacial y temporal implica que no existe una entrada constante de residuos de hidrocarburos al medio marino.

Durante la época de lluvias 2012, el contenido de grasas y aceites en los sedimentos del área fluctuó entre 0,18 mg/g y 1,04 mg/g. Para la época lluviosa 2013, los valores estuvieron entre 0,04 mg/g y 0,79 mg/g (Tabla 4.6.5). En ambientes estuarinos como la Ciénaga de la Virgen, la presencia de esta clase de compuestos se debe a la escorrentía continental, las descargas de aguas residuales domésticas e industriales con alto contenido de materia orgánica y al transporte de embarcaciones de pesca artesanal.

Tabla 4.6.4. Resultados de las mediciones de contaminantes orgánicos en sedimentos en la Ciénaga de la Virgen, durante la época lluviosa 2012 y lluviosa 2013.

Estación	Época Lluviosa 2012		Época Lluviosa 2013	
	GyA(mg/g)	HDD (µg/g)	GyA(mg/g)	HDD (µg/g)
Norte Bocana	0,25	1,08	0,60	1,19
Sur Bocana	0,18	1,68	0,14	0,35
Norte Ciénaga	1,04	0,19	0,21	0,94
Salida Bocana	0,25	4,24	0,79	1,30
<i>Valor de referencia</i>		3,9 *		3,9 *

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

Plaguicidas

Durante los muestreos realizados en época lluviosa de 2012 y 2013, las concentraciones de los plaguicidas en los sedimentos de la Ciénaga de la Virgen se encontraron por debajo del límite de detección de las técnicas aplicadas. Sin embargo, el hecho de que en monitoreos anteriores se hayan presentado residuos de plaguicidas en los sedimentos de la ciénaga, tanto en su forma original como en forma de metabolitos producto de la degradación de los compuestos originales, indica que aún continúa la aplicación de estos contaminantes en zonas aledañas (INVEMAR, 2012).

Resultados similares fueron reportados por Garay y Castro (1996) en un estudio de la contaminación por plaguicidas en 7 estaciones de la Ciénaga, donde se analizaron plaguicidas organoclorados en sedimentos marinos concluyendo que la contaminación por este tipo de compuestos en este ecosistema tiene como fuente la zona agrícola al este y aguas negras al costado suroriental. Los suelos y aguas de escorrentía presentaron DDT, DDE, DDD, lindano tanto en época seca como húmeda. De igual forma, conclusiones obtenidas en la ampliación del estudio de la contaminación por plaguicidas en ecosistemas costeros en el área de Cartagena, Ciénaga de la Virgen y zona agrícola adyacente, mostraron que en la época húmeda se determinaron los mayores valores, especialmente DDT y metoxicloro con un promedio de 0.374 y 0.111 ng/g respectivamente en sedimentos (Castro, 1997).

La concentración de estos contaminantes ha ido en descenso y por ende su uso en las zonas agrícolas y áreas urbanas adyacentes a la Ciénaga, sin embargo los niveles de algunos compuestos individuales pueden representar un peligro potencial para los organismos acuáticos que habitan la zona de evaluación, por lo que es recomendable la continuidad en el monitoreo para controlar los procesos de contaminación.

Metales Pesados

Los sedimentos, uno de los principales reservorios de metales traza, actúan como recursos secundarios de contaminación en el medio ambiente marino (Rubio *et al.*, 1996). Los metales trazas presentan concentraciones relativamente elevadas en los sedimentos superficiales de las zonas costeras alteradas por el hombre. Estos metales guardan relación en su concentración con el tamaño de la partícula y la cantidad de materia orgánica sedimentaria, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema (Sadiq, 1992). En tal sentido, la determinación de metales en los sedimentos, así como también en la biota marina es un buen indicador del origen de los contaminantes en el medio y de los impactos que éstos pueden producir (Castro y Valdéz, 2012).

Para evaluar la contaminación de los sedimentos, se utilizaron los valores de referencia para efectos probables (PEL) propuestos en las tablas SQiRTs de la NOAA (Buchman, 2008) y con los resultados de estudios realizados en otras regiones costeras tropicales o del mundo ya que en Colombia no existe una normativa para este fin. Estos resultados se muestran en la Tabla 4.6.5.

Tabla 4.6.5. Resultados de metales ($\mu\text{g/g}$) del monitoreo de sedimentos en la Ciénaga de la Virgen (Bolívar). Pb = plomo; Cd= cadmio; Cr= cromo; Cu= cobre; Zn= zinc; Ni= níquel.

	Pb			Cd			Cr			Cu			Zn			Ni		
	may-12	ago-12	oct-13															
Sur Bocana	<0,80	15,8	12,7	<0,17	1,7	<0,17	31	83	33	36	23	30	92,3	123	104	36	32	25
Norte Bocana	<0,80	11,2	15,5	<0,17	1,9	<0,17	69	94	49	47	31	50	114	146	160	52	36	30
Norte Ciénaga	<0,80	7,6	19,2	<0,17	4,5	<0,17	15	85	42	8,5	26	37	97,2	67,2	193	34	34	26
Salida Bocana	<0,80	17,4	15,1	<0,17	3,2	<0,17	71	17	13	47	0,9	7	114	73,5	133	50	15	18
Valor de referencia PEL	112			4,2			160			108			271			43		

Las concentraciones de metales pesados, presentaron valores dentro de los rangos registrados en otras zonas costeras del mundo reportados en la Tabla 4.6.6. 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 de 2012 el Cd ($4,5 \mu\text{g/g}$) ha superado el valor de referencia propuesto por la NOAA de $4,2 \mu\text{g/g}$ (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 ya que para el 2013 se evidencia una disminución de su concentración, por lo que se recomienda continuar el monitoreo para evidenciar si hay una variabilidad temporal en los sedimentos de la zona y asociarlo con otras variables fisicoquímicas que pudieran influenciar la liberación de la matriz sedimentaria.

En cuanto a variaciones anuales, se observa una disminución de la concentración para el Cr respecto al monitoreo realizado en agosto de 2012 ($p < 0.05$) mientras que para el Cu se presentó un aumento significativo de la concentración respecto al monitoreo de agosto de 2012 ($p < 0.05$). Sin embargo, la concentración de este metal está por debajo del valor de referencia de la NOAA de $108 \mu\text{g/g}$ (Buchman, 2008).

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 <i>et al.</i> , 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
Ciénaga de la Virgen (Bolívar), Este estudio en 2012	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 de las aguas marino-costeras de Bolívar presentó condiciones en general adecuadas para la preservación de la flora y la fauna. En términos de las variables fisicoquímicas mostraron variaciones entre la época lluviosa 2012 y seca 2013 como respuesta a la acción de los vientos y el oleaje propio de la región, además de la influencia de las precipitaciones y descargas continentales provenientes del Canal del Dique. En las estaciones de la zona de Rosario se continúan registrando temperaturas cercanas a 30 °C, lo cual puede implicar un riesgo de degradación de los corales por blanqueamiento durante ambas épocas climáticas. Los valores de pH, salinidad y oxígeno disuelto se encontraron dentro de los rangos de variación histórica del departamento y acordes a los criterios de calidad establecidos en la legislación colombiana en la mayoría de las estaciones. En la Ciénaga de la Virgen la calidad del agua estuvo afectada por los procesos de mezcla, debido a las descargas de aguas residuales, las lluvias y el aporte de arroyos, que condicionan la hidrodinámica del sistema que se vio reflejada en las variaciones de temperatura y salinidad, así como en los bajos niveles de oxígeno disuelto en los puntos del emisario, salida de la bocana, Arroyo Tabacal y Hormiga que no superaron el límite mínimo permisible (4 mg/L).

Los sólidos suspendidos variaron en todas las zonas, debido al aporte de aguas continentales provenientes del canal del Dique, especialmente en la bahía de Cartagena y la zona de Barbacoas; pero en islas del Rosario los valores no se presentaron riesgos para la salud de los arrecifes coralinos. En islas del Rosario las concentraciones de fosfatos no sobrepasaron el nivel de referencia para el florecimiento de macroalgas, pero los niveles de nitrógeno inorgánico representaron un riesgo para los corales por la proliferación de macroalgas. En la Ciénaga de la Virgen la estación del emisario mostró condiciones inadecuadas de calidad durante la época lluviosa 2012 por las altas concentraciones fosfatos y amonio, debido a la entrada de aguas residuales y por escorrentía.

La calidad microbiológica de las playas ubicadas en la zona norte y la bahía externa de Cartagena presentaron condiciones inadecuadas para el desarrollo de actividades recreativas como la natación, en la época seca 2013 porque superan los límites establecidos por la legislación nacional. En la Ciénaga de la Virgen los valores de coliformes totales durante la época lluviosa 2012 superaron los límites permisibles para el desarrollo de actividades de contacto primario y secundario; mientras que los coliformes termotolerantes en la época lluviosa 2013 solo presentaron altos niveles en la estación Norte Bocana.

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo fueron inferiores al valor de referencia (< 10 µg/L), aunque se encontraron algunos residuos que advierten la presencia de actividad portuaria y aguas servidas. La detección de plaguicidas organoclorados y de “uso actual” cada vez es menor en las aguas del departamento, sin embargo, debido a la variabilidad que han mostrado estos compuestos en sus aguas, amerita mantener la vigilancia sobre sus concentraciones ya que en el caso de compuestos como el clorpirifos que estuvo presente en concentraciones por encima de los valores de referencia, lo que puede afectar el medio marino. En la Ciénaga de la Virgen los hidrocarburos, aceites y grasas no sobrepasaron los valores de referencia considerados de riesgo para la biota acuática; y los plaguicidas estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica aplicada.

No se detectaron concentraciones de los metales Pb, Cd y Cr en aguas superficiales marinas del departamento y el análisis histórico mostró una disminución de estos metales, lo que 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. En la ciénaga de la virgen los indicadores de materia orgánica (DBO y MOoxi.) medidos en agua y sedimento, presentaron un descenso en la introducción de este tipo de sustancias con respecto al 2012.

La calidad de los sedimentos en la Ciénaga de la Virgen se ve afectada principalmente por la descarga de aguas residuales. Los metales Cr y Cu presentaron diferencias respecto al monitoreo de 2012, con concentraciones por debajo del valor de referencia de la NOAA. Adicional a esto, la estación de la salida Bocana presentó los valores más altos de HDD durante los dos períodos de análisis; sin embargo, solamente durante la época lluviosa 2012 superó el nivel de referencia determinado por la NOAA; y los plaguicidas estuvieron por debajo del límite de detección del método aplicado

Sucre



Ciénaga La Caimanera, Zona Coveñas. Foto: Marynés Quintero

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 $07^{\circ} 00'$ y $10^{\circ} 20'$ y $73^{\circ} 45'$ y $78^{\circ} 37'$ de longitud oeste (IGAC, 2008) la extensión total es de $10.350,66 \text{ km}^2$, de las cuales $10.280,55 \text{ km}^2$ corresponden al área urbana y $70,11 \text{ km}^2$ al área rural, limita con los departamentos de Córdoba (oeste y sur) y Bolívar (norte, este y sur) y con el Mar Caribe (oeste; Gobernación de Sucre, 2011; PNUD, 2012).

La REDCAM cuenta con 31 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 Verrugas hasta el Golfo frente a Pechelin yoreñas 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 los días 3 y 4 de septiembre del 2012 (época lluviosa) y 8, 9 y 10 de abril del 2013 (época seca).

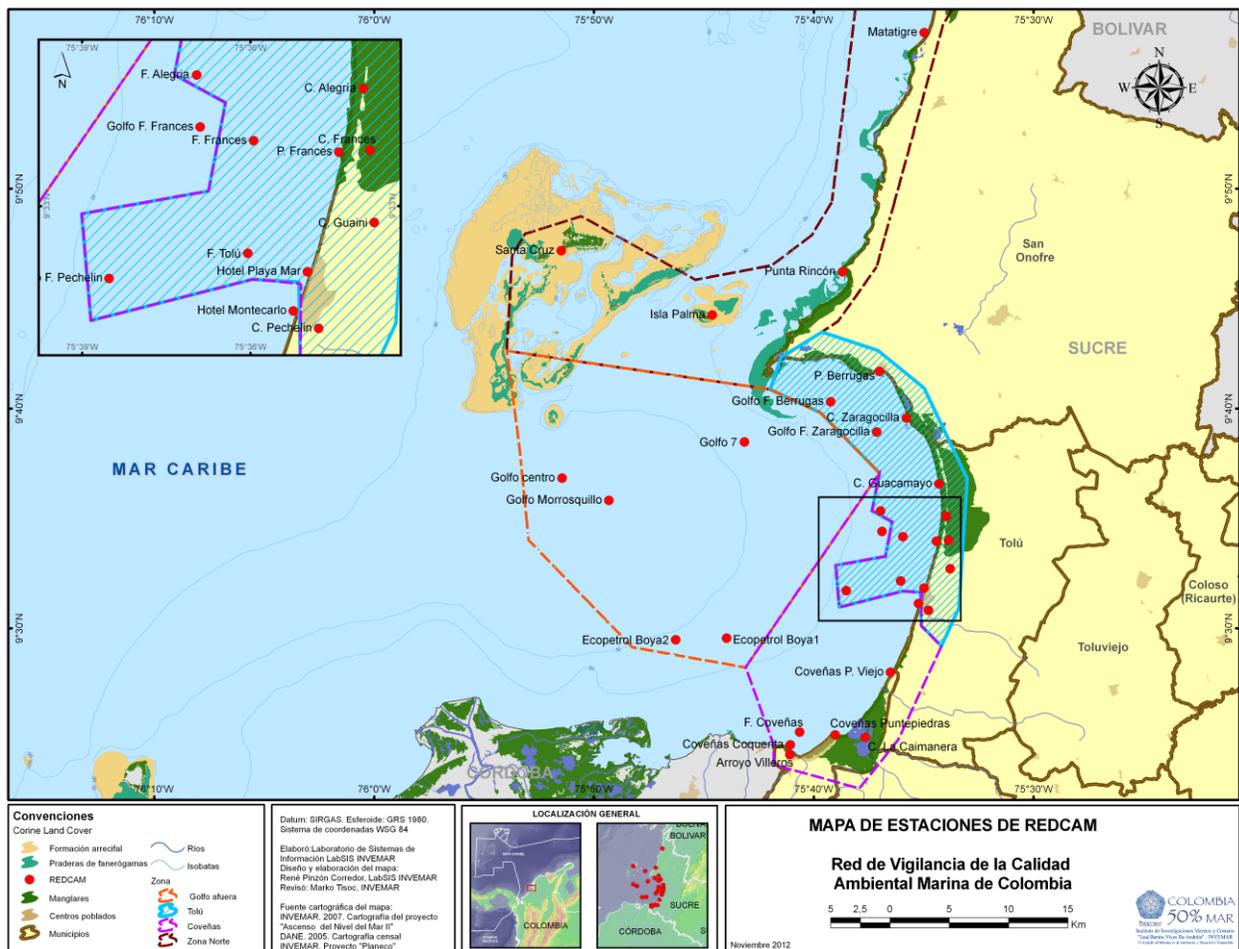


Figura 4.7.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Sucre.

En el departamento de Sucre el régimen hidrológico es mono modal, con leve descenso en el mes de agosto y entre diciembre y marzo cuando las precipitaciones son escasas. El período de mayor

concentración de las precipitaciones se presenta en octubre. El promedio anual de las precipitaciones varía entre 1000 mm para las zonas de menor humedad, en el norte, hasta 2800 mm en las zonas más lluviosas del sur; PNUD, 2012), 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 (Gobernación de Sucre, 2011).

La primera zona de muestreo es la zona Norte, conformada por aguas marinas que incluyen Isla Palma y el Isote Santa Cruz (isote 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, 2012). 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, 2012). 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 aledaños, 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, 2012).

4.7.1 Variables Físicoquímicas

4.7.1.1 *In situ*

Temperatura

Entre los principales factores que generaron variaciones en el comportamiento de los parámetros físicoquímicos en las aguas superficiales del departamento de Sucre se encuentran el régimen climático marcadamente unimodal, los aportes continentales de los ríos, las precipitaciones y escorrentías urbanas y agrícolas. Durante el periodo de análisis 2012 y 2013 no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$ -Statgraphics. R) entre épocas para los valores de temperatura en la zona de estudio. Para la época lluviosa 2012 la temperatura de las aguas superficiales osciló entre 29,7 °C y 33,0 °C (promedio 31,2 ± 1,5 °C), para la época seca 2013 los valores se encontraron entre 29,4 °C y 33,1 °C (promedio 31,2 ± 1,5 °C; Figura 4.7.2).

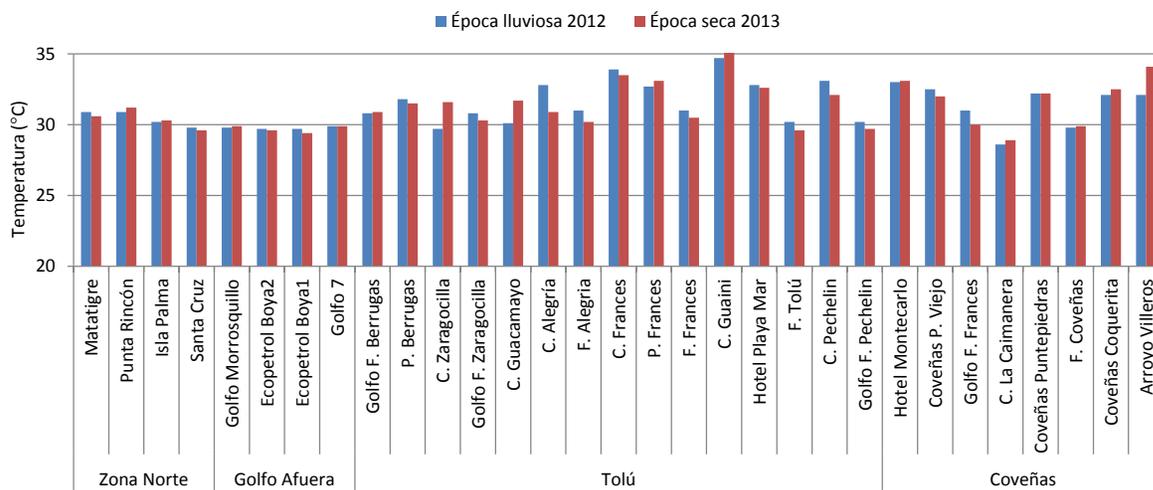


Figura 4.7.2. Temperatura (°C) superficial del agua medida en 4 zonas del departamento de Sucre durante la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013

Por otro lado, la temperatura en las estaciones ubicadas en la Zona Norte es de especial interés debido a la presencia de formaciones coralinas y praderas de fanerógamas. En la época lluviosa 2012 el promedio de la temperatura en esta zona fue de $30,5 \pm 0,5$ °C y en época seca de $30,4 \pm 0,7$ °C, igualmente, los datos históricos (2001-2013) muestran que la temperatura media es $30,3 \pm 0,5$ °C en época seca y de $30,7 \pm 1,0$ °C; lo cual da evidencia que en algunas épocas del año los valores están muy cercanos a 30 °C, temperatura asociada a efectos de degradación de corales por blanqueamiento (Kleypas y Hoegh-Guldberg, 2008; Graham *et al.*, 2008).

El comportamiento de la salinidad durante el periodo de análisis es congruente con el registrado históricamente, no se observaron grandes variaciones en los valores entre épocas para las estaciones marinas con excepción de Santa Cruz donde la salinidad aumentó 10,2 unidades en época seca respecto a la época lluviosa. (Figura 4.7.3). En el caso de las estaciones de carácter estuarino y fluvial, donde el proceso de mezcla disminuyó la salinidad especialmente en época de lluvias, las estaciones que presentaron una variación notable entre épocas fueron C. Frances, C. Zaragocilla y C. La Caimanera, lo que evidencia como los factores hidrodinámicos, el régimen de mareas y las descargas de los diferentes efluentes continentales influyen en el comportamiento espacial y temporal de la salinidad en las aguas costeras del departamento.

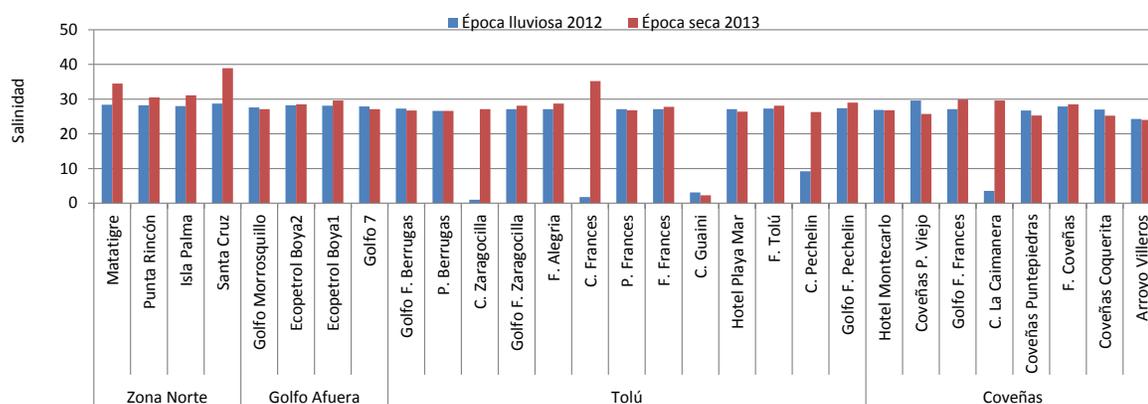


Figura 4.7.3. Salinidad del agua superficial en 4 zonas del departamento de Sucre medida en la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013

En el periodo actual de análisis los valores de pH de las aguas superficiales del departamento de Sucre no presentaron variaciones significativas entre las dos épocas. Así, en la época lluviosa 2012 el promedio fue $8,2 \pm 0,1$ y en época lluviosa fue de $8,3 \pm 0,1$; en el caso de las aguas estuarinas y fluviales los valores promedio fueron $7,7 \pm 0,4$ y $8,2 \pm 0,4$ en época lluviosa y seca respectivamente (Figura 4.7.4). En la mayoría de estaciones los valores de pH se ubicaron dentro de los criterios de calidad permisibles de 6,5 a 8,5 y 4.5 a 9.0 para aguas marinas y fluviales respectivamente, establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para preservación de fauna y flora (Minsalud, 1984); a excepción de las estaciones C. Guaini (8,64), Arroyo Villeros (8,82) y Coveñas Puntepiedras (8,52) con valores de pH superiores al límite máximo. Históricamente la tendencia general de la variable es a aumentar en época seca principalmente en las estaciones estuarinas y fluviales como consecuencia de la disminución en los procesos de escorrentía y lixiviados de elementos ácidos en las zonas ribereñas y la consecuente disminución del CO₂ producido por la oxidación de la materia orgánica y por el aumento de procesos biológicos tales como fotosíntesis y respiración (Cognettiet *al.*, 2001).

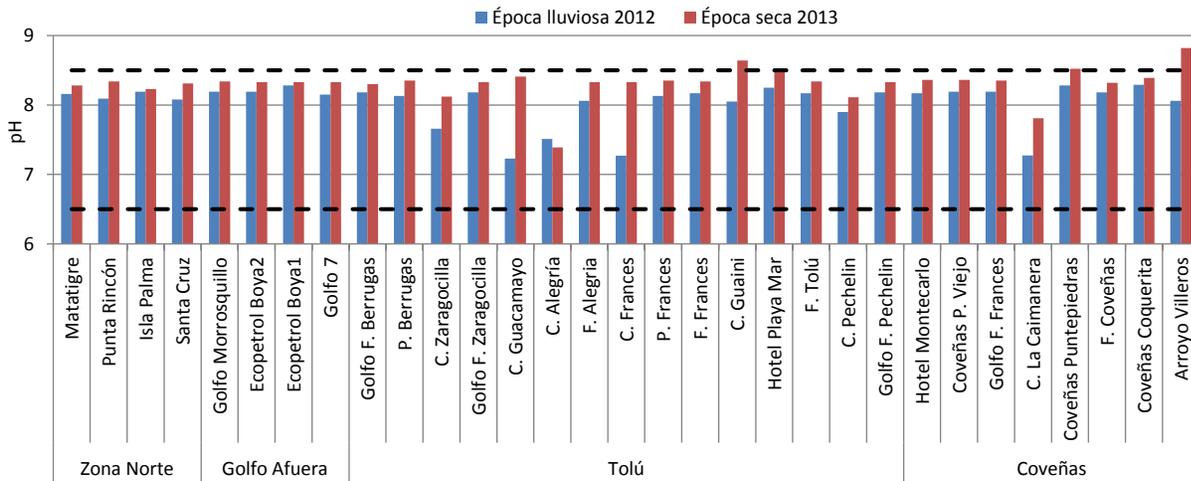


Figura 4.7.4. Valores de pH en aguas superficiales de Sucre medido en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. Las líneas punteadas representan el máximo y mínimo del Rango Permisible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

El Oxígeno Disuelto (OD) en la mayoría de estaciones estuvo por encima de 4,0 mg/L, considerado el valor mínimo de calidad para la preservación de flora y fauna según la legislación colombiana (Minsalud 1984). Las concentraciones fluctuaron entre 4,3 mg/L y 7,6 mg/L (promedio $5,6 \pm 0,7$ mg/L) en la época lluviosa 2012; mientras que para la época seca 2013, el rango osciló entre 4,6 mg/L y 7,5 mg/L (promedio $5,6 \pm 0,6$ mg/L). En las estaciones fluviales y estuarinas los rangos fueron 1,5 mg/L a 6,1 mg/L (promedio $4,0 \pm 1,5$ mg/L) para la temporada lluviosa y de 0,1 mg/L a 15,3 mg/L (promedio $8,2 \pm 5,1$ mg/L) para seca. No se observaron variaciones significativas entre épocas ($p > 0,05$; Statgraphics R) para aguas marinas, pero si para aguas estuarinas y fluviales ($p < 0,05$; Figura 4.7.5).

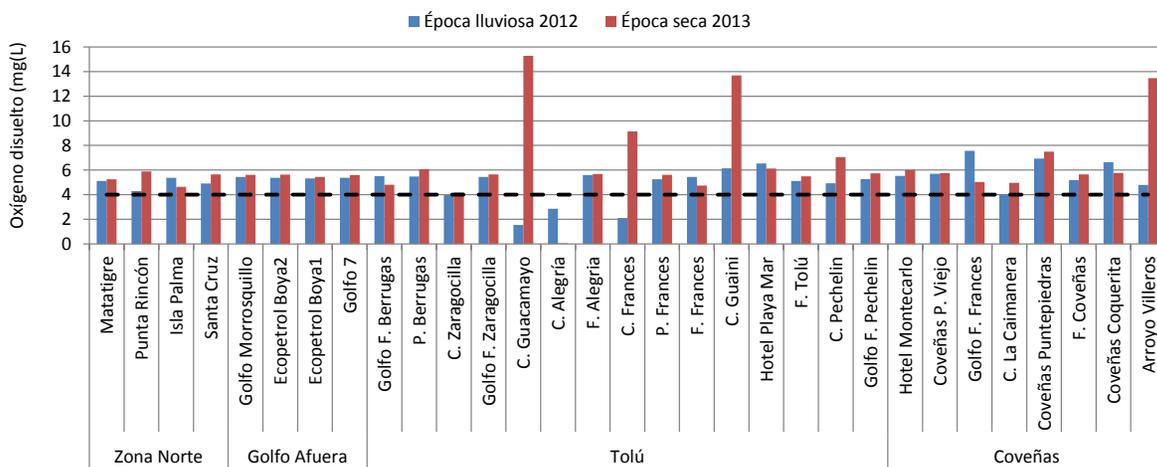


Figura 4.7.5. Oxígeno disuelto (mg/L) medido en aguas superficiales del departamento de Sucre, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea punteada representa el valor Mínimo Permisible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984)

En las estaciones estuarinas y fluviales de la zona de Tolú, C. Guacamayo (1,54 mg/L), C. Alegría (2,86 mg/L) y C. Francés (2,11 mg/L), el OD estuvo por debajo del valor de referencia durante la época lluviosa 2012, mientras que en la época seca 2013 el valor más bajo se registró en C. Alegría (0,1 mg/L);

condición que puede deberse a un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno generada por la descarga de material terrigénico y a las aguas residuales generadas en las áreas que recorren estos caños (Vivas-Aguas *et al.*, 2010). Por otro lado, las altas concentraciones de OD observadas durante la época seca, y que sobrepasan los promedios históricos registrados en C. guacamayo (15,3 mg/L), C. Frances (9,13 mg/L), C. Guaini (13,7 mg/L) y Arroyo Villeros (13,5 mg/L), junto con el aumento de los valores de pH en las mismas estaciones, sugieren que la intensidad del sol durante los días de muestreo fue lo suficientemente alta para que la actividad fotosintética aumentara la producción de OD.

4.7.1.2 **Sólidos y Nutrientes**

Sólidos Suspendidos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las aguas superficiales costeras del departamento de Sucre mostraron amplios intervalos de variación entre épocas y estaciones de muestreo (Figura 4.7.6). Los valores fluctuaron entre 1,9 mg/L y 97,8 mg/L durante la época de lluvias de 2012 y entre 6,8 mg/L y 179 mg/L durante la época seca de 2013 (Figura 4.7.6), enmarcándose dentro del rango de valores de SST históricamente medidos en la REDCAM para este departamento (Figura 4.7.7). En términos generales, las concentraciones de SST fueron más altas en los principales caños que desembocan en el mar, en la zona de Tolú como en C. Zaragocilla (147 mg/L), C. Guacamayo (131,0 mg/L), C. Francés (179,0 mg/L) y C. Guaní (72 mg/L) durante la época seca y en Hotel Playa Mar (97,8 mg/L) durante la época lluviosa. En el caso de las estaciones marino costeras ubicadas al Norte y en las afueras del Golfo los valores de SST no fueron mayores a 20 mg/L observándose pequeños intervalos de variación entre épocas de muestreo. No obstante las concentraciones de sólidos no superaron el promedio histórico de la REDCAM (Figura 4.7.7).

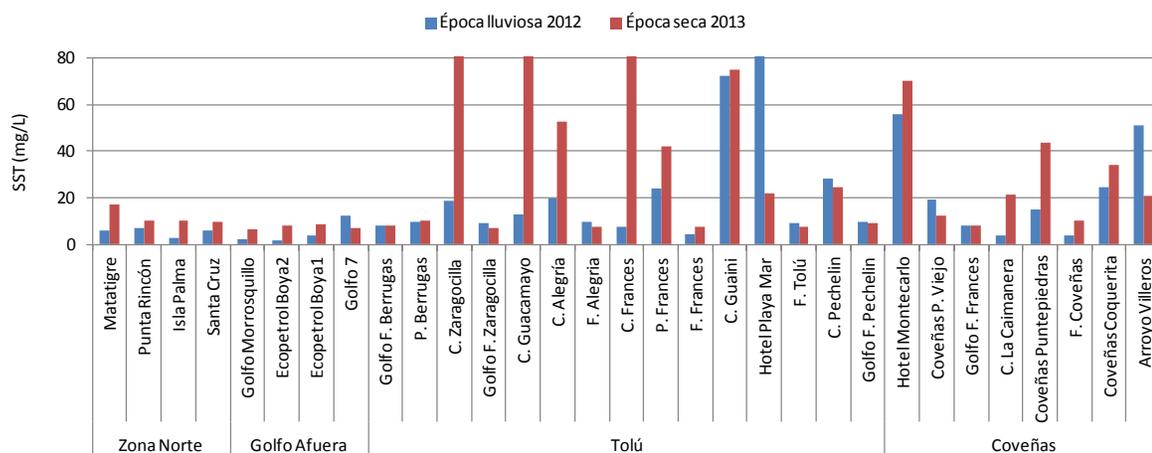


Figura 4.7.6. Sólidos suspendidos totales (mg/L) medidos en aguas superficiales del departamento de Sucre en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013

Teniendo en cuenta los efectos adversos que los SST pueden ocasionar en la salud de los ecosistemas coralinos al inhibir los procesos fotosintéticos de las algas asociadas, además de perturbar la reproducción de estos, según los datos de la REDCAM en las estaciones de la Zona Norte, caracterizadas por estar rodeadas de extensas áreas coralinas, las concentraciones de SST no estarían afectando la salud de estos ecosistemas, al encontrarse por debajo del valor de referencia (50 mg/L; Fabricius, 2005).

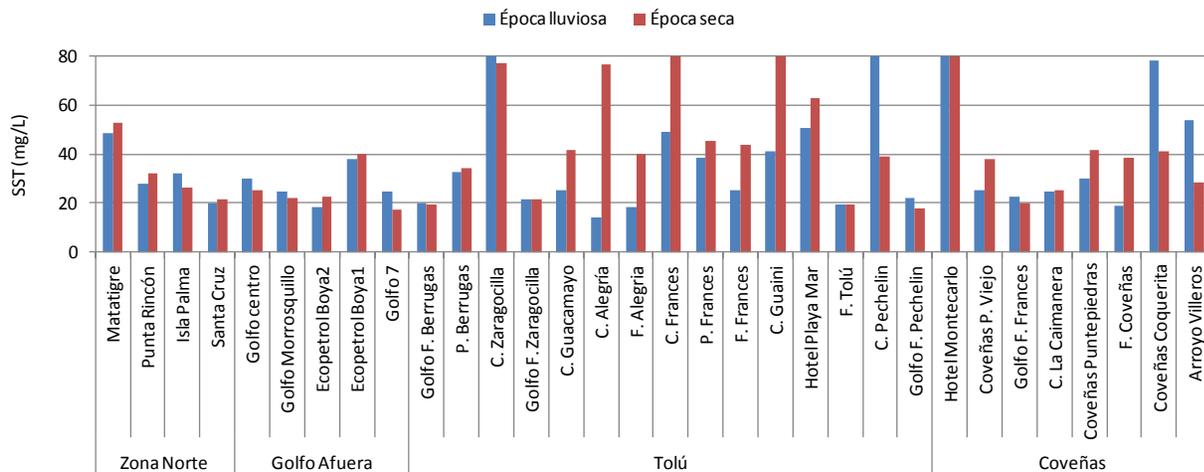


Figura 4.7.7. Promedio histórico de Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) medidos semestralmente en las épocas lluviosas y secas entre el 2001 y 2013 en aguas superficiales de Sucre

Nutrientes

Se realizó el análisis de las formas nitrogenadas de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y amonio (NH_4^+), y de fósforo reactivo soluble (FRS) ó fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-). Las concentraciones de estos nutrientes mostraron cambios entre estaciones y épocas de muestreo. En el caso del NO_2^- los valores oscilaron entre menores al límite del método como $<0,6$ hasta $32,8 \mu\text{g/L}$ en la época de lluvias de 2012, y de $<0,6 \mu\text{g/L}$ hasta $118,0 \mu\text{g/L}$ en la época seca de 2013. Para el NO_3^- estuvieron entre $<0,6 \mu\text{g/L}$ hasta $116 \mu\text{g/L}$ durante la época de lluvias y entre $<0,6 \mu\text{g/L}$ y $38,9 \mu\text{g/L}$ durante la época seca (Figura 4.7.10). Y el NH_4^+ , registro concentraciones desde $<1,7 \mu\text{g/L}$ a $348 \mu\text{g/L}$ y desde a $3743 \mu\text{g/L}$ durante las épocas de lluvia y seca respectivamente (Figura 4.7.9). Las concentraciones más altas de estos nutrientes se observaron en la mayoría de caños que desembocan en la zona del balneario de Tolú, como el NO_2^- cuyo mayor aporte se observó en en C. Guaní durante la época seca (Figura 4.7.8). El NO_3^- tuvo sus aportes significativos en los caños Zaragocilla, Guacamayo y Pechelín durante la época lluviosa y en C. Guaní y Hotel Playa Mar durante la época Seca (Figura 4.7.10). El NH_4^+ presento su mayor aporte en el C. Guaní durante la época seca, seguido de los caños Guacamayo y Alegría, no obstante fue la forma de nitrógeno que tuvo mayor dominancia (Figura 4.7.9).

Entre épocas no se observó tendencia definida, sin embargo las formas de NO_2^- , NO_3^- y NH_4^+ presentaron en su mayoría concentraciones más altas en la época seca 2013. Las concentraciones de estos nutrientes en el resto de las zonas fueron bajas en comparación con los resultados registrados por los caños descritos anteriormente (Figura 4.7.8, Figura 4.7.9 y Figura 4.7.10). En comparación con el NO_3^- y NH_4^+ las concentraciones de NO_2^- fueron más bajas, debido a que estos son productos intermedios del ciclo completo de oxidación-reducción del nitrógeno además son menos solubles en agua y menos estables (Pacheco y Cabrera, 2003). Cabe resaltar que los caños que drenan al mar fue donde se encontraron las mayores concentraciones de las 3 formas nitrogenadas, ya que son conductores de aguas servidas domesticas debido al déficit en la cobertura del sistema de alcantarillado en el municipio de Tolú. No obstante las altas concentraciones de estos nutrientes durante la época seca coinciden con periodos de menor gasto en los caños y canales por disminución en el régimen de lluvias, con mayores temperaturas así como mayor tiempo de residencia de las aguas, propiciando la descomposición de la materia orgánica nitrogenada contenida en el agua o las que provienen de las aguas residuales urbanas domésticas.

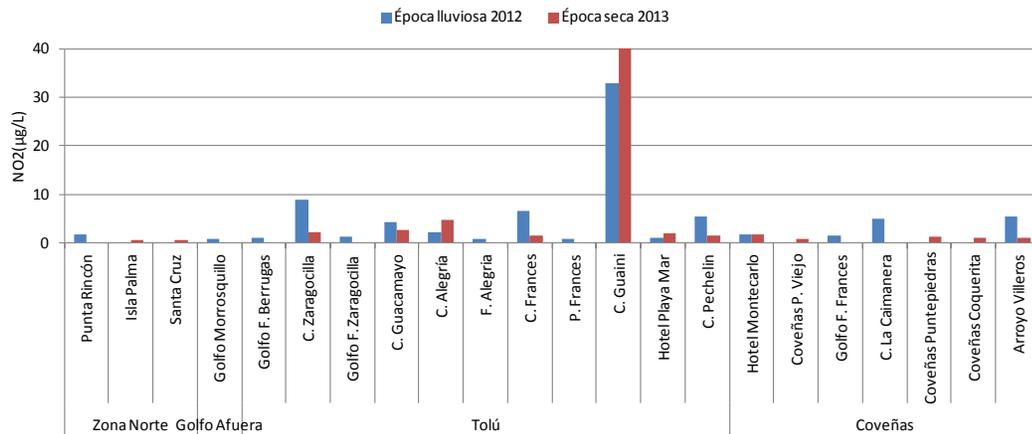


Figura 4.7.8. Concentraciones de nitrito - NO₂⁻ (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento de Sucre en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

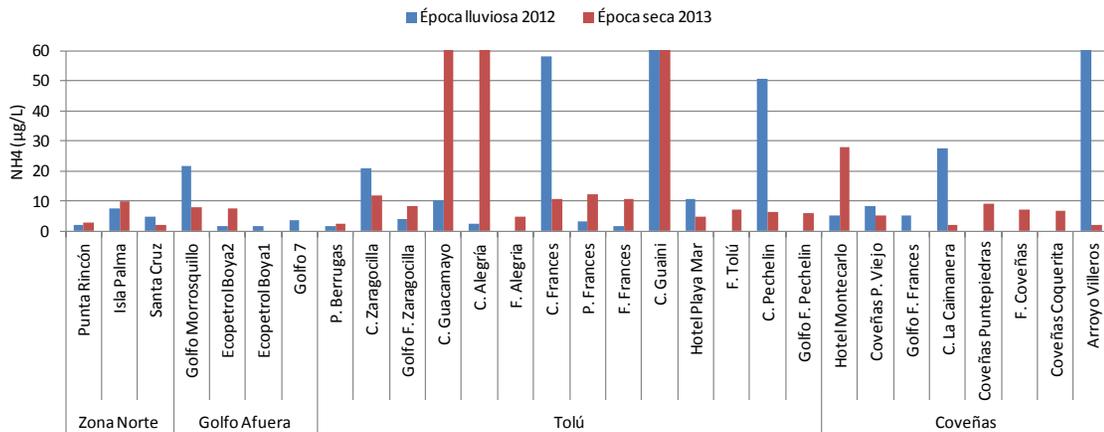


Figura 4.7.9. Concentraciones de amonio - NH₄⁺ (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento de Sucre, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

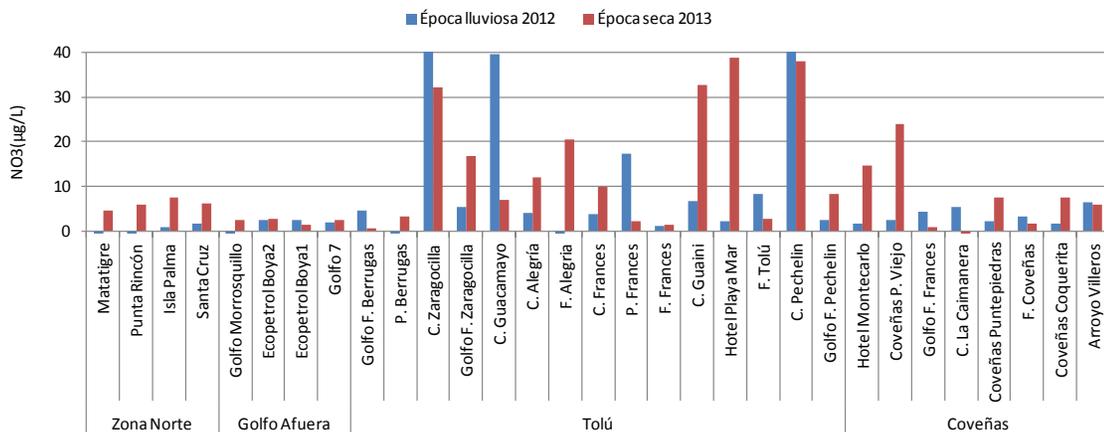


Figura 4.7.10. Concentraciones de nitrato - NO₃⁻ (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento de Sucre en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Con el Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) que corresponde a la suma de las tres formas de nitrógeno (NO_3^-), (NO_2^-) (NH_4^+) con un valor de $14\mu\text{g/L}$ propuesto por Lapointe (1997) para indicar estados de florecimientos permanentes de macroalgas frondosas en ecosistemas coralinos o potenciales impactos sobre la fisiología de los corales; se analizaron los resultados de NID en las estaciones de la zona Norte (Isla Palma e Islote de Santa Cruz). Sin embargo solo la estación en Isla Palma mostró durante la época seca de 2013 concentraciones de NID entre $0,6$ y $17,8\mu\text{g/L}$, lo cual indica un posible riesgo potencial de alteraciones del arrecife coralino y condiciones para la proliferación de macroalgas. En la época de lluvias 2012 los valores de NID fueron bajos, y no fueron mayores a $8,6\mu\text{g/L}$.

En cuanto al fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-), las mediciones más altas, se presentaron al igual que los nutrientes antes descritos en las estaciones de los caños, particularmente en C. Guaní ($1473\mu\text{g/L}$), y C. Francés ($456\mu\text{g/L}$), durante la época de lluvias (Figura 4.7.11). Entre zonas, la mayor variación se observó entre estaciones de la zona del balneario de Tolú. En las estaciones marinas principalmente ubicadas en la zona Norte y de Golfo Afuera las concentraciones de FRS no fueron mayores a $10\mu\text{g/L}$.

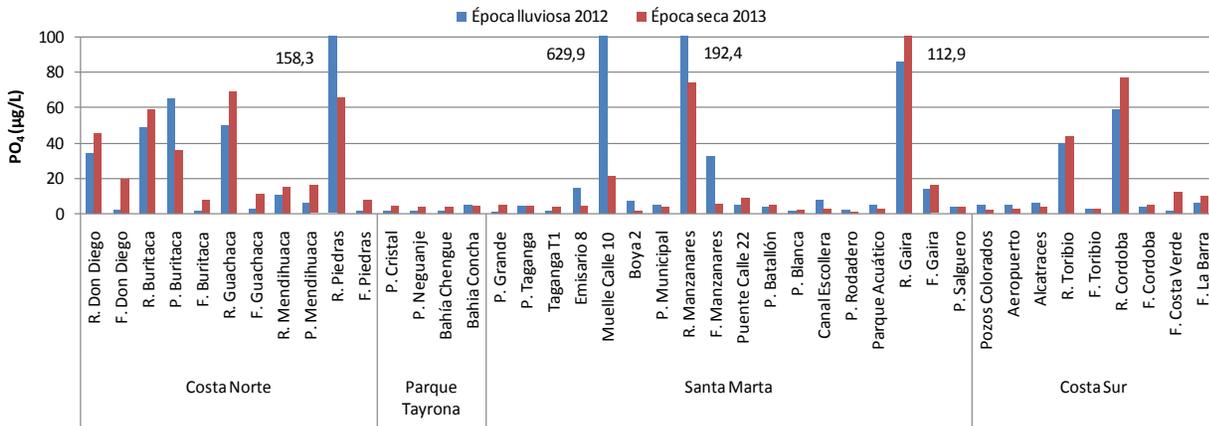


Figura 4.7.11. Concentraciones de Fósforo Reactivo Soluble - FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento de Sucre, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los resultados de fósforo en las estaciones de la zona Norte (Isla Palma e Islote Santa Cruz) oscilaron entre $2,1$ y $7,1\mu\text{g/L}$ en la época de lluvias 2012; y fueron $< 0,6\mu\text{g/L}$ en la época seca de 2013, estos datos se compararon con el valor de referencia de $3,1\mu\text{g/L}$ (Lapointe, 1997) propuesto como indicador de estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas en ecosistemas coralinos. Y se demostró que estas concentraciones de PO_4^- al sobrepasar el nivel de referencia puede potencialmente afectar las condiciones del medio marino y favorecer el florecimiento de macroalgas, sin embargo, estas concentraciones no se mantiene durante el año si no que disminuyen en época seca, por lo que es posible que dichos efectos sean recurrentes.

4.7.2 Contaminación Microbiológica

La evaluación de la calidad microbiológica de las aguas superficiales del departamento de Sucre se realizó a través de monitoreos semestrales para determinar los indicadores de contaminación fecal, Coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE) en tres zonas costeras del departamento. Las concentraciones históricas de CTT registradas en la Ciénaga la Caimanera, evidenciaron diferencias significativas entre épocas climáticas ($p < 0,05$), como es el caso de los CTT que en la época lluviosa superaron los límites permisibles para el desarrollo de actividades de contacto secundario □ pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto ($< 5.000\text{ NMP}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$; MinSalud, 1984) □ con una concentración promedio de $18.263 \pm$

0,84 NMP.100 mL⁻¹, sin embargo las concentraciones históricas de CTT en la Ciénaga la Caimanera se han mantenido por debajo de los límites establecidos para el desarrollo de actividades de contacto primario □ natación y buceo (< 1000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) □ desde el año 2009 (Figura 4.7.12), por lo que las altas concentraciones pueden atribuirse a las escorrentías de la temporada lluviosa que arrastran materiales y sedimentos de las actividades realizadas en la superficie de las cuencas urbanas entrando al sistema de forma directa (Suárez et al., 2012).

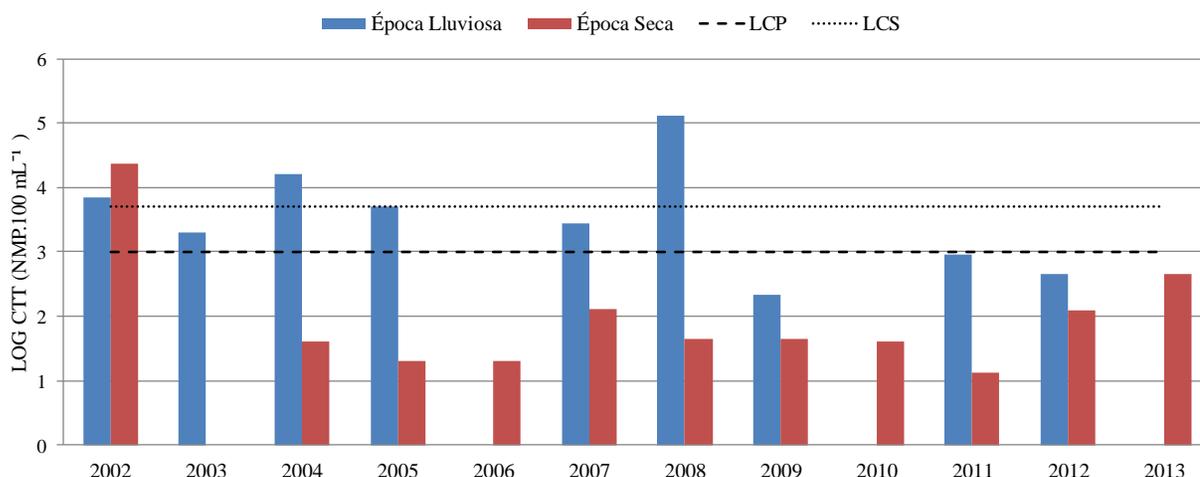


Figura 4.7.12 Concentraciones de Coliformes Totales (LOG NMP.100 mL⁻¹) medidas en las estaciones del departamento de Sucre del año 2002- 2013 en la época lluviosa y la época seca. La línea cortada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (LCP) (<1000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) y la línea punteada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (< 5000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

La evaluación de la calidad microbiológica de las 10 playas del departamento se realizó mediante la medición de las concentraciones de CTE. Históricamente, no se evidenciaron diferencias significativas entre épocas climáticas ($p > 0,05$), los casos en que las concentraciones superan el límite establecido para el desarrollo de actividades de contacto primario (< 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) se registraron para ambas épocas, incidiendo Coveñas Coquerita en un 90 % de las mediciones para la época lluviosa y un 92 % para la época seca (Tabla 4.7.1), con concentraciones promedios de $13.037 \pm 0,75$ NMP.100 mL⁻¹ y $2.430 \pm 0,95$ NMP.100 mL⁻¹ respectivamente. La calidad de las aguas costeras, se ha considerado un aspecto fundamental para los turistas a la hora de elegir su estancia vacacional (Flores et al., 2011), por lo que una inadecuada calidad puede generar riesgos para la salud de los usuarios (Vergarayet al., 2007).

Tabla 4.7.1 Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE NMP.100 mL⁻¹) medidas en las épocas climáticas lluviosa 2012 y seca 2013. En negrilla se muestran los valores que superan el límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (< 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

Zona	Playa	Época lluviosa 2012			Época seca 2013		
		(NMP.100 mL ⁻¹)	%casos*	n**	(NMP.100 mL ⁻¹)	%casos*	n**
Norte	Punta Rincón	110	60	10	160	56	9
	Isla Palma	1,8	11	9	130	11	9
	Santa Cruz	490	63	8	410	25	8
Tolú	P. Berrugas	18	40	10	210	64	11

Zona	Playa	Época lluviosa 2012			Época seca 2013		
		(NMP.100 mL ⁻¹)	%casos*	n**	(NMP.100 mL ⁻¹)	%casos*	n**
	P. Frances	1,8	33	9	360	50	12
	Hotel Playa Mar	20	70	10	210	73	11
Coveñas	Hotel Montecarlo	18	80	10	50	64	11
	Coveñas P. Viejo	18	50	10	40	50	10
	Coveñas						
	Puntepedras	4,5	40	10	200	67	12
	Coveñas Coquerita	180	90	10	200	92	12

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible establecido en el decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE <200 NMP.100 mL⁻¹).

**Número de datos existentes por época climática.

4.7.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD, en el período de lluvia 2012 y seco 2013 oscilaron en un rango entre 0,07 µg/L y 2,87 µg/L. La tendencia de las concentraciones estuvieron más altas en la época lluviosa de 2012, en las estaciones Matatigre (1,57 µg/L) y Boya 2 Ecopetrol (1,11 µg/L) en la zona Golfo Afuera y en la zona de Coveñas el Golfo Frente al Francés (2,87 µg/L) y playa Berrugas (1,20µg/L). Por otro lado, en la época seca de 2013, los valores más altos se registraron en la zona de Coveñas en la estaciones Coveñas Coquerita (1,97 µg/L) y en las playas del Hotel Montecarlo (1,64 µg/L; Figura 4.7.13). Los residuos de hidrocarburos que se presentan en el departamento se deben a la actividad portuaria de transporte de petróleo, transporte marítimo, turismo y aguas servidas de los municipios de Tolú y Coveñas, sin embargo las concentraciones observadas en las estaciones de este departamento no superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas no contaminadas (UNESCO, 1984).

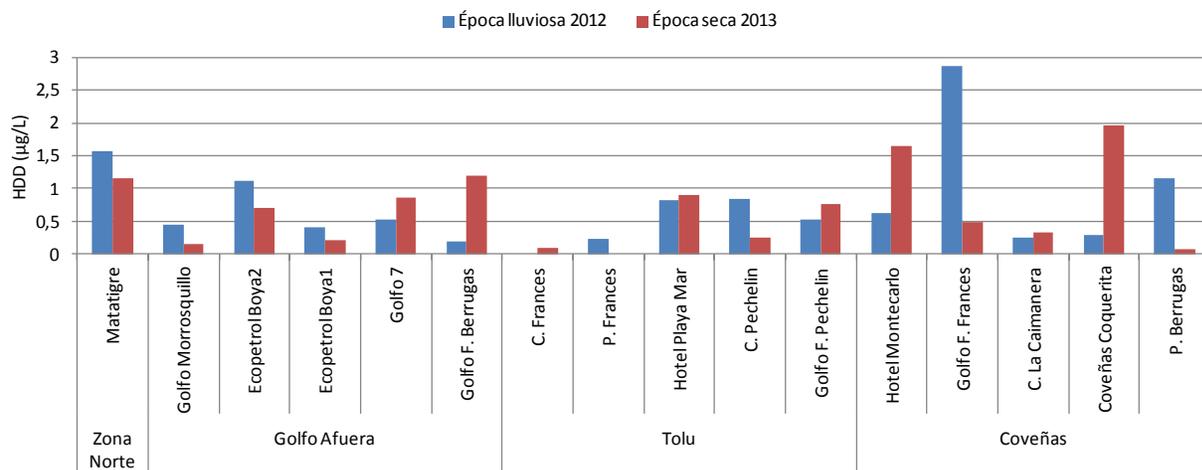


Figura 4.7.13. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de Sucre en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

El análisis temporal muestra diferencias significativas (p>0,05), registrando las concentraciones promedio más altas en la época lluviosa en las estación Caño Francés (44,48 ± 130,48 µg/L) de la zona Tolú y de la zona Coveñas las estaciones playa Coquerita (20,75 ± 33,85µg/L) y Arrollo Viñeros (12,96 ± 17,56µg/L;

Figura 4.7.14). Esto se debe principalmente a las escorrentías de aguas de lluvia, transporte de petróleo y marítimo, vertimientos de aguas residuales domésticas y a la actividad turística.

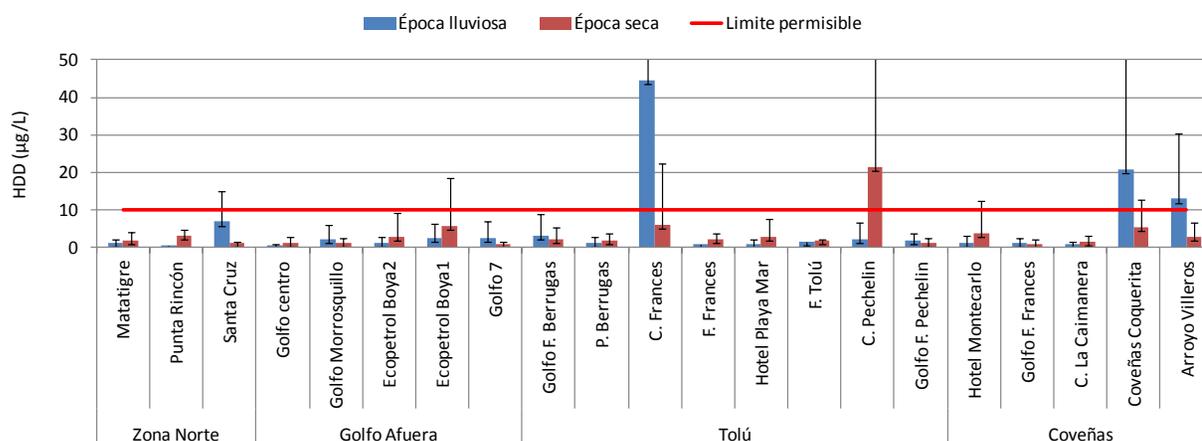


Figura 4.7.14 Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de Sucre en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013

La variación interanual 2001 a 2013 mostró diferencias ($p < 0,05$), registrando concentraciones de HDD superiores al valor de referencia en los años 2009 en caño Pechelin (38,17 µg/L), en el año 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 TLU2 (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 µg/L) y Francés (52,7 µg/L), los Playas de Coquerita (16,5 µg/L) y frente a los hoteles Montecarlo (30,1 µg/L) y Playa Mar (17,1 µg/L).

4.7.4 Plaguicidas

En general, la presencia de plaguicidas en Sucre ha sido baja. En el golfo de Morrosquillo los principales aportes de plaguicidas han ocurrido en la parte sur (departamento de Córdoba) asociado al desarrollo agrícola de la zona y en la actualidad (época lluviosa de 2012 y seca de 2013), las concentraciones estuvieron por debajo de los límites de detección de la técnica analítica empleada para su análisis.

Los registros históricos han mostrado que la mayor presencia de plaguicidas organoclorados (OC) ocurrió entre 2001 y 2003 en temporada seca, alcanzando valores de 43,6 ng/L en la estación de caño Zaragocilla en 2001, superior al valor de referencia de 30 ng/L para aguas no contaminadas (EPA, 1999), probablemente como consecuencia de la actividad agrícola desarrollada en la cuenca de este afluente.

En el 2007 se interrumpió la tendencia descendente que se observaba desde el 2003. Se detectaron OC con magnitudes superiores a 10 ng/L en el Golfo Morrosquillo (9,2 ng/L) y Matatigre (14,4 ng/L), en el 2008 el registro más alto se obtuvo en Coveñas Coquerita (34,0 ng/L), reflejando actividades puntuales de uso intensivo de insumos agroquímicos en la agricultura desarrollada ampliamente en las cuencas de los caños Zaragocilla, Francés, Pechelin y Arroyo Villeros. Pero, también obedeció a la implementación del análisis de nuevas moléculas, lo que significó que se cuantificaran moléculas que antes no se tenían en cuenta como los isómeros orto-para de los DDTs responsables en parcialmente del valor alto en Coveñas Coquerita.

Desde el 2009 se ha presentado un descenso en las concentraciones (máximo de 10,4 ng/L en Matatigre), en el 2010 no se detectaron; en el 2011 se volvieron a detectar en Coveñas Coquerita (isómeros del DDT, 7,8 ng/L) en concentraciones inferiores al valor de referencia para efectos agudos (65 ng/L; Buchman, 2008); y en el 2012 y 2013 no fueron detectados. Mostrando con esto una tendencia descendente en la presencia de OC, que podría estar relacionada con restricciones en su uso, cambios en las prácticas agrícolas y la aplicación de compuestos menos persistentes. Con respecto al monitoreo de plaguicidas de “uso actual”, en los cuatro años de monitoreo no se han detectado en ninguna estación. Sin embargo, ameritan seguimiento ya que en la parte del golfo correspondiente a Córdoba si han sido detectados.

4.7.5 Metales Pesados

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

Para evaluar la calidad de las aguas del departamento de Sucre, desde el año 2001 se han monitoreado los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), pero teniendo en cuenta la influencia de aguas residuales, la actividad portuaria, el transporte en lanchas, la agricultura y la industria camaronera que puede estar relacionado con aporte de metales pesados en departamento, se amplía el monitoreo de metales, incluyendo para el presente informe los metales Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Hierro (Fe).

El monitoreo de la época seca, realizado en abril de 2013, muestra que solo las estaciones Matatigre (0,40 µg/L), Golfo de Morrosquillo (0,20 µg/L), Ciénaga la Caimanera (0,20 µg/L) y Coveñas Coquerita (5,80 µg/L) presentaron concentraciones detectables de Plomo, siendo esta última la más elevada. En la época lluviosa de 2012, todas las estaciones estuvieron por debajo de límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,15 µg/L). En general, ninguna estación superó el valor límite de riesgo referenciado en la guía internacional de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; Buchman, 2008).

El cadmio solo se detectó en época lluviosa de 2012 en las estaciones Ciénaga la Caimanera (0,57 µg/L) y golfo frente Berrugas (0,38 µg/L). Ninguna de las estaciones superó los valores referenciados en guías internacionales para efectos agudos en aguas superficiales marinas (40 µg/L, Buchman, 2008). En cuanto al Cromo, en ambas épocas estacionales estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, de forma que no presenta ningún riesgo para la salud al no superarlos valores referenciados en guías internacionales (50 µg/L, Conama, 1986).

Históricamente se ha observado que los valores más altos de Pb y Cd se presentan en las estaciones ubicadas en la zona de Tolú, mostrando la importante influencia de la infraestructura turística en esta zona. En cuanto al Cr, el promedio histórico más alto en época lluviosa se registró en la Ciénaga la Caimanera (1,13±0,78 µg/L). Los reportes de Pb, Cd y Cr en todas las estaciones han estado muy por debajo de los límites establecidos en guías internacionales, por lo que se considera que no hay riesgo de contaminación por estos metales.

En la época seca de 2013 solo se detectaron concentraciones de Cu en las estaciones Matatigre (1,6 µg/L), Golfo frente a Berrugas (1,5 µg/L), Frente Alegría (1,8 µg/L), Ciénaga la Caimanera (0,9 µg/L) y Coveñas Coquerita (2,0 µg/L), mientras que en época lluviosa de 2012 los niveles de Cu estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,50 µg/L). Para efectos de evaluar la calidad de las aguas marinas, se comparan los valores de Cu con los reportados en guías internacionales como la NOAA, infiriendo que los niveles de Cu en el mar están por debajo del referenciado en la guía internacional de la NOAA (4,8 µg/L, Buchman, 2008), sugiriendo que no existe riesgos agudos por la presencia de este metal en aguas marinas del departamento de Sucre.

El Zn medido en aguas superficiales, registró las mayores concentraciones durante la época seca de 2012 en las estaciones Ciénaga la Caimanera (82,4µg/L) y Coveñas Coquerita (73,1 µg/L), mientras que en época lluviosa los valores más altos los registraron la estación caño Alegría (40,5 µg/L) y Matatigre (26,9 µg/L). No obstante, ninguna de las estaciones marinas superó los niveles referenciados como de riesgo en la guía internacional de la NOAA (90 µg/L, [Buchman, 2008](#))

En cuanto al Ni, en ambas épocas del año estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,6µg/L), excepto la estación frente a Caño Alegría que solo en época seca registró un valor de 2,80 µg/L. Las concentraciones de Fe, en época seca de 2013, solo se detectaron en tres estaciones de muestreo, Matatigre (0,05 mg/L), ciénaga la Caimanera (0,03 mg/L) y Coveñas Coquerita (0,04 mg/L). En época lluviosa de 2012 solo se detectó Fe en la estación ciénaga la Caimanera (0,10 mg/L), siendo el valor más alto reportado para las estaciones monitoreadas. En el caso de las estaciones ubicadas en aguas marinas, ninguna superó el valor de referencia establecido por la NOAA (0,3mg/L; [Buchman, 2008](#))

4.7.6 Conclusiones

Las condiciones fisicoquímicas de las aguas superficiales marinas y costeras del departamento de Sucre presentaron variaciones durante la época lluviosa 2012 y seca 2013 en respuesta a la acción de los vientos y alta radiación solar especialmente en época seca; así como a la influencia de las precipitaciones y descargas continentales en época lluviosa. En las estaciones de la zona Norte se continúan registrando temperaturas cercanas a 30 °C, lo cual implica un riesgo de degradación de los corales por blanqueamiento durante ambas épocas climáticas. Los valores de pH, salinidad y oxígeno disuelto se encontraron dentro de los rangos de variación histórica del departamento y los criterios establecidos en la legislación colombiana en la mayoría de las estaciones, sin embargo, según los resultados actuales y los reportes históricos, estaciones estuarinas y fluviales como C. Guacamayo, C. Alegría y C. Francés han presentado en época seca condiciones de oxigenación por debajo del valor mínimo permisible establecido por la legislación Colombiana para efectos de uso para la preservación de la fauna y flora.

La calidad microbiológica de la Ciénaga la Caimanera mejoró en comparación con años anteriores, registrando concentraciones de coliformes totales dentro de los límites establecidos por la legislación nacional, aunque en la temporada de lluvias se presentó un aumento de la carga microbiana, los valores no sobrepasan los límites para el desarrollo de actividades de contacto primario y secundario. Por otra parte, la medición de coliformes termotolerantes en las playas no evidenció diferencias entre épocas climáticas pero si fue recurrente el detrimento de la calidad de las aguas de Coveñas Coquerita, lo cual representa un riesgo para el desarrollo de actividades como la natación y buceo.

Las concentraciones de HDD en aguas son inferiores al valor de referencia (<10 µg/L) para aguas no contaminadas. La tendencia general en las concentraciones de hidrocarburos observada es de decrecimiento, a excepción de los casos puntuales en caño Pechelin, caño Francés Coveñas Coquerita y arroyo Villeros, ocasionado por manejo de crudo y sus derivados, operaciones de transporte y actividades marítimas propias de la región.

La reducción en la presencia de compuestos organoclorados en las aguas del departamento, se mantiene desde el 2009; al igual que las moléculas de plaguicidas de “uso actual” no se detectaron en el último periodo de estudio. Sin embargo, se debe mantener la vigilancia de estos compuestos debido a que se detectan en la zona sur del Golfo de Morrosquillo.

El aporte de metales en aguas marinas del departamento de Sucre está influenciado, entre otras, por el desarrollo turístico puesto que la zona de Tolú presenta, de manera general, las concentraciones más altas de metales pesados. Sin embargo, estas estuvieron por debajo de los valores establecidos como de riesgo en guías internacionales, indicando que no hay riesgo de contaminación por este tipo de contaminantes.

Córdoba



Atardecer en la Bahía de Cispatá. Foto: Marynés Quintero

4.8. CÓRDOBA

El departamento de Córdoba se encuentra ubicado en la costa norte del país, en la parte inferior de la llanura del Caribe, entre los 09° 26'16" y 07° 22'05" de latitud norte; los 74° 47'43" y 76° 30'01" de longitud oeste. Cuenta con una superficie aproximada de 23.980 km² lo que representa el 2.1% del territorio nacional. 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 16 estaciones de muestreo distribuidas en 2 zonas; la zona de la bahía de Cispatá que se extiende desde la bahía hasta el frente de la desembocadura del río Sinú conocido como boca de Tinajones, conformada por el delta del río y lagunas interconectadas con el río y el mar, constituyéndose en una importante zona de manglar en el Caribe colombiano (Bernal *et al.*, 2005) tiene caños interconectados que albergan diversidad de especies que sustentan la pesquería artesanal e industrial de la región (INVEMAR, 2002); y la zona occidental que abarca desde San Bernardo hasta Puerto Escondido (límites con el departamento de Antioquia), y está directamente afectada por vertimientos de aguas servidas en los cuerpos de agua mediante drenajes superficiales, contribuyendo con el ingreso de contaminantes hacia la zona costera (DANE, 2010) provenientes de los municipios costeros que representan el 7,7% del territorio del departamento y cuentan con una baja cobertura y acceso al servicio de alcantarillado (DANE, 2012; Figura 4.8.1). A continuación se presenta el resultado de los muestreos realizados los días 3, 5 y 6 de septiembre de 2012 (época lluviosa) y, los días 9 y 11 de abril de 2013 (época seca).

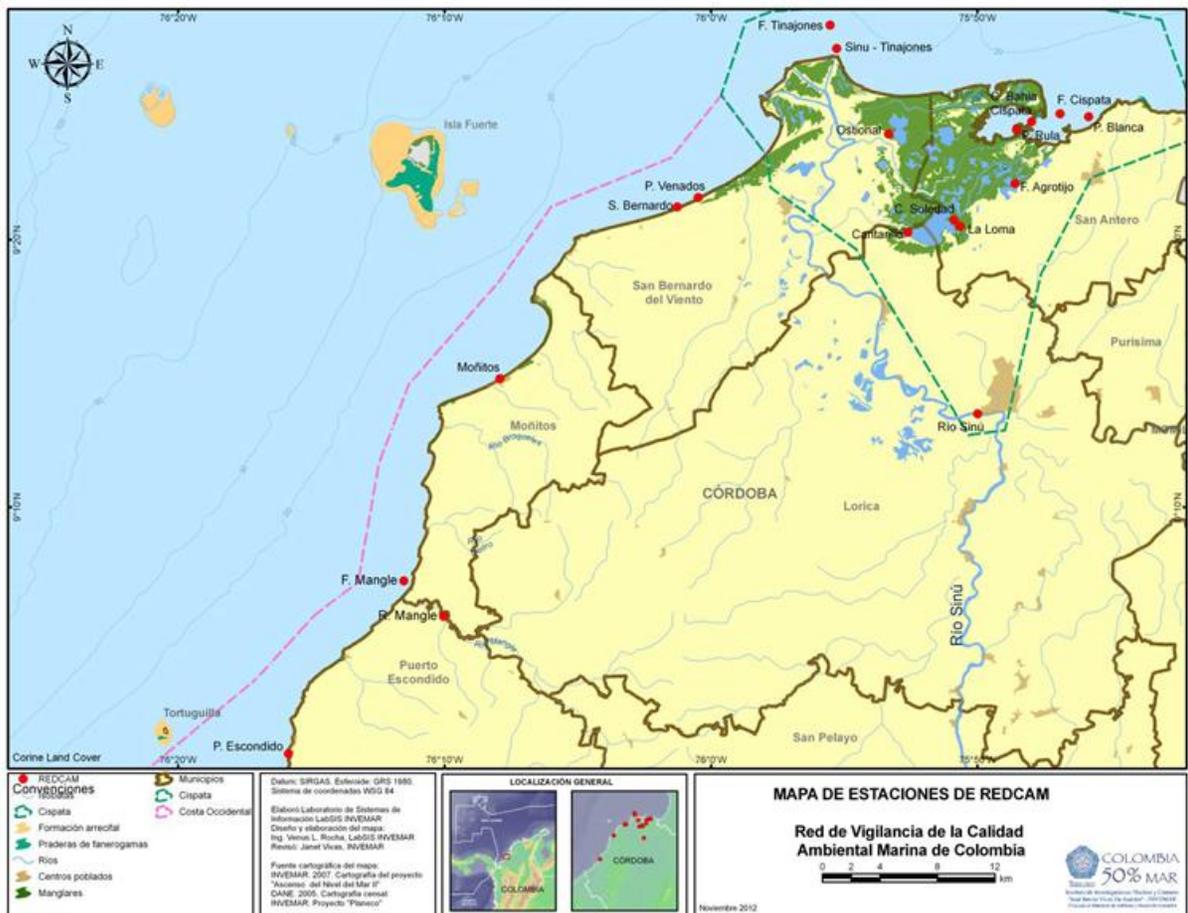


Figura 4.8.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Córdoba

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

4.8.1. Variables Físicoquímicas

4.8.1.1. *In situ*

Temperatura

La temperatura de las aguas superficiales osciló entre 28,8 °C y 33,3 °C para la época lluviosa de 2012 y entre 29,1 °C y 31,9 °C durante la época seca de 2013, con valores promedio de $30,9 \pm 1,4$ °C y $30,3 \pm 1,0$ °C para cada época respectivamente. En general, para este periodo de muestreo los valores de temperatura se mantuvieron constantes entre épocas en las diferentes estaciones, comportamiento congruente con el registrado históricamente y que indica uniformidad temporal y espacial en la zona de estudio (Figura 4.8.2). Los valores de temperatura más bajos se observaron durante la época seca de 2013 acorde con la intensificación de los vientos que promueve tanto el intercambio térmico, como el movimiento en la interface océano-atmósfera y la subsecuente evaporación de la capa superficial del mar (Andrade, 2000).

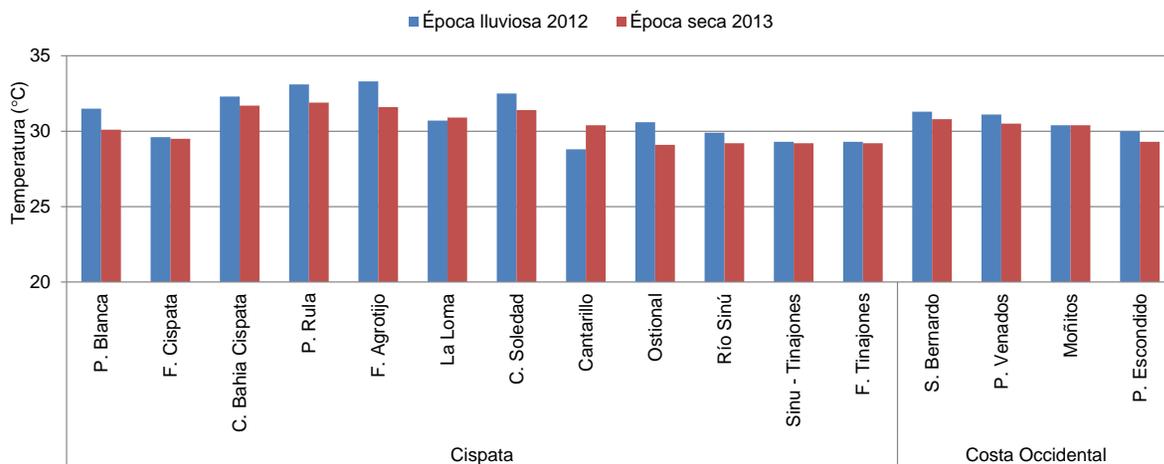


Figura 4.8.2. Temperatura (°C) superficial del agua medida en 4 zonas del departamento de Córdoba durante la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013

Salinidad

Para la época seca 2013, la salinidad en aguas marinas fluctuó entre 25,9 y 27,7 (promedio $26,8 \pm 0,9$) y en época de lluvia entre 18,4 y 27,4 (promedio $23,0 \pm 4,8$). En las estaciones estuarinas la salinidad presentó grandes variaciones a nivel espacial y temporal, fluctuando entre 0,1 hasta 27,4 en época de lluvia y, entre 0,3 hasta 27,8 en época seca (). El aumento de la salinidad durante la época seca responde al efecto que tiene sobre esta variable la disminución de las precipitaciones y el aumento de la evaporación principalmente en zonas de mezcla al interior de la bahía de Cispata (Quiceno, 2008).

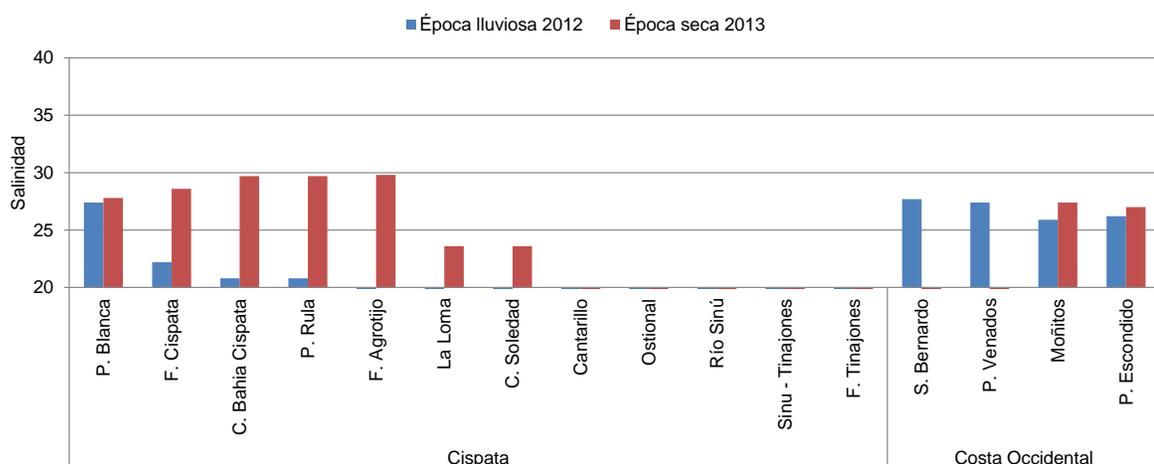


Figura 4.8.3. Salinidad del agua superficial en Córdoba medida en la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

pH

Las aguas marinas del departamento presentaron valores de pH que oscilaron entre 8,0 y 8,2 (promedio $8,1 \pm 0,1$) durante la época lluviosa de 2012 y entre 8,1 y 8,4 (promedio $8,3 \pm 0,1$) durante la época seca de 2013; no se observaron mayores variaciones entre épocas debido a la capacidad amortiguadora del sistema carbonato-bicarbonato del agua de mar. (Emerson y Edges, 2008). En las estaciones de carácter estuarino y fluvial los valores de pH se encontraron entre 7,1 y 8,2 (promedio $7,6 \pm 0,3$) en época lluviosa 2012 y, entre 6,6 y 9,0 (promedio $7,9 \pm 0,6$; Figura 4.8.4) en época seca 2013.

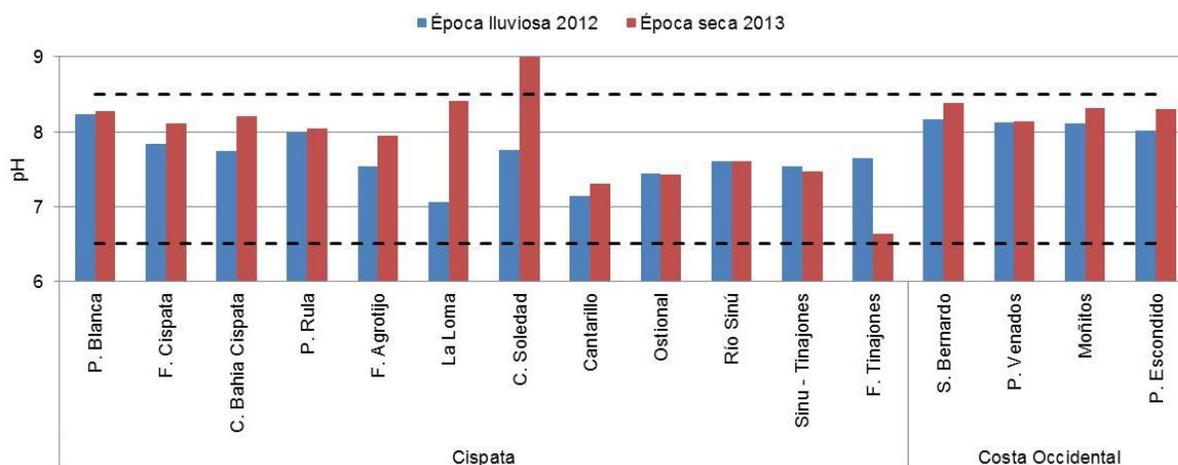


Figura 4.8.4. Valores de pH en aguas superficiales de Córdoba medido en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. Las líneas punteadas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

A manera general, los valores de pH en las aguas superficiales marinas y costeras del departamento de Córdoba se comportaron de manera similar a los registros históricos encontrados dentro de los criterios de calidad permisibles de 4,5 a 9,0 para aguas fluviales y de 6,5 a 8,5 en aguas marinas para la preservación de flora y fauna establecidos en el decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984). Cabe destacar que durante la época seca de 2013 se registró un valor de pH de 9,0 en la estación de la C. La Soledad, 0,5 unidades

arriba del valor promedio registrado históricamente (8,5); sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre épocas para las estaciones de carácter estuarino.

Oxígeno Disuelto

El Oxígeno Disuelto es uno de los indicadores básicos para determinar el estado de calidad o deterioro en diversos cuerpos de agua. A manera general, durante el último periodo de estudio, el oxígeno disuelto presentó una tendencia de aumento en la época seca respecto a la época lluviosa. Las concentraciones de OD en aguas marinas fluctuaron entre 4,0 mg/L y 5,2 mg/L (promedio $4,5 \pm 0,6$ mg/L) en la época lluviosa 2012; mientras que para la época seca 2013, el rango osciló entre 5,8 mg/L y 6,4 mg/L (promedio $6,2 \pm 0,2$ mg/L). En las estaciones fluviales y estuarinas los rangos fueron 0,9 mg/L a 6,7 mg/L (promedio $4,2 \pm 1,9$ mg/L) para la temporada lluviosa y de 0,7 mg/L a 8,7 mg/L (promedio $5,3 \pm 1,8$ mg/L) para seca (Figura 4.8.5); existiendo diferencias significativas entre épocas. ($p < 0,05$).

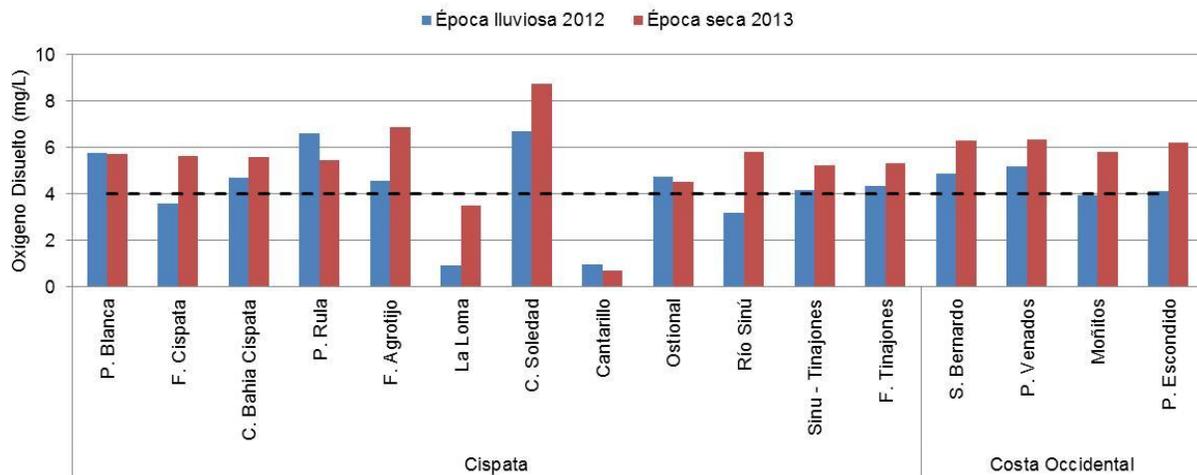


Figura 4.8.5. Oxígeno disuelto (mg/L) medido en aguas superficiales del departamento de Córdoba, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea punteada representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

A pesar de las variaciones observadas, el OD en la mayoría de estaciones estuvo por encima de 4,0 mg/L, considerado como valor mínimo permisible para la preservación de flora y fauna según la legislación colombiana (Minsalud, 1984). En la época lluviosa de 2012 el 70 % de las estaciones superó el valor de referencia, así como el 88% en la época seca 2013. Los valores más bajos fueron registrados en la Loma (0,94 mg/L en la época lluviosa 2012 y Cantarillo (0,71 mg/L en la época seca 2013), condición recurrente históricamente (la Loma $3,5 \pm 2,1$ mg/L promedio en época lluvia) y (Cantarillo $4,1 \pm 2,8$ mg/L promedio en época seca) y puede deberse a un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno generada por la descarga de aguas residuales.

4.8.1.2. Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendedos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en la franja costera del departamento de Córdoba fluctuaron entre 5,3 y 686 mg/L durante la época lluviosa de 2012 y, entre 11,5 y 237 mg/L en la época seca de 2013. Los mayores aportes y variaciones entre épocas se observaron en las estaciones de la Costa Occidental, principalmente en la estación de Puerto Escondido (686 mg/L) que presentó durante la época lluviosa un valor de SST 12 veces más alto en comparación con la época seca. Otros aportes

importantes de observaron sobre algunas de las estaciones ubicadas en la Bahía de Cispatá como en el río Sinú (237 mg/L) y Ostional (162 mg/l) durante la época seca (Figura 4.8.6 y Figura 4.8.7).

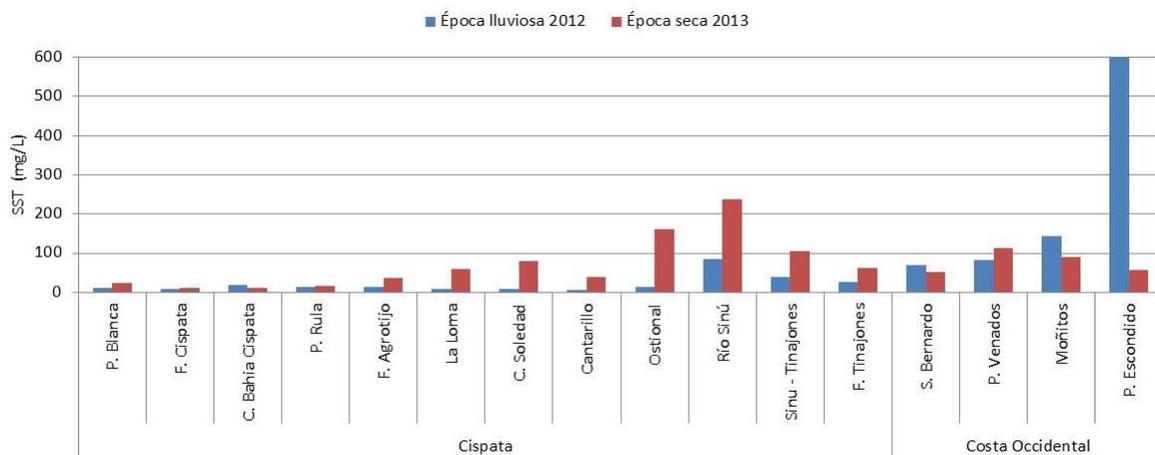


Figura 4.8.6. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de Córdoba en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

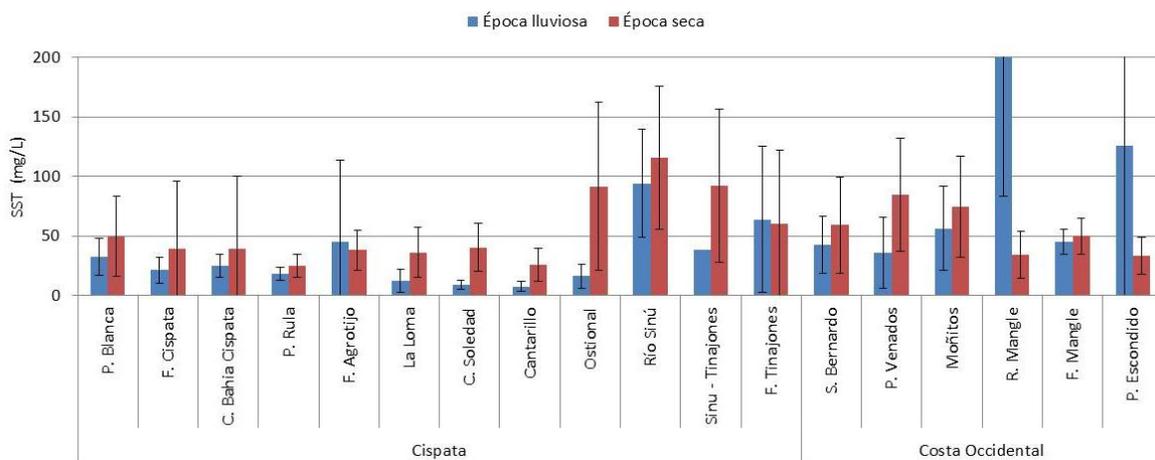


Figura 4.8.7. Promedios de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2013 en el agua superficial de las estaciones del departamento de Córdoba. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

Nutrientes

Se realizó el análisis de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y de fósforo reactivo soluble (FRS) o fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-) en las distintas estaciones. Los resultados mostraron cambios entre épocas y estaciones de muestreo. Para el NO_3^- los valores fluctuaron entre 0,6 $\mu\text{g/L}$ y 70,9 $\mu\text{g/L}$ durante la época de lluvias 2012 y entre 3,2 $\mu\text{g/L}$ y 546 $\mu\text{g/L}$ en la época seca de 2013. Las mayores concentraciones de NO_3^- se registraron en las estaciones Ostional (546 $\mu\text{g/L}$), Cantarillo (545 $\mu\text{g/L}$) y río Sinú-Tinajones (487 $\mu\text{g/L}$) durante la época seca 2013, siendo las más altas del periodo de muestreo (Figura 4.8.8). En las estaciones de la costa occidental las concentraciones de NO_3^- fueron más bajas y estuvieron en un orden de aproximadamente 10 veces menor en comparación con las de la bahía de Cispatá.

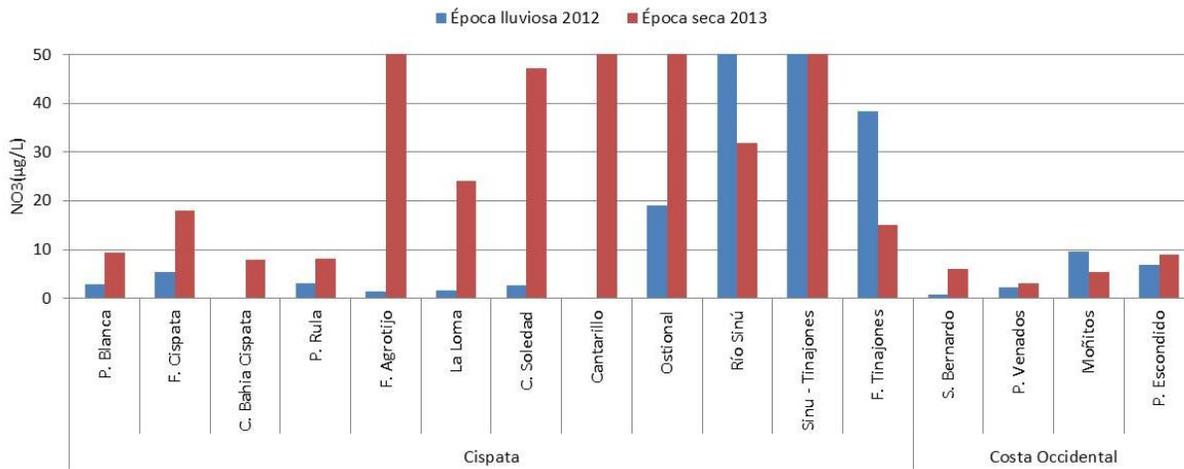


Figura 4.8.8. Concentraciones de nitrato (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Córdoba, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Las concentraciones de NO₂⁻ presentaron poca variación entre épocas para las mismas estaciones, no obstante los valores entre épocas no superaron los 10 µg/L. El valor máximo de NO₂⁻ se midió en la estación La Loma 8,3 µg/L durante la época de lluvias (Figura 4.8.9).

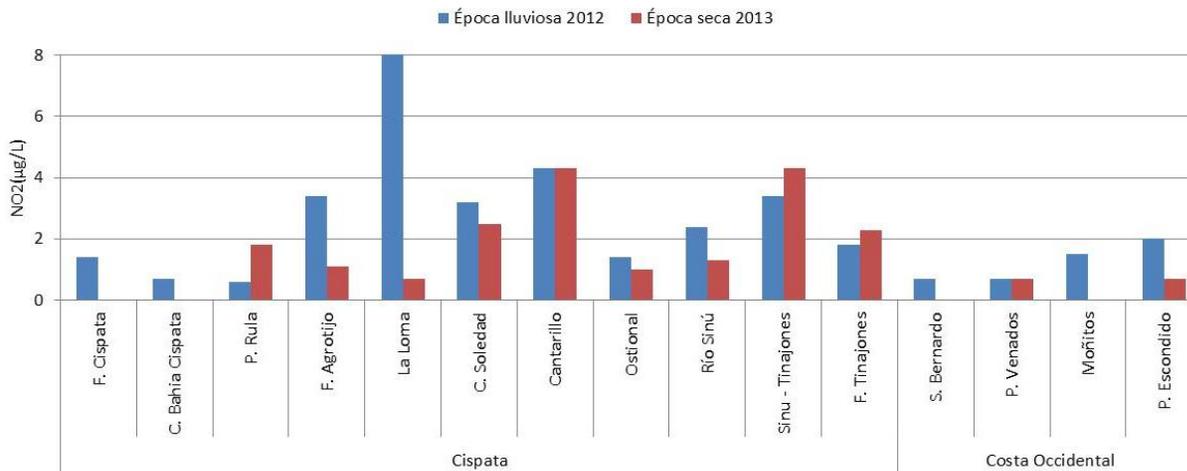


Figura 4.8.9. Concentraciones de nitrito (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Córdoba, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

En cuanto a los niveles de NH₄⁺ los mayores registros se observaron en las estaciones Cantarillo (55,5 µg/L), Ostional (24,9 µg/L) y río Sinú (22,3 µg/L) durante la época seca y en río Sinú-Tinajones (206 µg/L) durante la época de lluvias, este último fue el mayor valor reportado durante las dos épocas de muestreo (Figura 4.8.10).

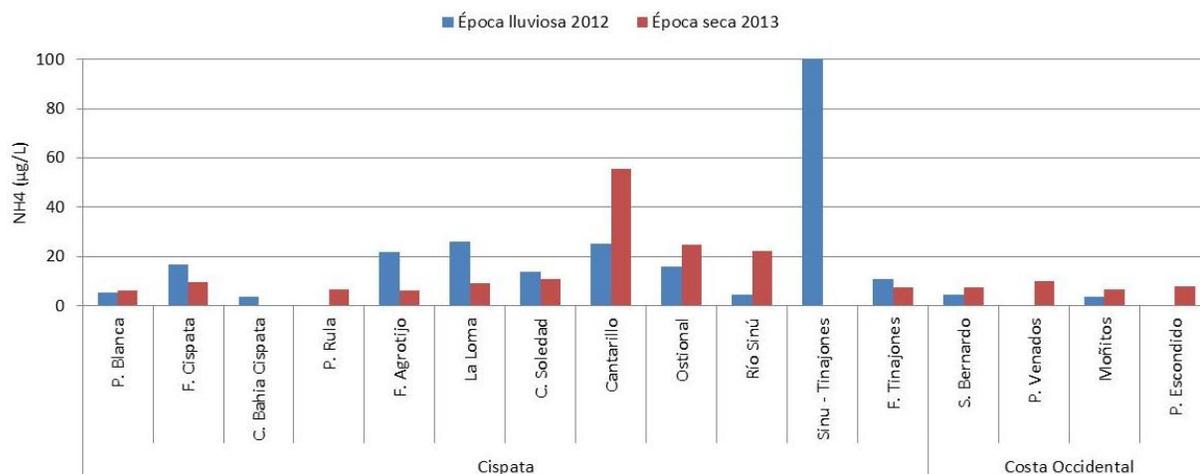


Figura 4.8.10. Concentraciones de amonio (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Córdoba, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Con respecto al fósforo, no se observó tendencia temporal definida sin embargo se logró ver que los registros más altos se presentaron durante la época de lluvias de 2012, principalmente en las estaciones La Loma (133 µg/L), Cantarillo (53 µg/L) y S. Bernardo (35 µg/L) ubicadas en la bahía de Cispata y en San Bernardo. En el resto de las estaciones las concentraciones presentaron poca variación entre épocas, manteniéndose en el mismo orden de magnitud y con valores por debajo de 15 µg/L (Figura 4.8.11).

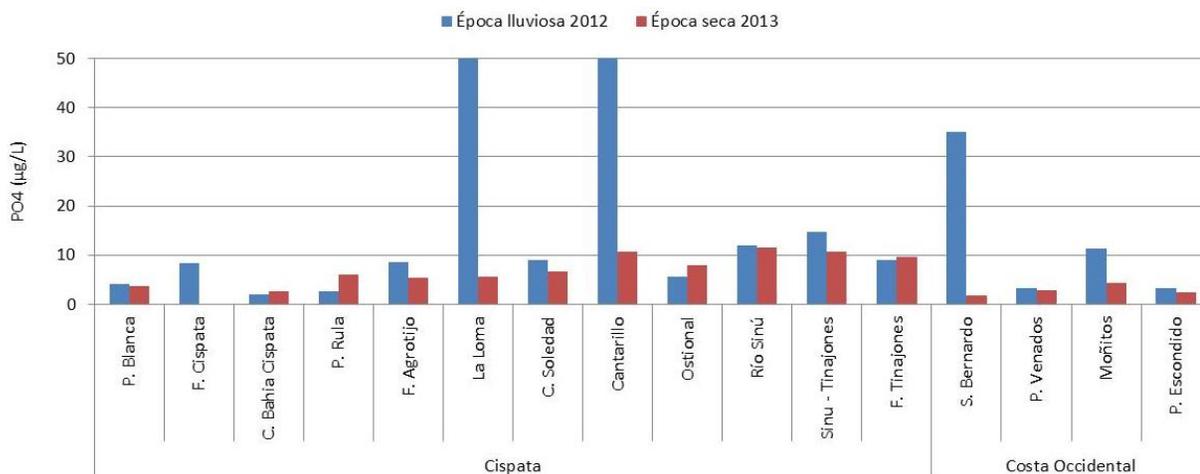


Figura 4.8.11. Concentraciones de fósforo reactivo soluble FRS (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Córdoba, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013

4.8.2. Contaminación microbiológica

La determinación de los parámetros microbiológicos coliformes totales y termotolerantes (CTT y CTE) para evaluar la calidad sanitaria de las aguas superficiales del departamento de Córdoba, se ha venido realizando desde el año 2002 en las épocas climáticas seca y lluviosa. El análisis histórico del principal tributario, el río Sinú, evidenció que no existen diferencias significativas entre épocas climáticas ($p > 0,05$), registrando promedios de CTT para la época seca ($57.538 \pm 0,72 \text{ NMP.}100 \text{ mL}^{-1}$) y época lluviosa ($67.398 \pm 1,00 \text{ NMP.}100 \text{ mL}^{-1}$) que superaron los límites establecidos para el desarrollo de actividades

recreativas de contacto primario y secundario (Figura 4.8.12). En este período de monitoreo, las concentraciones de CTT medidas en la época lluviosa del 2012 ($33.000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) y en la época seca del 2013 ($5.700 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$), muestran las inadecuadas condiciones que ha presentado el tributario, las cuales han sido recurrentes a través de los años, identificándolo como la principal fuente de contaminación de la zona costera del departamento (Garay *et al.*, 2001; Vivas- Aguas *et al.*, 2012). Es importante resaltar que para el monitoreo del mes de septiembre del 2012, las condiciones climatológicas presentadas se caracterizaron por el predominio de tiempo seco con bajas precipitaciones, registrando valores por debajo del promedio histórico (IDEAM, 2012), sin embargo el deterioro de la calidad de las aguas se atribuye al incremento y la concentración de poblaciones alrededor de la cuenca, sumado al inadecuado manejo de sus desechos domiciliarios (Leandro *et al.*, 2010).

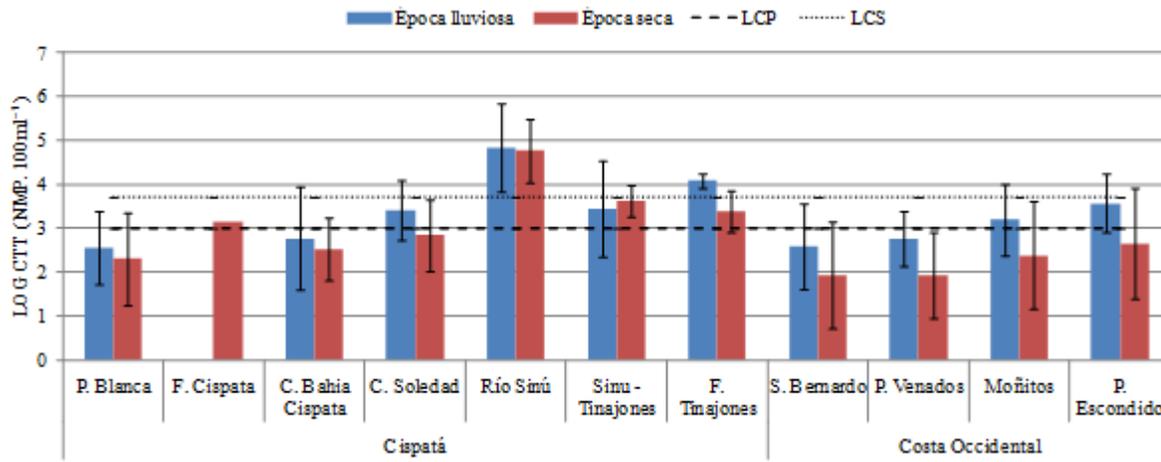


Figura 4.8.12. Concentraciones históricas de Coliformes Totales ($\text{LOG NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) medidas en las estaciones del departamento de Córdoba del año 2001 – 2013 en la época lluviosa y la época seca. La línea cortada corresponde al límite de referencia para el desarrollo de actividades de contacto primario (LCP: $< \text{LOG } 1000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) y la línea punteada equivale al límite de referencia para actividades de contacto secundario (LCS: $< \text{LOG } 5000 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$; MinSalud, 1984) actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto.

En la Tabla 4.8.1 se observan las concentraciones de coliformes termotolerantes (CTE) determinadas en las 6 playas del departamento en la época lluviosa del 2012 y seca del 2013. Los registros del análisis histórico indicaron que los mayores casos de incumplimiento se presentaron para la época lluviosa, encontrándose que el 80 % de las mediciones en Puerto Escondido y el 70 % en Moñitos, sobrepasaron el límite permisible para realizar actividades recreativas de contacto primario como la natación ($\text{CTE} < 200 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$; MinSalud, 1984), así mismo para el período monitoreado en el 2012, ambas estaciones registraron altas concentraciones de CTE con $490 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ y $1.600 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ respectivamente. Para el monitoreo del año 2013 el 67 % de las playas presentaron adecuadas condiciones sanitarias y solo las estaciones centro bahía Cispatá ($1.100 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) y playa Venados ($360 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$) registraron altas concentraciones, relacionadas con los vertimientos de origen residual debido a la falta de alcantarillado en las poblaciones costeras (Soler *et al.*, 2010). Históricamente, las mediciones en las estaciones no superaron el 43% de los casos de incumplimiento.

Tabla 4.8.1. Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE NMP. 100 ml⁻¹) medidas en las épocas climáticas lluviosa 2012 y seca 2013. En negrilla se muestran los valores que superan el límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (<200 NMP 100 ml⁻¹; Minsalud, 1984).

Zonas	Playa	Época Lluviosa 2012			Época Seca 2013		
		(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**	(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**
Cispatá	P. Blanca	18	38	8	1	42	12
	C. Bahía Cispatá	27	50	6	1100	43	7
Costa occidental	S. Bernardo	140	40	10	140	18	11
	P. Venados	45	29	7	360	10	10
	Moñitos	16000	70	10	160	33	12
	P. Escondido	490	80	10	160	18	11

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible establecido en el decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE <200 NMP.100 mL⁻¹).

** Número de datos existentes por época climática

4.8.3. Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD, en el período de lluvia 2012 y seco 2013 oscilaron en un rango entre 0,07 µg/L y 2,95 µg/L. La tendencia mostró las concentraciones más altas en la época seca de 2013, en la estación río Sinú (2,95 µg/L) en la zona de la bahía de Cispatá y en la zona occidente en la playa Moñitos (1,46 µg/L). Por otro lado, en la época lluviosa de 2012, el valor más alto se registró en la zona de la bahía de Cispatá en la estación Playa Blanca (0,59 µg/L; Figura 4.8.13). Los residuos de hidrocarburos que se presentan en el departamento se deben a la influencia del río Sinú, transporte marítimo, turismo y aguas servidas en las zonas. 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 (UNESCO, 1984).

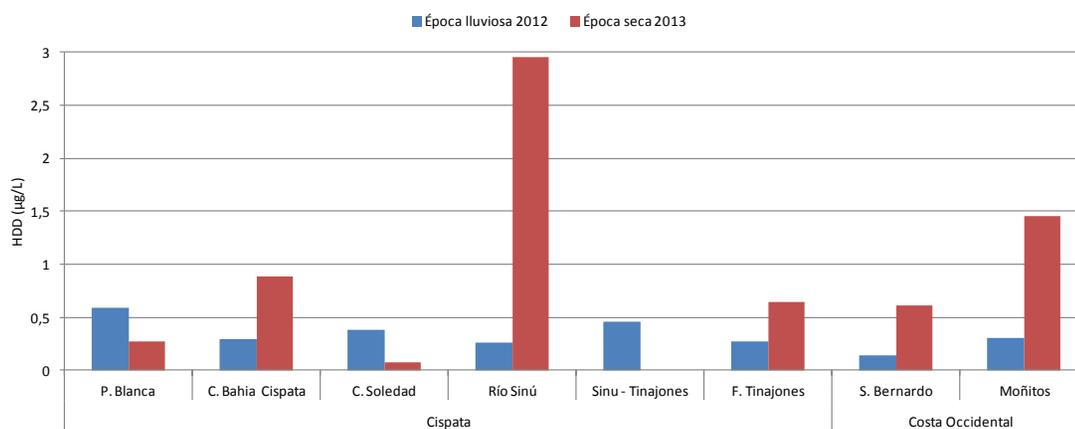


Figura 4.8.13. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de Córdoba en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013

El análisis temporal muestra diferencias significativas ($p > 0,05$), registrando las concentraciones promedio más altas en la época seca en las estaciones de la zona la bahía de Cispatá principalmente ciénaga la Soledad ($5,96 \pm 10,07 \mu\text{g/L}$), río Sinú ($4,91 \pm 10,22 \mu\text{g/L}$) y frente a Tinajones ($4,07 \pm 7,66 \mu\text{g/L}$);. Esto se debe principalmente a las escorrentías de aguas de lluvia, vertimientos de aguas residuales domésticas, el transporte de embarcaciones menores y a la actividad turística (Figura 4.8.14).

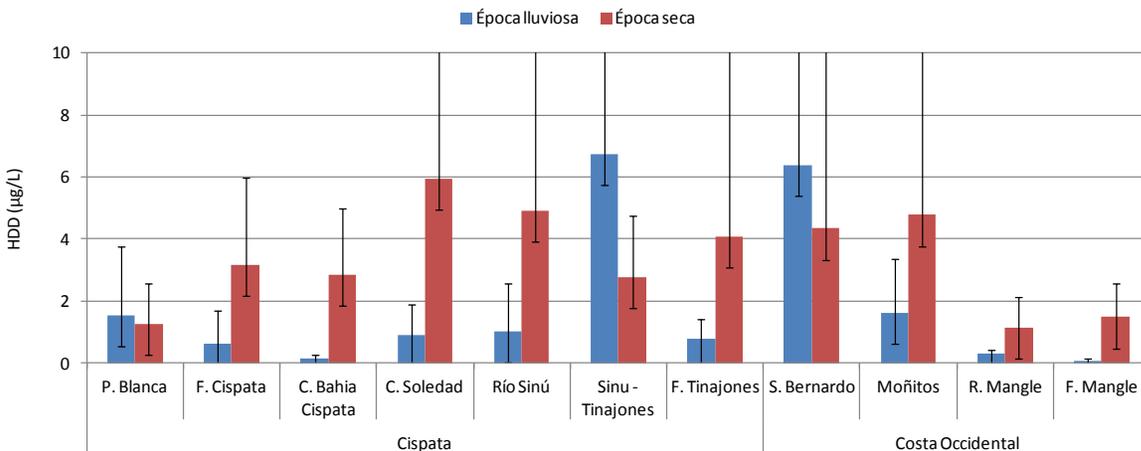


Figura 4.8.14. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales de Córdoba en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

La variación interanual 2001 a 2013 mostró diferencias ($p < 0,05$), registrando concentraciones de HDD superiores al valor de referencia en los años 2002 en las estaciones Frente a Tinajones ($17,83\mu\text{g/L}$) y playa San Bernardo ($15,21\mu\text{g/L}$), en el año 2010 en las estaciones playa San Bernardo ($56,71\mu\text{g/L}$), ciénaga la Soledad ($26,63\mu\text{g/L}$) y Moñitos ($14,18\mu\text{g/L}$) y en 2011 en el río Sinú ($36,20\mu\text{g/L}$), las ciénagas Ostional ($26,40\mu\text{g/L}$) y La Soledad ($20,20\mu\text{g/L}$), Frente a Agrotijo ($23,40\mu\text{g/L}$), frente a Tinajones ($22,50\mu\text{g/L}$), La Loma ($22,40\mu\text{g/L}$) y las playas de San Bernardo ($18,50\mu\text{g/L}$) y Venados ($11,30\mu\text{g/L}$).

4.8.4. Plaguicidas

En este departamento la tendencia descendente que mostraban las concentraciones de plaguicidas organoclorados (OC) se interrumpió entre el 2007-2011. En el 2007 se detectaron valores de $13,7\text{ ng/L}$ en el río Sinú; en el 2008 nuevamente se detectaron en el río Sinú ($30,7\text{ ng/L}$), frente a su desembocadura ($32,7\text{ ng/L}$) y en la estación Frente a Agrotijo ($34,6\text{ ng/L}$). En el 2009 el rango de variación descendió pero reaparecieron en la época de lluvias del 2010 con valores de $110,8\text{ ng/L}$ en el río Sinú y en la seca del 2011 en la ciénaga la Loma ($81,5\text{ ng/L}$). En el periodo actual (lluvias de 2012 y seca de 2013) las concentraciones estuvieron por debajo de los límites de detección de la técnica usada mostrando con esto un descenso en las concentraciones de OC desde finales del 2011.

Como se indicó en anteriores informes, los registros del 2010 y 2011 presentaron valores por encima del valor de referencia de 30 ng/L (EPA, 1999). Este incremento obedeció, en parte, a la implementación a partir del 2008 del análisis de nuevas moléculas, lo que significó que se cuantificaran moléculas que antes no se tenían en cuenta, tal es el caso del Endosulfan, compuesto que fue responsable parcialmente de los altos valores en el Distrito de riego Cantarillo, la Ciénaga la Loma y la Ciénaga La Soledad en el 2011 y el río Sinú en 2010, Tabla 4.8.2. Por otro lado, la tendencia variable de las concentraciones es un indicador que los suelos estuvieron drenando sustancias que fueron aplicadas hace tiempo y que aún se hallan en el medio debido a su persistencia.

En cuanto al monitoreo de plaguicidas de “uso actual” en los cuatro años que se llevan analizando, sólo se detectó clorpirifos, en las aguas del río Sinú debido probablemente a las actividades agrícolas desarrolladas en su cuenca hidrográfica, por su uso generalizado. No obstante, las concentraciones de clorpirifos

estuvieron por debajo del valor de referencia dado por la EPA ([Buchman, 2008](#)) y no representaron riesgo para los organismos acuáticos (Tabla 4.8.2).

Tabla 4.8.2. Concentraciones de plaguicidas medidas en aguas superficiales de Córdoba del 2009 - 2013 y valores de referencia de la NOAA ([Buchman, 2008](#)).

Época	Estación	ΣIsómerosH CHs (ng/L)	ΣMetabolitos del DDT	Aldrines (ng/L)	Endosulfan (ng/L)	Clorpirifos (ng/L)
lluvias 2009	Frente Cispata	9,2	-	-	-	-
Seca 2010	Frente a Agrotijo	-	6,5	-	17,7	-
	Brazo Caño Grande -	-	-	-	25,9	-
lluvias 2010	Río Sinú	18,9	-	-	91,9	66,0
	Boca Distrito riego	-	-	17,6	48,0	-
Seca 2011	Ciénaga la Loma	-	-	14,5	67,0	-
	Ciénaga La Soledad	-	-	13,0	25,8	-
2012 – seca 2013	-	-	-	-	-	-
<i>Valores de referencia para efectos agudos</i>	<i>Aguas dulces</i>	950	550	1500	110	83
	<i>Aguas marinas</i>	80	65	650	10	11

4.8.5. Metales pesados

En el departamento de Córdoba, el río Sinú es uno de los recursos hídricos más significativos. El crecimiento de los núcleos poblacionales y sus actividades productivas y de subsistencia, están afectando toda la cuenca ([Marrugo y Paternina, 2011](#)), señalando al río Sinú como la principal fuente de descarga de contaminantes en el mar.

Para evaluar la calidad de las aguas del departamento de Córdoba, desde el año 2001 se han monitoreado los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), pero teniendo en cuenta la influencia del río Sinú y los problemas relacionados con metales pesados en el departamento, se amplía el monitoreo de metales, incluyendo para el presente informe los metales Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Hierro (Fe).

El monitoreo de la época seca, realizado en abril de 2013, muestra que solo las estaciones río Sinú (0,60 µg/L), San Bernardo (3,13 µg/L) y Moñitos (0,20 µg/L) presentaron concentraciones detectables de Plomo. En la época lluviosa de 2012, todas las estaciones estuvieron por debajo de límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,15 µg/L). Ninguna estación superó el valor límite de riesgo referenciado en la guía internacional de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

El Cadmio solo se detectó en época lluviosa de 2012 (Figura 4.8.15). Los valores más altos se presentaron en la estación Punta Rula (1,69 µg/L), Puerto Escondido (1,54 µg/L), San Bernardo (1,46 µg/L) y La Loma (1,45 µg/L). No obstante, ninguna de las estaciones supera los valores referenciados en guías internacionales (40 µg/L, [Buchman, 2008](#)). En cuanto al Cromo, en ambas épocas estacionales estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, de forma que no presenta ningún riesgo para la salud al no superar los valores referenciados en guías internacionales (50 µg/L, [Conama, 1986](#)).

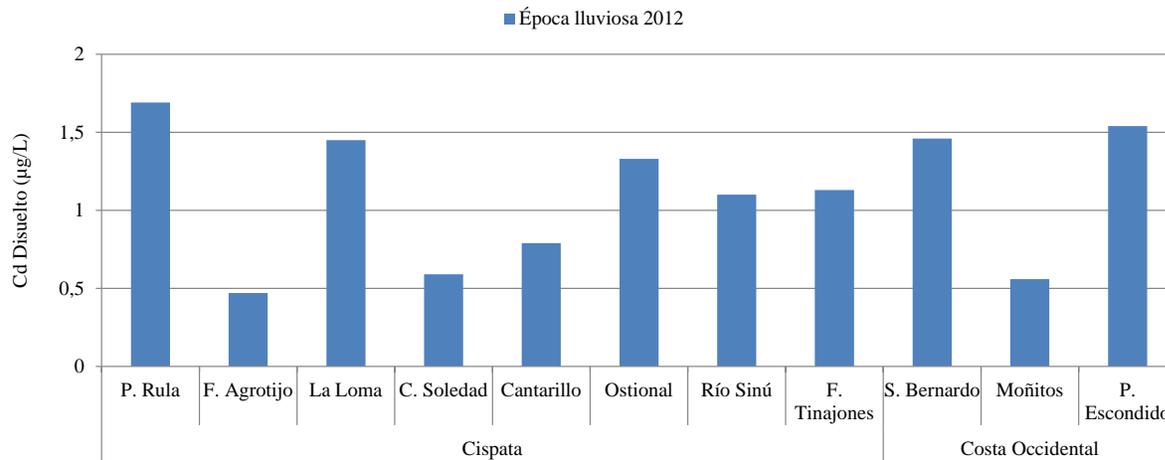


Figura 4.8.15 Concentración de Cd disuelto ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de Córdoba, en la época lluviosa 2012 y seca 2013.

Históricamente se ha observado que los valores más altos de Pb, Cd y Cr se presentan en las estaciones ubicadas en el delta del río Sinú - Tinajones y en las de su antiguo delta – Bahía Cispatá. Esto muestra la importante influencia del río en la calidad de las aguas marinas del departamento.

En la época seca de 2013 solo se detectaron concentraciones de Cu en las estaciones Ciénaga la soledad ($0,8 \mu\text{g/L}$), Ostional ($3,0 \mu\text{g/L}$), río Sinú ($1,6 \mu\text{g/L}$) y Puerto Escondido ($2,0 \mu\text{g/L}$), mientras que en época lluviosa de 2012 los niveles de Cu estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada ($0,50 \mu\text{g/L}$). Para efectos de evaluar la calidad de las aguas marinas, se comparan los valores de Cu con los reportados en guías internacionales como la NOAA, infiriendo que los niveles de Cu en el mar están por debajo del referenciado en la guía internacional de la NOAA ($4,8 \mu\text{g/L}$, [Buchman, 2008](#)), sugiriendo que no existe riesgos agudos por la presencia de este metal en aguas marinas del departamento de Córdoba.

El Zn medido en aguas superficiales, registró las mayores concentraciones durante la época lluviosa de 2013 en las estaciones Ostional ($99,8 \mu\text{g/L}$) y Centro de la Bahía Cispatá ($70,2 \mu\text{g/L}$), mientras que en época seca los valores más altos los registraron la estación río Sinú ($61,2 \mu\text{g/L}$) y San Bernardo ($106,0 \mu\text{g/L}$), siendo esta última, la estación marina que superó los niveles referenciados como de riesgo en la guía internacional de la NOAA ($90 \mu\text{g/L}$, [Buchman, 2008](#)), sin embargo durante la época lluviosa la concentración de Zn en la estación San Bernardo fue 5 veces menor que la registrada en época seca, por lo que se hace necesario monitorear la estación para observar algún tipo de tendencia temporal y además extender el análisis a los sedimentos ya que dan un mejor indicativo del comportamiento y destino final de los metales.

En cuanto al Ni, en ambas épocas del año estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada ($0,6 \mu\text{g/L}$), excepto la estación Frente a Tinajones que solo en época lluviosa registró un valor de $2,35 \mu\text{g/L}$. Las concentraciones de Fe no presentaron diferencias temporales significativas ($p > 0,05$), salvo la estación Ostional que registró las diferencias más amplias (época lluviosa 2012: $0,19 \text{ mg/L}$; época seca 2013: $0,98 \text{ mg/L}$), el resto de estaciones osciló entre $0,01$ y $0,22 \text{ mg/L}$. Al igual que los demás metales, se observa que el Fe presenta concentraciones más elevadas en estaciones influenciadas por el río Sinú. No obstante, ninguna estación en aguas marinas, superó el valor de referencia establecido en la NOAA ($0,3 \text{ mg/L}$; [Buchman, 2008](#)).

4.8.6. Conclusiones

Las variables fisicoquímicas determinadas en las aguas superficiales marinas y costeras del departamento de Córdoba durante el periodo de monitoreo 2012-2013 presentaron variaciones en respuesta a la acción de los ciclos anuales de vientos, especialmente en época seca. Así mismo, en época lluviosa se evidenció la influencia de las precipitaciones y descargas continentales sobre las aguas marinas. Los valores de temperatura, pH, salinidad y oxígeno disuelto se registraron dentro de los rangos de variación histórica del departamento y en los criterios establecidos en la legislación colombiana. En el caso de la concentración de oxígeno disuelto la mayoría de las estaciones estuvieron por encima del valor de referencia para la preservación de la vida acuática exceptuando las estaciones la Loma y cantarillo las cuales continúan presentando valores por debajo del valor de referencia para la preservación de la vida acuática.

Los resultados muestran la influencia del río Sinú sobre las concentraciones de sólidos y nutrientes en las aguas costeras del departamento, evidenciado con una alta carga de SST, nutrientes de nitrógeno y fósforo durante las diferentes épocas climáticas. No obstante altos valores de SST pueden afectar la calidad de las aguas al hacerlas más turbias e inhibir procesos biogeoquímicos importantes.

La calidad microbiológica de las aguas del departamento de Córdoba, indicaron que para la época lluviosa 2012 y seca 2013, el río Sinú presentó condiciones inadecuadas para el desarrollo de actividades de contacto primario y secundario de acuerdo a los límites establecidos por la legislación colombiana, a nivel histórico las altas concentraciones de CTT indicaron el constante detrimento de la calidad de sus aguas, considerándolo como el principal aportante de contaminantes hacia la zona costera. Por otra parte el monitoreo de los CTE en las playas, registraron altos valores en la época lluviosa del 2012, siendo Moñitos y puerto Escondido las que presentaron mayores concentraciones de CTE y los mayores porcentajes de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible para el desarrollo de actividades recreativas como la natación.

En términos de hidrocarburos, la mayoría de las estaciones han permanecido con niveles bajos, siendo el río Sinú el que realiza los mayores aportes de éste contaminante a la zona costera del departamento de Córdoba, debido a la descarga de aguas residuales domésticas e industriales y el transporte marítimo.

En este departamento también se observa una tendencia descendente en las concentraciones de OC en las aguas, si bien, hasta hace tres años se detectaban niveles considerablemente altos de OC, esto se debió a cambios metodológicos por el análisis de nuevas moléculas, ya que en la actualidad no se detectan. Adicionalmente, el clorpirifos el único de los plaguicidas de “uso actual” que se ha detectado en concentraciones que no representan riesgo.

El aporte de metales en aguas marinas del departamento de Córdoba se debe atribuye a las aguas servidas y las actividades agrícolas que se desarrollan a lo largo del río Sinú. Esto se ve reflejado en concentraciones altas en estaciones cercanas a la desembocadura del río. Aunque las concentraciones de Pb, Cd, Cr, Zn, Ni y Fe fueron altas en estaciones de la zona del río Sinú, en la zona marina permanecieron por debajo de los valores establecidos de riesgo en guías internacionales, indicando que no hay riesgo de contaminación por metales pesados. La estación San Bernardo, en época seca superó el nivel de Zn establecido por la NOAA, por lo que es recomendable continuar con el monitoreo de la estación para determinar tendencias temporales.

Antioquia



Municipio de Turbo – Antioquia. Foto: Janet Vivas

4.9 ANTIOQUIA

El departamento de Antioquia se encuentra ubicado geográficamente en los 8°37' y 7°55' de latitud norte y 77°25' y 76°55' de longitud oeste, posee una línea de costa de 425km, donde se localiza el Golfo de Urabá que acoge a los municipios costeros de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes (IGAC, 2008). La zona se considera como una de las más lluviosas con una precipitación anual alrededor de 2.000 mm, temperatura ambiente entre los 26 y 28°C y humedad relativa entre el 83 y 86%. (García y Palacio, 2008). En el Urabá antioqueño la REDCAM cuenta con 26 estaciones de muestreo distribuidas en 4 zonas: la zona Costa Norte donde se encuentra la playa de Arboletes, Golfo Alto que va desde Arboletes hasta Necoclí, Golfo Medio que comprende Necoclí hasta Turbo y por último la zona de Golfo Bajo que está influenciada por el Atrato y Bahía Colombia (Figura 4.9.1). Este informe presenta los resultados de los muestreos realizados en septiembre (18 y 26), octubre (3,9 y 23) y noviembre (28) de 2012 que corresponden a la época lluviosa 2012 y los muestreos de los días 18, 19 y 20 de marzo, 4 de abril y el 1 y 6 de mayo de 2013 correspondientes a la época seca 2013.

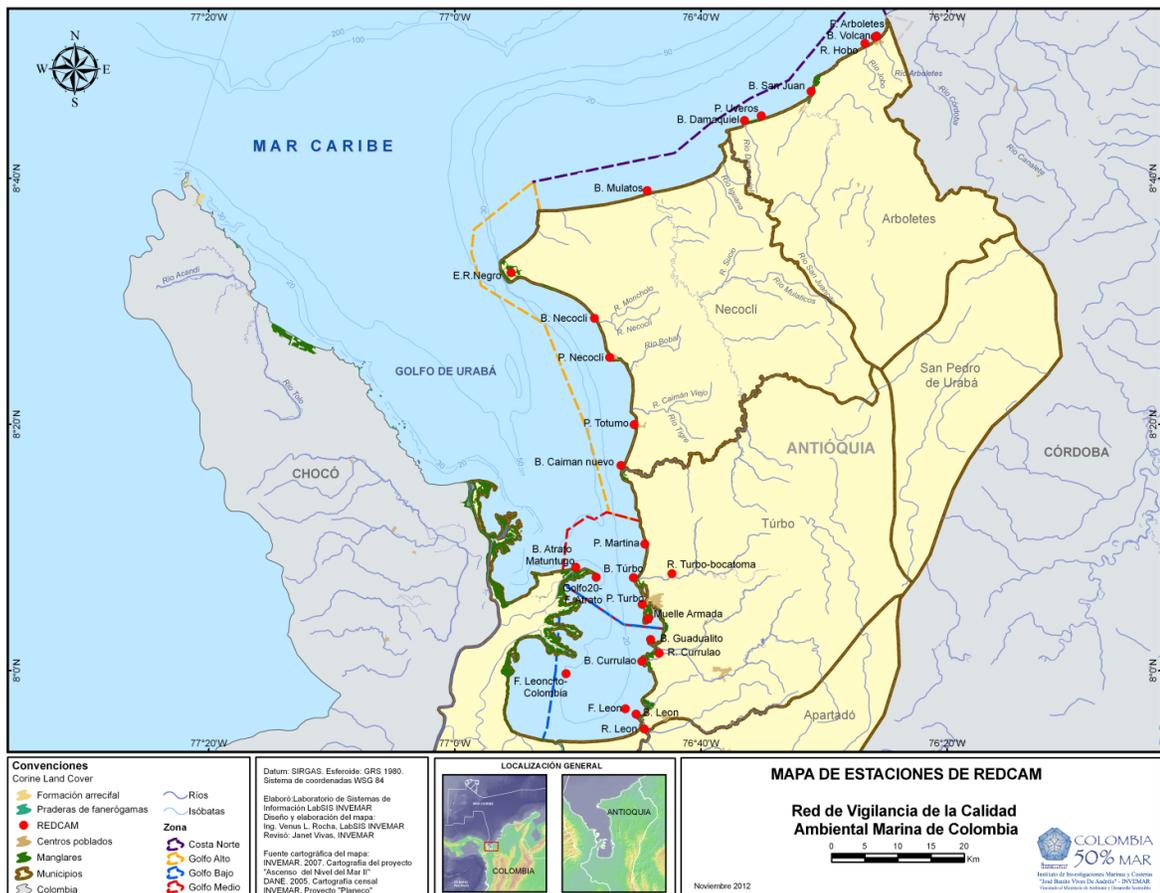


Figura 4.9.1. Estaciones de muestreo en el departamento de Antioquia

El alto desarrollo agrícola ha convertido al departamento en la región bananera y platanera más importante del país y de varios mercados internacionales, por las condiciones del Golfo de Urabá y sus alrededores que son de suma relevancia para la producción agrícola, para monocultivos permanentes de banano, plátano, cultivos mixtos (transitorios y permanentes) de arroz, yuca, maíz, ñame, entre otros (García-

Valencia, 2007). Sin embargo, el incremento de este tipo de actividades hace que sean una de las principales fuentes de contaminantes pues la escorrentía desde la zona continental trae un arrastre importante de residuos de plaguicidas, fertilizantes, entre otros que al llegar a la zona costera afectan la calidad de las aguas marinas. En general, en la escorrentía del golfo predominan los aportes hídricos de los ríos Atrato y León, junto a otros pequeños efluentes del departamento. Ésta carga de aguas trae consigo un aporte de sólidos ($1.1 \cdot 10^6$ ton/año) de importancia para la dinámica del golfo junto a aguas de tipo doméstico por la falta de servicio de alcantarillado en algunas zonas riverañas (INVEMAR *et al.*, 2007).

4.9.1 Variables Físicoquímicas

4.9.1.1 *In situ*

La temperatura del agua en las diferentes estaciones de muestreo osciló entre 25,9 y 33,4 °C en la época lluviosa 2012 y de 27,4 – 31,4 °C en la época seca 2013 (Figura 4.9.2), los resultados obtenidos son coherentes con las temperaturas históricas reportadas. Los ríos Currulao y Turbo (bocatoma) en la época lluviosa de 2012 presentaron aguas más cálidas (33,4 y 31,7 respectivamente), sin embargo estas dos estaciones junto con la playa de Totumo, y la boca de Turbo históricamente han presentado la mayor variabilidad en las mediciones (Figura 4.9.3).

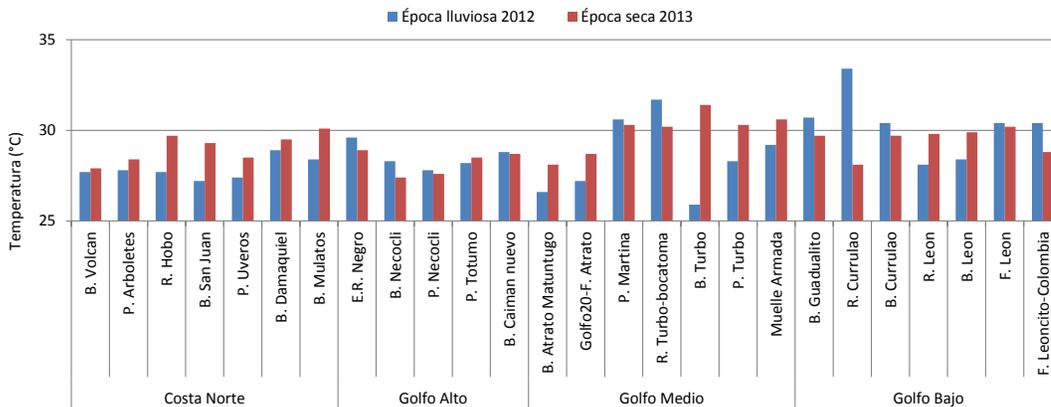


Figura 4.9.2. Temperatura (°C) del agua superficial en el departamento de Antioquia, medida en las épocas lluviosa del año 2012 y seca del 2013

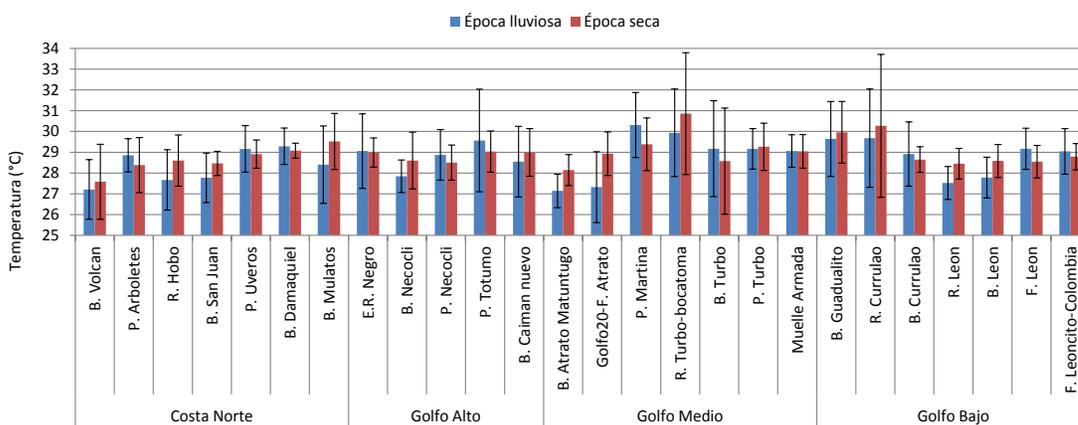


Figura 4.9.3. Promedio de la Temperatura de las aguas superficiales del departamento de Antioquia monitoreadas entre las épocas lluviosa y seca del año 2001 al 2013. Las barras de error representan las desviaciones estándar (variación).

Salinidad

La salinidad presentó una distribución espacial y temporal consistente con los diferentes tipos de agua que convergen en el Golfo de Urabá, con valores que oscilaron entre 0,0 hasta 34,1 en la época lluviosa de 2012 y entre 0,0 hasta 34,4 en la seca de 2013, con los valores más altos en la zona norte, particularmente en las playas de Arboletes (33,6 – 34,4) y Uveros (34,1 – 26,2) en las ambas épocas se presentaron (Figura 4.9.4). Cabe destacar que el intervalo de salinidad se hace mucho más amplio en las estaciones del golfo, debido a las condiciones estuarinas generadas por la desembocadura del río Atrato y otros efluentes, junto a los patrones de circulación de las aguas en el golfo de Urabá (Bernal *et al.*, 2005).

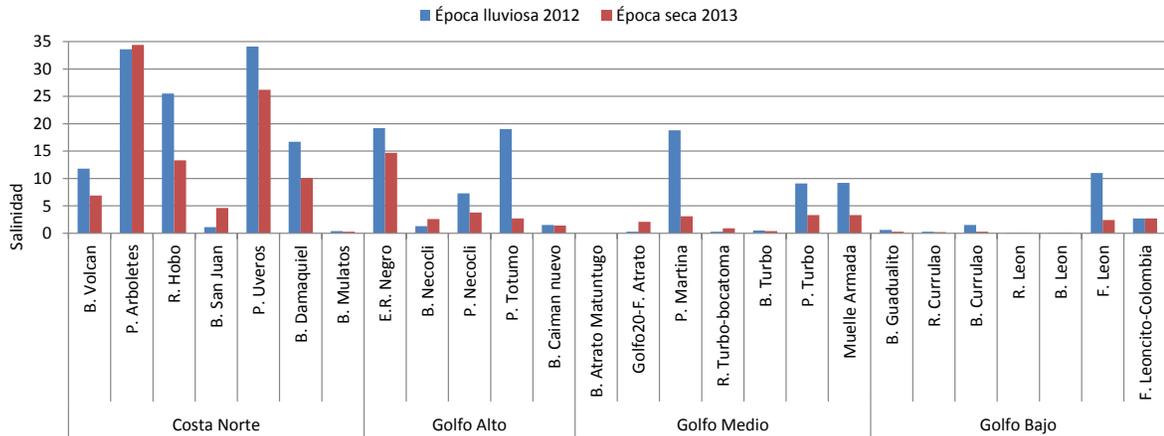


Figura 4.9.4. Salinidad del agua superficial del departamento de Antioquia monitoreada en la época lluviosa del año 2012 y la seca del 2013.

Históricamente la salinidad en las estaciones de la costa norte y de los golfos ha presentado una amplia variación entre épocas desde los años 2001 a 2013, encontrándose un notable patrón de disminución de la salinidad al pasar de las estaciones de la zona costa norte hasta la zona de golfo Bajo (Figura 4.9.5) como consecuencia de la dinámica de movimiento de las aguas superficiales y las desembocaduras del río Atrato así como diferentes tributarios y quebradas que ayudan a la constante variación de la salinidad de las aguas.

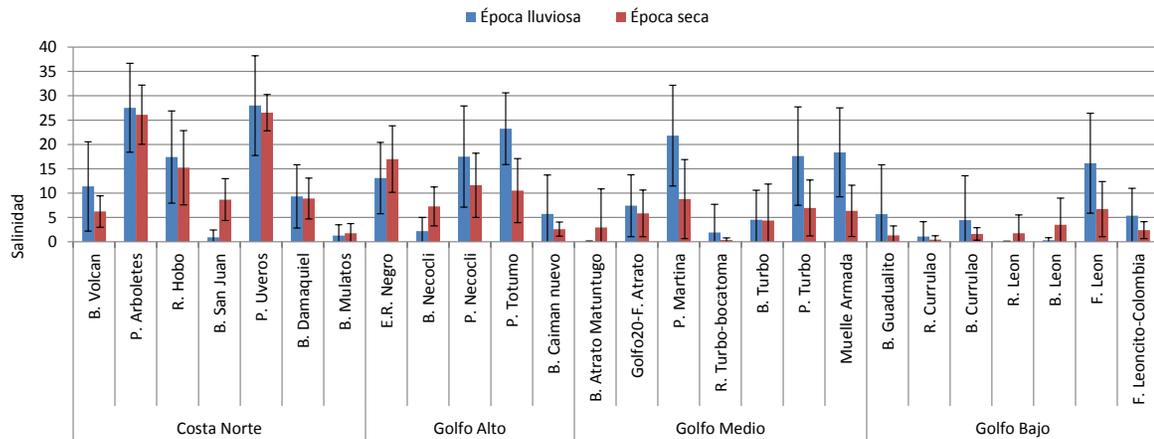


Figura 4.9.5. Promedio de la salinidad de las aguas superficiales del departamento de Antioquia monitoreadas entre las épocas lluviosa y seca del año 2001 al 2013. Las barras de error representan las desviaciones estándar (variación).

pH

Los valores de pH fluctuaron entre 6,0 – 8,42 para la época lluviosa de 2012 y entre 7,2 y 8,57 para la época seca de 2013, en general se presenta mayor variabilidad en los valores de pH de las estaciones de las zona del golfo, como consecuencia a su naturaleza estuarina (Montoya y Toro, 2006) y su baja capacidad para mantener estable el pH (capacidad Buffer). Se destaca la estación B. Atrato Matuntugo en la época lluviosa (6,0) y P. Turbo (8,57) época seca; los cuales, se encuentran ligeramente por fuera de los límites establecidos para la preservación de flora y fauna en aguas estuarinas (MinSalud, 1984) (Figura 4.9.6).

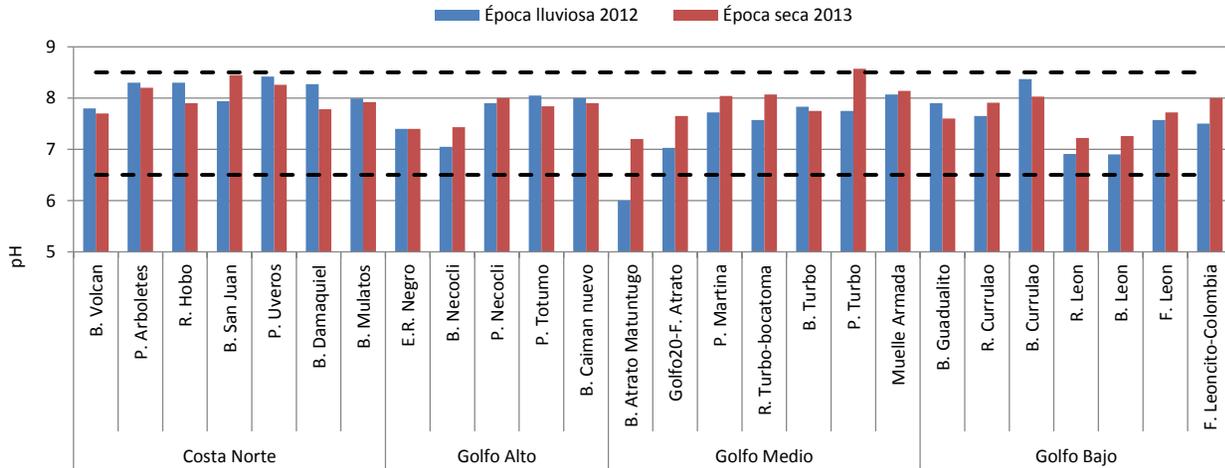


Figura 4.9.6. Valores de pH de las estaciones del departamento de Antioquia monitoreadas en la época lluviosa 2012 y época seca 2013. Las líneas negras punteadas representan el máximo y el mínimo rango establecido para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Los promedios históricos estuvieron dentro del rango establecido por la norma (6,5 – 8,5) sin embargo, en las desembocaduras de los ríos Necoclí y Atrato-Matuntugo se registraron aguas ligeramente más ácidas con valores por debajo de los límites mínimos establecidos (MinSalud, 1984) en ambas épocas climáticas (promedio para B. Necoclí en las dos épocas 6,90 +/- 0,41 y 7,01 +/- 0,64 y B Atrato Matuntugo 6,80 +/- 0,79 y 6,78 +/- 0,81) (Figura 4.9.7)

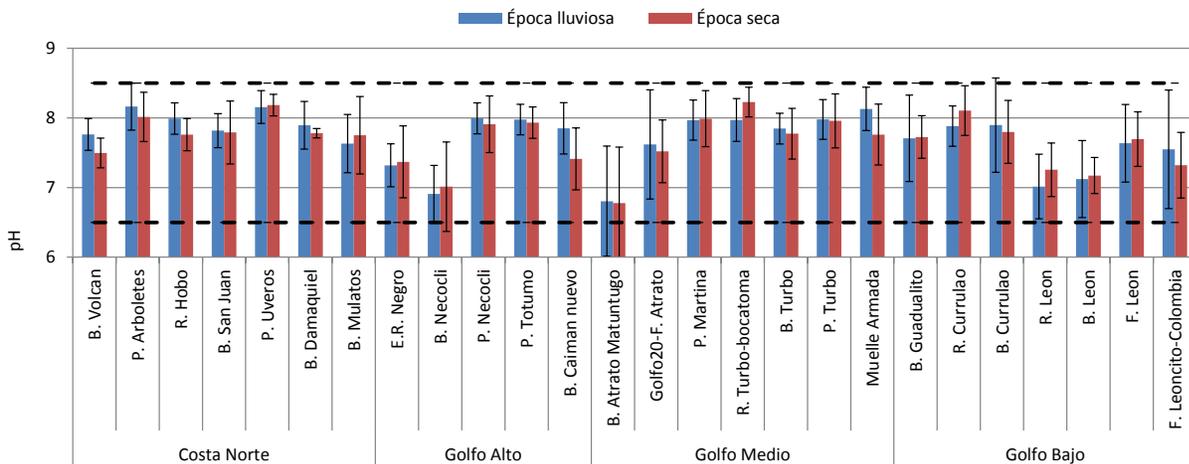


Figura 4.9.7. Promedios de valores de pH de las estaciones del departamento de Antioquia monitoreadas entre las épocas lluviosa y seca del año 2001 al 2013. Las barras de error representan la desviación estándar de las mediciones históricas.

Oxígeno Disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en las estaciones evaluadas fluctuaron entre 3,0 – 9,61 mg/L(2012) y 1,8 - 8,1 mg/L (2013) respectivamente. En la época lluviosa, los valores registrados para las estaciones de muestreo R. León y B. León (3,0 y 3,1 mg/L respectivamente) se encontraron por debajo del límite establecido para la preservación de flora y fauna (MinSalud, 1984). En la época seca del 2013 los valores más bajos se encontraron en las estaciones B. volcán, B. Guadualito y R León (1,8; 3,5 y 3,4 mg/L respectivamente) se encontraron por debajo de este límite (Figura 4.9.8). La disminución del OD en los cuerpos de agua pueden atribuirse directamente por las descargas de materia orgánica de los ríos, la dinámica y oceanografía del golfo de Urabá lo cual propicia los procesos de oxidación de la materia orgánica y favorece la proliferación de microorganismos degradadores de oxígeno (García-Valencia, 2007) e indirectamente por la incidencia del fenómeno de la niña (IDEAM, 2012).

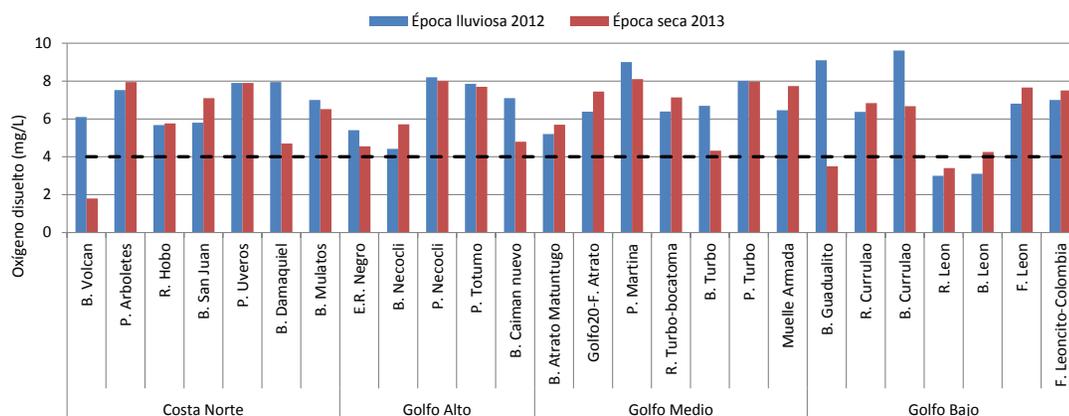


Figura 4.9.8. Valores de OD (mg/L) de las aguas superficiales del departamento de Antioquia monitoreado en las épocas lluviosa 2012 y seca 2013. La línea negra punteada representa el límite mínimo de OD para la preservación de la flora y fauna según el decreto 1594 (MinSalud, 1984).

Los promedios históricos de OD muestran que las bocas de los ríos Volcán, Necocli, León y el río León se han encontrado por debajo del límite establecido (línea punteada). Además la magnitud de la desviación estándar en los resultados de las estaciones P. Arboletes, R. Hobo, E.R. Negro, B. Caimán nuevo, B. Guadualito entre otras, evidencia la ocurrencia de valores de OD por debajo de este límite en años anteriores (Figura 4.9.9).

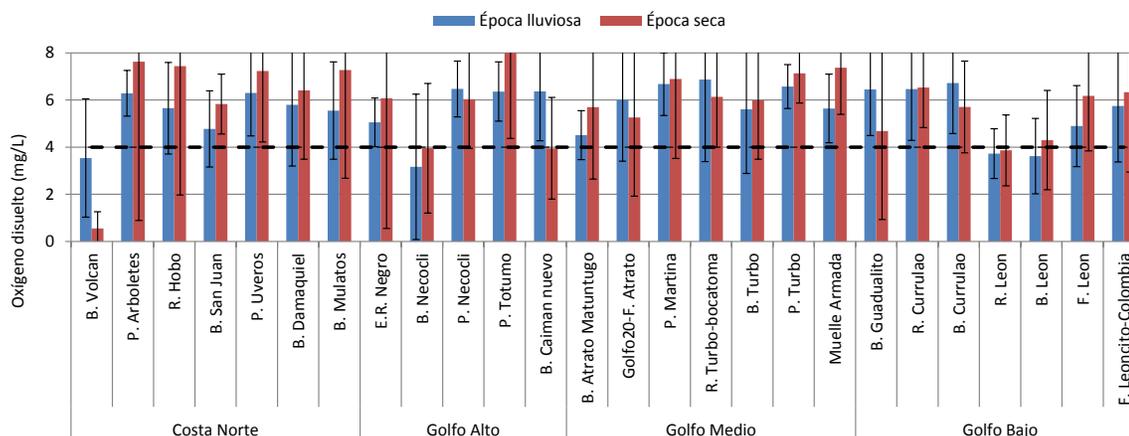


Figura 4.9.9. Promedio histórico del OD en las estaciones del departamento de Antioquia monitoreado entre las épocas lluviosa y seca del 2001 al 2013. Las barras de error representan la desviación estándar de las mediciones históricas

4.9.1.2 **Sólidos y Nutrientes**
Sólidos Suspendedos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) se encontraron entre 17 mg/L y 549 mg/L en la época lluviosa y entre 12,9 mg/L y 106, 4 mg/L en la época seca (Figura 4.9.10). Los valores más altos se registraron durante la época de lluvias en las estaciones de la zona golfo alto (playa Arboletes 245 mg/L, boca San Juan 371 mg/L y boca Mulatos 549 mg/L) y están relacionadas tanto con la alta carga de material residual vertida al cauce de los tributarios que recorren la zona, como a la erosión de sus orillas resultado de las precipitaciones y la transformación en el uso del suelo por las actividades de agricultura y ganadería (Aristizábal *et al.*, 1990). Si bien es cierto que la concentración de SST depende de condiciones específicas del día de muestreo, como las lluvias, se observa que históricamente los valores promedio más altos de SST para ambas épocas se han presentado en la zona de Costa Norte y en Golfo Bajo, ésta última caracterizada por ser una zona de manglares y marismas, donde la acción de algunos brazos del Río Atrato y el Río León combinados con la acción de los vientos Alisios y las mareas imponen un sistema de circulación que afecta los procesos de sedimentación de la bahía (Montoya y Toro, 2006).

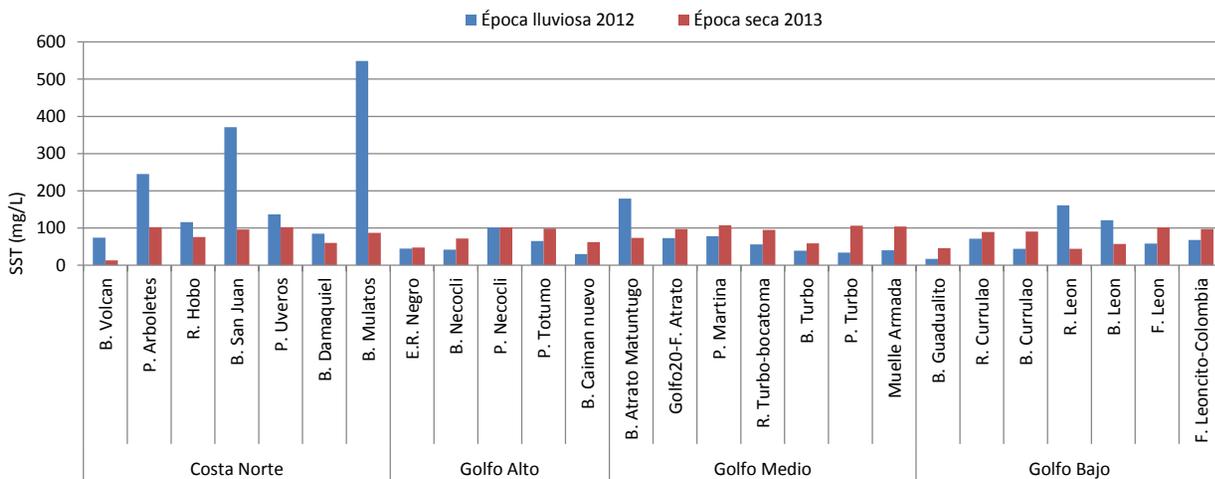


Figura 4.9.10. Concentraciones de SST (mg/L) medidas en aguas superficiales del departamento de Antioquia en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

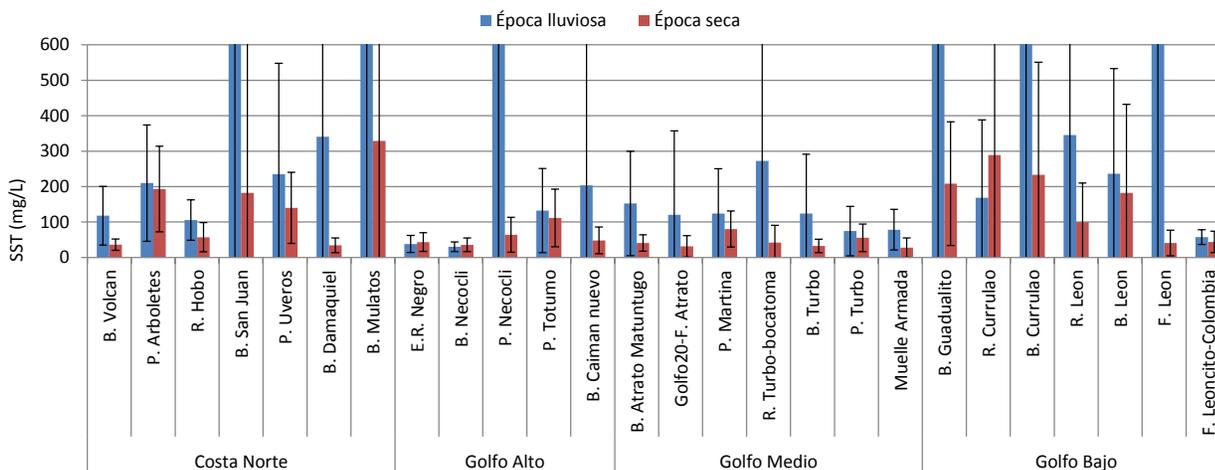


Figura 4.9.11. Promedio de SST (mg/L) medidos semestralmente en las épocas lluviosas y secas entre el 2001 y 2013 en aguas superficiales del departamento de Antioquia. Las barras de error representan la desviación estándar.

Nutrientes

El análisis de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-), para la época lluviosa de 2012 y seca de 2013 mostraron cambios entre épocas con valores que oscilaron desde menores al límite de detección del método $<0,3$ hasta $500,0 \mu\text{g/L}$ para NO_3^- , de $<0,3$ hasta $110,0 \mu\text{g/L}$ para NO_2^- , y entre $3,3$ hasta $3326,3 \mu\text{g/L}$ para PO_4^- , registrando las concentraciones más altas para las formas nitrogenadas en época lluviosa de 2012 en la mayoría de estaciones (Figura 4.9.12); contrario al comportamiento del fosfato cuyas concentraciones más altas se registraron en la época seca de 2013.

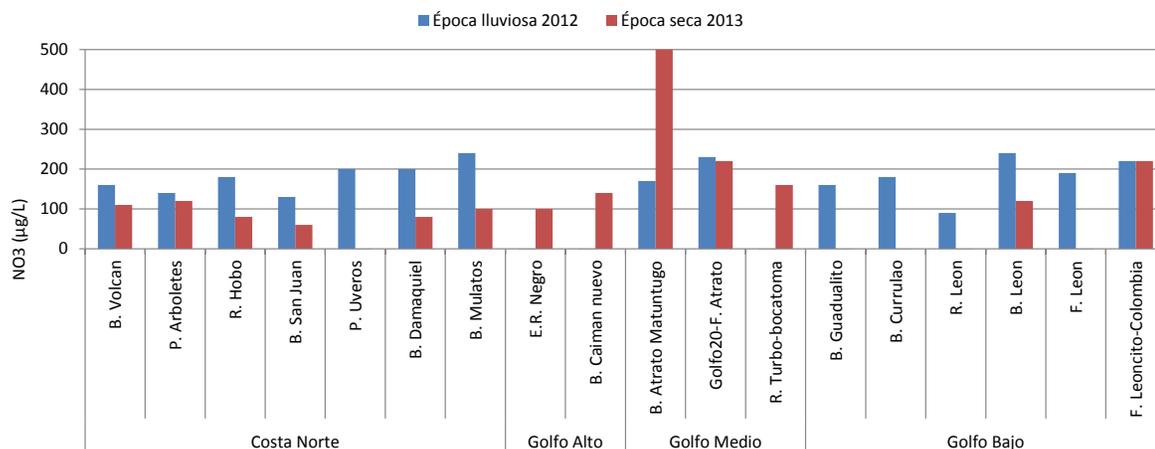


Figura 4.9.12. Concentraciones de nitrato – NO_3^- ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento de Antioquia en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los nitratos también presentaron cambios entre épocas, destacándose en la zona de Golfo medio la estación B. Atrato Matuntugo, que pasó de $170,0 \mu\text{g/L}$ en época de lluvia a $500,0 \mu\text{g/L}$ en época seca (Figura 4.9.12), en las demás estaciones los valores fueron mayores en la época de lluvias que en la época seca. Los cambios observados son dependientes de los aportes de material terrígeno que proviene de las amplias zonas de cultivo al sistema hidrográfico de la zona, con variaciones estacionales muy marcadas donde los caudales de algunos ríos secundarios (p.ej río Mulatos) y quebradas pueden llegar a ser casi nulos en época seca; así mismo, el comportamiento de los nutrientes en el sector de bahía Colombia (Zona Sur) dependen de la hidrodinámica determinada por los aportes de los ríos Atrato, Currulao y León, con caudales apreciables durante todo el año (Toro *et al.*, 2008).

En cuanto al PO_4^- , los valores más altos se presentaron en la época seca en la mayoría de las estaciones; B. Volcán ($3326,3 \mu\text{g/L}$) sitio cercano a la descarga permanente de una laguna de oxidación del municipio de Arboletes (INVEMAR, 2013), río León ($114,1 \mu\text{g/L}$) y en B. León ($110,9 \mu\text{g/L}$). En la época lluviosa 2012 se destacó B. Guadualito ($107,6 \mu\text{g/L}$) (Figura 4.9.13). Entre zonas, las mayores variaciones se observaron en la costa Norte y Golfo medio, donde desembocan ríos que tienen influencia de amplias extensiones de tierras agrícolas.

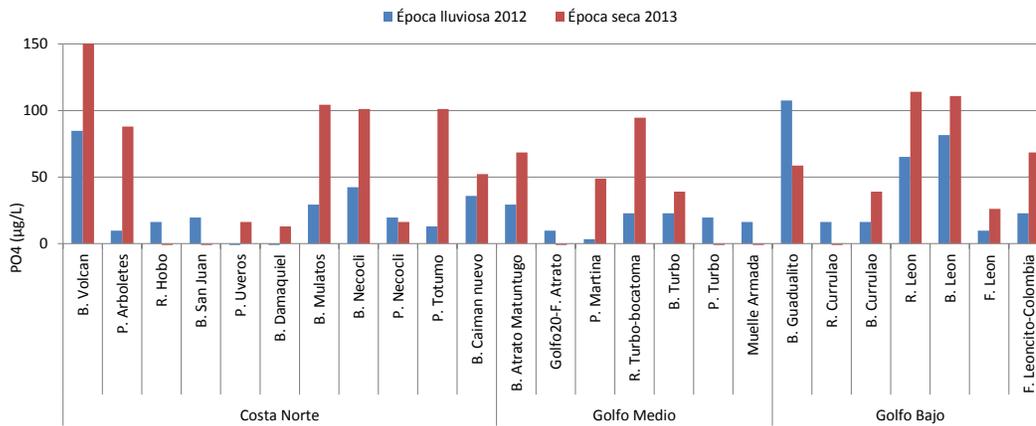


Figura 4.9.13. Concentraciones de Fósforo Reactivo Soluble - FRS (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento de Antioquia, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

4.9.2 Contaminación Microbiológica

Para el período evaluado (época lluviosa 2012 y época seca 2013), no se evidenciaron diferencias entre épocas climáticas ($p > 0,05$), las mayores concentraciones de Coliformes Totales (CTT) se presentaron en la época lluviosa 2012 con valores que oscilaron entre 80 NMP.100 mL⁻¹ a 3.500.000 NMP.100 mL⁻¹, mientras que en época seca 2013 se encontraron entre 40 NMP.100 mL⁻¹ a 240.000 NMP.100 mL⁻¹ (Figura 4.9.14). En cuanto a los principales tributarios, las mayores concentraciones se presentaron en la temporada de lluvias, donde el R. Currulao registró los valores más altos (época lluviosa 2012: 220.000 NMP.100 mL⁻¹; época seca 2013: 140.000 NMP.100 mL⁻¹), mientras que el R. Hobo registró los valores más bajos para la época seca 2013: 150 NMP.100 mL⁻¹, condición adecuada para el desarrollo de actividades de contacto secundario como actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (< 5.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

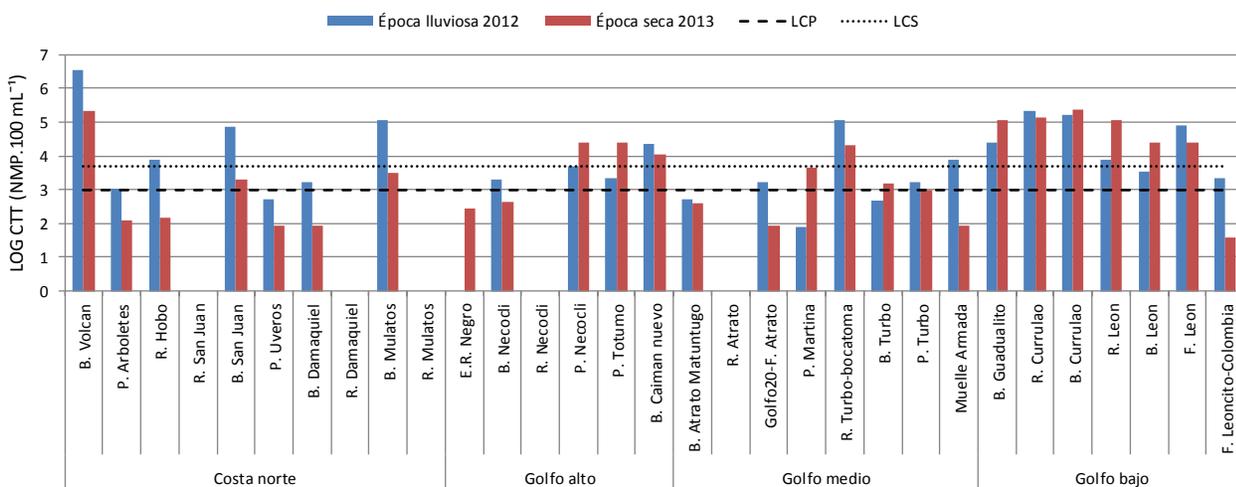


Figura 4.9.14 Concentraciones de CTT (LOG NMP.100 mL⁻¹) medidas en las estaciones del departamento de Antioquia en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea cortada corresponde al límite de referencia para el desarrollo de actividades de contacto primario (LCP: < 1.000 NMP.100 mL⁻¹) y la línea punteada equivale al límite de referencia para actividades de contacto secundario (LCS: < 5.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto.

Las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) determinadas en las 6 playas del departamento en las épocas lluviosa y seca se muestran en la Tabla 4.9.1. Para estos períodos, las concentraciones de CTE en la mayoría de las áreas incumplieron con el límite establecido por la legislación para el desarrollo de actividades recreativas como la natación y buceo (< 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984); los valores más altos en la época lluviosa 2012 fueron en las estaciones P. Necoclí (2.000 NMP.100 mL⁻¹) y P. Turbo (1.700NMP.100 mL⁻¹). Por otro lado, en la época seca los valores más altos estuvieron en las playas Necoclí y Totumo las cuales registraron cada una concentraciones de 11.000NMP.100 mL⁻¹ seguidas de Martina (4600 NMP.100 mL⁻¹) y Turbo (930 NMP.100 mL⁻¹). Los registros del análisis histórico indicaron que los mayores casos de incumplimiento se presentaron para la época lluviosa, encontrándose que el 91 % de las mediciones en P. Arboletes y el 75 % en P. Necoclí no presentaron condiciones aptas respecto al límite permisible.

Tabla 4.9.1 Concentraciones de CTE (NMP.100 mL⁻¹) medidas en las épocas climáticas lluviosa 2012 y seca 2013. En negrilla se muestran los valores que superan el límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (< 200 NMP. 100 mL⁻¹; MinSalud, 1984)

Zonas	Playa	Época Lluviosa 2012			Época Seca 2013		
		(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**	(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**
Costa norte	Arboletes	300	91	11	30	38	13
	Uveros	200	50	10	70	20	10
Golfo alto	Necoclí	2000	75	12	11000	85	13
	Totumo	460	58	12	11000	50	12
Golfo medio	Martina	20	50	12	4600	67	12
	Turbo	1700	45	11	930	67	12

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible establecido en el decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE <200 NMP.100 mL⁻¹).

**Número de datos existentes por época climática.

4.9.3 Hidrocarburos

El monitoreo correspondiente a la concentración de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD determinado en la mayoría de las estaciones del departamento se encontraron por debajo del límite de detección del método. Los muestreos realizados en la época lluviosa y en la época seca no superaron el valor de referencia de 10 µg/L establecido por la UNESCO, (1984; Figura 4.9.15) para las siete estaciones monitoreadas (B. Volcán, B. Mulatos, E.R. Negro, B. Turbo, P. Turbo, R. León, F. Leoncito- Colombia).

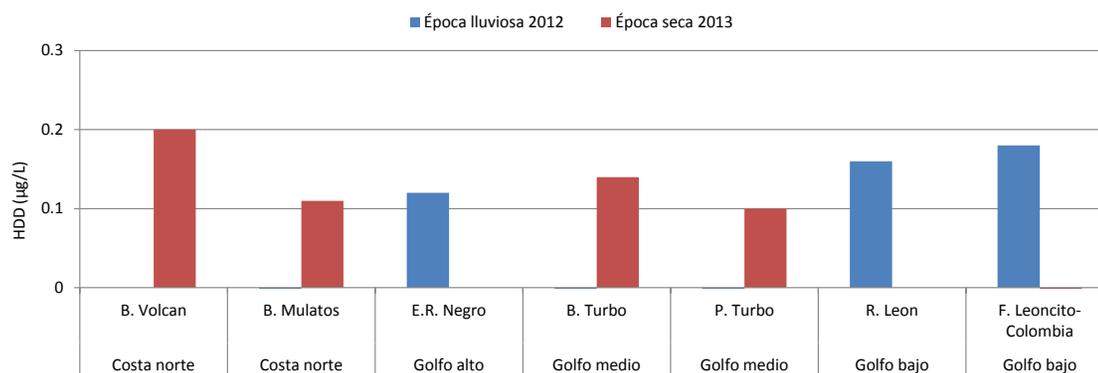


Figura 4.9.15. Concentraciones de HDD (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales de Antioquia en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los datos históricos desde el 2001 al 2013 mostraron diferencias ($p < 0,05$) entre épocas climáticas con concentraciones de HDD promedio más altas durante la época seca; se destacaron las estaciones B. Guadualito ($45,80 \pm 45,80 \mu\text{g/L}$) y B. Currulao ($49,00 \pm 70,75 \mu\text{g/L}$), seguido de B. Damaquiel ($37,31 \pm 70,42 \mu\text{g/L}$) y B. Necoclí ($30,16 \pm 33,81 \mu\text{g/L}$) cuyas concentraciones promedio sobrepasan el valor de referencia para aguas contaminadas (UNESCO, 1984). La presencia de residuos de hidrocarburos en estas zonas del departamento está asociada posiblemente a las actividades portuarias, actividades de transporte marítimo así como a vertimientos de aguas servidas y lavaderos de vehículos en la zona, sin embargo el amplio rango de variación implica que no existe una entrada constante de residuos de hidrocarburos al medio (Figura 4.9.16).

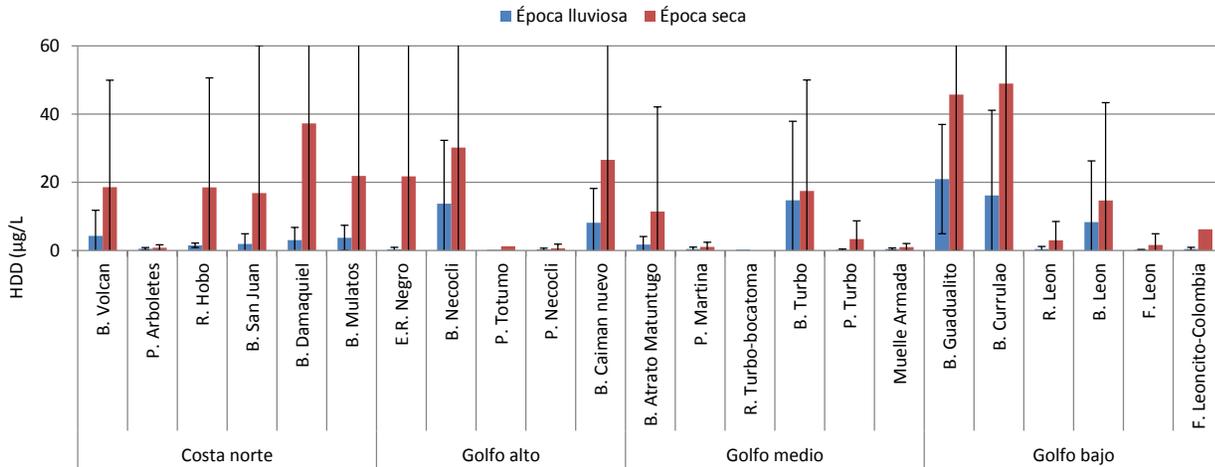


Figura 4.9.16 Concentraciones de HDD ($\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales de Antioquia en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013

4.9.4 Plaguicidas

Para este departamento se cuenta con información disponible hasta 2010, cuando culminó el proyecto “Reducción del escurrimiento de plaguicidas al mar Caribe” – REPCar, el cual inició en 2008 y se analizaron nuevas moléculas de compuestos organoclorados (OC) entre ellas el Endosulfan. Hasta 2010, el golfo de Urabá era uno de los pocos sectores del Caribe donde se detectaban trazas de OC en concentraciones mayores a 10 ng/L , que si bien no superaron el valor de referencia (30 ng/L ; EPA, 1999), si suponían una fuente de ellos desde el continente, debido a que las mayores concentraciones fueron halladas en las bocas de los ríos.

Como se indicó en anteriores informes, las fuentes principales de plaguicidas que llegan a las aguas costeras del departamento provienen de actividades agrícolas, por las condiciones del golfo de Urabá y sus alrededores que son de suma relevancia para la producción agrícola, monocultivos permanentes de banano, plátano, cultivos mixtos (transitorios y permanentes) de arroz, yuca, maíz, ñame, entre otros (García-Valencia, 2007). Las concentraciones más altas registradas durante el monitoreo se hallaron en 2006 en la desembocadura del río León ($43,5 \text{ ng/L}$), en la época seca 2008 en los ríos León y Guadualito $188,7$ y $211,5 \text{ ng/L}$ respectivamente, superando ampliamente el valor de referencia para OC totales. En la época seca de 2009 se detectó $40,9 \text{ ng/L}$ en el río Currulao y en 2010 sólo se detectaron OC en la época seca (río Guadualito, Tabla 4.9.2).

La tendencia descendente de la cual se habló en anteriores informes (Troncoso *et al.*, 2009), se interrumpió en 2008 cuando se registraron valores relativamente altos, en parte debido al análisis de las nuevas moléculas, lo que significó que se cuantificaran compuestos que antes no se tenían en cuenta. El

endosulfan fue detectado en todas las estaciones en concentraciones que sobrepasaron el valor de referencia de la NOAA (Buchman,2008; Tabla 4.9.2).

El descenso en los demás compuestos OC pueden atribuirse básicamente a las restricciones implementadas para el uso de plaguicidas organoclorados, sin embargo, como se indicó anteriormente el endosulfan es un plaguicida que no se había monitoreado y posiblemente se fue usando hasta hace poco debido a que su prohibición se promulgó en 2003; o los terrenos pueden estar drenando residuos que fueron aplicados en años anteriores y permanecen en el ambiente debido a su baja degradabilidad.

Para la región de Urabá, actualmente los plaguicidas certificados para uso agrícola son organofosforados y carbamatos. En entre el 2008-2010 se incluyó en el monitoreo de algunos de estos compuestos (de uso actual) y se detectaron residuos de Clorotalonil, Clorpirifos y permetina en las desembocaduras de los ríos, de estos tres el que requiere mayor vigilancia es el clorpirifos, ya que las concentraciones registradas superaron hasta en 9 veces el valor de referencia para efectos agudos en aguas marinas.

Tabla 4.9.2. Concentración de plaguicidas en aguas superficiales de Antioquia registrados entre el 2008 -2010; y valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).

Época/año	Estación	Clorotalonil (ng/L)	Permetrina (ng/L)	Clorpirifos (ng/L)	ΣMetabolitos del DDT (ng/L)	Endosulfan (ng/L)
Lluvia 2008	Des. río León	-	45,0	-	-	188,7
	Des. río Currulao	-	-	-	-	82,2
	Des. río Guadualito	-	-	-	-	211,5
Seca 2010	Des. río León	29,3	-	-	-	42,0
	Des. río Currulao	14,7	-	-	-	40,9
	Des. río Guadualito	55,9	-	39,0	-	24,3
Lluvia 2009	Des. río León	23,9	-	80,0	-	-
	Des. río Currulao	-	-	55,0	5,6	-
	Des. río Guadualito	-	-	99,0	5,8	-
Seca 2010	Des. río León	-	-	64,5	-	-
	Des. río Currulao	-	-	38,1	-	-
	Des. río Guadualito	-	-	21,2	-	16,3
2011 – seca 2013		N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.
Valores de referencia para efectos agudos	<i>Aguas dulces</i>	180		83	550	110
	<i>Aguas marinas</i>	360		11	65	10

“-” No detectado. N I: Sin información.

4.9.5 Metales Pesados

Desde 2001 se han monitoreado los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), pero teniendo en cuenta que el Golfo de Urabá es la franja de mayor impacto antropogénico y de riesgo de contaminación en la región costera del departamento de Antioquia, debido a la alta influencia portuaria, vertimientos de aguas servidas de varios asentamientos urbanos (Arboletes, Necoclí, Turbo y Acandí), y sufre la influencia de la actividad minera desarrollada en el sector Caribe chocono, se amplió el análisis de metales como Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y el Hierro (Fe).

El Plomo fue detectado en la época seca y los mayores valores fueron en las estaciones B. Damaquiel (10,1 µg/L), Golfo20-Frente al Atrato (10,9 µg/L) y Muelle Armada (13,3 µg/L), no obstante estos valores se encuentran muy por debajo del valor referenciado en guías internacionales para efectos agudos en salud de la vida acuática (210 µg/L; Buchman, 2008).

Los metales Cd, Cr y Ni, en las épocas monitoreadas presentaron concentraciones por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (Cd: 0,25 µg/L; Cr: 0,5 µg/L; Ni: 0,6 µg/L), valores que están por debajo del referenciado en guías internacionales para efectos agudos en aguas superficiales marinas (Cd: 40 µg/L; Ni: 74 µg/L, [Buchman, 2008](#); 50 µg/L, [Conama, 1986](#)), por lo que no generan alerta por contaminación. En cuanto al Cobre, se presentaron algunas estaciones con concentraciones detectables en ambas épocas; en época lluviosa las estaciones: B. Volcán (2,4 µg/L), B. San Juan (1,5 µg/L) y R. Turbobocatoma (1,3 µg/L) no obstante, son concentraciones por debajo del valor de referencia de guías internacionales (4,8 µg/L, [Buchman, 2008](#)). En la época seca si se presentaron valores por encima del valor establecido en B. Necoclí (14,4 µg/L) y P. Totumo (11,8 µg/L).

Históricamente se observan valores homogéneos de Pb y Cd en las zonas de muestreo; para el Plomo las mayores concentraciones se presentan durante la época seca mientras que para el Cadmio y el Cobre en época lluviosa. Los reportes de Pb, Cd y Cr en todas las estaciones han estado por debajo de los límites establecidos en guías internacionales, por lo que se considera que no hay riesgo de contaminación por estos metales.

En cuanto al análisis de Zn en aguas superficiales, salvo las estaciones B. Mulatos (28,5 µg/L), B. Necoclí (117,3 µg/L) y P. Totumo (69,1 µg/L) que registraron las máximas concentraciones en época seca, el resto de estaciones se mantuvo para ambas épocas estacionales por debajo de 20,0 µg/L. En general, ninguna de las estaciones marinas superó los niveles referenciados como de riesgo en la guía internacional de la NOAA (90 µg/L, [Buchman, 2008](#)).

En cuanto al Fe, la zona con más alta presencia es la Costa Norte, registrando para la época lluviosa concentraciones de 14,8 mg/L en B. San Juan y 24,9 mg/L en P. Mulatos mientras que para la época seca 20,1 mg/L en P. Uveros. No obstante, aunque las desembocaduras de ríos con características estuarinas presentaron valores altos de Fe, ninguna estación en aguas marinas, superó el valor de referencia establecido en la NOAA (300 µg/L; [Buchman, 2008](#)) para efectos agudos en la salud de especies acuáticas.

4.9.6 Conclusiones

Para las épocas lluviosa del 2012 y seca de 2013 la temperatura y salinidad no evidencian cambios atípicos para todas las estaciones de muestreo, manteniéndose dentro de las variaciones presentadas históricamente, en el caso del pH, la estación B. Atrato Matuntugo en la época lluviosa se encontró por debajo del valor establecido para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el decreto 1594 de 1984; Además, las estaciones B. Necoclí y B. Atrato Matuntugo han presentado históricamente valores de pH por debajo de lo establecido en dicho decreto. Se evidenció que las concentraciones de oxígeno disuelto en las estaciones R. León y B. León en la época lluviosa (3,0 y 3,1 mg/L respectivamente) se encontraron por debajo del límite mínimo establecido para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el decreto 1594 de 1984 (4,0 mg/L) y también en la época seca las estaciones B. volcán, B. Guadualito y R. León (1,8; 3,5 y 3,4 mg/L respectivamente); Además, históricamente la mayoría de las estaciones se han encontrado por debajo de dicho límite.

Los resultados de sólidos y nutrientes evidencian que a la franja costera del departamento están llegando considerables descargas continentales por medio de los ríos que desembocan en la Zona Norte (Mulatos y Damaquiel) y el sector de Bahía Colombia (León, Currulao y Atrato); no obstante, la distribución dentro del golfo es variada en respuesta a la hidrodinámica característica de la región. Siguen observándose concentraciones altas de nutrientes de manera puntual, sin embargo este comportamiento podría afectar negativamente los procesos químicos y la dinámica de los ecosistemas acuáticos.

La calidad microbiológica de las aguas del departamento de Antioquía comparando con los límites establecidos por la legislación nacional, indicaron que el R. Currulao realizó los mayores aportes de CTT hacia la zona costera, condiciones no aptas para el desarrollo de actividades de contacto secundario. En cuanto a las playas de interés turístico; Necoclí, Turbo y Totumo presentaron inadecuadas condiciones para el desarrollo de actividades recreativas como la natación según los monitoreos de ambas épocas.

Las concentraciones de hidrocarburos del petróleo en las aguas superficiales del departamento son inferiores al valor de referencia (<10 µg/L), lo cual no representa riesgo para las especies que se desarrollan en estos ecosistemas.

Hasta el 2010 el monitoreo de plaguicidas mostró una presencia recurrente de residuos OC en la zona costera, lo que supone una fuente continental al hallarlos especialmente en los ríos. El endosulfan es el compuesto de este tipo que más requiere vigilancia debido a las altas concentraciones halladas en los últimos monitoreos realizados. 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 del valor de referencia.

Aunque las concentraciones de metales en aguas superficiales marinas se encuentran por debajo de los niveles referenciados en guías internacionales, sugiriendo que no se presentan problemas de contaminación aguda por metales, es necesario continuar con su monitoreo y estimar su comportamiento estacional y temporal dado que se presentó para algunos metales como Cu, Fe y Zn, en zonas estuarinas y continentales, valores altos que podrían en algún momento afectar la calidad de las aguas mar afuera.

Regional Costa del Pacífico



Estero Jurubidá, Bahía Solano, zona costera del Chocó. Foto: José Sánchez

5. DIAGNOSTICO CALIDAD DE AGUAS COSTA DEL PACÍFICO

En el Pacífico colombiano están los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño que cubren 1392 km de línea de costa, la cual se extiende desde punta Ardita en las fronteras con Panamá (7°17'N y 77°52'W) hasta bahía Ancón de Sardinias en la desembocadura del río Mataje en los límites con el Ecuador (1°28'N y 78° 46'W; Posada *et al.*, 2009). Geomorfológicamente, se encuentra dividido en dos grandes zonas: a partir de Cabo corrientes, en Chocó, hacia el Norte se extiende una gran zona de acantilados, dominadas en su mayoría por las estribaciones de la Serranía del Baudó. Al sur de cabo Corrientes con extensas llanuras intermareales, planicies aluviales, deltas e islas barreras, interrumpido en las bahías de Málaga, Buenaventura y norte de Tumaco por colinas y terrazas altas (Posada *et al.*, 2009). El clima del Pacífico es bastante diverso, con abundantes lluvias en el año debido a la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y otros factores de carácter regional y local. La lluvia mensual promedio va desde 80 mm en octubre a 300 mm en abril para un promedio total anual de 2300 mm, con un promedio de días lluviosos de 192 (Eslava, 1994). El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos realizados entre agosto y noviembre de 2012 (época de alta precipitación) y entre febrero y junio de 2013 (época de baja precipitación), en consecuencia el análisis de los datos se muestra como la época lluviosa 2012 y época seca de 2013, respectivamente, con el propósito de ser coherentes con el análisis nacional de todos los departamentos.

Las aguas marinas del Pacífico colombiano para la época de lluvias de 2012 y seca de 2013 presentaron valores de pH ligeramente alcalinos entre 7,3 hasta 8,6 propio de las aguas marinas (7,5 - 8,3; Hernández *et al.*, 2003; Figura 5.1a) y fue el departamento del Cauca el que presentó los valores promedios más altos $8,59 \pm 0,08$. El oxígeno disuelto (OD), presentó valores superiores a 4 mg/L, condición que hace las aguas adecuadas para la preservación de flora y fauna según la norma colombiana (MinSalud, 1984). El análisis espacial mostró diferencias entre departamentos ($p < 0,05$) con la menor variación en el Chocó y en Cauca la mayor variación (Figura 5.1b) dado por la influencia de las precipitaciones y los aportes de aguas continentales que llegan a la zona costera. En el departamento de Nariño y durante la época seca de 2013 se presentó un valor inferior al criterio de calidad de la norma de 3,64 mg/L en la estación Arco el Morro, coherente con la alta DBO₅ (18 mg/L) encontrada en el momento del muestreo; demanda requerida para la degradación del material orgánico y los microorganismos que descarga el estero los Tulicios, el cual recibe parte de las aguas residuales domésticas de la Isla el Morro.

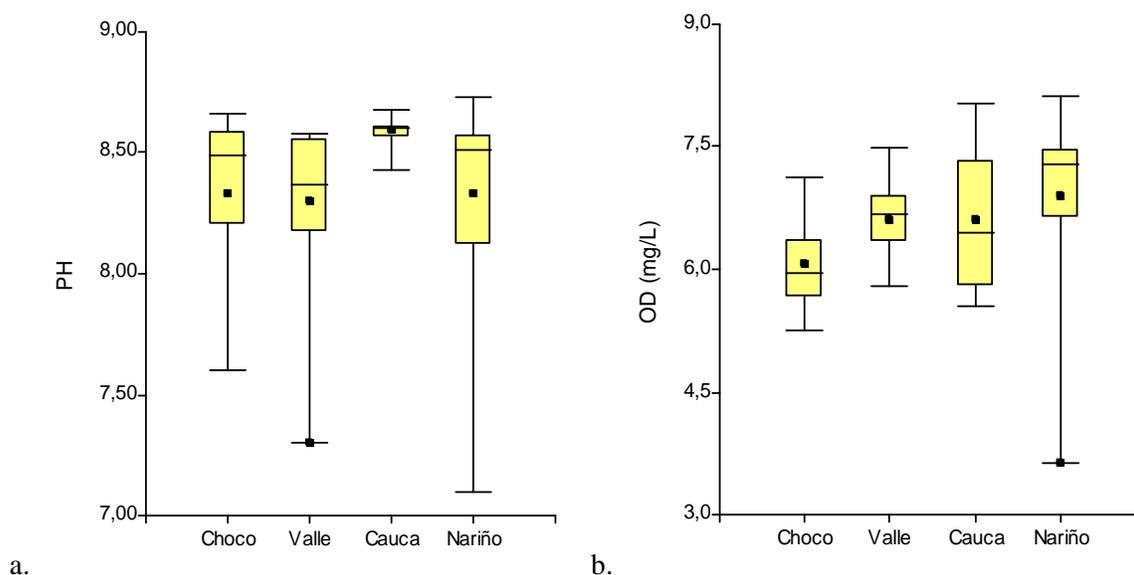


Figura 5.1. Variación del pH(a) y de oxígeno disuelto (b) en en la época de lluvias 2012 y seca 2013 en la región del Pacífico

El promedio de salinidad en aguas marinas de la región fue de $26,17 \pm 5,03$; y presentó los valores más bajos en el departamento del Valle del Cauca ($17,63 \pm 3,35$; Figura 5.2a), debido al aporte de aguas continentales de los ríos San Juan, Dagua, Potedó, Anchicayá, Raposo y Naya. Por otro lado, las mediciones de sólidos suspendidos totales (SST), variaron entre estaciones y los promedios más altos se presentaron en Cauca ($74,6 \pm 5,8$ mg/L) y Nariño ($74,6 \pm 13,7$ mg/L), estos departamentos cuentan con grandes cuencas de drenaje que desembocan en la zona costera (Figura 5.2b).

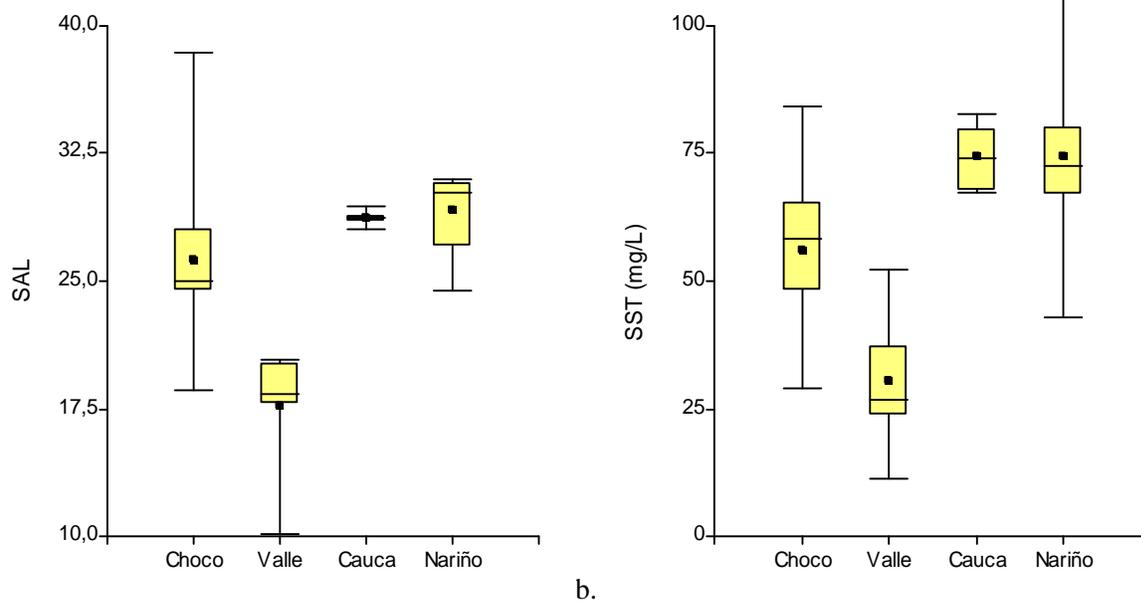


Figura 5.2. Variación de la salinidad (a) y de sólidos suspendidos totales -SST (b) en la época de lluvias 2012 y seca 2013 en la región Pacífica

En las aguas marinas los nutrientes más representativos son los nitratos y los fosfatos, y deben estar en una proporción nitrógeno: fósforo de 15:1 átomos (Muniz *et al.*, 2001) y los cuales presentan variaciones con la profundidad, temporadas climáticas y la productividad. El análisis espacial mostró que existen diferencias entre departamentos ($p < 0,05$), y el Valle del Cauca registró (1337 ± 856 $\mu\text{g/L}$) el promedio más alto de nitratos (Figura 5.3a), especialmente en las playas ubicadas en el sector de La Barra, Ladrilleros y Juanchaco; mientras que los promedios más altos de fosfatos ($18,12 \pm 11,25$ $\mu\text{g/L}$) se presentaron, en Nariño, particularmente en las playas del Bajito, el Morro y Arco, debido a la cercanía del municipio de Túmaco y la influencia de las descargas de aguas servidas en la zona costera (Vivas-Aguas *et al.*, 2012; Figura 5.3 b).

El análisis de coliformes termotolerantes (CTE) en aguas marinas mostró diferencias ($p < 0,05$) entre departamentos y alta variación (Figura 5.4). El Valle del Cauca obtuvo el mayor promedio (1359 ± 1417 NMP/100mL) y las playas en el hotel Bocana y Pianguíta ($4,3 \times 10^3$ NMP/100 mL) en el sector de Juanchaco y Ladrilleros no fueron aptas para actividades recreativas de contacto primario, al superar los 200 NMP/100 mL del criterio de calidad nacional (MinSalud, 1984). En menor proporción se presentaron casos de incumplimiento en 5 de 9 playas en los departamentos de Nariño, siendo el Arco el Morro ($1,1 \times 10^5$ NMP/100 mL) la de mayor concentración y en el Chocó 2 de 16 playas. Mientras que en el departamento de Cauca las aguas recreativas ubicadas en la isla Gorgona, fueron aptas y no presentaron riesgo para los bañistas.

La presencia de coliformes en las aguas recreativas supone la presencia de patógenos, capaces de generar enfermedades, que pueden transmitirse durante la natación, el baño y otras actividades de contacto o ingestión involuntaria de agua, y causar variedad de afecciones tales como gastroenteritis, patologías respiratorias, dermatológicas e infecciones en oídos, nariz y garganta (Hose *et al.*, 2005).

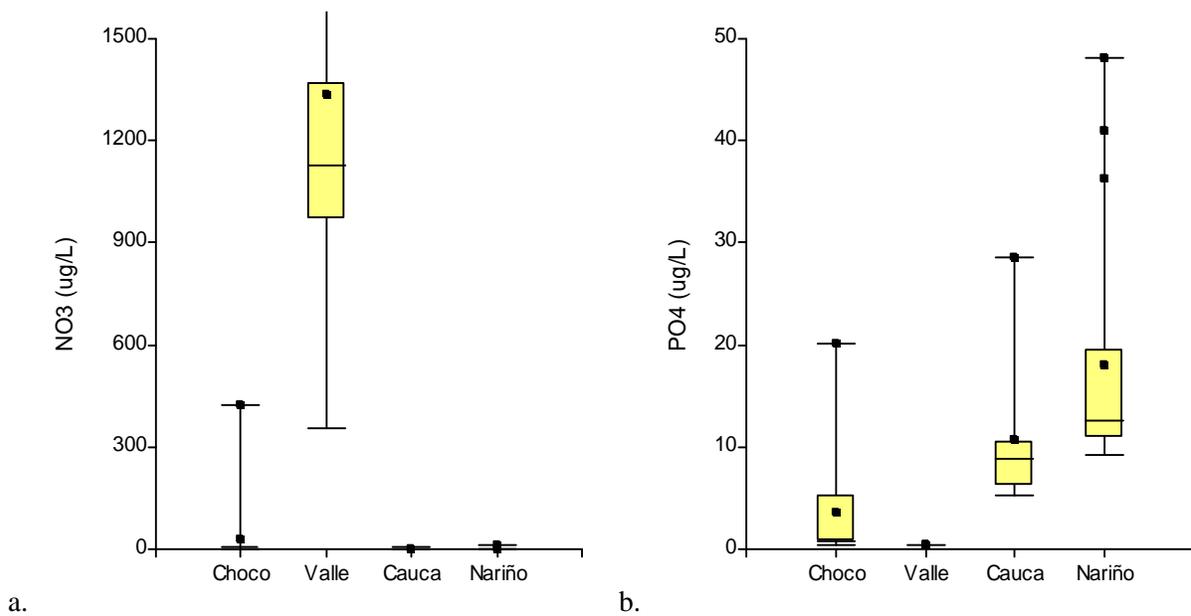


Figura 5.3. Variación de nitratos (a) y fosfatos (b) medidos en la época de lluvias 2012 y seca 2013 en la región Pacífica

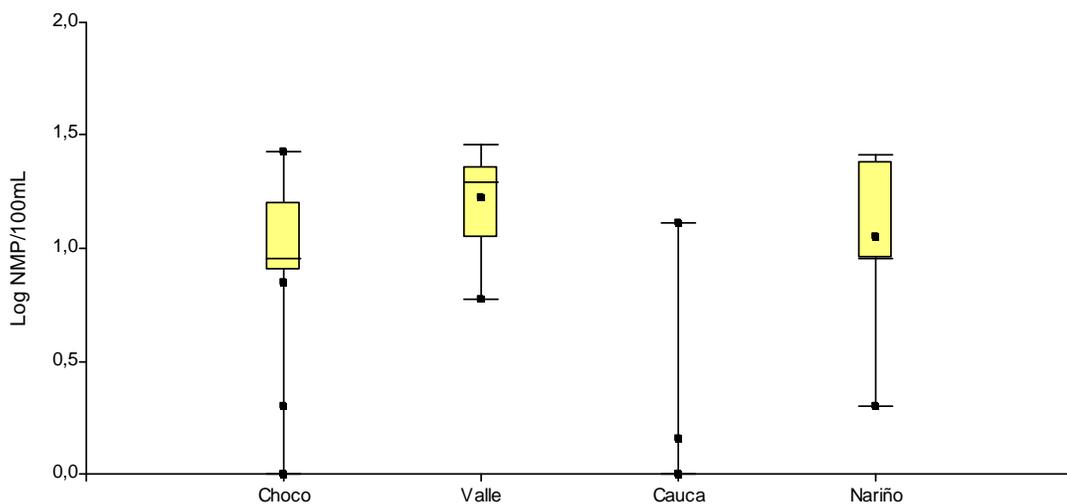


Figura 5.4 Variación de los coliformes termotolerantes en el periodo de estudio en la región Pacífica

Las concentraciones de hidrocarburos fueron relativamente bajas y no superaron el valor de referencia de 10 µg/L para aguas contaminadas propuesto por la Unesco (1984). Los compuestos de plaguicidas organoclorados y fosforados no se detectaron en aguas marinas; y los plaguicidas organoclorados

continúan mostrando una tendencia descendente en el tiempo y los fosforados fueron no detectables y no representan riesgo para el desarrollo de organismos acuáticos.

Los metales pesados en el Pacífico no presentaron un mayor impacto, debido a que sus concentraciones están por debajo de los valores referenciados para efectos agudos de la NOAA (Buchman, 2008), y del límite máximo permisible de la legislación de Brasil (Conama, 1986), debido al menor desarrollo industrial de la región Pacífica comparada con el Caribe, el impacto generado por metales pesados, no se debe en su mayoría a la actividad industrial, sino a las actividades de explotación minera y de disposición de aguas residuales (Tejada et al., 2003).

Diagnóstico Departamentos del Pacífico

CHOCÓ



Estero Jurubidá, Chocó. 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, presenta clima cálido en un 92%, templado en 6.4% y el resto entre frío y muy frío (IGAC, 2008). La REDCAM cuenta con una red de 17 estaciones de muestreo ubicadas en la extensión central del departamento dadas las condiciones de acceso a la zona, no obstante, el área de muestreo incluye las zonas de Bahía Solano y el golfo de Tribugá donde se encuentra el Parque Nacional Natural de Utría, los esteros Tribugá y Jurubidá, playas de interés turístico y ríos importantes que desembocan en el litoral Pacífico como el San Juan, Jella, Valle y Nuquí (Figura 5.1.1).

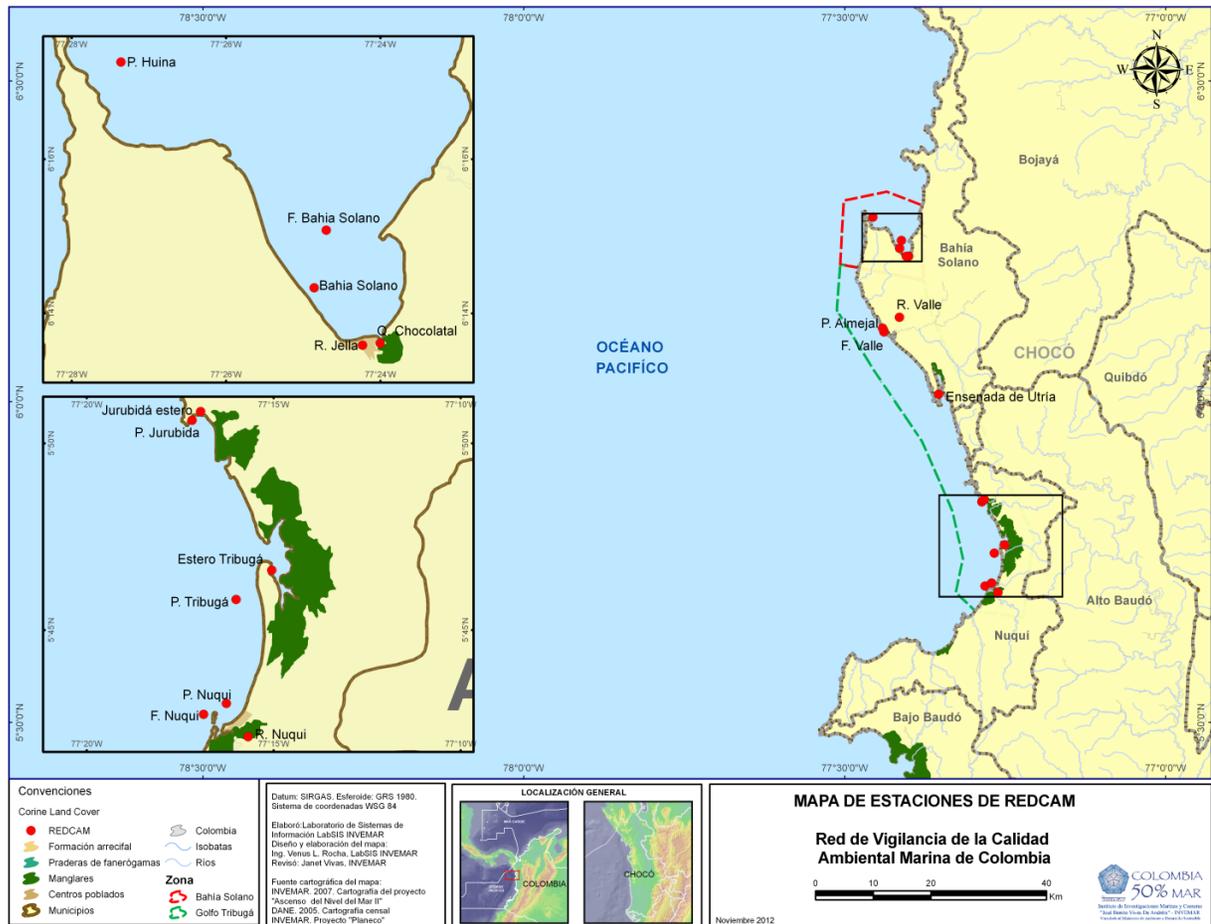


Figura 5.1.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Chocó en el Pacífico.

Las condiciones climáticas están determinadas fundamentalmente por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) que genera precipitación durante todo el año que responde a una distribución de tipo bimodal, que se caracteriza por la presencia alternada de dos temporadas muy lluviosas y las “relativamente” menos lluviosas. La primera temporada lluviosa se inicia normalmente en el mes de abril y se prolonga hasta finales de junio. La segunda temporada lluviosa, la más intensa, incluye el periodo de septiembre -noviembre, en las zonas norte y central; y octubre–diciembre en la zona Sur, con máximas intensidades en octubre y noviembre. La temporada menos lluviosa, incluye los meses de diciembre y marzo, cuando la ZCIT se encuentra en el Sur y no ejerce influencia condicionante en la región del

Pacífico; excepto en la zona Sur donde la ZCIT logra que éste no sea el periodo menos lluvioso sino que sean los meses de julio, agosto y parte de septiembre cuando la ZCIT está en el norte del país. (CRC, 2009).

El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos de los días 11 y 12 de septiembre de 2012 (época de alta precipitación) y del 9 y 10 de abril de 2013 (época de baja precipitación), en consecuencia los gráficos y el análisis de la información se muestran como la época lluviosa 2012 y época seca de 2013, respectivamente, con el propósito de ser coherentes con el análisis nacional de todos los departamentos.

5.1.1 Variables Físicoquímicas

5.1.1.1 *In situ*

Temperatura

Durante el periodo de análisis las variables físicoquímicas presentaron variaciones ocasionadas por diferentes factores, especialmente las altas descargas de agua dulce de los principales ríos, el patrón de corrientes superficiales, la escorrentía y las lluvias, entre otros. Los valores promedio de la temperatura superficial del agua del departamento de Chocó fueron de $28,0 \pm 1,4$ °C para la época lluviosa 2012 y de $26,6 \pm 0,6$ °C para la seca 2013 (Figura 5.1.2), resultados que son congruentes con los promedios obtenidos históricamente de $27,3 \pm 1,4$ °C (lluvias) y $27,3 \pm 0,8$ °C (seca). En general, se observó que la temperatura de las aguas superficiales marinas tiende a disminuir en la época seca en comparación con la época lluviosa. Este comportamiento propio de la época seca se debe a la formación de la Corriente del Golfo de Panamá cuando la Zona de Convergencia Intertropical se encuentra en la parte sur permitiendo la entrada de aguas oceánicas de temperaturas más bajas provenientes del frente ecuatorial de transición durante el primer semestre del año (Stevenson y Santorode, 1990).

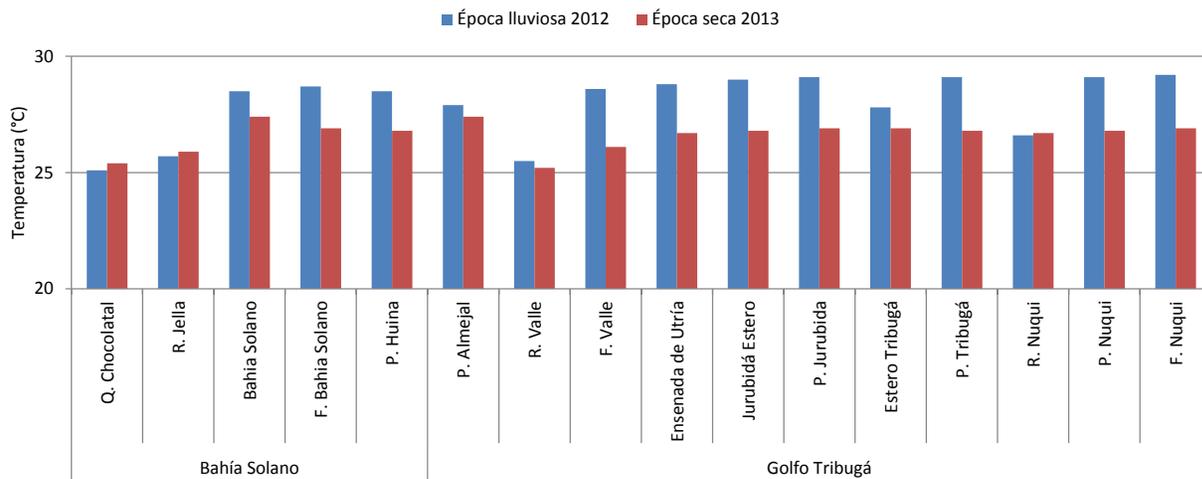


Figura 5.1.2. Temperatura (°C) de aguas superficiales del departamento de Chocó durante la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

Salinidad

En aguas estuarinas los valores promedio fueron $22,7 \pm 8,14$ para la época lluviosa 2012 y $21,3 \pm 8,3$ en época seca 2013. En el caso de las aguas marinas, el promedio histórico para la época lluviosa fue $29,2 \pm 3 \pm 8,0$ y $24,4 \pm 5,3$ para la época seca (Figura 5.1.3). La disminución de la salinidad en época seca responde al régimen de mareas propio de la región durante la época de diciembre a abril cuando la zona de

convergencia intertropical se halla situada cerca del golfo de Panamá y lo vientos alisios SE son más fuertes ocasionando la entrada de aguas oceánicas de baja salinidad hacia el Norte de la costa pacífica colombiana (Delcroix, T y Hénin, C, 1991). Consecuentemente con la tendencia histórica, las estaciones que presentaron una variación notable entre épocas pertenecen a zonas estuarinas como Estero Tribugá (lluvia: 5,2; seca: 23,9) y Jurubidá Estero (lluvia: 20,3; seca: 2,6) donde se observa una fuerte influencia de aguas continentales en ambas épocas climáticas. La variación de la salinidad en aguas fluviales estuvo por debajo de 0,3 para el periodo de análisis.

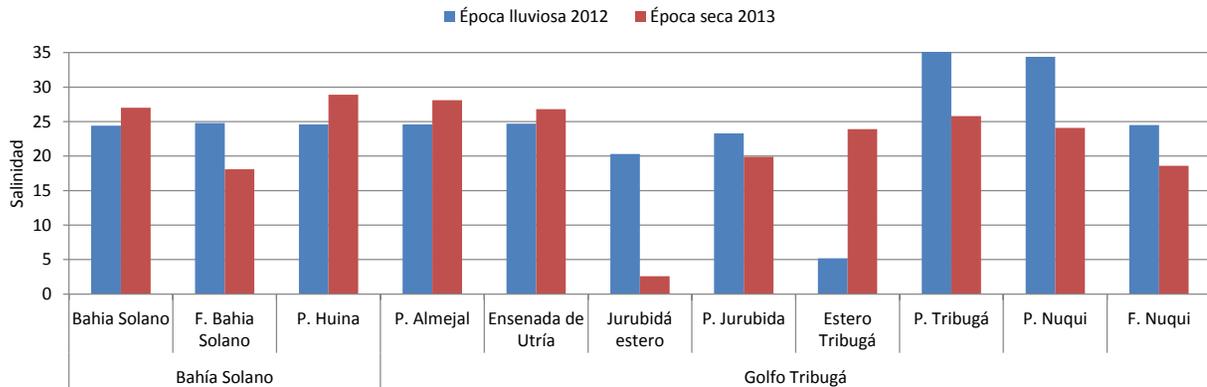


Figura 5.1.3. Salinidad de aguas superficiales del departamento de Chocó medidas en la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

pH

Los valores de pH se ubicaron dentro de los criterios de calidad permisibles (6,5 - 8,5) establecido en el Decreto 1594 de 1984 para preservación de fauna y flora (Minsalud, 1984). Para la época lluviosa de 2012 el pH de las aguas marinas del departamento osciló entre 7,3 y 8,7 (promedio $8,0 \pm 0,5$) y durante la época seca del 2013 varió entre 7,4 y 8,8 (promedio $8,3 \pm 0,4$) (Figura 5.1.4). Históricamente, el comportamiento espacial del pH ha mostrado valores más bajos en las estaciones de carácter fluvial y estuarino donde se acentúa la formación de ácido carbónico producto de la degradación de materia orgánica presente en los efluentes continentales.

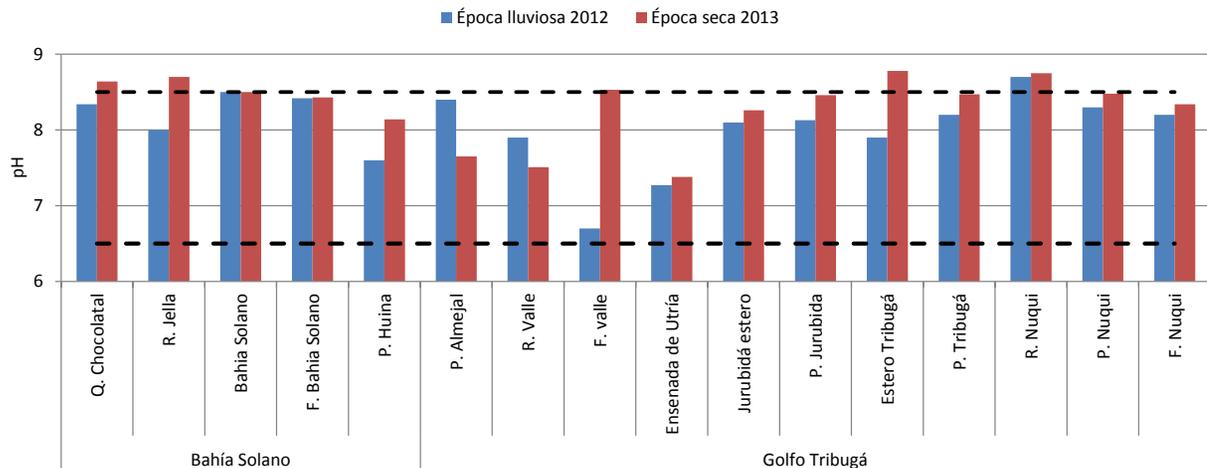


Figura 5.1.4. pH de aguas superficiales de Chocó medido en la época Lluviosa 2012 y la época seca 2013. Las líneas punteadas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Oxígeno Disuelto

El Oxígeno Disuelto (OD) constituye uno de los indicadores básicos para determinar el estado de calidad y/o deterioro que pueden tener los distintos cuerpos de agua. Las concentraciones medidas fluctuaron entre 4,8 mg/L y 7,8 mg/L (promedio $5,8 \pm 0,9$ mg/L) para la época lluviosa 2012, mientras que para la época seca 2013 el rango de concentraciones estuvo entre 4,4 mg/L y 6,6 mg/L (promedio $5,9 \pm 0,6$ mg/L; Figura 5.1.5) observándose que en todas las estaciones y durante las dos épocas climáticas, los valores de OD estuvieron por encima de 4,0 mg/L, considerado el valor mínimo para la preservación de flora y fauna según la legislación colombiana (Minsalud, 1984).

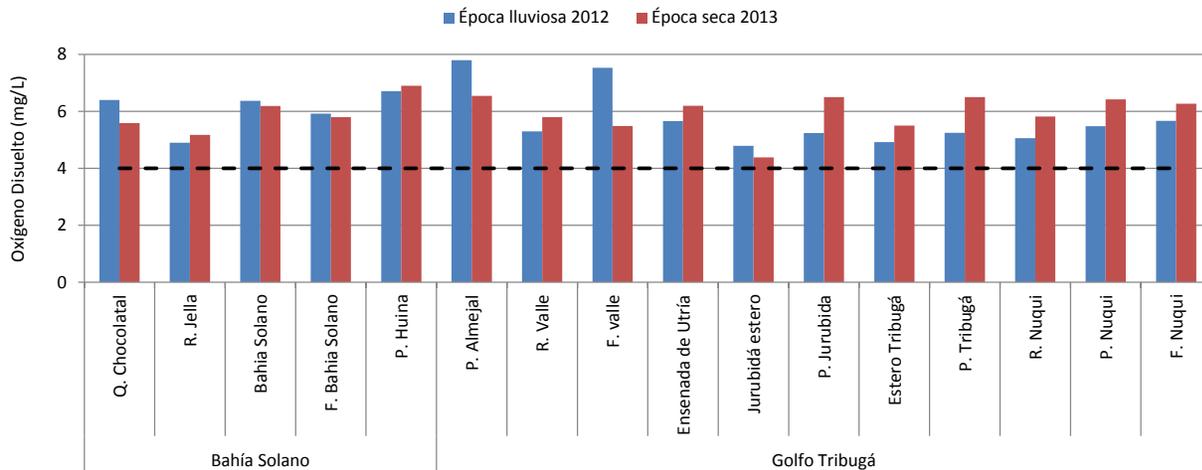


Figura 5.1.5. Concentraciones OD (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de Chocó, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea punteada representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

5.1.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendedos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las épocas lluviosa del 2012 se encontraron en el rango de 3,95 a 63,95 mg/L y en la seca del 2013 entre 13 – 200 mg/L, enmarcándose dentro del rango de valores promedio históricamente medidos en la REDCAM para el departamento de $3,53 \pm 3,82$ mg/L (lluvia) y $234,70 \pm 586,95$ mg/L (seca). Las concentraciones más altas de SST para la época de lluvias de 2012 se presentaron en las estaciones Bahía Solano (56,36 mg/L) y playa Huina (55,25 mg/L), de la zona de Bahía Solano y las playas Almejal (63,95 mg/L) y Jurubidá (58,57) de la zona del Golfo de Tribugá. Por otro lado, para la época seca de 2013 los valores más altos se presentaron en la zona del golfo de Tribugá en las estaciones río Valle (200 mg/L), Estero Jurubidá (164,8 mg/L) y playa Nuquí (75,75 mg/L). Estas concentraciones se deben por los aportes que realizan los ríos Jella, Valle y Nuquí y a la resuspension de sedimentos debido a las mareas y oleaje (Figura 5.1.6). Los SST en el río Jella de la zona bahía Solano históricamente han sido más bajos ($32,8 \pm 36,1$ mg/L) que los ríos de la zona del golfo de Tribugá, R. Valle ($98,3 \pm 223,4$ mg/L) y el R. Nuquí ($221,7 \pm 421,4$ mg/L; Figura 5.1.7).

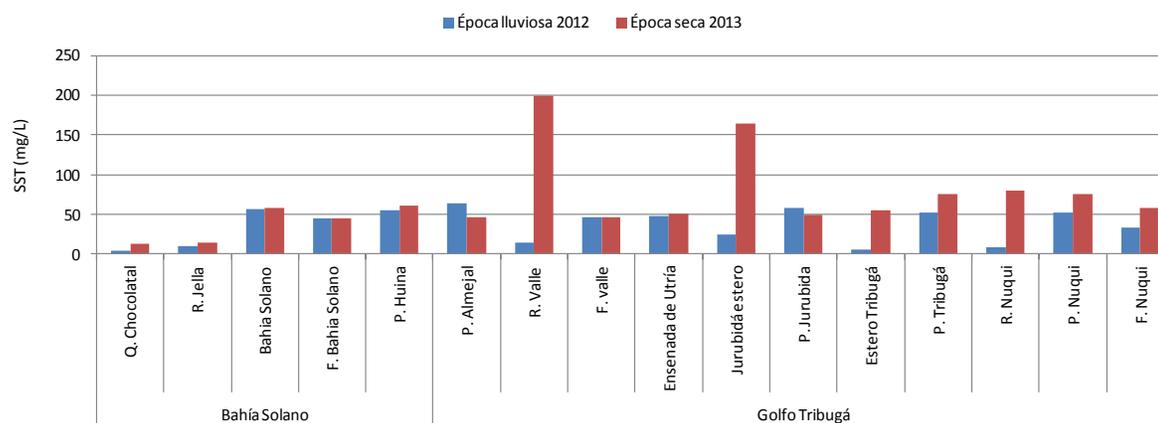


Figura 5.1.6. Concentraciones de SST (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Chocó en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

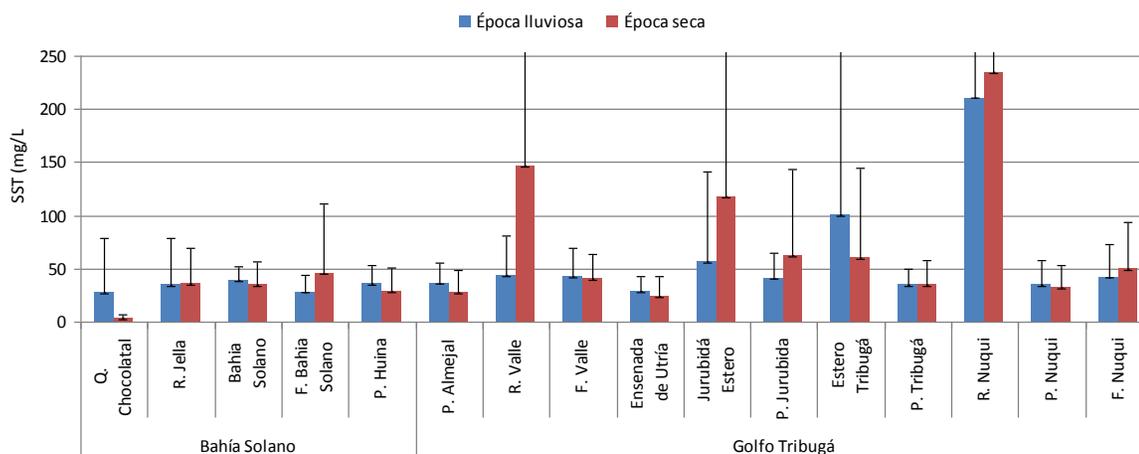


Figura 5.1.7. Promedios de las concentraciones de SST (mg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2013 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Chocó. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

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.

Nutrientes

El análisis de los nutrientes, se realizó a las formas nitrogenadas de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y amonio (NH_4^+), y de Fósforo Reactivo Soluble (FRS) o Fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-). Las mediciones de estos nutrientes mostraron cambios entre épocas de muestreo, con valores que oscilaron desde 0,48 hasta 52,60 $\mu\text{g/L}$ para los NO_3^- , de 0,88 hasta 9,22 $\mu\text{g/L}$ para NO_2^- , y de <0,85 hasta 241,97 $\mu\text{g/L}$ para NH_4^+ ; y se registraron las concentraciones más altas de estos nutrientes en la época seca de 2013 (Figura 5.1.8).

Las mayores concentraciones de NO_3^- , se presentaron en la época seca de 2013, especialmente en quebrada Chocolatal (52,60 $\mu\text{g/L}$), el río Jella (44,41 $\mu\text{g/L}$), y el estero Jurubidá (38,38 $\mu\text{g/L}$; Figura 5.1.8). Los nitritos (NO_2^-) también presentaron los valores altos en la época seca en las estaciones Jella (3,73 $\mu\text{g/L}$) y el estero Jurubidá (9,22 $\mu\text{g/L}$; Figura 4.1-10), no obstante cabe resaltar que los nitritos son el producto intermedio del ciclo de oxidación-reducción del nitrógeno, y en comparación con los nitratos, son menos solubles en agua y menos estables (Pacheco y Cabrera, 2003), lo cual explica sus bajas concentraciones en el medio. De igual manera, los niveles de amonio fueron más altos durante la época seca de 2013 y la mayor concentración se presentó en el río Jella (241,97 $\mu\text{g/L}$; Figura 5.1.10), tal como sucedió con las otras formas de nitrógeno, debido fundamentalmente a la descarga directa de aguas residuales domésticas sin tratamiento del municipio de Bahía Solano (INVEMAR y MADS, 2011).

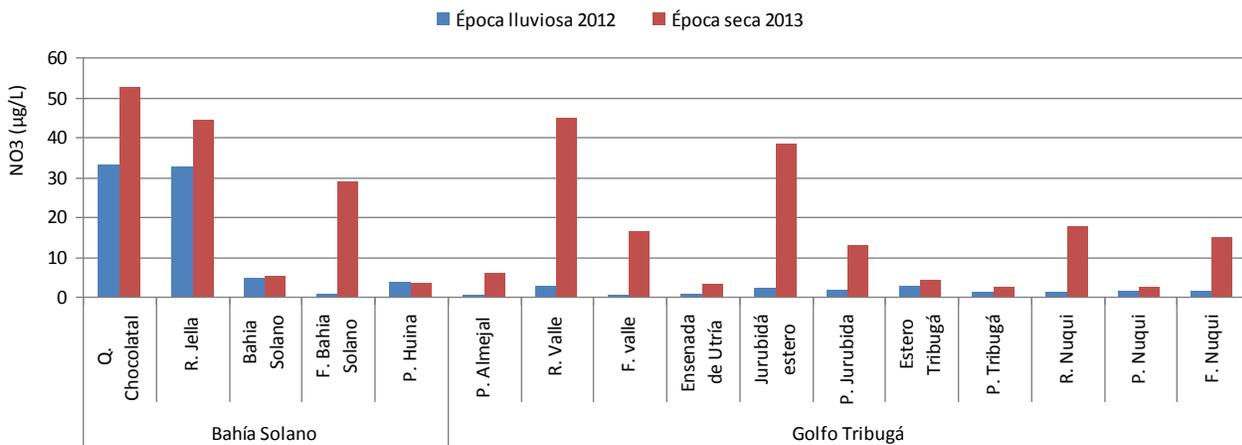


Figura 5.1.8. Concentraciones de nitrato - NO_3^- ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Chocó en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

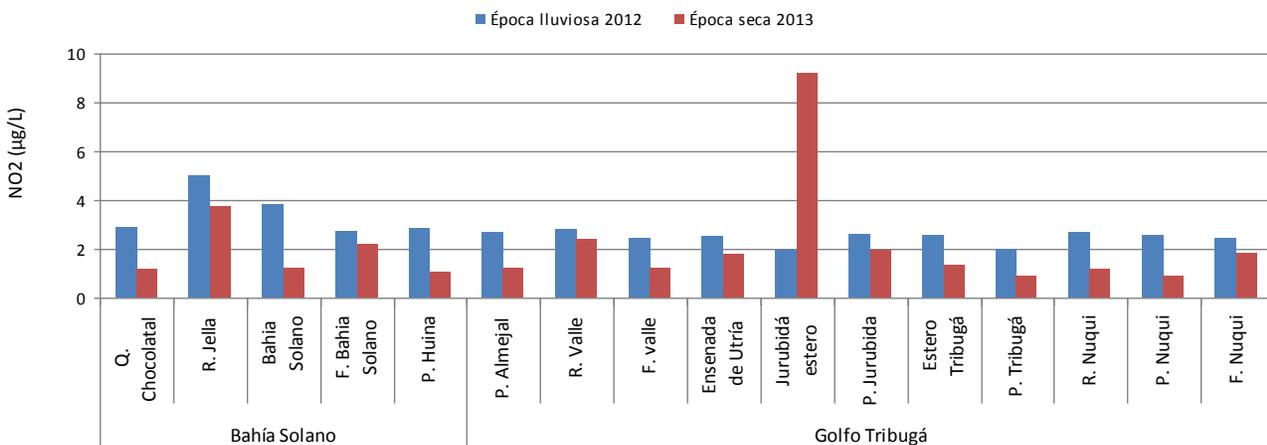


Figura 5.1.9. Concentraciones de nitrito - NO_2^- ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Chocó en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

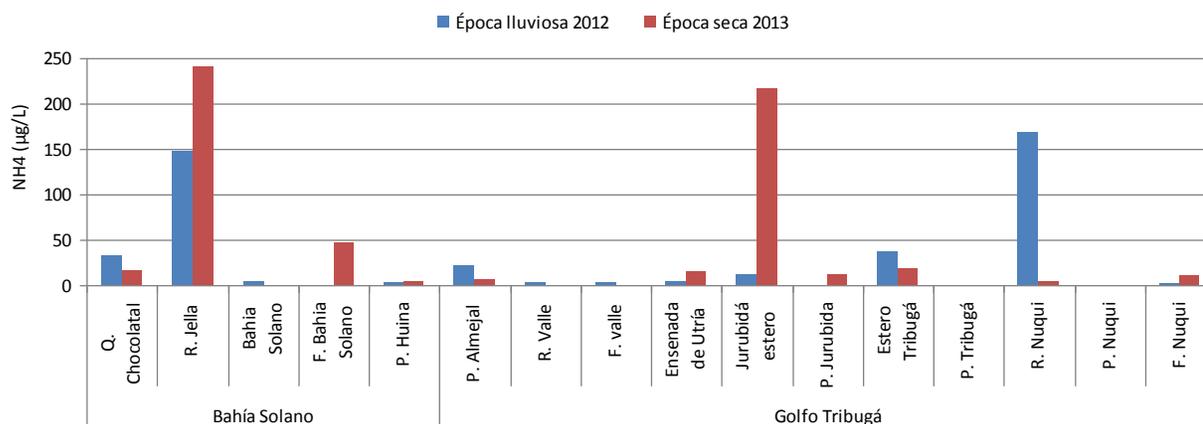


Figura 5.1.10. Concentraciones de amonio - NH_4^+ ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Chocó, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Con el Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) que corresponde a la suma de las tres formas de nitrógeno (NO_3^-), (NO_2^-) y (NH_4^+) con un valor de $14\mu\text{g/L}$ propuesto por Lapointe (1997) para indicar estados de florecimientos permanentes de macroalgas frondosas en ecosistemas coralinos o potenciales impactos sobre la fisiología de los corales; se analizaron los resultados de NID en el Parque de Utría, mostrando que en la época seca de 2013 una concentración de $18,86\mu\text{g/L}$, lo cual representa un riesgo potencial de alteraciones en el arrecife coralino y condiciones para la proliferación de macroalgas (INVEMAR, 2013), pero en la época de lluvias 2012 los valores de NID fueron bajos y no superaron $7,35\mu\text{g/L}$.

En cuanto al fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-), durante la época de lluvias de 2012 las concentraciones más altas se registraron en los ríos Jella ($25,13\mu\text{g/L}$) y Valle ($10,29\mu\text{g/L}$) y la quebrada Chocolatal ($18,3\mu\text{g/L}$), y en la época seca 2013 en los ríos Jella ($25,13\mu\text{g/L}$), Valle ($19,49\mu\text{g/L}$) y Nuquí ($39,37\mu\text{g/L}$), el estero Jurubidá ($81,19\mu\text{g/L}$) y la quebrada Chocolatal ($23,05\mu\text{g/L}$), debido a las descargas de aguas servidas de las poblaciones de Bahía Solano, el Valle y Nuquí (Figura 5.1.11).

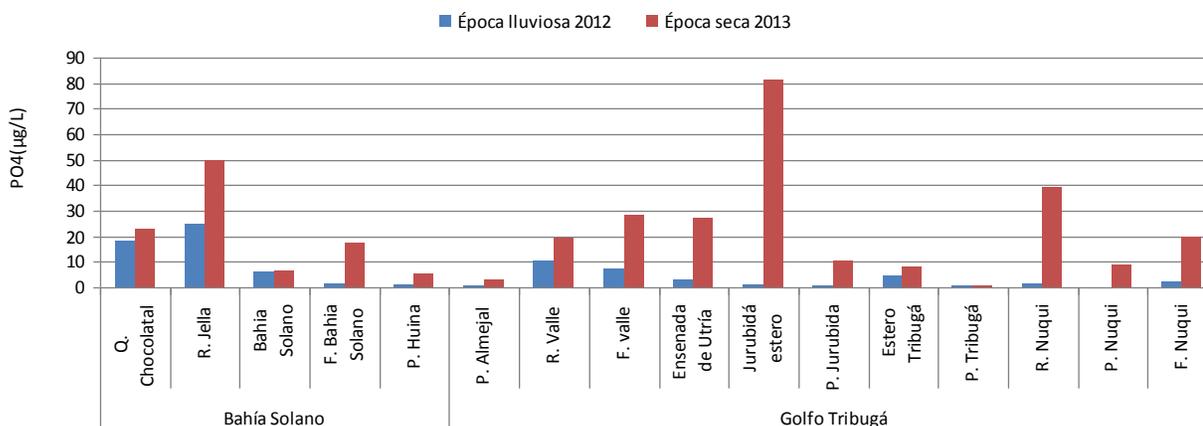


Figura 5.1.11. Concentraciones de Fósforo Reactivo Soluble - FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Chocó, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los resultados de FRS fueron comparados con el valor de referencia de $3,1\mu\text{g/L}$ para ecosistemas coralinos, sugerido como el nivel que indica estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas (Lapointe, 1997) y con el valor de referencia para impactos potenciales a la fisiología de corales ($62\mu\text{g/L}$; Fabricius, 2005), para la estación ubicada en el del Parque de Utría, donde se encuentran los

ecosistemas coralinos más importantes del departamento, las concentración registrada en la época seca de 2013 fue de 26,91 µg/L, la cual sobrepasa el nivel de referencia para el florecimiento de macroalgas. El análisis histórico, muestra que los mayores aportes de FRS a la zona costera del departamento del Chocó se han producido en las épocas de lluvias a través de los ríos Jella (55,96±54,6 µg/L), Valle (26,24±26,47 µg/L) y Nuquí (56,03±64,275 µg/L).

5.1.2 Contaminación Microbiológica

La evaluación de la calidad sanitaria a través de la medición de las concentraciones de coliformes totales (CTT) en los principales tributarios para la época lluviosa 2012 y seca 2013, superaron el límite establecido para desarrollar actividades de contacto primario < 1.000 NMP.100 mL⁻¹ y secundario < 5.000 NMP.100 mL⁻¹ (MinSalud, 1984), donde el mayor registro lo presentó el río Jella con 240.000 NMP.100 mL⁻¹ para ambas épocas. En la Figura 5.1.12 se muestran los promedios anuales de CTT medidos en los tributarios, evidenciando el recurrente detrimento de la calidad de sus aguas, con valores que superaron los límites permisibles para desarrollar actividades de contacto primario y secundario, donde las mayores concentraciones se presentaron en el río Jella con un promedio histórico de 60.255 ± 0,54 NMP.100 mL⁻¹ para la época lluviosa y 120.226 ± 0,42 NMP.100 mL⁻¹ para la época seca. No se evidenciaron diferencias significativas entre épocas climáticas (p > 0,05) no obstante, los mayores casos en que se superaron los límites establecidos por la legislación nacional se presentaron durante la temporada de lluvias. Por otro lado, los casos de incumplimiento registrados durante la época seca, son producto del mal manejo del recurso desde las partes altas de las cuencas, donde se generan escurrimientos difusos provenientes de las actividades humanas, asimismo los residuos generados por las actividades agrícolas y mineras (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

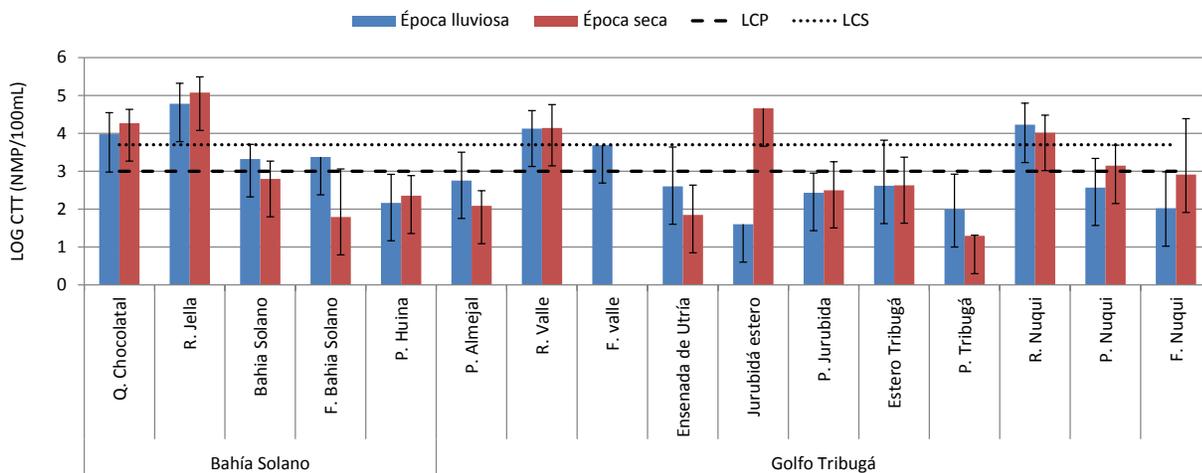


Figura 5.1.12 Concentraciones de Coliformes Totales (LOG NMP.100 mL⁻¹) medidas en las estaciones del departamento de Chocó del año 2002- 2013 en la época lluviosa y la época seca. La línea cortada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (LCP) (<1.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) y la línea punteada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (<5.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

La evaluación de la calidad sanitaria de las 8 playas ubicadas en la zona bahía Solano y golfo Tribugá, se realizó mediante la medición de coliformes termotolerantes (CTE) para la época lluviosa 2012 y seca 2013. Durante este período de monitoreo, los mayores casos de incumplimiento se registraron en la época seca, con concentraciones que superaron los 200 NMP.100 mL⁻¹ (MinSalud, 1984) límite establecido para el desarrollo de actividades de contacto primario como la natación y el buceo para las playas Nuquí (330

NMP.100 mL⁻¹), Jurubidá (400 NMP.100 mL⁻¹), Estero Tribugá (490 NMP.100 mL⁻¹) y Huina (790 NMP.100 mL⁻¹). En la época lluviosa las playas que sobrepasaron el límite fueron: Bahía Solano y Nuquí (790 NMP.100 mL⁻¹ cada una respectivamente) y el Estero Tribugá (16000 NMP.100 mL⁻¹; Tabla 5.1.1). A nivel histórico, los mayores casos en que los valores superaron el límite para la época lluviosa se presentaron en Bahía Solano Esso (80 %) y playa Almejal (50 %), mientras que para la época seca, playa Nuquí (89 %) y Bahía Solano Esso (70 %), presentaron condiciones sanitarias inadecuadas. El deterioro de las aguas marino costeras del departamento, se encuentran influenciadas por los aportes realizados por los principales tributarios, los cuales ingresan altas cargas microbianas, asimismo, las descargas de aguas servidas de poblaciones ribereñas sin previo tratamiento, que resulta en una inadecuada calidad del agua, generando un riesgo para la salud pública. (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

Tabla 5.1.1. Coliformes Termotolerantes (CTE NMP.100 mL⁻¹) medidas en las épocas lluviosa 2012 y seca 2013. En negrilla se muestran los valores que superan el límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (< 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

Zona	Playa	Época Lluviosa 2012			Época Seca 2013		
		(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**	(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**
Bahía Solano	Bahía Solano	790	80	10	110	70	10
	P. Huina	20	33	9	790	20	10
	P. Almejal	20	50	10	130	10	10
	Ensenada de Utría	20	20	10	20	20	10
Golfo Tribugá	P. Jurubidá	20	38	8	400	44	9
	Estero Tribugá	16000	40	10	490	56	9
	P. Tribugá	20	25	8	20	0	6
	P. Nuquí	790	40	10	330	89	9

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible establecido en el decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE < 200 NMP.100 mL⁻¹).

**Número de datos existentes por época climática.

5.1.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD, en el período de lluvia 2012 y seco 2013 oscilaron entre menor a LD (0,07 µg/L) y 0,94 µg/L. Los HDD más altos se presentaron en la época lluviosa de 2012, en Bahía Solano ESSO (0,28 µg/L). Por otro lado, los valores más altos se registraron en la época seca de 2013 en la zona Bahía Solano, particularmente en río Jella (0,88 µg/L) y bahía Solano Esso (0,47 µg/L); mientras que en el golfo de Tribugá en río Nuquí (0,94 µg/L), estero Jurubidá (0,54 µg/L) y frente al río Valle (0,53 µg/L; Figura 5.1.13).

Los residuos de hidrocarburos que se presentaron en el departamento se deben a la venta de combustibles, descarga de aguas residuales domésticas, actividad portuaria y turística y transporte marítimo. 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 (UNESCO, 1984).

El análisis temporal muestra diferencias ($p > 0,05$), de los registros históricos de HDD medidos desde el 2001 al 2013, registrando las concentraciones promedio más altas en la época seca, en las estaciones de la zona Bahía Solano principalmente, en Bahía Solano ESSO ($1,75 \pm 4,05$ µg/L) y el río Jella ($1,09 \pm 0,60$ µg/L) y en la zona del golfo de Tribugá en el río Nuquí ($1,10 \pm 1,59$ µg/L; Figura 5.1.14). Esto se debe principalmente a los vertimientos de aguas residuales domésticas, venta de combustibles y actividad portuaria y turística.

La variación interanual 2001 a 2013 mostró diferencias ($p < 0,05$), entre años, y en el año 2001 se registraron concentraciones de HDD superiores al valor de referencia para aguas no contaminadas, en la estación de Bahía Solano Esso (13,88 $\mu\text{g/L}$) y en 2003 en Frente de Bahía Solano (13,95 $\mu\text{g/L}$).

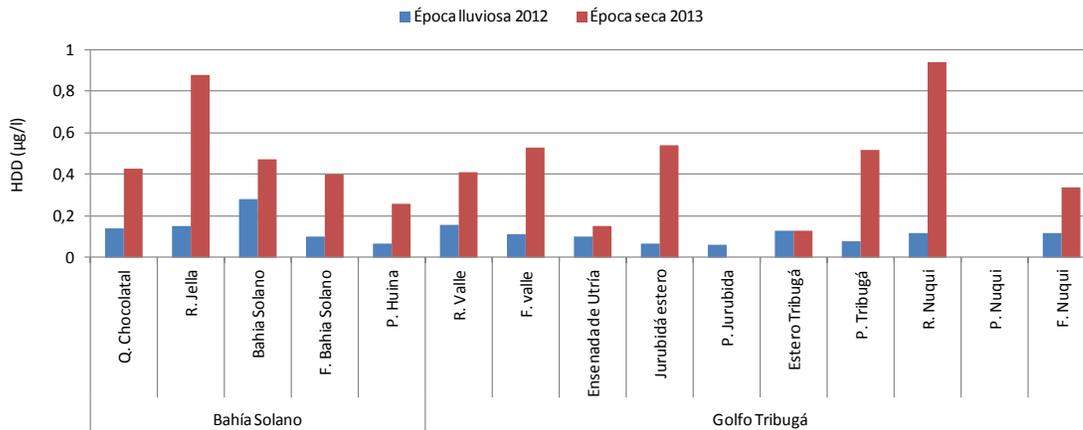


Figura 5.1.13. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales del departamento de Chocó en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

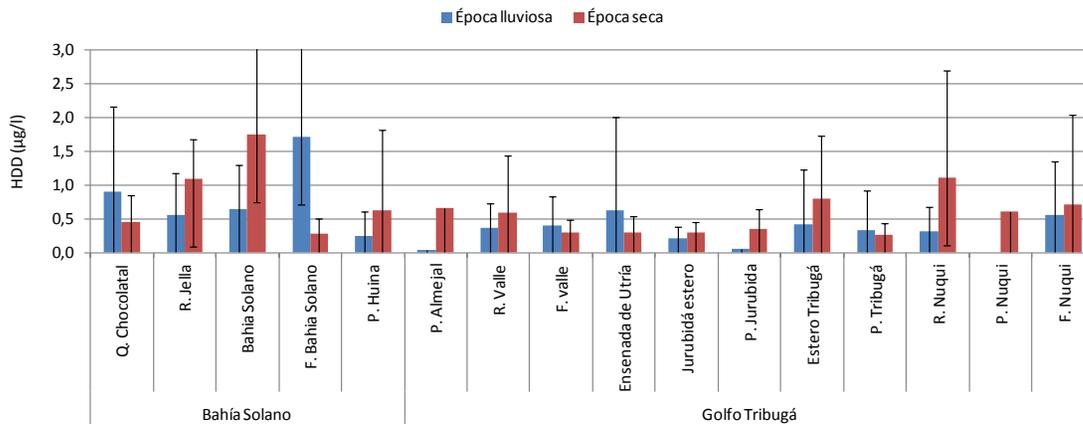


Figura 5.1.14. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales del departamento del Chocó en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

5.1.4 Plaguicidas

El Chocó es quizás el único departamento costero en el cual no es evidente una tendencia descendente en los rangos de variación de los plaguicidas organoclorados (OC), el monitoreo iniciado desde el 2001, ha registrado concentraciones que en algunos casos han superado el valor de referencia adoptado (30 ng/L ; EPA, 1999); como ocurrió en el río Valle (35,8 ng/L) en 2002, el estero Tribugá (31,3 ng/L) y la ensenada de Utría (33,0 ng/L) en 2009 y el estero Jurubidá (45,7 ng/L) en el 2010. Si bien en el último periodo de estudio, época lluviosa de 2012 y seca de 2013, las concentraciones de OC no fueron detectables los rangos históricos aun no muestran una tendencia clara (Figura 5.1.15).

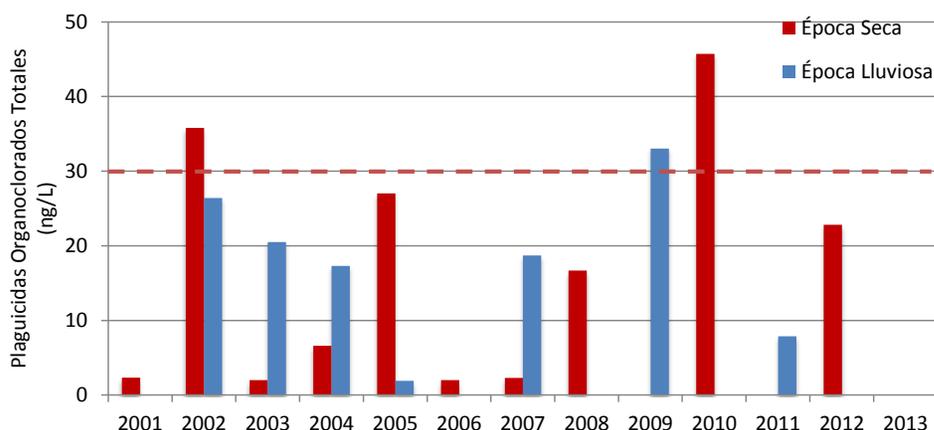


Figura 5.1.15. Rango de concentraciones de plaguicidas organoclorados (ng/L) medidas en la época lluviosa y la época seca de 2001 – 2013 en estaciones de aguas superficiales del Chocó. La línea roja representa el Valor de Referencia (EPA, 1999).

Como se ha indicado en anteriores informes, la mayor proporción de residuos de OC detectados corresponden a los metabolitos del DDT (DDD y DDE), Lo cual indican que llevan cierto tiempo en el ambiente, y que su introducción al medio pudo haberse originado en actividades diferentes a la agricultura (como en la industria maderera o en los hogares para la inmunización de la madera y las campañas de fumigación para la prevención de la malaria) y se manifiestan de forma puntual en el transcurso del tiempo. Si bien, parece mantenerse el rango de variación en el tiempo, en los últimos tres años, la presencia ha descendido a ~10%, que es 9 veces menor a la frecuencia que existía durante los primeros seis años del monitoreo (89%).

En cuanto a las moléculas de plaguicidas de “uso actual” que comenzaron a monitorearse desde el 2009, no han sido detectadas en las aguas del departamento, lo cual está en relación con el escaso desarrollo agrícola que tiene la zona costera de este departamento.

Tabla 5.1.2. Concentraciones de plaguicidas encontradas en aguas superficiales de Chocó en 2010-2013 y valores de referencia de la NOAA (Buchman, 2008).

Temporada	Estación	Σ Metabolitos del DDT (ng/L)	Metabolitos del Heptacloro (ng/L)
Seca 2010	Bahía Solano (ESSO)	<6,0	<6,0
	Jurubidá Estero	36,4	9,3
Lluviosa 2011	Río Jella	7,9	<6,0
Seca 2012	Bahía Solano (ESSO)	22,8	<6,0
Lluviosa 2013- seca 2012		-	-
<i>Valores de referencia para efectos agudos</i>	<i>Aguas dulces</i>	550	260
	<i>Aguas marinas</i>	65	26,5

5.1.5 Metales Pesados

Para evaluar la calidad de las aguas del departamento de Chocó, desde el año 2001 se han monitoreado los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), pero teniendo en cuenta la importante influencia de los ríos que desembocan en el litoral, los cuales pueden arrastrar al lecho marino cantidades apreciables de metales, en especial por las descargas de aguas residuales domésticas de las poblaciones ribereñas, se

amplió el monitoreo de metales, incluyendo para este informe Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Hierro (Fe).

El plomo solo fue detectado en época lluviosa de 2012, proveniente de las escorrentías que se presentan por las lluvias, siendo las estaciones Frente a Bahía Solano (1,06 µg/L), Frente a río Valle (1,63 µg/L), Ensenada de Utría (1,01 µg/L), Jurubidá Estero (1,17 µg/L), Río Nuquí (1,4 µg/L) y Frente a río Nuquí (0,9 µg/L) quienes presentaron concentraciones detectables de este metal. En general, ninguna estación superó el valor límite de riesgo referenciado en la guía internacional de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

El Cadmio solo se detectó en época lluviosa de 2012 en las estaciones río Valle (0,65 µg/L) Frente a río Valle (0,29 µg/L) y Ensenada de Utría (0,67 µg/L). Ninguna de las estaciones superó los valores referenciados en guías internacionales para efectos agudos en aguas superficiales marinas (40 µg/L, [Buchman, 2008](#)). En cuanto al Cromo, en ambas épocas estacionales estuvo por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, de forma que no presenta ningún riesgo para la salud al no superar los valores referenciados en guías internacionales (50 µg/L, [Conama, 1986](#)).

Históricamente se observa valores homogéneos de Pb y Cd en las zonas de muestreo, registrando mayores concentraciones para plomo durante la época seca y para el cadmio en época lluviosa. Para el Cr, la época lluviosa favorece el arrastre de este metal al mar, presentándose mayores concentraciones en esta época del año. Los reportes de Pb, Cd y Cr en todas las estaciones han estado por debajo de los límites establecidos en guías internacionales, por lo que se considera que no hay riesgo de contaminación por estos metales.

En la época seca de 2013 solo se detectaron concentraciones de Cu en las estaciones Frente a río Valle (2,9 µg/L), río Nuquí (5,1 µg/L) y Jurubidá estero (9,2 µg/L) estando las dos últimas por encima del valor referenciado en la guía internacional de la NOAA (4,8 µg/L, [Buchman, 2008](#)) para efectos agudos en aguas marinas. Sin embargo, en época lluviosa de 2012 registró una concentración por debajo del valor de referencia. Para esta época, las mayores concentraciones de Cu se presentaron en el río Jella (4,0 µg/L) y en el río Nuquí (3,2 µg/L). Salvo la estación Jurubidá estero, las estaciones monitoreadas presentaron niveles de Cu por debajo del valor referenciado en la guía internacional de la NOAA (4,8 µg/L, [Buchman, 2008](#)), sugiriendo que no existe riesgos agudos por la presencia de este metal en aguas marinas del departamento de Chocó.

Durante la época lluviosa de 2012, el Zn medido en aguas superficiales, registró las mayores concentraciones en las estaciones río Valle (4,4 µg/L), Ensenada de Utría (4,3 µg/L) y río Nuquí (3,9 µg/L), mientras que en época seca, solo en la estación Ensenada de Utría (4,5 µg/L) fue detectado este metal. En general, ninguna de las estaciones marinas superó los niveles referenciados como de riesgo en la guía internacional de la NOAA (90 µg/L, [Buchman, 2008](#))

En cuanto al Ni, en ambas épocas del año estuvo por debajo del valor de referencia de la NOAA para efectos agudos en aguas marinas (74 µg/L, [Buchman, 2008](#)); Las mayores concentraciones de la época lluviosa se presentaron en la estación Ensenada de Utría (1,7 µg/L), Estero Tribugá (1,5 µg/L) y río Valle (1,4 µg/L), mientras que en la época seca solo las estaciones río Valle (3,3 µg/L), Frente a río Valle (2,3 µg/L) y Jurubidá Estero (1,6 µg/L), registraron concentraciones detectables de Ni. Las concentraciones de Fe, en época lluviosa de 2012, estuvo entre 0,066 – 0,319 mg/L siendo máxima para el río Jella y mínima para la ensenada de Utría. En época seca de 2013, las mayores concentraciones se registraron en el río Valle (1,58 mg/L) y Jurubidá Estero (1,18 mg/L). No obstante, ninguna estación en aguas marinas, superó el valor de referencia establecido en la NOAA (300 µg/L; [Buchman, 2008](#)).

5.1.6 Conclusiones

Las condiciones fisicoquímicas de las aguas superficiales del departamento de Chocó presentaron variaciones consecuentes a los fenómenos y condiciones ambientales que se presentan en esta zona como patrones de corrientes superficiales propios de la región, acción de los vientos alisios (especialmente en época seca), influencia de las precipitaciones y descargas continentales sobre las aguas marinas. Así mismo, el pH, salinidad y oxígeno disuelto estuvieron dentro los criterios establecidos en la legislación colombiana para preservación de fauna y flora.

Las mayores concentraciones de SST, NID y FRS de las aguas marinas y costeras de Chocó en el periodo de estudio provienen de los ríos Jella, Nuquí y Valle, debido a la resuspensión de sedimentos, lavado de suelos y vertimientos de aguas residuales. Para la época seca del 2013 la estación Ensenada de Utría sobrepasa el valor de referencia para el florecimiento permanente de macroalgas frondosas.

La evaluación de la calidad sanitaria de las aguas superficiales, evidenció el recurrente deterioro de la calidad de los ríos, en especial el río Jella, presentó las concentraciones más altas de coliformes totales, superando los límites para el desarrollo de actividades de contacto primario y secundario. Por otra parte las concentraciones de coliformes termotolerantes medidas en las playas, mostraron que los mayores casos de incumplimiento se presentaron en Bahía Solano Esso y playa Nuquí, con porcentajes que superaron el 70 % de los casos en su registro histórico, lo cual evidencia una inadecuada calidad de las aguas para desarrollar actividades como la natación y el buceo.

En términos de hidrocarburos, la mayoría de las estaciones han permanecido con niveles bajos, siendo la estación Bahía Solano Esso la que realiza los mayores aportes de éste contaminante a la zona costera, debido a la actividad portuaria y a la influencia del río Jella al cual se descargan las aguas residuales domésticas sin tratamiento.

Los compuestos plaguicidas de “uso actual” no se detectan en las aguas costeras del departamento, lo cual está en relación con el escaso desarrollo agrícola de la zona costera; en cuanto a los plaguicidas organoclorados sus rangos muestran a un gran variabilidad en el tiempo, sin embargo, en la actualidad son menos frecuentes que al inicio del monitoreo en el 2001.

La presencia de metales en aguas marinas del departamento de Chocó se ve influenciada por las condiciones climáticas, presentandodiferencias en las concentraciones de metales entre épocas estacionales. No obstante, los niveles de los metales analizados no superan los valores referenciados en guías internacionales para efectos agudos en aguas marinas infiriendo que no existe riesgo por contaminación de metales pesados excepto en la estación Jurubidá Estero en época lluviosa de 2012, ha presentado concentraciones de Cu por encima del valor de referencia, sin embargo para la época seca de 2013 las concentraciones disminuyen por debajo del valor de referencia, sugiriendo que no existen problemas de contaminación permanente de este metal.

En resumen, la calidad de las aguas marino- costeras del departamento se encuentra influenciada por los ríos que desembocan en el litoral, los cuales realizan importantes aportes de sólidos suspendidos, nutrientes inorgánicos y coliformes, especialmente por las descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento de las poblaciones ribereñas. En la época de lluvias de 2012 las estaciones Bahía Solano Esso y Playa Almejal y en la seca de 2013 Bahía Solano Esso y Nuquí no fueron aptas para realizar actividades de contacto primario y secundario, debido a la presencia de coliformes. Las concentraciones de hidrocarburos y plaguicidas revisar con los datos de Julián no sobrepasaron el valor de la norma internacional, siendo el Jella y la playa Bahía Solano Esso los que realizan los mayores aportes de hidrocarburos debido a las actividades marítimas y venta de combustibles (Vivas-Aguas et al., 2012).

ANEXO

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE BAHÍA SOLANO USANDO EL ICA

Dada la importancia ambiental, recreativa y pesquera de Bahía Solano, fue necesario desarrollar un índice de estado de calidad del agua – ICA – que facilite la evaluación y cambios en la dinámica de este recurso hídrico, debido a que esta bahía es una de las más importantes del Pacífico y es el principal cuerpo receptor de las aguas residuales domésticas del municipio de Bahía Solano, las llegan a través del río Jella y de descargas puntuales (INVEMAR-MADS, 2011, Figura 1).

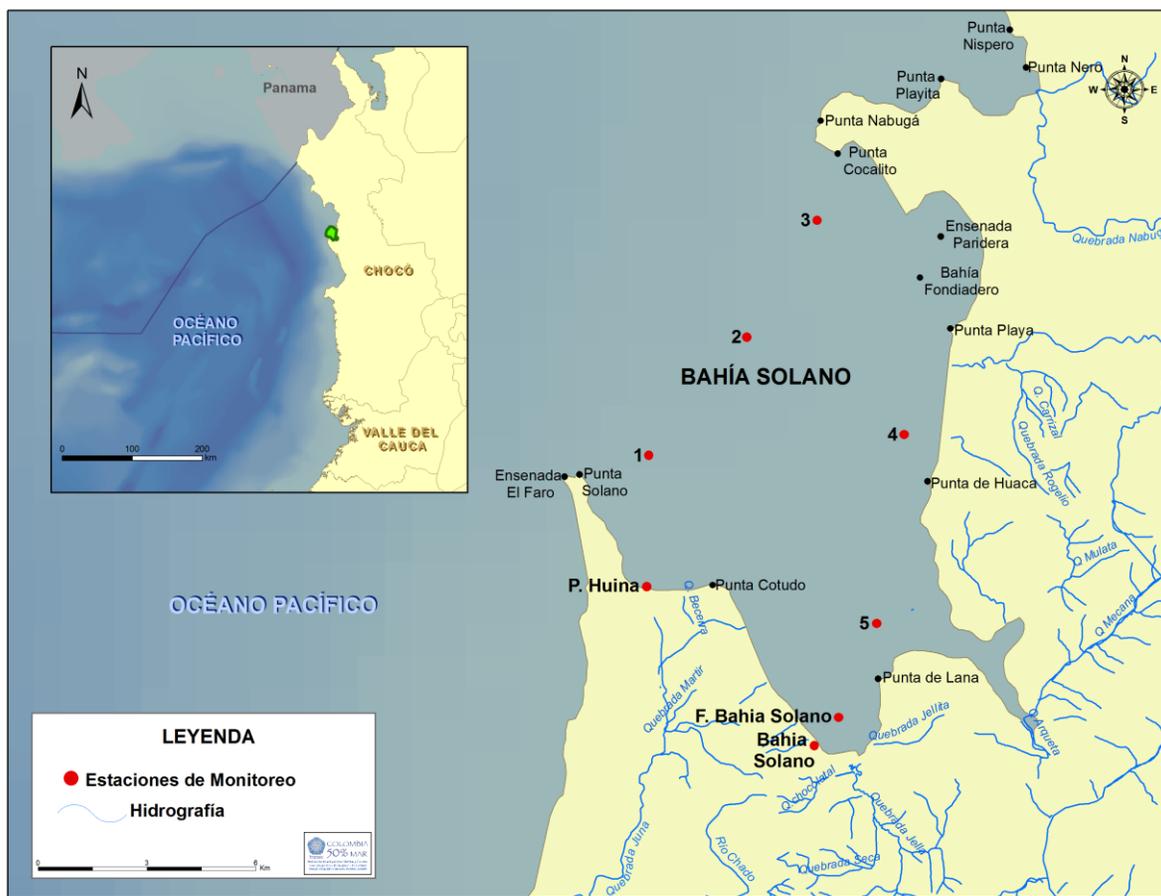


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo actuales de Bahía Solano en el Departamento del Chocó

El ICA desarrollado para Bahía Solano valora el agua en una escala de cinco categorías de calidad definidas entre 0 y 100 (Tabla 1) y utiliza de manera integral (ecuación 1) el oxígeno disuelto, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos totales (SST), hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y coliformes termotolerantes; ocho variables que son determinantes en muchos procesos naturales y antropogénicos. Cada variable dentro de la ecuación se califica según la concentración medida y los valores de referencia o estándares preestablecidos que debe cumplir para que sean considerados aptos para proteger el hábitat de los ecosistema (Beamonteet *al.*, 2004; Bianucciet *al.*, 2005).

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

(Ecuación 1)

Donde:

ICAM = es la calidad del agua en función del uso.

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 1. Escala de valoración del índice de calidad de aguas. Tomado de Vivas-Aguas, 2011

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

Los resultados de los ICA estimados para los datos de las épocas seca y lluviosa de 2012 en las estaciones de Bahía Solano, mostraron un rango entre adecuada y pésima calidad del agua con valores entre 23 y 87, lo cual demuestra que las características generales de la bahía fueron aptas para la preservación de la flora y la fauna en este período.

Durante la época seca las estaciones que presentaron mejores condiciones fueron palay Huina, Est 2, Est 3, Est 4 y Est 5 que alcanzaron una calidad *adecuada* del agua (Figura 2 y Figura 3), mientras el peor ICA o calidad pésima se presentó en la estación frente a bahía Solano, la cual presentó altos valores de nitratos (115,5 µg/L), el cual supera el valor propuesto por Lapointe (1997) de 14µg/L, para la producción de floraciones algales frondosas; y los SST (214,7 mg/L), debido a la influencia del río Jella en el cual se descargan las aguas residuales domésticas sin tratamiento.

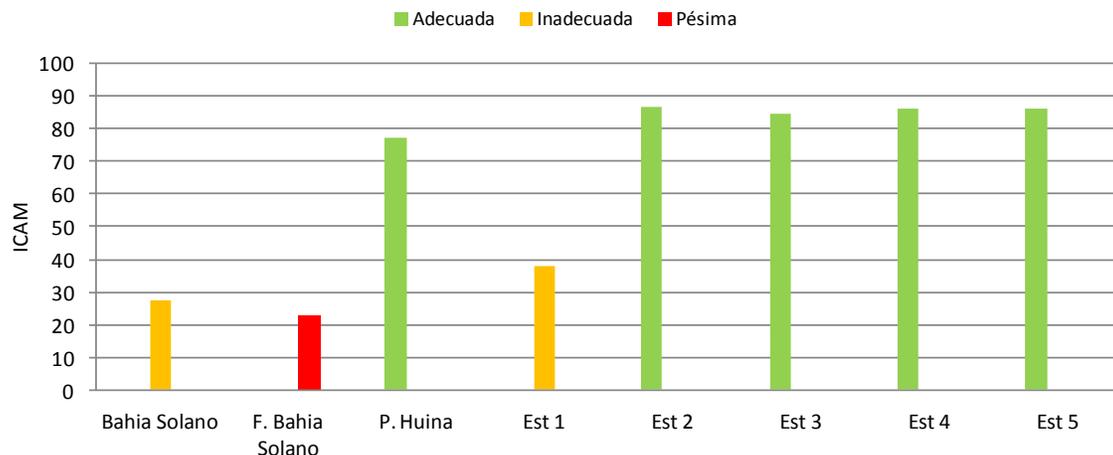


Figura 2. Calidad del agua en las estaciones de Bahía Solano con el ICA en la época seca 2012.

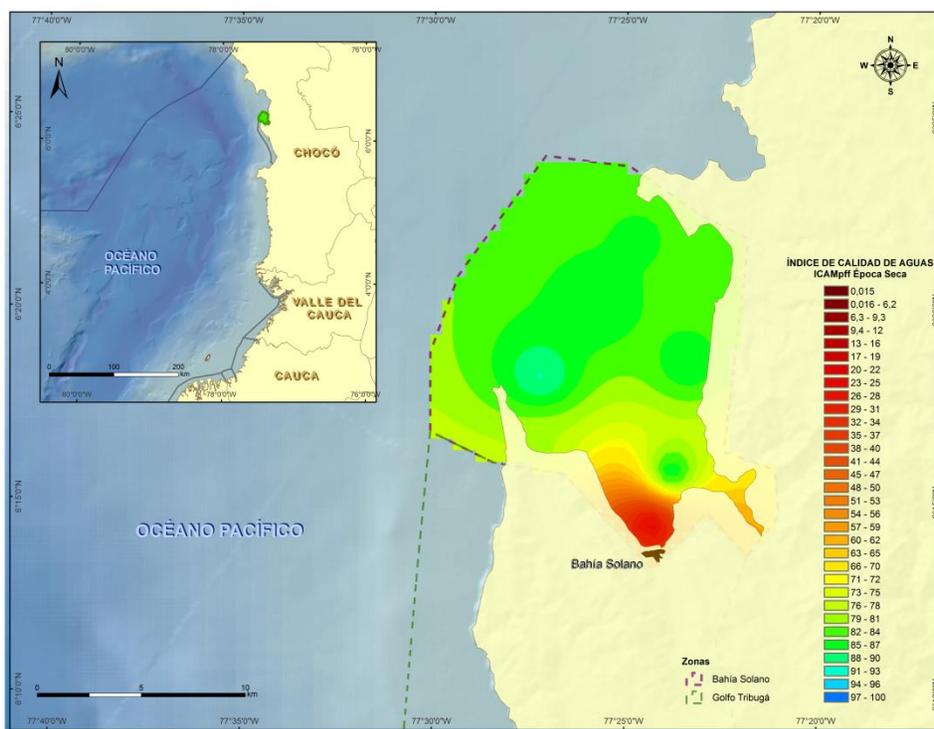


Figura 3. Calidad del agua en las estaciones de Bahía Solano con el ICA en la época seca 2012.

Durante la época de lluvia el área de estudio en términos generales presentó un ICA mejor que en la

época seca, al presentar una calidad *adecuada* en el 75% de las estaciones (playa Huina, Est 1, Est 2, Est 3, Est 4 y Est 5), mientras el peor ICA o calidad *aceptable* se presentó en las estaciones Bahía solano y frente a bahía Solano, las cuales presentaron valores de coliformes termotolerantes de 790NMP/100 mL, el cual supera el límite permisible de 200 NMP/100 mL, establecido por la legislación Colombiana para contacto primario (MinSalud. 1984), debido a la influencia de la cabecera municipal de Bahía Solano, el cual descarga las aguas residuales domésticas sin tratamiento (Figura 4 y Figura 5).

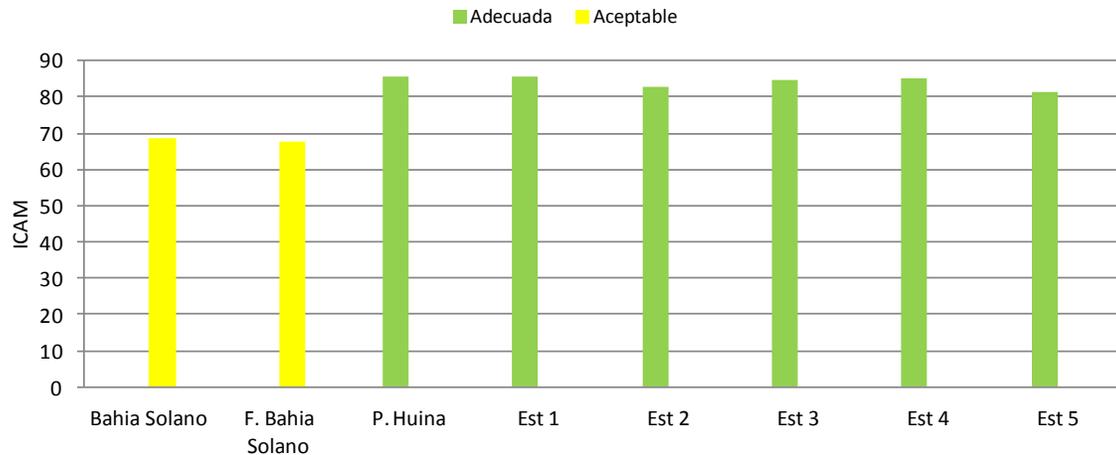


Figura 4. Calidad del agua en las estaciones de Bahía Solano con el ICA en la época de lluvia de 2012.

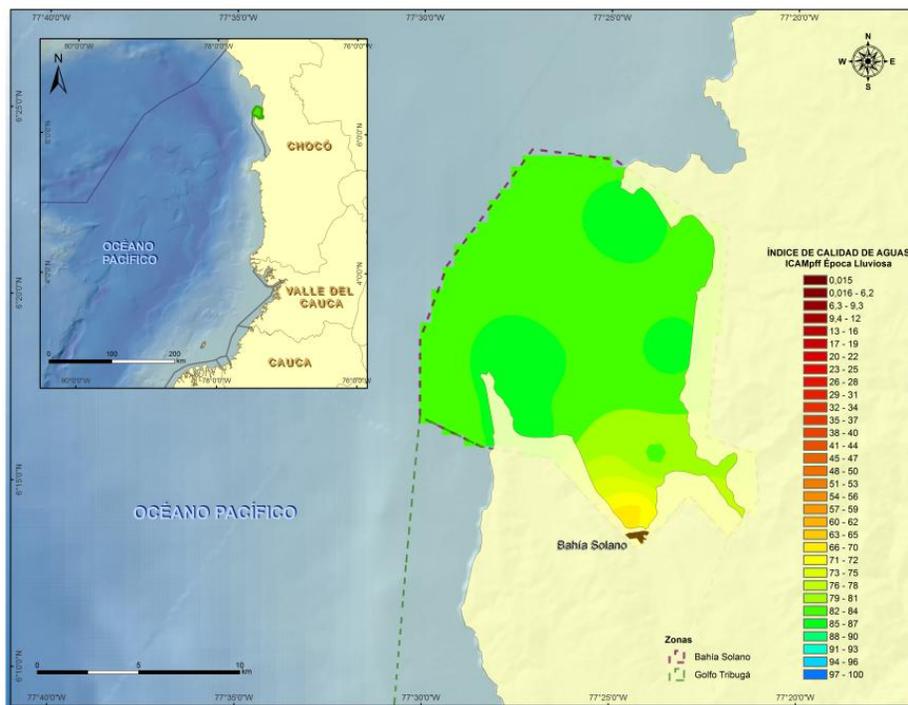


Figura 5. Calidad del agua en las estaciones de Bahía Solano con el ICA en la época de lluvia de 2012.

Valle del Cauca



Sociedad Portuaria de Buenaventura. Foto José Sánchez

5.2 VALLE DEL CAUCA

El Departamento del Valle del Cauca está situado en el occidente del país, en la región del Chocó biogeográfico entre los 03° 05' y 05° 10' de latitud norte y los 75° 45' y 77° 36' de longitud oeste. Posee una superficie de 22140 km² en clima templado (52.4%), cálido (25.1%) y el resto entre frío y extremadamente frío. En la zona costera está el municipio de Buenaventura, donde se ubica la red de 52 estaciones de muestreo, de las cuales 30 están en la bahía interna de Buenaventura, 12 en las desembocaduras, frentes y km arriba de los ríos y 11 en las playas de Juanchaco y ladrilleros donde se encuentra el parque Uramba bahía Málaga (Figura 5.2.1).

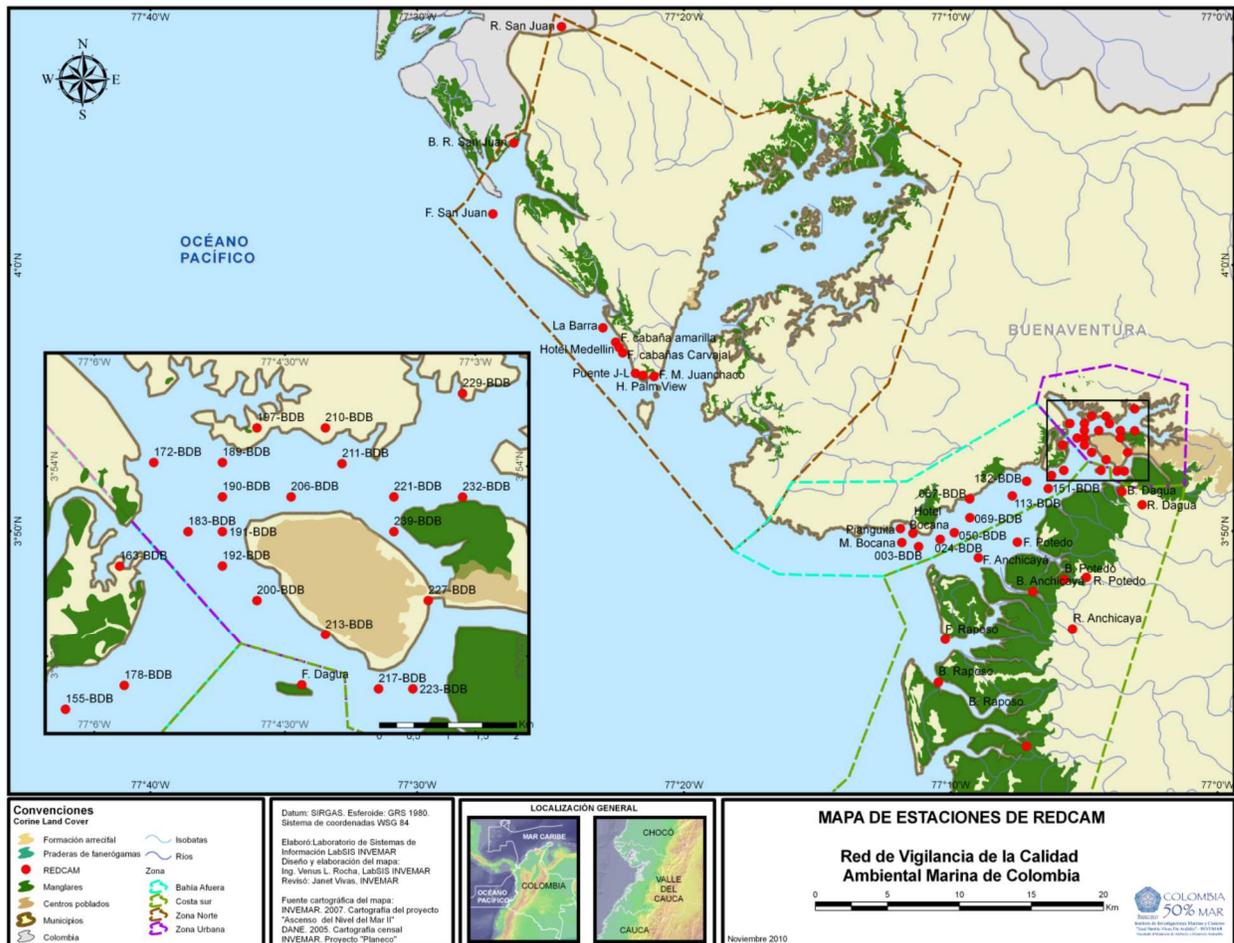


Figura 5.2.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento del Valle del Cauca

Las condiciones climáticas del Pacífico están determinadas por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) que genera precipitación durante todo el año y responde a una distribución de tipo bimodal, que se caracteriza por la presencia alternada de dos temporadas muy lluviosas y las “relativamente” menos lluviosas. La primera temporada lluviosa se inicia normalmente en el mes de abril y se prolonga hasta finales de junio. La segunda temporada lluviosa, la más intensa, incluye el periodo de septiembre - noviembre, en las zonas norte y central; y octubre–diciembre en la zona Sur, con máximas intensidades en octubre y noviembre. La temporada menos lluviosa, incluye los meses de diciembre y marzo, cuando la ZCIT se encuentra en el Sur y no ejerce influencia condicionante en la región del Pacífico; excepto en la zona Sur donde la ZCIT logra que éste no sea el periodo menos lluvioso sino que sean los meses de julio,

agosto y parte de septiembre cuando la ZCIT está en el norte del país. (CRC, 2009). El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos de los días 13, 26 y 30 de septiembre de 2012 (época de alta precipitación) y los días 9, 15 y 19 de mayo de 2013 (época de baja precipitación), en consecuencia los gráficos y el análisis de la información se muestran como la época lluviosa 2012 y época seca de 2013, respectivamente, con el propósito de ser coherentes con el análisis nacional de todos los departamentos.

5.2.1 Variables Físicoquímicas

5.2.1.1 *In situ*

Temperatura

Las aguas superficiales presentaron variaciones en sus parámetros físicoquímicos ocasionadas por diferentes factores, entre ellos los patrones de corrientes determinados por el desplazamiento del cinturón de convergencia intertropical, las precipitaciones y las descargas de los principales ríos. Para la época lluviosa 2012 la temperatura de las aguas superficiales osciló entre 23,3 °C y 29,6 °C (promedio 27,9 ± 1,1 °C), para la época seca 2013 los valores se encontraron entre 23,5 °C y 29,5 °C (promedio 27,6 ± 1,6 °C; Figura 5.2.2)

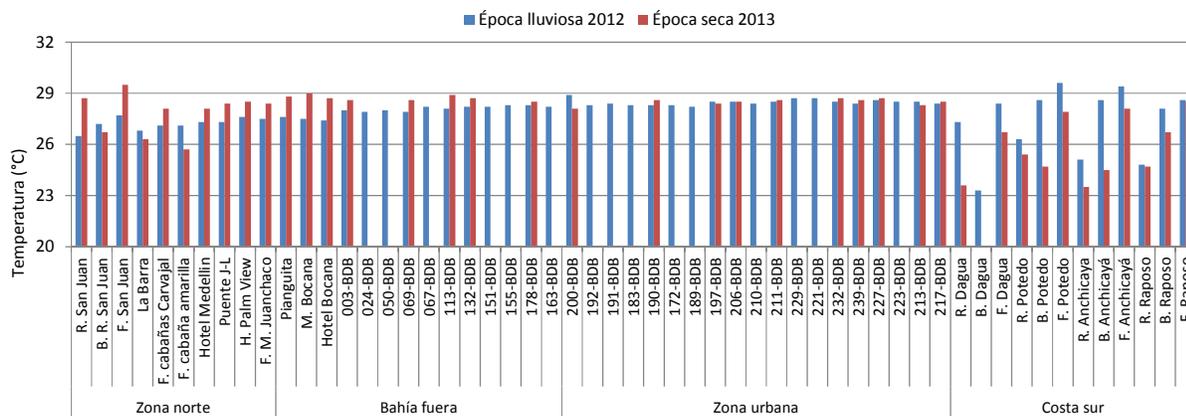


Figura 5.2.2. Temperatura (°C) superficial del agua medida en 4 zonas del departamento del Valle del Cauca durante la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

Las estaciones que presentaron mayor variación espacial y entre épocas fueron las de carácter estuarino y fluvial ubicadas en las zonas Norte y Costa Sur; en ésta última se registró el valor más bajo de temperatura durante la época lluviosa en la estación B Dagua (23,3 °C) y el más alto para la misma época en la estación F. Potedó (29,6 °C). Este comportamiento sin un patrón definido puede deberse tanto a ciclos estacionales que dependen de la temperatura del aire, los vientos y las mareas, como a la variación diaria de la temperatura de los ríos directamente relacionada con la radiación solar (Sinokrot y Stefan, 1993).

Salinidad

La salinidad osciló entre 9,2 y 11,1 en época lluviosa y entre 10,1 y 20,4 en época seca, siendo los valores más altos los registrados durante la época seca 2013 en las estaciones marinas de la Zona Norte (19,4 ±1,0) al encontrarse al exterior de la bahía y presentar mayor influencia marina (Figura 5.2.3). La tendencia general e histórica en las estaciones de la Zona Bahía afuera y Zona urbana fue a disminuir en la época lluviosa debido a que durante el segundo semestre del año, la corriente de Colombia fomenta el

avance de aguas con salinidades ligeramente menores desde la zona costera sur del Pacífico colombiano hacia el norte cerca al golfo de Panamá, aunque esto depende de factores como la hora y estado de las mareas (Cantera, 1991).

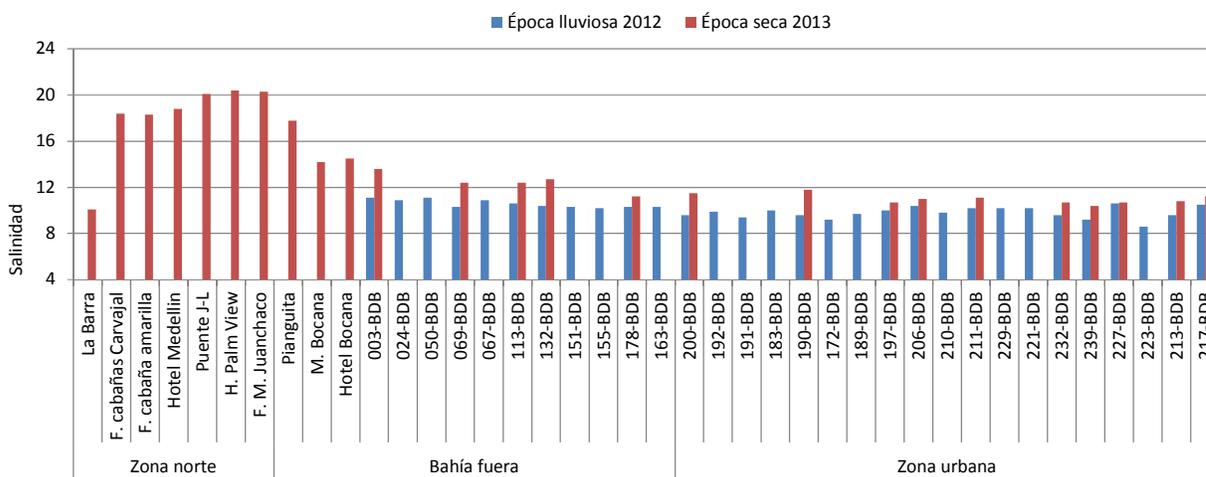


Figura 5.2.3. Salinidad del agua superficial en 3 zonas del departamento del Valle del Cauca medida en la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

pH

Los valores de pH de las aguas superficiales del departamento del Valle del Cauca se ubicaron dentro de los criterios de calidad permisibles de 6,5 a 8,5 y 4,5 a 9,0 para aguas marinas y fluviales respectivamente, establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para preservación de fauna y flora (Minsalud, 1984). Los máximos valores para ambas épocas se registraron en las estaciones marinas de la zona Norte (lluviosa: $8,2 \pm 0,2$; seca: $8,6 \pm 0,1$; Figura 5.2.4). El valor más bajo de pH se registró en la estación R. Potedó durante la época seca 2013 (6,6), siendo un valor aceptable para aguas fluviales y estuarinas; históricamente la tendencia general de la variable en este tipo de aguas es a disminuir en época seca debido al elevado consumo de materia orgánica proveniente de la descarga de aguas residuales y la consecuente producción de CO_2 que tiene características ácidas (Cognetti *et al.*, 2001).

Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en las aguas superficiales del departamento fluctuaron entre 4,1 mg/L y 7,6 mg/L (promedio $5,7 \pm 0,8$ mg/L) en la época lluviosa 2012; mientras que para la época seca 2013 oscilaron entre 4,2 mg/L y 7,7 mg/L (promedio $6,0 \pm 0,9$ mg/L; Figura 5.2.5). En general durante el periodo actual de análisis, en la mayoría de estaciones los valores de OD estuvieron sobre 4,0 mg/L, considerado el valor mínimo de calidad para la preservación de flora y fauna según la legislación colombiana (Minsalud 1984); a excepción de la estación 239-BDB (zona urbana) cuya concentración en época lluviosa fue 3,94 mg/L.

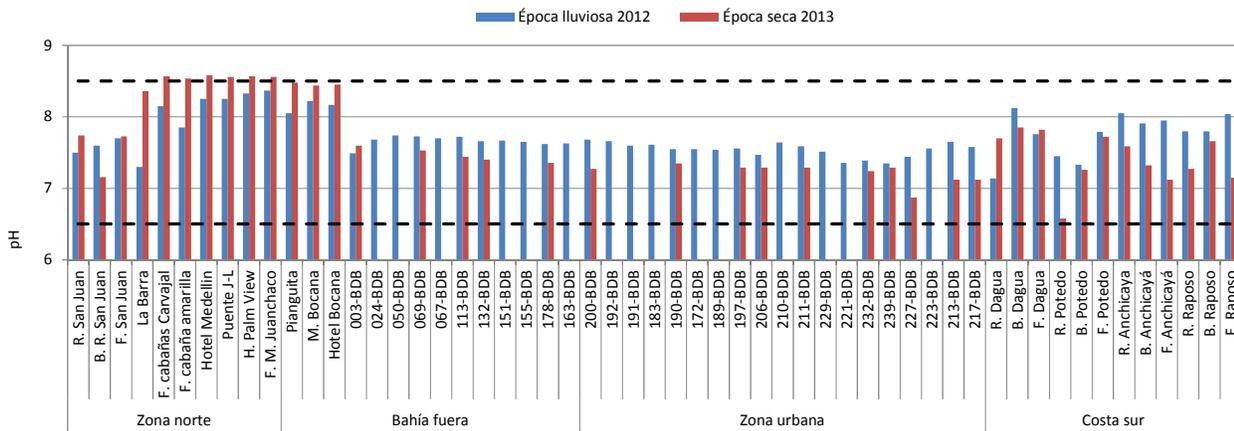


Figura 5.2.4. Valores de pH en aguas superficiales del Valle del Cauca, medidos en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. Las líneas punteadas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

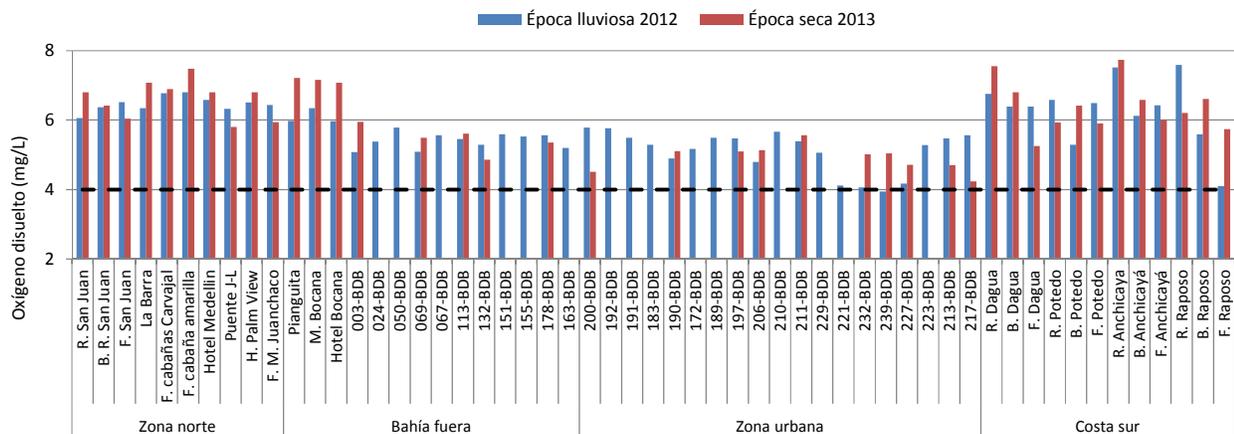


Figura 5.2.5. Oxígeno disuelto (mg/L) medido en aguas superficiales del departamento del Valle del Cauca, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea punteada representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

Cabe destacar que algunas otras estaciones de ésta zona (221-BDB, 232-BDB, 217-BDB y 317-BDB) presentaron valores cercanos al límite permisible; históricamente algunos de los muestreos realizados en estas estaciones han presentado valores de OD por debajo del límite permisible (Figura 5.2.6) condición que puede deberse a un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno generada por la descarga de sedimentos ricos en materia orgánica de las aguas residuales industriales y domesticas sin tratamiento originadas en los asentamientos urbanos, la actividad portuaria e industrial del área circundante a Buenaventura.(Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

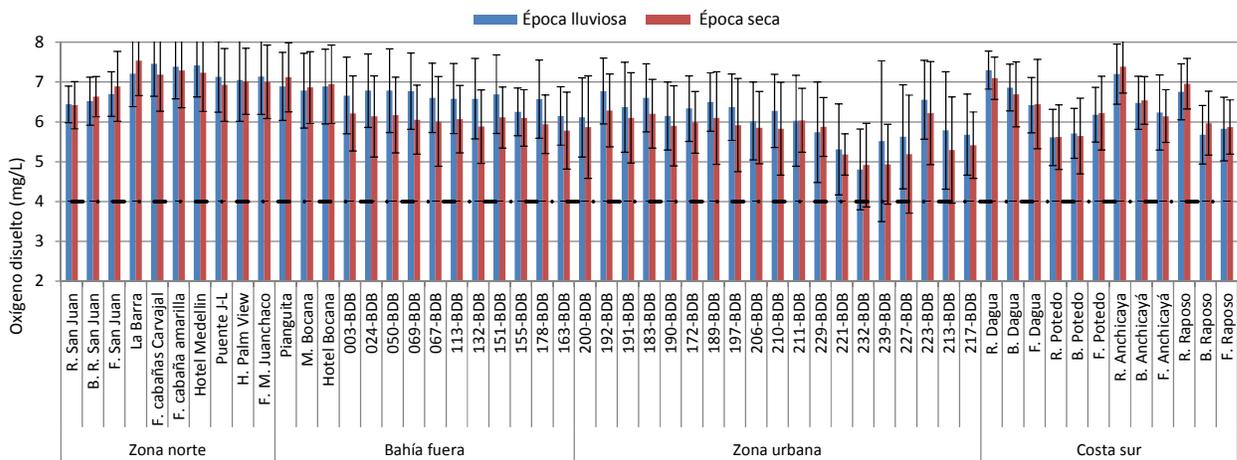


Figura 5.2.6. Oxígeno disuelto (mg/L) medido en aguas superficiales del departamento del Valle del Cauca, en las épocas lluviosa y seca entre el 2001 – 2013. Las barras de error representan las desviaciones estándar y la línea punteada representa el valor Mínimo Permisible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984).

5.2.1.2 *Sólidos y Nutrientes*

Sólidos Suspendedos Totales

En el departamento del Valle de Cauca para la época seca 2013 las mayores concentraciones de SST se presentaron en la costa sur en las estaciones correspondientes al río Dagua (72,5 mg/L), boca de Dagua (106mg/L), río Anchicayá (150mg/L) y el río Raposo (70 mg/L), las demás estaciones de las distintas zonas estuvieron entre los 11,4 y 57 mg/L. Para la época lluviosa los mayores aportes se dieron en la zona norte en las estaciones R. San Juan (149 mg/L) y boca de San Juan (84,2 mg/L; Figura 5.2.7). Las demás estaciones oscilaron entre los 12 y 33 mg/L. Las distintas estaciones en las épocas seca 2013 y lluviosa 2012 se encontraron en el promedio histórico de la REDCAM.

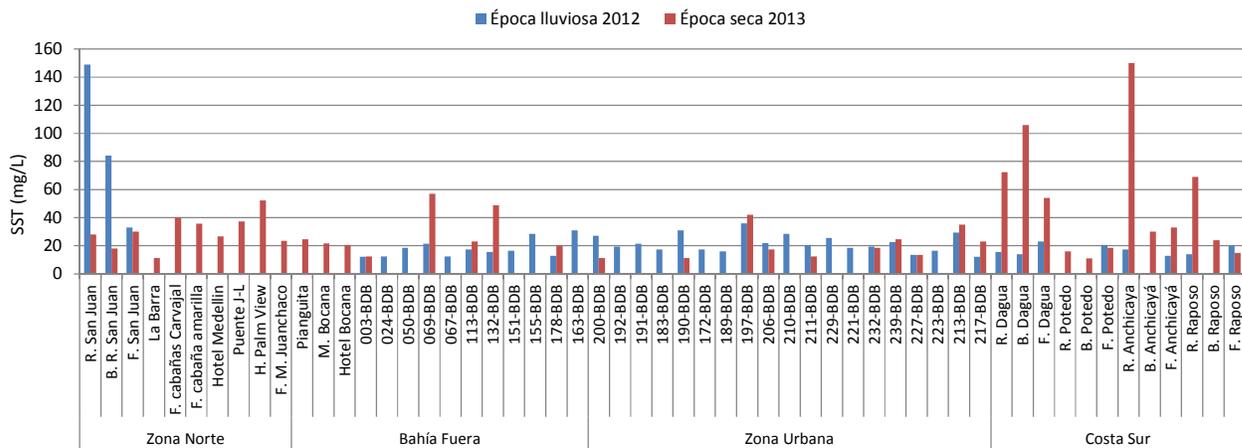


Figura 5.2.7. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (mg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales del Valle del Cauca en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013

Nutrientes

Las mediciones de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y fósforo reactivo soluble (FRS) o fosforo inorgánico disuelto como ortofosfato (PO_4) presentaron cambios en las distintas zonas de muestreo. En la época lluviosa 2012 los nitratos solo se midieron en la zona sur y el río San Juan, con valores relativamente bajos y un promedio de $9,6 \pm 4,7 \mu\text{g/L}$. La tendencia mostró los nitritos más altos en la época seca 2013, especialmente en la bahía de Buenaventura (Figura 5.2.8) y más en la zona urbana ($75,1 \pm 8,7\mu\text{g/L}$) que recibe los aportes de aguas residuales domésticas del municipio (Tombesi *et al.*, 2000) y en la zona bahía fuera que presentó un promedio de $50,6 \pm 7,3\mu\text{g/L}$.

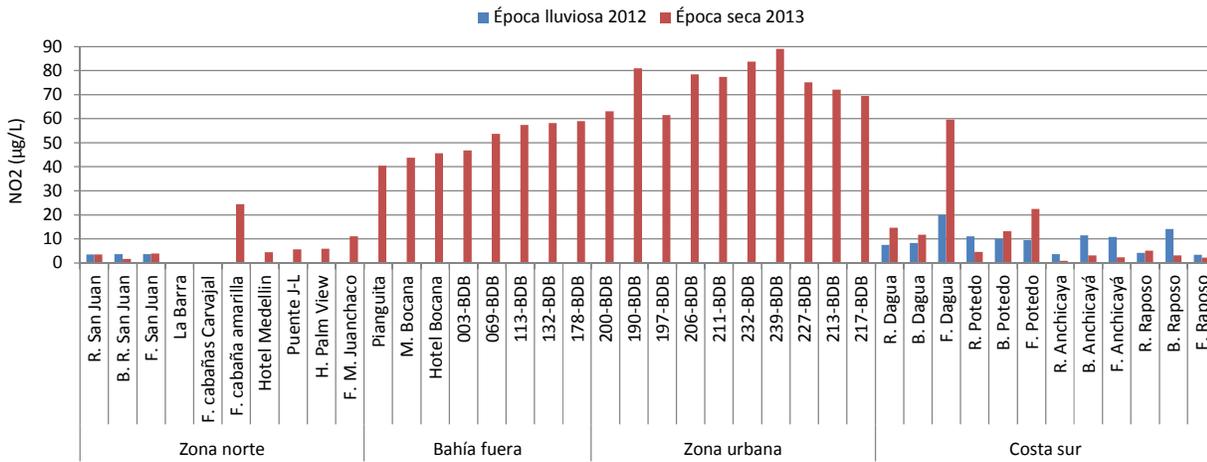


Figura 5.2.8. Concentraciones de nitritos ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Valle del Cauca, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los nitratos en la época seca 2013 variaron entre $141 \mu\text{g/L}$ hasta $4920\mu\text{g/L}$. En la zona norte el promedio fue de $1309,4 \pm 881,4 \mu\text{g/L}$ en la época seca 2013, donde los mayores aportes se deben ala estación frente al río San Juan ($2340\mu\text{g/L}$), hotel Medellín ($2920 \mu\text{g/L}$), frente a cabaña amarilla ($1130 \mu\text{g/L}$), el hotel Palm View ($1250\mu\text{g/L}$) debido a la descarga directa de aguas residuales domésticas de las poblaciones ribereñas.

En la bahía afuera en la época seca 2013 la concentración promedio de nitratos fue de $1087 \pm 690 \mu\text{g/L}$, con los mayores valores en las estaciones de Pianguita ($2530\mu\text{g/L}$), hotel Bocana ($1370\mu\text{g/L}$) y la estación 003($1410\mu\text{g/L}$), mientras que en la zona urbana el promedio fue de $1178,0\pm 478 \mu\text{g/L}$ con los nitratos más altos se presentaron en la bahía de Buenaventura y los punto 200 ($1150 \mu\text{g/L}$), 190($2130\mu\text{g/L}$), 197 ($1050 \mu\text{g/L}$), 206($1230 \mu\text{g/L}$), 211($1020 \mu\text{g/L}$), 239($1800 \mu\text{g/L}$), 227 ($1360 \mu\text{g/L}$; Figura 5.2.9); y en la zona Sur el promedio fue $1119\pm 1565\mu\text{g/L}$ y los mayores NO_3 se midieron en los frentes de los ríos Anchicayá ($4910\mu\text{g/L}$) y Raposo ($3050 \mu\text{g/L}$).

En la época de lluvias 2012 las concentraciones de nitritos variaron entre los $336 \mu\text{g/L}$ y los $1490 \mu\text{g/L}$, siendo boca Anchicayá ($1490\mu\text{g/L}$) y frente Anchicayá ($1370\mu\text{g/L}$) las estaciones que presentaron mayores concentraciones (Figura 5.2.9). Las estaciones de la costa sur en las dos épocas se encontraron en el promedio histórico río San Juan, B. San Juan y F. río San Juan en la zona norte (Figura 5.2.10).

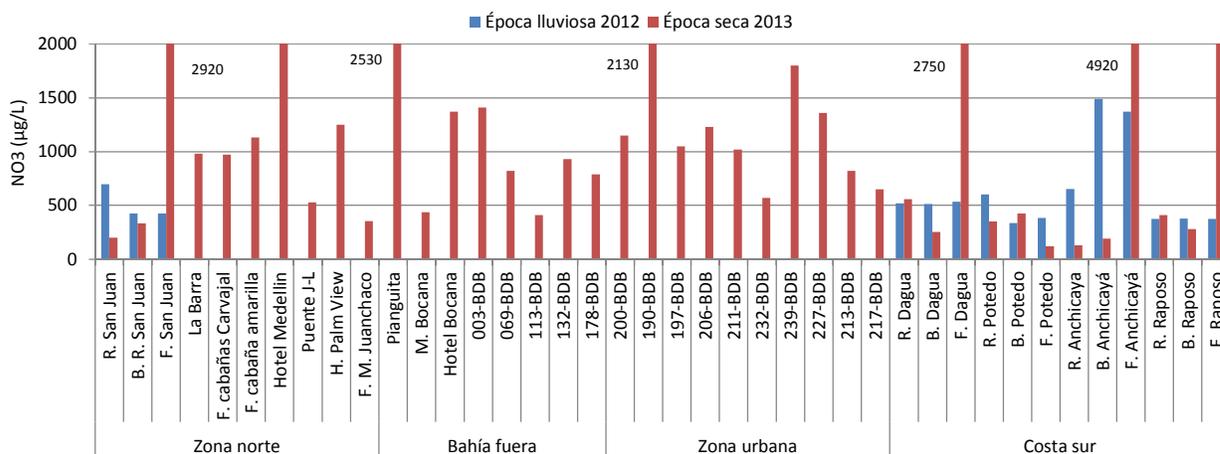


Figura 5.2.9. Concentraciones de nitratos ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Valle del Cauca, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

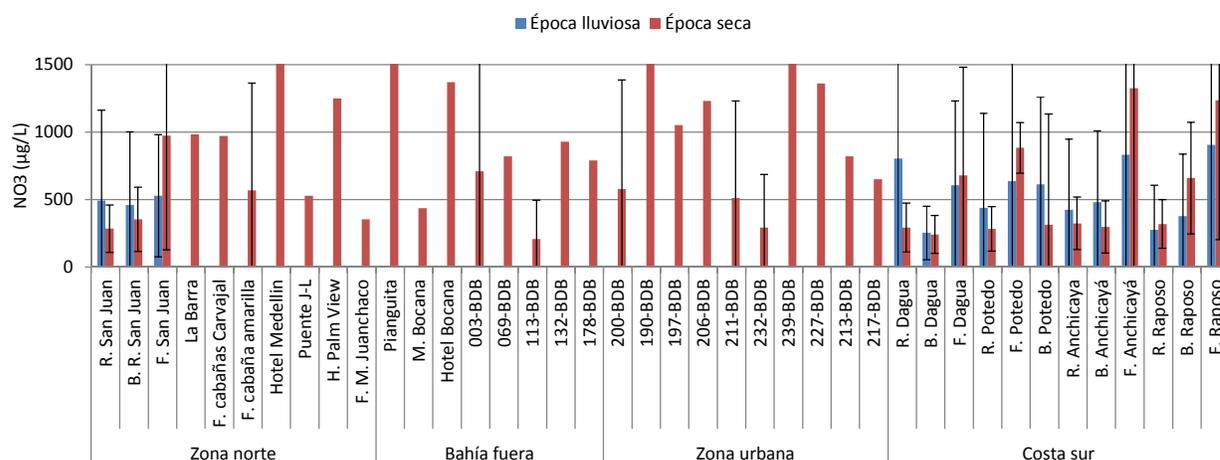


Figura 5.2.10. Concentraciones promedio de nitratos ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Valle del Cauca. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

Las mayores concentraciones de amonio se presentaron en la época lluviosa 2012, en la zona norte en las estaciones del río San Juan ($1090 \mu\text{g/L}$), boca San Juan ($2350 \mu\text{g/L}$), y en la costa sur en las estaciones del río Dagua ($1810 \mu\text{g/L}$), frente a Potedó ($1990 \mu\text{g/L}$) R. Anchicayá, ($1090 \mu\text{g/L}$) y boca Anchicayá ($1090 \mu\text{g/L}$) relacionadas con el aporte de las lluvias y la entrada de estos nutrientes a través de aguas residuales domésticas urbanas (Tombesi *et al.*, 2000). En la época seca 2013 las estaciones que presentaron concentraciones de amonio fueron F. San Juan ($1065 \mu\text{g/L}$) en la zona norte y 217-BDB ($1200 \mu\text{g/L}$) en la costa sur, sin embargo estos valores se encuentran dentro el intervalo del promedio histórico (Figura 5.2.11). Las concentraciones de amonio de las demás estaciones estuvieron por debajo del límite de detección del método $<1,06 \mu\text{g/L}$.

En cuanto al FRS las concentraciones en la mayoría de las estaciones en ambas épocas climáticas estuvieron por debajo del límite de detección del método ($0,64 \mu\text{g/L}$), excepto 190 ($930 \mu\text{g/L}$) y 217 ($87 \mu\text{g/L}$) en la época lluvia 2012. Las estaciones que presentaron FRS se encuentran en el intervalo del promedio histórico (Figura 5.2.12).

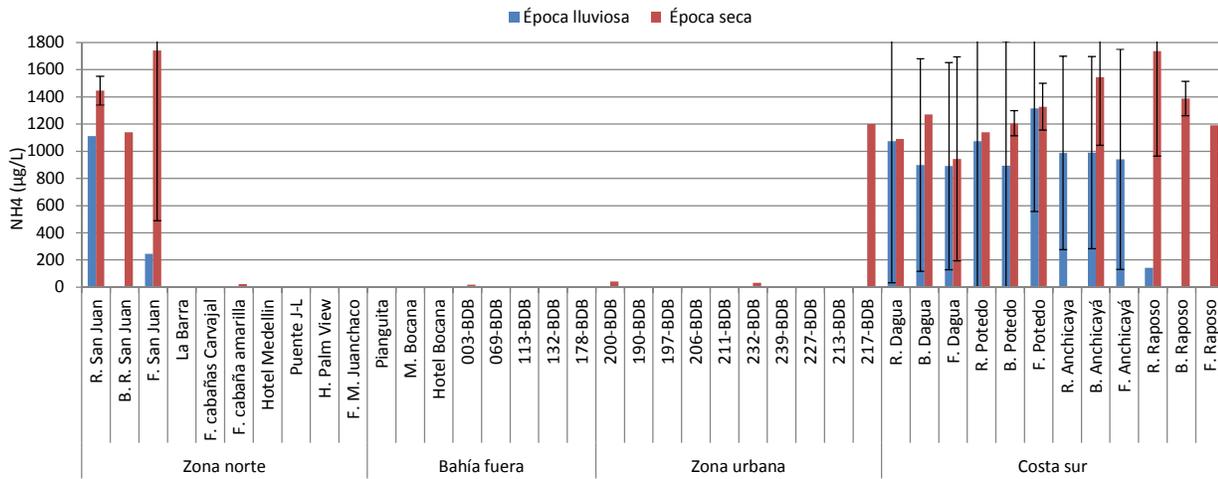


Figura 5.2.11. Concentraciones promedio de amonio (µg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Valle del Cauca. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

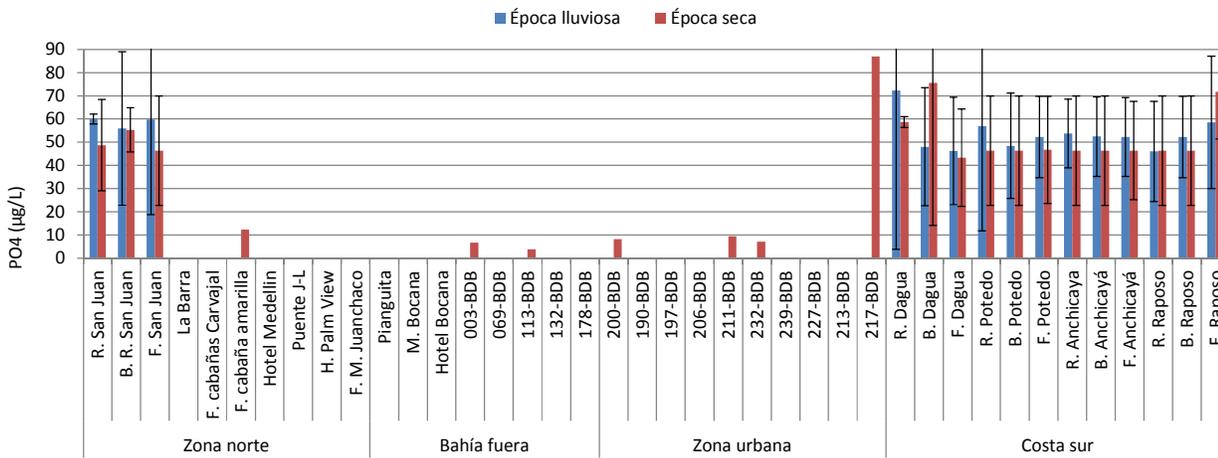


Figura 5.2.12. Concentraciones promedio de FRS (µg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Valle del Cauca. Las barras de error representan las desviaciones estándar.

5.2.2 Contaminación Microbiológica

En la Figura 5.2.13 se muestran las concentraciones de Coliformes Totales (CTT) medidas en las estaciones de las 4 zonas monitoreadas en el departamento; los valores más altos se registraron en la zona urbana (1.500 NMP.100 mL⁻¹ a 2.400.001 NMP.100 mL⁻¹), sobrepasando los límites establecidos por la legislación nacional para el desarrollo de actividades de contacto primario (< 1.000 NMP.100 mL⁻¹) y contacto secundario (< 5.000 NMP.100 mL⁻¹) (MinSalud, 1984), por lo que las altas concentraciones son atribuidas a la influencia de las actividades que se desarrollan en la zona y por las descargas de aguas residuales domésticas e industriales sin previo tratamiento (Vivas-Aguas *et al.*, 2012). En cuanto a las concentraciones medidas en los principales tributarios del departamento, superaron los límites permisibles para contacto primario y secundario, donde los ríos Raposo y Dagua registraron concentraciones de 66.000 NMP.100 mL⁻¹ para la época lluviosa 2012, mientras que para la época seca 2013 nuevamente el

R. Dagua incumple junto con el R. Anchicayá con valores de 110.000NMP.100 mL⁻¹, evidenciando el recurrente detrimento de la calidad de sus aguas causado por las descargas de aguas residuales que se realizan directamente por las poblaciones ribereñas (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

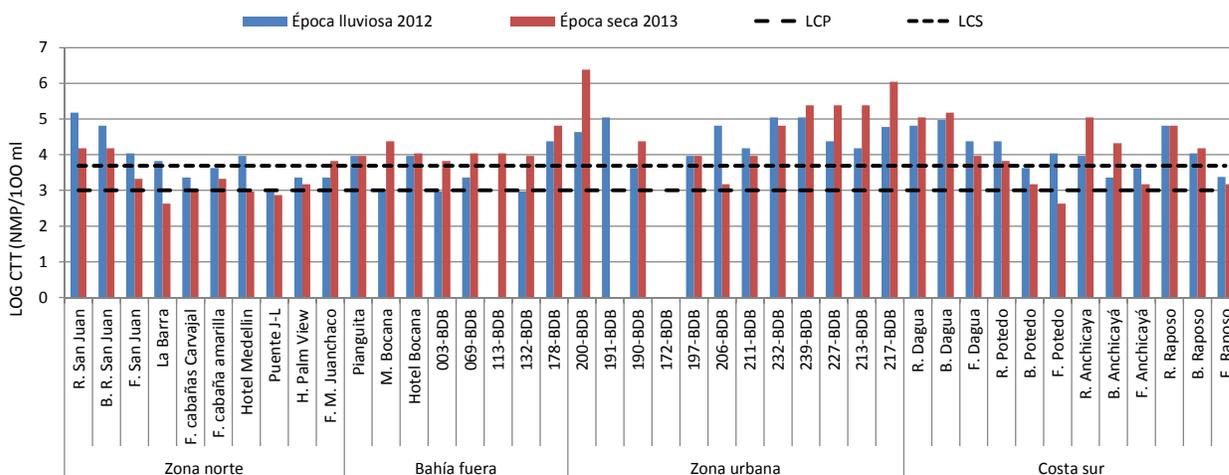


Figura 5.2.13 Concentraciones de Coliformes Totales (LOG NMP.100 mL⁻¹) medidas en las aguas superficiales del departamento del Valle del Cauca en la época lluviosa 2012 y época seca 2013. La línea cortada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (LCP: <1.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) y la línea punteada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (< 5.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

En cuanto a las playas de interés turístico, la evaluación de la calidad se realizó mediante la medición de los Coliformes Termotolerantes (CTE) teniendo en cuenta el límite establecido para el desarrollo de actividades de contacto primario (< 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984). Durante el período evaluado, la tendencia temporal no evidenció diferencias significativas ($p > 0,05$), sin embargo las concentraciones más altas se presentaron en la época lluviosa 2012, con valores que oscilaron entre 360 NMP.100 mL⁻¹ a 4.300 NMP.100 mL⁻¹, donde todas las estaciones evaluadas sobrepasaron el límite permisible, así como para la época seca 2013 los valores estuvieron entre 150 NMP.100 mL⁻¹ a 4.300 NMP.100 mL⁻¹ donde la única estación que no sobrepasó el límite fue La Barra (Tabla 5.2-1). A nivel histórico, los mayores casos de incumplimiento se presentaron durante la temporada seca, donde F. cabañas Carvajal (80 %), Hotel Medellín y H. Palm View (ambas 70 %) presentaron condiciones no aptas para el desarrollo de actividades recreativas como la natación y el buceo.

Tabla 5.2-1 Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE NMP.100 mL⁻¹) medidas en las épocas climáticas lluviosa 2012 y seca 2013. En negrilla se muestran los valores que superan el límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (< 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984).

Zonas	Playa	Época Lluviosa 2012			Época Seca 2013		
		(NMP. 100 mL ⁻¹)	% casos*	n**	(NMP. 100 mL ⁻¹)	% casos*	n**
Zona norte	La Barra	2400	42	12	150	40	10
	F. cabañas Carvajal	2300	50	12	430	80	10
	Hotel Medellín	1500	50	12	230	70	10
	Puente J-L	360	50	12	200	60	10
	H. Palm View	360	67	12	230	70	10
Bahía fuera	Pianguita	910	50	12	4300	67	9
	Hotel Bocana	4300	58	12	930	56	9

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible establecido en el decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE < 200 NMP.100 mL⁻¹).

**Número de datos existentes por época climática.

5.2.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD, fueron detectadas únicamente en el período de lluvia 2012 donde oscilaron en un rango entre < 0,75 µg/L y 23,5µg/L, donde las mayores concentraciones se presentaron en las todas estaciones de la bahía interna de Buenaventura las cuales superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas no contaminadas (Unesco, 1984; Figura 5.2.14). Para la época seca de 2013 las concentraciones de hidrocarburos en todas las estaciones del departamento se encontraron por debajo del Límite de detección del método (0,12µg/L). Los residuos de hidrocarburos que se presentan en el departamento se deben principalmente a la actividad portuaria, turismo, transporte marítimo, venta de combustibles, lavaderos de vehículos y descarga de aguas residuales domésticas e industriales.

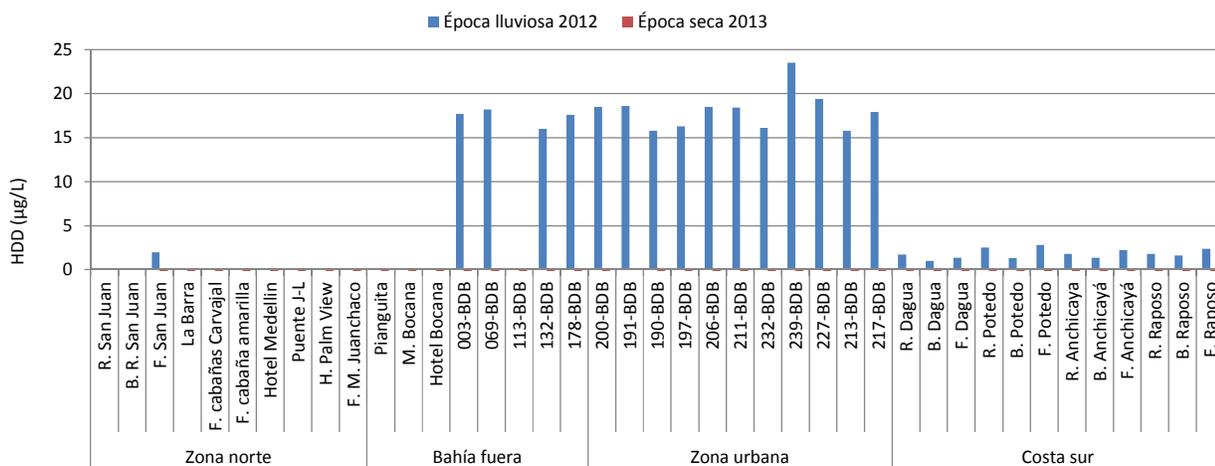


Figura 5.2.14. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales del departamento del Valle del Cauca en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

El análisis temporal muestra diferencias significativas ($p > 0,05$), de los registros históricos de HDD medidos desde 2001 al 2013, donde las concentraciones promedio más altas en la época de lluvias fueron en las estaciones ubicadas en la bahía de Buenaventura 003-BDB ($3,31 \pm 6,17 \mu\text{g/L}$) y 178-BDB ($2,38 \pm 4,83 \mu\text{g/L}$) de la zona Bahía Afuera y en la zona Urbana en 206-BDB ($3,05 \pm 5,77 \mu\text{g/L}$) y 217-BDB ($2,51 \pm 5,13 \mu\text{g/L}$; Figura 5.2.15). Esto se debe principalmente a la actividad portuaria y turística, vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales y venta de combustibles.

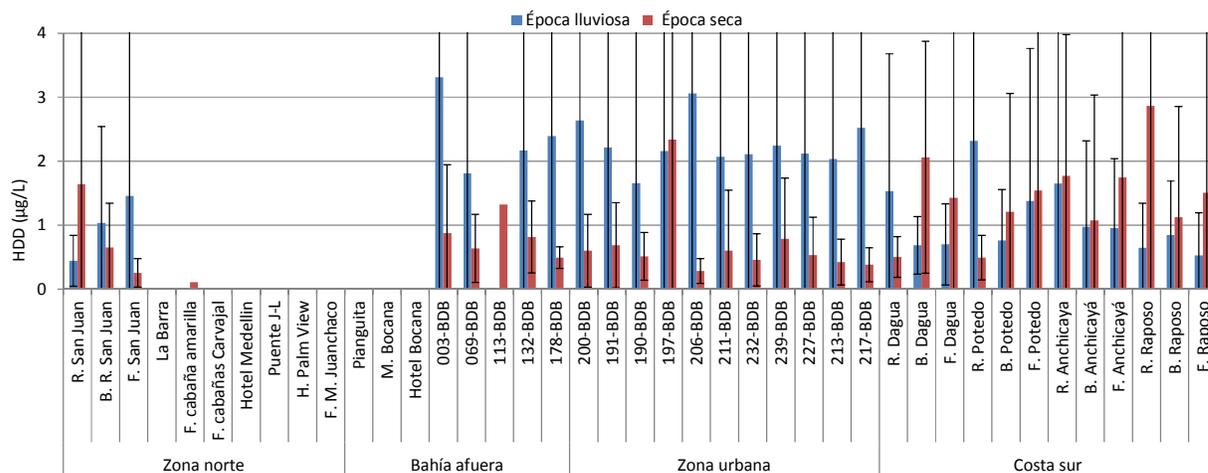


Figura 5.2.15. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales del departamento del Valle del Cauca en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

La variación interanual muestra diferencias ($p < 0,05$) entre años, al registrar concentraciones de HDD superiores al valor de referencia para aguas no contaminadas en los años 2006 en las estaciones de la bahía de Buenaventura 206; en 2010 en 003 ($15,10 \mu\text{g/L}$), Frente al río San Juan ($10,70 \mu\text{g/L}$) y el río Anchicayá ($10,10 \mu\text{g/L}$), en 2011 en 197 ($11,10 \mu\text{g/L}$) y en 2012 en las estaciones ubicadas en la bahía de Buenaventura 003 ($17,7 \mu\text{g/L}$), 069 ($18,2 \mu\text{g/L}$), 132 ($16,0 \mu\text{g/L}$), 178 ($17,6 \mu\text{g/L}$), 190 ($15,8 \mu\text{g/L}$), 191 ($18,6 \mu\text{g/L}$), 197 ($16,3 \mu\text{g/L}$), 200 ($18,5 \mu\text{g/L}$), 206 ($18,5 \mu\text{g/L}$), 211 ($18,4 \mu\text{g/L}$), 213 ($15,8 \mu\text{g/L}$), 217 ($17,9 \mu\text{g/L}$), 227 ($19,4 \mu\text{g/L}$), 232 ($16,1 \mu\text{g/L}$) y 239 ($23,5 \mu\text{g/L}$).

5.2.4 Conclusiones

La calidad de las aguas marino costeras del Valle del Cauca se encuentran afectadas por los ríos que desembocan en litoral, las aguas residuales domésticas e industriales que realiza el municipio de Buenaventura y el puerto marítimo.

Los valores de pH, salinidad y oxígeno disuelto se registraron dentro de los rangos de variación histórica del departamento y los criterios establecidos en la legislación colombiana. Algunas de las estaciones de la Zona Urbana registraron concentraciones de oxígeno disuelto por debajo del valor de referencia para la preservación de la vida acuática; sin embargo, siguen la tendencia observada históricamente en la zona y muestran la influencia de los asentamientos urbanos y la actividad industrial y portuaria de la ciudad de Buenaventura. En el valle del cauca el mayor aporte de nitrógeno en ambas épocas se deben a los ríos Dagua, Anchicayá y Raposo en la Costa Sur y el Río San Juan en la zona Norte, así como las aguas residuales provenientes de la zona urbana, que realizan importantes aportes de sólidos suspendidos, nutrientes inorgánicos y coliformes.

La calidad microbiológica de las playas durante la época lluviosa 2012 presentó condiciones no aptas para el desarrollo de actividades recreativas como la natación y el buceo, mientras que en la época seca 2013, las playas de Juanchaco y Ladrilleros (cabañas Carvajal y hotel Medellín) evidenciaron un detrimento de la calidad por los casos de incumplimiento respecto al registro histórico. Mientras que las estaciones ubicadas en la bahía de Buenaventura sobrepasaron el valor de referencia para hidrocarburos para aguas contaminadas colocando en riesgo el desarrollo de las especies hidrobiológicas.

Cauca



Bombas flotantes de combustible sobre el río Guapi - Cauca. Foto: José Sánchez

5.3 CAUCA

El departamento del Cauca está situado en el sur del país, en la región de la llanura del Pacífico entre los 01° 00' y 03° 22' de latitud norte y los 75° 52' y 78° 00' de longitud oeste. La Cuenca Pacífico abarca el 33 % del departamento y comprende el área de drenaje al mar, de las corrientes que se originan en la cordillera Occidental. Los principales ríos que llegan a la zona costera son Micay, Guapi, Timbiquí y Naya (CRC, 2002). En este departamento, la REDCAM cuenta con 15 estaciones, distribuidas en tres zonas: López-Timbiquí, Guapi e Isla Gorgona (Vivas-Aguas *et al.*, 2012; Figura 5.3.1).

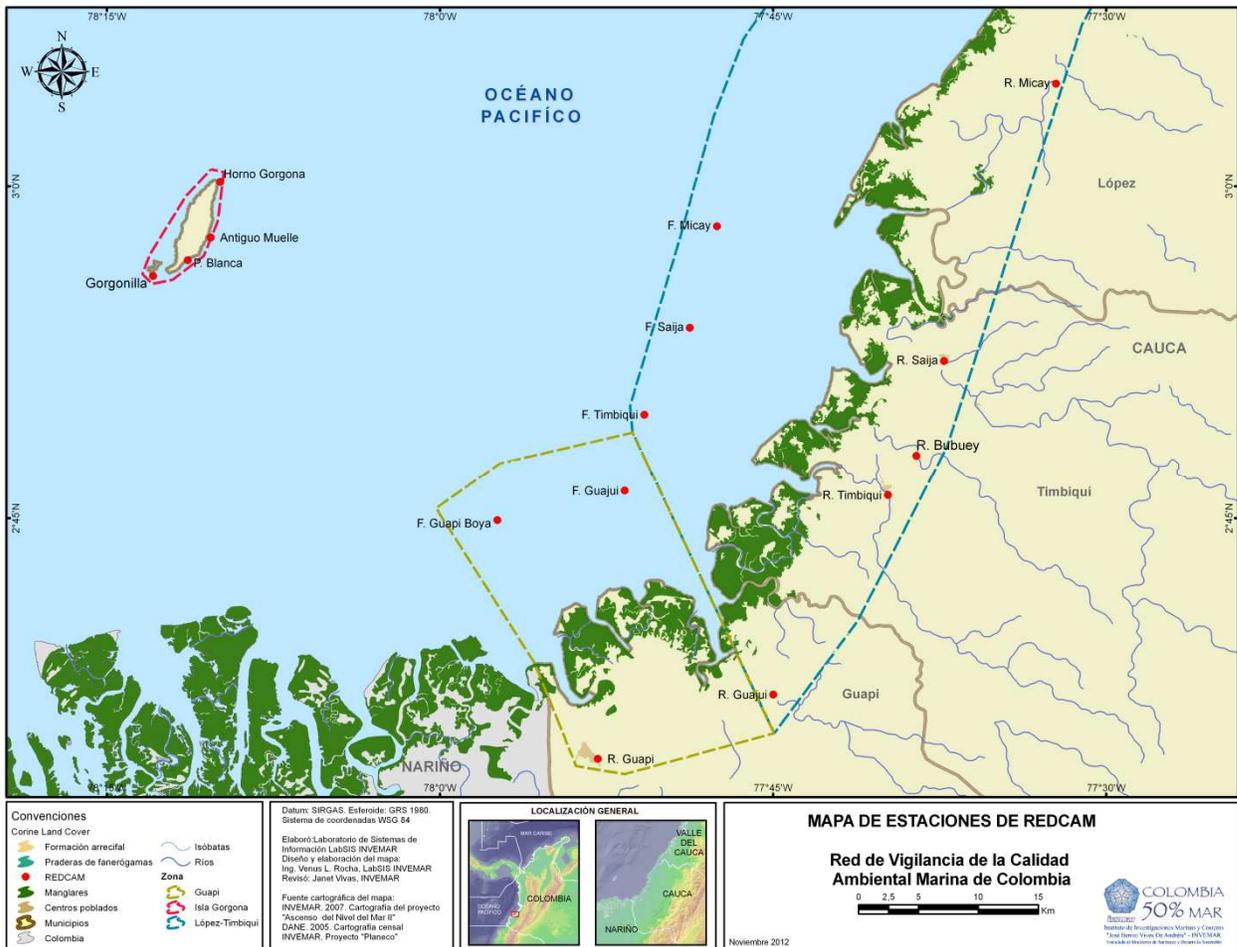


Figura 5.3.1. Estaciones y zonas de muestreo REDCAM en el departamento del Cauca.

En el departamento del Cauca las condiciones climáticas están determinadas fundamentalmente por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que genera precipitación durante el año que responde a una distribución de tipo bimodal, que se caracteriza por la presencia alternada de dos temporadas muy lluviosas y las “relativamente” menos lluviosas (Vivas-Aguas *et al.*, 2012). La primera temporada lluviosa se inicia normalmente en el mes de abril y se prolonga hasta finales de junio; su máxima intensidad se presenta en abril en la zona Sur y en el mes de mayo en las zonas Norte y Central. La segunda temporada lluviosa, la más intensa, incluye el periodo de septiembre -noviembre, en las zonas norte y Central; y octubre–diciembre en la zona Sur, con máximas intensidades en Octubre y Noviembre. La temporada menos lluviosa, en general tiene lugar en el lapso comprendido entre los meses de diciembre y marzo,

cuando la ZCIT se encuentra en el Sur y no ejerce influencia condicionante en la Región del Pacífico; excepto en la zona Sur donde la ZCIT logra que éste no sea el periodo menos lluvioso sino que sean los meses de julio, agosto y parte de septiembre cuando la ZCIT está en el Norte del país. (CRC, 2009).

La Isla Gorgona está a 30 km del continente (Costa Pacífica Colombiana), localizada en la zona intertropical ecuatorial, por lo que influye grandemente en su clima y vegetación. Declarada Parque Natural Nacional en 1980 por su carácter insular, la presencia de asociaciones vegetales particulares y la alta diversidad biológica marina, convirtiéndose en la única área protegida en el Pacífico colombiano que está constituida principalmente por ambiente marino, (Giraldo *et al.*, 2008). Es importante destacar que en la zona de influencia de isla Gorgona, se encuentran dos de los arrecifes coralinos más desarrollados y diversos del Pacífico oriental tropical, y el más grande del Pacífico Colombiano (Glynn, 1982; Zapata *et al.*, 2001 ; Giraldo *et al.*, 2008).). El presente informe se enfoca en los resultados de los muestreos realizados entre el 7 y 8 de noviembre del 2012 (época de alta precipitación) y entre el 23 y 24 de abril de 2013 (época de baja precipitación), en consecuencia los gráficos y el análisis de los datos se muestran como la época lluviosa 2012 y época seca de 2013, respectivamente, con el propósito de ser coherentes con el análisis nacional de todos los departamentos.

5.3.1 Variables Físicoquímicas

5.3.1.1 *In situ*

Temperatura

El comportamiento de los parámetros físicoquímicos en las aguas superficiales del departamento del Cauca respondió a diferentes factores; como el régimen climático marcadamente bimodal, los aportes continentales de los principales ríos, y las escorrentías urbanas y agrícolas. Durante el periodo de análisis 2012 y 2013 no se observaron diferencias ($p < 0,05$) entre épocas en la zona de estudio; en la época lluviosa 2012 la temperatura osciló entre 24,1 °C y 28,5 °C (promedio $26,8 \pm 1,3$ °C), para la época seca 2013 los valores se encontraron entre 25,8 °C y 29,3 °C (promedio $28,3 \pm 1,2$ °C; Figura 5.3.2.) Las variaciones más significativas entre épocas se presentaron en las estaciones fluviales y estuarinas, destacándose el Río Saija (25,3 °C – 28,8°C), con un incremento de 3,6 °C en época seca posiblemente debido a una disminución en la profundidad lo que permite mayor radiación solar.

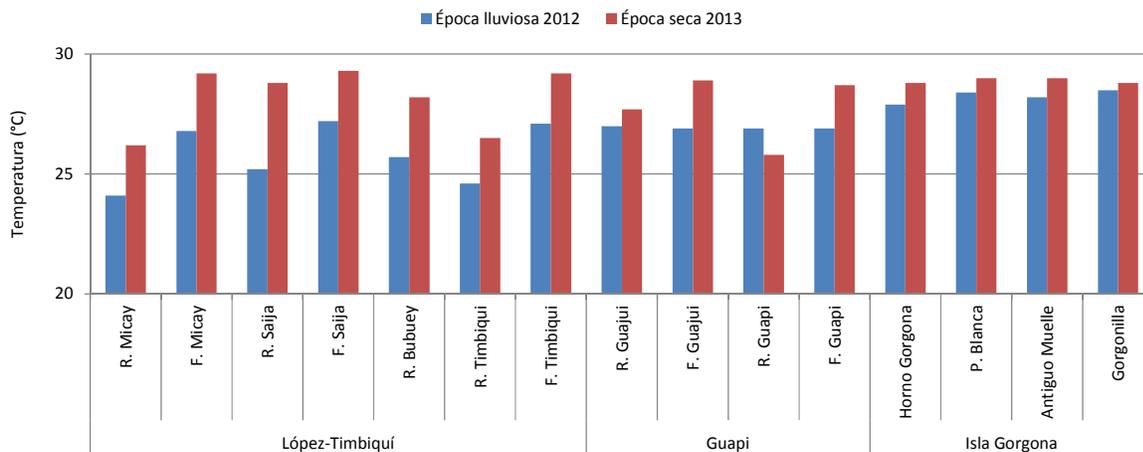


Figura 5.3.2 Temperatura (°C) superficial del agua medida en 3 zonas del departamento de Cauca durante la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013

Las estaciones ubicadas en la Zona de Isla Gorgona son de especial interés debido a que esta área posee algunos de los arrecifes coralinos más desarrollados y que alojan las comunidades de organismos más diversas del Pacífico americano (Lináset *et al.*, 1990). En la época lluviosa 2012 el promedio de temperatura en esta zona fue de $28,3 \pm 0,3$ °C y en época seca de $28,9 \pm 0,1$ °C, igualmente, los datos históricos (2001-2013) muestran que la temperatura media es $28,0 \pm 0,1$ °C en época lluviosa y de $27,9 \pm 0,2$ °C en época seca; lo cual evidencia que la zona presenta valores más elevados respecto al promedio departamental acercándose a los 30 °C, temperatura asociada a efectos de degradación de corales por blanqueamiento (Kleypas y Hoegh-Guldberg, 2008; Graham *et al.*, 2008).

Salinidad

El comportamiento de la salinidad durante el periodo 2012 - 2013 fue coherente con el registrado históricamente. En las estaciones ubicadas en la isla Gorgonano se observaron grandes variaciones entre épocas (Figura 5.3.3). En las estaciones frente a los ríos las aguas presentaron una notable variación de la salinidad por el proceso de mezcla particularmente en época de lluvias, que se pudo observar más claramente frente a Micay (lluvia: 14,9 y seca: 26, 7) y frente a Timbiquí (lluvia: 17,0 y seca: 23,6), con un aumento de 11,8 y 6,6 unidades respectivamente en la época seca, mostrando como los factores hidrodinámicos, el régimen de mareas y las descargas de los diferentes efluentes continentales influyen en el comportamiento espacial y temporal de la salinidad en las aguas costeras del departamento del Cauca.

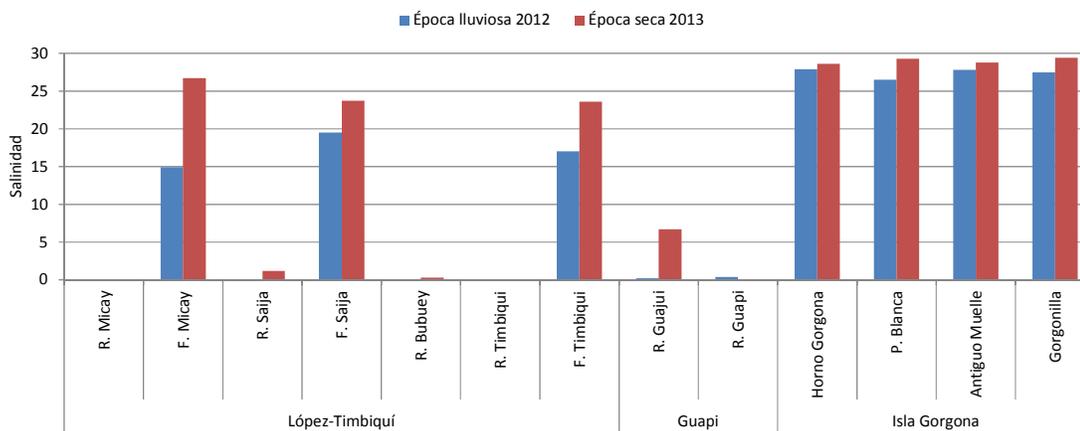


Figura 5.3.3 Salinidad del agua superficial en 3 zonas del departamento del Cauca medida en la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

pH

Los valores de pH de las aguas superficiales del departamento no presentaron variaciones significativas entre épocas ($p > 0,05$ - Statgraphics. R). Así, tanto en la época lluviosa 2012, como en época seca 2013 el promedio fue de $8,2 \pm 0,4$ (Figura 5.3.4). En la mayoría de estaciones los valores de pH se ubicaron dentro de los criterios de calidad permisibles de 6,5 a 8,5 y 4,5 a 9,0 para aguas marinas y fluviales respectivamente, establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para preservación de fauna y flora (Minsalud, 1984), a excepción de las estaciones de la zona Isla Gorgona donde el promedio en época lluviosa fue de $8,5 \pm 0,1$ y en época seca de $8,6 \pm 0,1$, siendo superiores al límite máximo. Este comportamiento es característico de zonas donde la producción biológica es alta y la fijación por el fitoplancton del carbono inorgánico disuelto y su posterior transporte a las capas más profundas eleva el pH del agua superficial (Gage y Tyler, 1999; Cognetti, 2001).

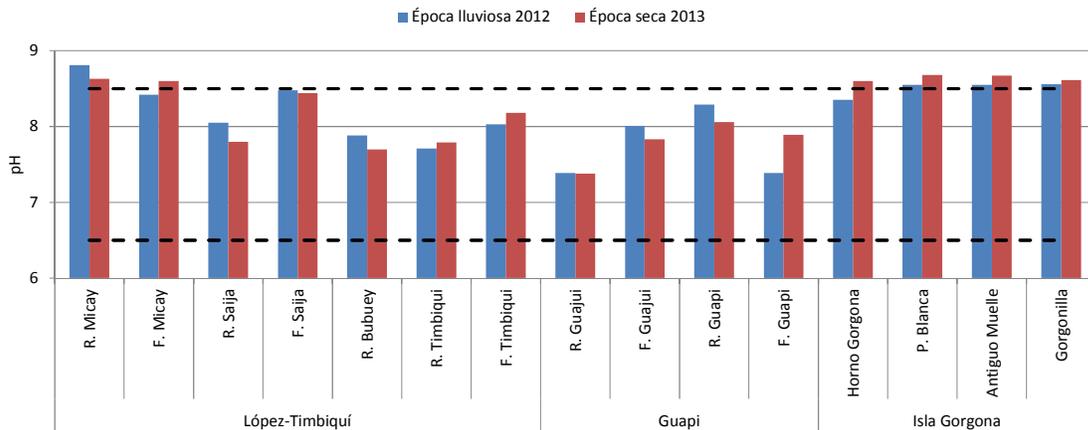


Figura 5.3.4. Valores de pH en aguas superficiales del Cauca medido en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. Las líneas punteadas representan el máximo y mínimo del Rango Permisible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984).

Oxígeno Disuelto

Los valores de oxígeno disuelto (OD) superaron los 4,0 mg/L considerado como el valor mínimo de calidad para la preservación de flora y fauna según la legislación colombiana (Minsalud,1984). Las concentraciones fluctuaron entre 5,1 mg/L hasta 6,4 mg/L (promedio $5,7 \pm 0,5$ mg/L) en la época lluviosa 2012; mientras que en la época seca 2013 el rango osciló entre 4,7 mg/L y 8,0 mg/L (promedio $6,7 \pm 0,9$ mg/L; Figura 5.3.5). Estos resultados se encontraron dentro de los rangos de variación histórica del departamento (época seca: $6,4 \pm 0,6$ mg/L y época lluviosa: $6,7 \pm 0,5$ mg/L).

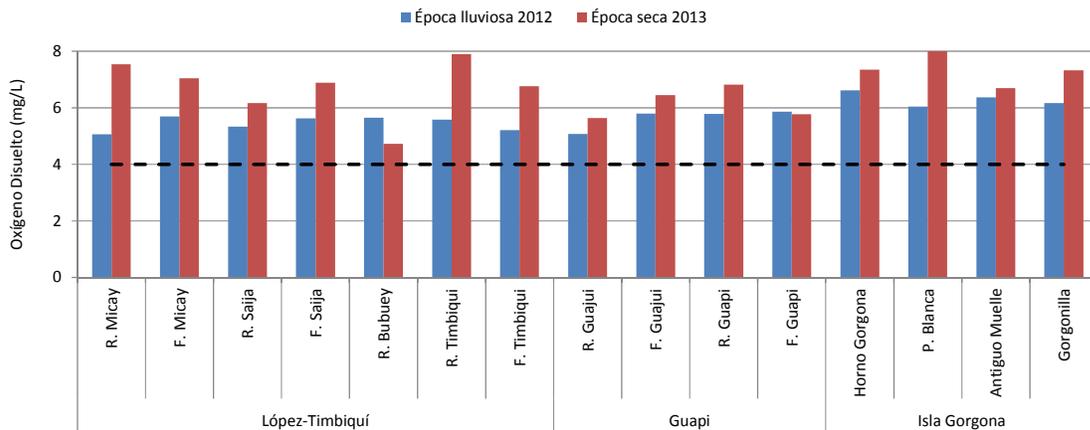


Figura 5.3.5. Oxígeno disuelto (mg/L) medido en aguas superficiales del departamento del Cauca, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea punteada representa el valor Mínimo Permisible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984)

5.3.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendedos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en la época lluviosa de 2012 fluctuaron en el rango de 12,25 hasta 80,50 mg/L, y en la época seca de 2013 entre 35,25 hasta 85,50 mg/L, enmarcándose dentro del histórico del rango promedio de la REDCAM para el departamento ($24,20 \pm 19,36$ –

157,66±160,89 mg/L). La tendencia mostró las concentraciones de SST más altas en la época seca de 2013 para todas las estaciones y en la isla Gorgona (Figura 5.3.6), y los SST más altos se midieron en las estaciones de playa Blanca (82,75 mg/L), el Horno (79,75 mg/L) y frente al río Guajüi (85.5 mg/L), que realiza un alto aporte a la zona costera al igual que Timbiquí (80,50 mg/L) y Micay (73,25 mg/L). Los SST en las aguas marinas pueden tener 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, y los datos reportados por la REDCAM en las estaciones del Parque Isla Gorgona están por encima del valor de referencia de 50 mg/L (Fabricius, 2005), sugiriendo que estos niveles de SST pueden afectar la salud de los corales del Parque.

Estas concentraciones de SST se deben a los aportes de las cuencas y a la suspensión de sedimentos debido a las mareas y oleaje. Históricamente los valores de SST han sido más bajos en la zona de Guapi por el río Guapi (27,64± 20,09 mg/L) y Guajüi (31,75± 24,75 mg/L), comparados con los ríos de la zona de López - Timbiquí, Micay (134,98 ± 134,03 mg/L), Saija (52,39± 70,20 mg/L) y Timbiquí (40,54 ± 38,55 mg/L; Figura 5.3.7).

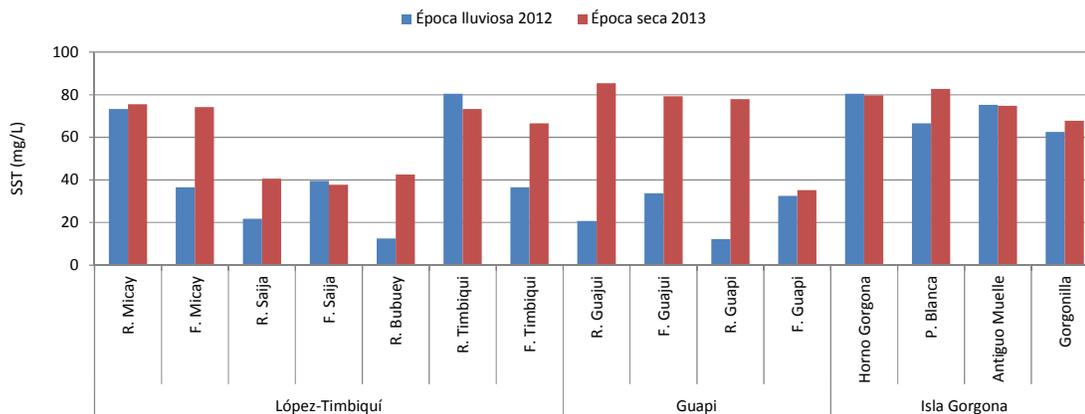


Figura 5.3.6. Concentraciones de sólidos suspendidos totales SST (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

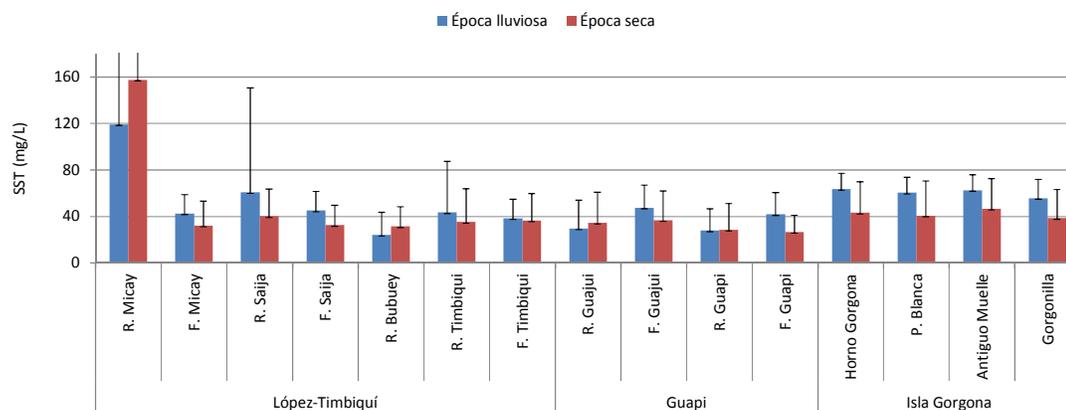


Figura 5.3.7. Promedios de Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L) medidos semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2013 en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca. Las barras de error representan las desviaciones estándares

Nutrientes

En cuanto a los nutrientes, se realizó el análisis de las formas nitrogenadas de los nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y amonio (NH_4^+), y de fósforo reactivo soluble (FRS) ó fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-). Las mediciones de estos nutrientes mostraron cambios entre épocas de muestreo, con valores que oscilaron desde <0,3 hasta 40,21 $\mu\text{g/L}$ para los NO_3^- , de 0,77 hasta 4.11 $\mu\text{g/L}$ para NO_2^- , y de <0,85 hasta 65,47 $\mu\text{g/L}$ para NH_4^+ ; y se registraron las concentraciones más altas de estos nutrientes en la época de lluvias 2012 (Figura 5.3.8, Figura 5.3.9 y Figura 5.3.10). Las mayores concentraciones de NO_3^- , se presentaron en la época de lluvias del 2012 en los ríos Micay (40,21 $\mu\text{g/L}$) y Guajú (34,45 $\mu\text{g/L}$; Figura 5.3.8). Los nitritos (NO_2^-) también presentaron los valores más altos en la época lluviosa en las estaciones río Guajú (3,89 $\mu\text{g/L}$) y frente al río Guapi (4,11 $\mu\text{g/L}$; Figura 5.3.9), no obstante cabe resaltar que los nitritos son el producto intermedio del ciclo de oxidación-reducción del nitrógeno, y en comparación con los nitratos, son menos soluble en agua y menos estables (Pacheco y Cabrera, 2003), lo cual explica sus bajas concentraciones en el medio.

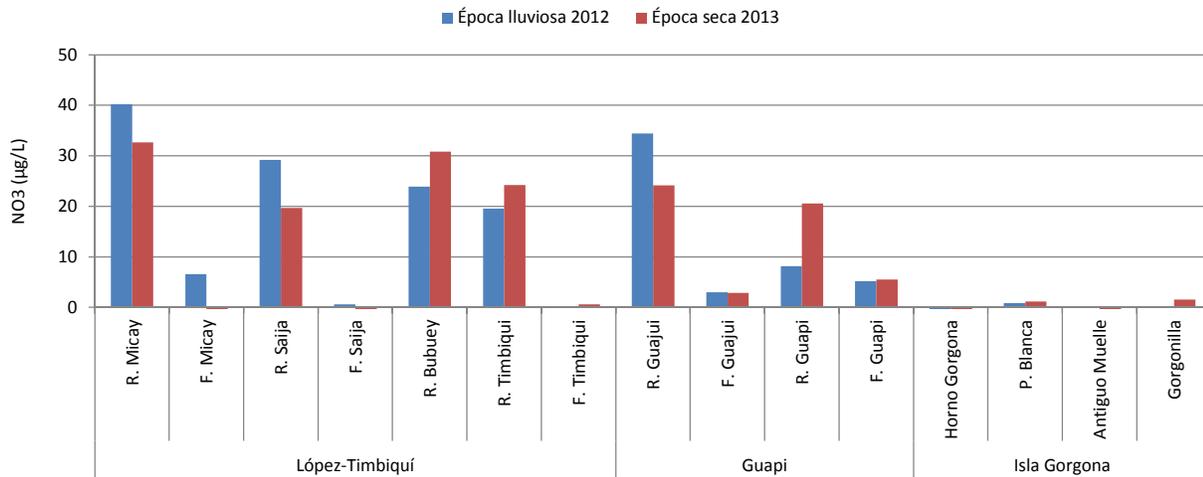


Figura 5.3.8. Concentraciones de nitrato - NO_3^- ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Cauca en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

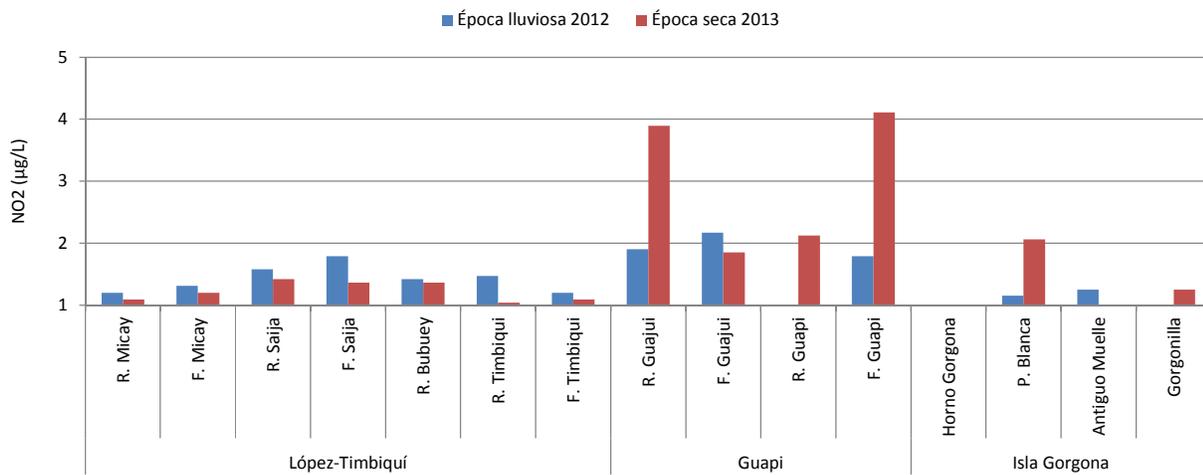


Figura 5.3.9. Concentraciones de nitrito - NO_2^- ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Cauca en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los niveles de amonio fueron más altos durante la época seca de 2013 para los ríos Guajúii (65,47 $\mu\text{g/L}$) y Bubuey (46,16 $\mu\text{g/L}$; Figura 5.3.10), tal como sucedió con las otras formas de nitrógeno, debido a la descarga directa de aguas residuales domésticas sin tratamiento de las poblaciones de Guapi, López de Micay, Noanamito, San José y la Trinidad (INVEMAR y MADS, 2011).

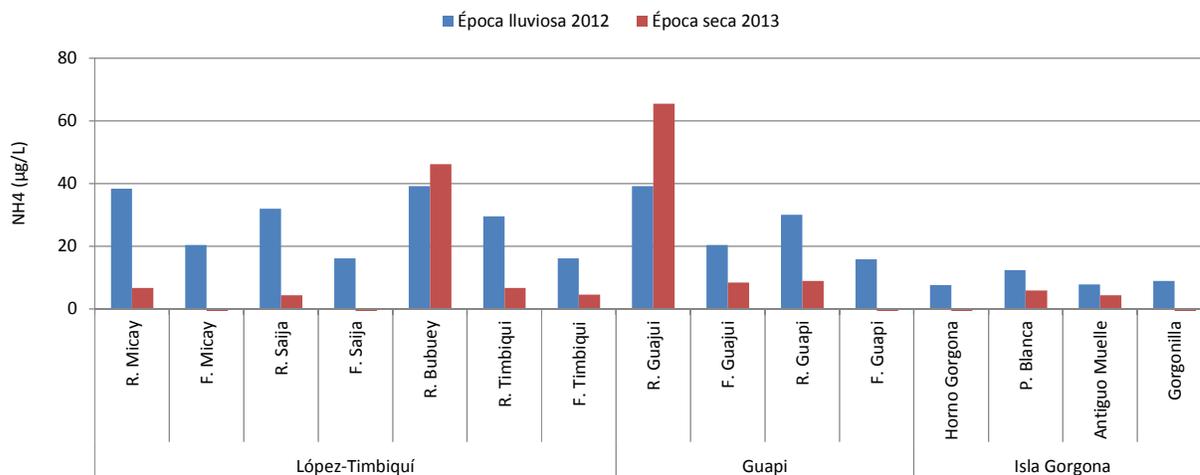


Figura 5.3.10. Concentraciones de amonio - NH_4^+ ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Cauca, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Con el Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) que corresponde a la suma de las tres formas de nitrógeno (NO_3^-), (NO_2^-) y (NH_4^+) con un valor de $14\mu\text{g/L}$ propuesto por Lapointe (1997) para indicar estados de florecimientos permanentes de macroalgas frondosas en ecosistemas coralinos o potenciales impactos sobre la fisiología de los corales; se analizaron los resultados de NID en el Parque de Isla de Gorgona, mostrando que para el periodo de estudio las concentraciones no superaron el valor referencia por lo cual no se observa un riesgo potencial de alteraciones en el arrecife coralino y condiciones para la proliferación de macroalgas (INVEMAR, 2013).

En cuanto al fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-), durante la época de lluvias de 2012 las concentraciones más altas se registraron en los ríos Micay ($52,71\mu\text{g/L}$), Saija ($45,59\mu\text{g/L}$), Guapi ($43,52\mu\text{g/L}$) y Timbiquí ($42,92\mu\text{g/L}$) y en la época seca de 2013 en los ríos Micay ($7,33\mu\text{g/L}$) y Timbiquí ($7,03\mu\text{g/L}$) y en la zona de Gorgona en las estaciones Antiguo Muelle ($9,70\mu\text{g/L}$) y Gorgonilla ($7,03\mu\text{g/L}$), debido a las descargas de aguas servidas de las poblaciones de Guapi, López de Micay, Timbiquí y Puerto Saija (Figura 5.3.11).

Los resultados de FRS fueron comparados con el valor de referencia de $3,1\mu\text{g/L}$ para ecosistemas coralinos, sugerido como el nivel que indica estados de florecimiento permanente de macroalgas frondosas (Lapointe, 1997) y con el valor de referencia para impactos potenciales a la fisiología de corales ($62\mu\text{g/L}$; Fabricius, 2005), para las estaciones ubicadas en el del Parque Isla Gorgona, donde se ubican los ecosistemas coralinos más importantes del departamento, las concentraciones registradas para el periodo de estudio, sobrepasan el nivel de referencia para el florecimiento de macroalgas. El análisis histórico, muestra que los mayores aportes de FRS a la zona costera del departamento del Cauca se han producido en las épocas de lluvias a través del río Guapi ($35,87\pm 71,00\mu\text{g/L}$).

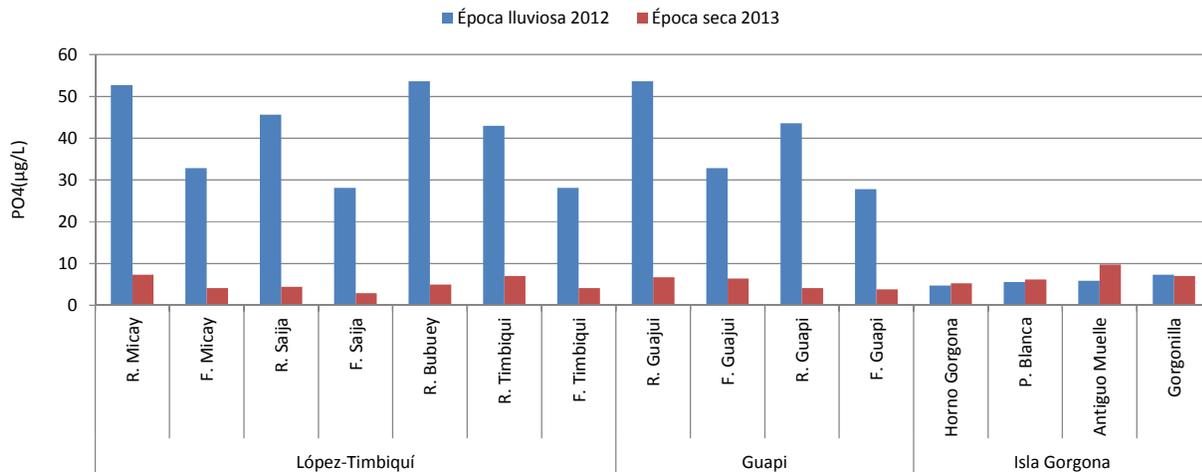


Figura 5.3.11. Concentraciones de Fósforo Reactivo Soluble - FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento del Cauca, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013

5.3.2 Contaminación Microbiológica

En la Figura 5.3.12 se muestran los promedios anuales de coliformes totales (CTT) medidos en las estaciones para las épocas lluviosa y seca, donde las concentraciones de CTT registradas en los principales tributarios del departamento, evidenció que los mayores aportes se realizaron durante la época seca 2013, con concentraciones que superaron el límite establecido para actividades de contacto primario $< 1.000 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$ y secundario $< 5.000 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$ (MinSalud, 1984), donde la máxima concentración la presentó el río Timbiquí con $54.000 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$. Históricamente, los mayores aportes de carga microbiana hacia la zona costera fueron realizados por el río Saija (época lluviosa $13.803 \pm 0,32 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$; época seca $13.182 \pm 0,56 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$), seguido del río Guapi (época lluviosa $5.370 \pm 0,99 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$; época seca $9.332 \pm 0,52 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$), superando los límites permisibles para desarrollar actividades de contacto primario y secundario.

Históricamente, la tendencia evidenció que no existen diferencias significativas entre épocas climáticas ($p > 0,05$), no obstante, para ambas épocas se presentaron casos donde la carga de CTT en los tributarios superó los límites establecidos por la legislación nacional. Generalmente, la temporada de lluvias es considerada un factor de dispersión, donde se produce un arrastre de aguas contaminadas aumentando las concentraciones microbianas (Flores *et al.*, 2011), por otra parte, los aportes de coliformes durante la época seca, provienen del vertimiento de aguas domésticas sin previo tratamiento, debido a la deficiencia de sistemas de alcantarillado en las poblaciones ubicadas alrededor de las cuencas (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

La evaluación de la calidad sanitaria de las 4 playas ubicadas en la zona de la Isla de Gorgona, se realizó mediante la medición de coliformes termotolerantes (CTE) para las épocas lluviosa 2012 y seca 2013. Durante este período de monitoreo, las concentraciones estuvieron por debajo del límite permisible para el desarrollo de actividades de contacto primario como la natación y buceo ($< 200 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$; MinSalud, 1984) y en comparación con los registros históricos, han mostrado un comportamiento similar que ha reflejado una óptima calidad sanitaria de las playas para uso recreativo, presentando solo dos casos de incumplimiento en la zona, el primero en el año 2007 (época lluviosa) en playa Blanca con $240 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$ y el segundo en el año 2009 (época seca) en Horno Gorgona con $540 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$ (INVEMAR, 2013).

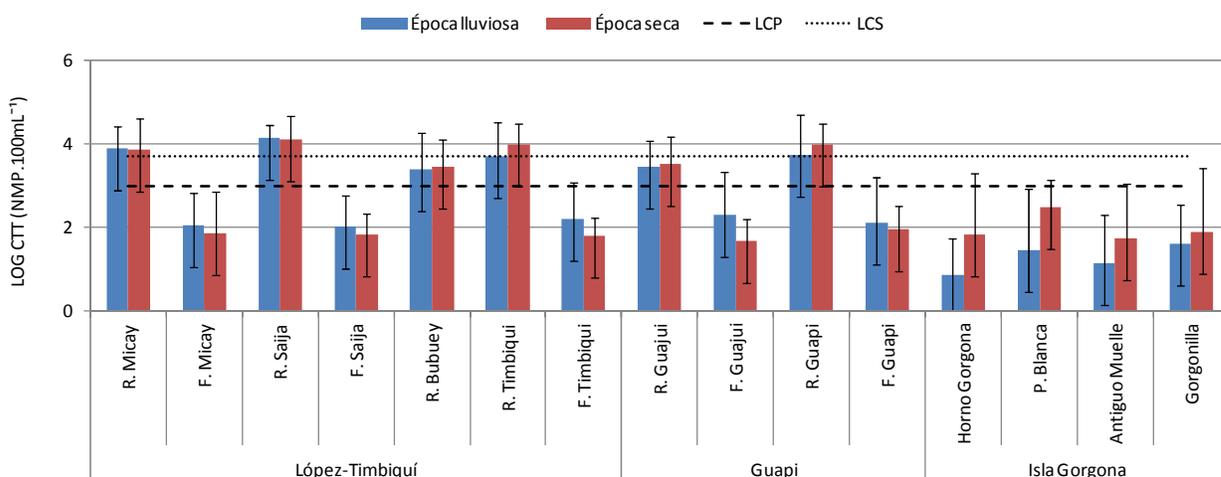


Figura 5.3.12 Concentraciones de Coliformes Totales (LOG NMP.100 mL⁻¹) medidas en las estaciones del departamento de Cauca del año 2001- 2013 en la época lluviosa y la época seca. La línea cortada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto primario (LCP) (<1.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) y la línea punteada equivale al límite de referencia para aguas destinadas a contacto secundario (LCS), actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto (< 5.000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984)

5.3.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD, en el período de lluvia 2012 y seco 2013 oscilaron en un rango entre 0,07 µg/L y 1,07 µg/L. La tendencia mostró las concentraciones más altas en la época lluviosa de 2012, en las estaciones de la Zona López-Timbiquí, frente a los ríos Timbiquí (1,07 µg/L) y Micay (0,46 µg/L) y el río Guapi (0,47 µg/L) en la zona de Guapi. Por otro lado, en la época seca de 2013, los valores más se registraron en las estaciones frente al río Saija (0,68 µg/L) y río Bubuey (0,51 µg/L) de la zona López-Timbiquí, y en la zona de Gorgona la estación Horno Norte (0,76 µg/L; Figura 5.3.13). Los residuos de hidrocarburos que se presentan en el departamento se deben a la venta de combustibles inadecuada en bombas flotantes, aguas residuales domésticas, actividad turística y transporte marítimo. 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 (UNESCO, 1984).

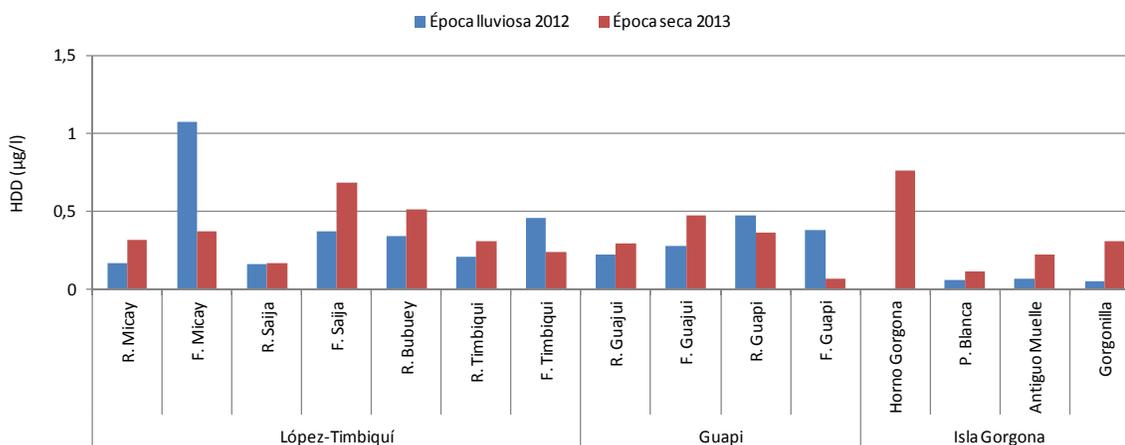


Figura 5.3.13. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (µg/L) medidas en estaciones de aguas superficiales del departamento del Cauca en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Los registros históricos de HDD medidos desde el 2001 al 2013, en las estaciones de la zona Guapi principalmente, en los ríos Guapi ($2,26 \pm 9,47 \mu\text{g/L}$) y Guajüi ($2,24 \pm 5,63 \mu\text{g/L}$) y frente Guajüi ($2,40 \pm 5,81 \mu\text{g/L}$; Figura 5.3.14). Esto se debe principalmente a los vertimientos de aguas residuales domésticas, venta de combustibles y actividad portuaria y turística.

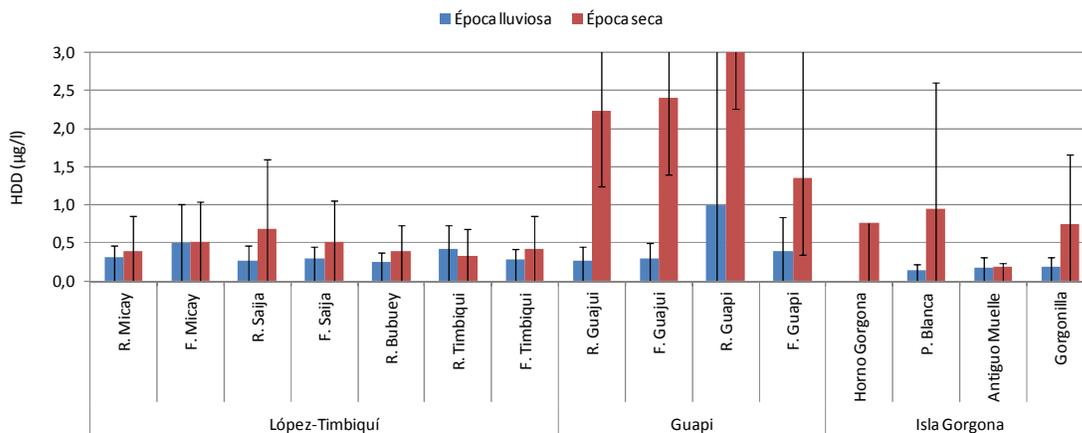


Figura 5.3.14. Promedio histórico de hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g/L}$) medidas semestralmente en estaciones de aguas superficiales del departamento del Cauca en la época lluviosa y la época seca de 2001 al 2013.

El análisis temporal mostró que no existen diferencias entre las épocas climáticas al presentar un $p=0,13$. La variación interanual 2001 a 2013 mostró diferencias ($p<0,05$), entre años, y en el año 2001 se registraron concentraciones de HDD superiores al valor de referencia para aguas no contaminadas, en los ríos Guapi ($31,80 \mu\text{g/L}$) y Guajüi ($19,10 \mu\text{g/L}$), y frente al río Guajüi ($19,60 \mu\text{g/L}$) y Frente a río Guapi ($10,30 \mu\text{g/L}$).

5.3.4 Plaguicidas

Los monitoreos realizados en el departamento de Cauca muestran un descenso en la aparición y concentración de plaguicidas organoclorados (OC) en sus aguas costeras. Históricamente los niveles más altos se registraron en los primeros años de monitoreo (2001-2004), con el tiempo la frecuencia de aparición ha descendido de un $\sim 80\%$ en los primeros seis años a niveles por debajo del límite de detección de la técnica empleada en los últimos tres, incluyendo el último periodo de monitoreo (lluvias de 2012 y seca de 2013).

Como se indicó en anteriores informes, las mayores concentraciones de OC se determinaron en la zona costera de Guapi. En el año 2001 el valor máximo fue de 94 ng/L (frente a la desembocadura de ríos), sobrepasando los niveles de alerta para plaguicidas (30 ng/L ; EPA, 1999). En el 2002 los promedios estuvieron en $8,7 \pm 4,2 \text{ ng/L}$, y en el 2004 de $8,9 \pm 6,9 \text{ ng/L}$, en los años siguientes las concentraciones no sobrepasaron los $8,1 \text{ ng/L}$. Mostrando que esta tendencia descendente en el escurrimiento de plaguicidas OC obedece a las restricciones en su uso.

Las concentraciones de OC halladas al inicio del proyecto fueron sorprendentemente altas, ya que el desarrollo agrícola en la llanura Pacífica caucana es incipiente, y se estima que entraron al medio por otras actividades además de la agricultura; como son las campañas para el control de vectores transmisores de malaria y la inmunización de la madera. Investigaciones realizadas entre 1992 y 1995, también resaltaron esta situación, en ellas se registraron valores promedios de OC de $19,2$ y $87,3 \text{ ng/g}$ en sedimentos y

organismos (bivalvos) respectivamente, los cuales son altos y 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. Las grandes variaciones y la presencia de trazas de OC suponen que los suelos están drenando sustancias que fueron aplicadas hace tiempo y que aún se encuentran en el medio debido a su persistencia. Con respecto al monitoreo de plaguicidas de “uso actual” durante los cuatro años de monitoreo se ha detectado permetrina en el 2010, en la estación Planchón Emisario (19 ng/L), en la isla Gorgona debido a su uso amplio como insecticida doméstico. Aunque no se cuenta con un nivel de referencia para efectos agudos en el medio, el valor registrado estuvo por encima del nivel de referencia para efectos crónicos en agua marina (1,0 ng/L; Buchman, 2008), lo que amerita mantener la vigilancia sobre estas nuevas sustancias que son de un uso más generalizado.

5.3.5 Metales Pesados

Para evaluar la calidad de las aguas del departamento del Cauca, desde el año 2001 se han monitoreado los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), teniendo en cuenta la importante influencia de las actividades de explotación minera (extracción de oro) llevadas a cabo en las cuencas de los ríos Timbiquí, Bubuey, Saija y Micay, además del inadecuado manejo de las aguas servidas de los municipios aledaños a las cuencas de los ríos principales y la disposición de los residuos sólidos, que puede estar relacionado con aporte de metales pesados a las aguas marinas del departamento (Vivas-Aguas et al., 2012), se amplía el monitoreo de metales, incluyendo para el presente informe los metales Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni) y Hierro (Fe).

El monitoreo de la época lluviosa de 2012, muestra que solo la estación Guapi-Boya presenta una concentración detectable de Pb (2,70 µg/L), siendo el valor más alto en el presente monitoreo. Durante la época seca de 2013, se presenta un mayor número de estaciones con concentraciones detectables de plomo, registrándose los valores más altos en las estaciones río Bubuey (1,0 µg/L) y Frente a Micay (0,8 µg/L), ambas estaciones ubicadas en la zona López-Timbiquí. En la zona Isla Gorgona, las concentraciones de Pb estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada. En general, ninguna estación superó el valor límite de riesgo referenciado en la guía internacional de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; Buchman, 2008).

El cadmio registró mayores concentraciones en época lluviosa de 2012 en estaciones de la zona López-Timbiquí: Río Micay (0,57 µg/L) y zona Isla Gorgona en Playa Blanca (4,1 µg/L), Antiguo Muelle (4,7 µg/L) y Gorgonilla (4,6 µg/L), las demás estaciones estuvieron por debajo de 3,1 µg/L. En época seca solo fue detectado en las estaciones río Bubuey (0,4 µg/L) y playa Blanca (1,0 µg/L). Ninguna de las estaciones superó los valores referenciados en guías internacionales para efectos agudos en aguas superficiales marinas (40 µg/L, Buchman, 2008). En cuanto al Cromo, la estación marina con el valor más alto durante la época lluviosa fue Frente al río Saija (4,21 µg/L) mientras que para la misma época el río Bubuey, estación fluvial, fue quien registró la concentración más alta, 3,61 µg/L. Durante la época seca el valor más alto lo registró el río Micay (2,4 µg/L) y el más bajo se registró Frente al río Micay (0,6 µg/L). En ambas épocas estacionales, la concentración de Cr disuelto estuvo por debajo del valor referenciado en guías internacionales (50 µg/L, Conama, 2005), de forma que no presenta ningún riesgo para la salud al no superarlo.

Históricamente se ha observado que los valores de Pb han presentado una tendencia a disminuir (Figura 5.3.15.), siendo las zonas López-Timbiquí y Guapi los que presentan los mayores aportes de este metal en aguas continentales y marinas (Figura 5.3.16.). Sin embargo, no se ha superado el valor establecido en la

NOAA para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L, Buchman, 2008), sugiriendo que no hay riesgo de contaminación por plomo.

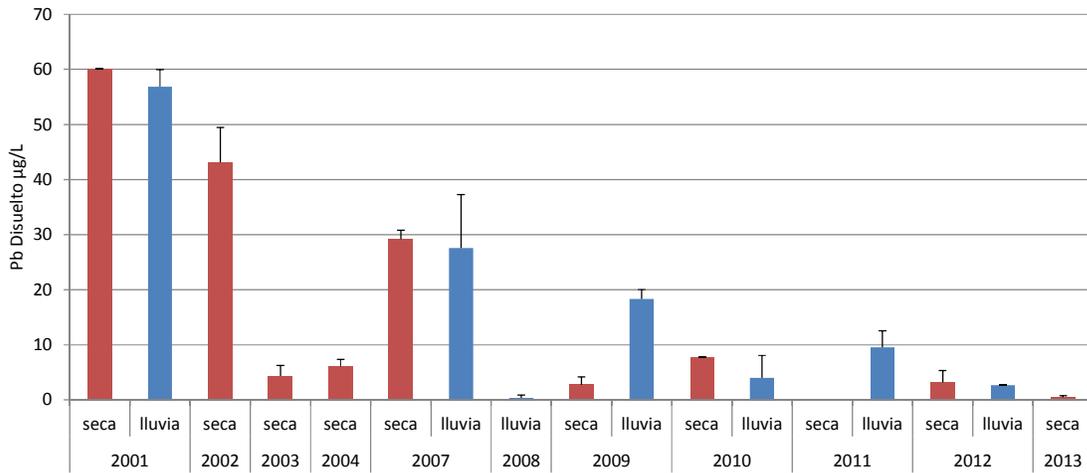


Figura 5.3.15. Concentraciones promedio de Pb disuelto (µg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento del Cauca, en la época lluviosa y seca entre 2001 y 2013

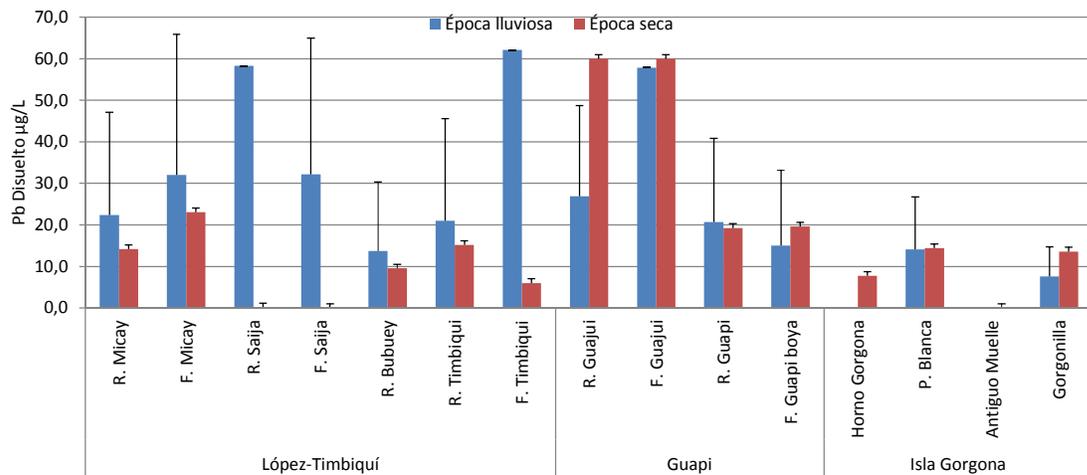


Figura 5.3.16. Concentraciones promedio de plomo disuelto (µg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca de 2001 a 2013, en estaciones de aguas superficiales del departamento del Cauca. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

El análisis histórico de Cr y Cd muestra que las mayores concentraciones se han registrado en la época lluviosa de 2009 (Cr: 9,3±2,9 µg/L; cd: 3,2±0,2 µg/L) y 2012 (Cr: 2,8±1,1 µg/L; Cd: 3,4±2,8 µg/L), estando por debajo de los valores referenciados en la guía internacional de la NOAA para efectos agudos en aguas superficiales marinas (Cd: 40 µg/L, Buchman, 2008; Cr: 50 µg/L, Conama, 1986), indicando que no existe riesgos de contaminación por estos metales en aguas marino-costeras del departamento.

Los metales Cu, Ni y Fe, presentaron el mismo patrón de distribución espacial durante la época seca de 2013, siendo las estaciones río Timbiquí (Cu: 23,3 µg/L; Ni: 14,9 µg/L; Fe: 0,82 mg/L) y río Micay (Cu: 7,7 µg/L; Ni: 10,8 µg/L; Fe: 1,33 mg/L) las que mostraron las mayores concentraciones, sin embargo, estos valores se encuentran por debajo del valor referenciado en guías internacionales para efectos agudos en aguas superficiales marinas (Cu: 4,8 µg/L; Ni: 74 µg/L; Fe: 300 µg/L (0,3 mg/L), Buchman, 2008). En

la época lluviosa de 2012, los niveles de Ni estuvieron por debajo del límite de detección y el Fe se registró como valor máximo (0,123 mg/L) en la estación Frente al río Timbiquí, mientras que el Cu fue detectado en: río Micay (0,9 µg/L), río Timbiquí (2,2 µg/L) y Frente a Guapi Boya (6,7 µg/L), siendo esta última estación la que presentó el valor más alto, llegando a superar el valor referenciado en la guía internacional de la NOAA para efectos agudos en aguas superficiales marinas, sugiriendo que este aumento está relacionado con aportes antropogénicos que son arrastrados por las lluvias llegando a las aguas marino-costeras del departamento.

Durante la época lluviosa de 2012, el Zn registró la mayor concentración en la estación antiguo Muelle (15,2 µg/L), mientras que en época seca de 2013 los valores más altos los registraron la estación Playa blanca (47,6 µg/L), río Bubuey (65,1 µg/L) y Frente a río Micay (102,8 µg/L), siendo esta última estación, quien registra el valor más alto superando el reportado en la guía de la NOAA para efectos agudos en aguas superficiales marinas (90 µg/L, Buchman, 2008).

5.3.6 Conclusiones

Las condiciones fisicoquímicas de las aguas superficiales marinas y costeras del Cauca se encontraron dentro de los rangos de variación histórica del departamento y presentaron variaciones entre la época lluviosa 2012 y seca 2013, relacionadas con la acción de los vientos, la influencia de las precipitaciones y descargas continentales. En las estaciones de la zona Isla Gorgona se continúan registrando temperaturas cercanas a 30 °C, lo cual implica un riesgo de degradación de los corales por blanqueamiento durante ambas épocas climáticas. En la mayoría de las estaciones los valores de pH y oxígeno disuelto cumplieron con los criterios establecidos en la legislación colombiana para preservación de fauna y flora.

Los nutrientes se encontraron dentro de los parámetros normales, sin superar el valor de referencia, excepto el fósforo reactivo soluble, que a largo plazo puede representar alteración en los ecosistemas coralinos presentes en la Isla Gorgona, al aumentar la proliferación de macroalgas que disminuyen la actividad fotosintética.

A nivel microbiológico, el río Saija y Guapi presentaron concentraciones de coliformes totales que superaron el límite establecido por la legislación nacional para el desarrollo de actividades de contacto primario y secundario, condiciones que se atribuyen a los poblados alrededor de sus cuencas, los cuales realizan descargas directas de aguas domésticas afectando la calidad de las aguas. Por otra parte, la calidad de las playas ubicadas en la zona de la isla Gorgona, presentaron condiciones adecuadas de saneamiento con concentraciones inferiores al límite establecido por la legislación nacional para el desarrollo de actividades como la natación y el buceo.

En la actualidad las concentraciones de HDD en aguas son inferiores al valor de referencia (<10 µg/L) de tal forma que no representan riesgos sobre las especies hidrobiológicas que se desarrollan en los diferentes ecosistemas.

El departamento de Cauca muestra un claro descenso en las concentraciones de OC desde el 2005, pasando de una frecuencia de detección de 80% en los primeros años a cero en la actualidad; mientras que los residuos de plaguicidas de “uso actual” en los últimos tres años no han representado riesgos para los organismos y los ecosistemas.

El aporte de metales en aguas marinas del departamento del Cauca está influenciado por la actividad minera que se desarrolla en las cuencas de los ríos Timbiquí, Bubuey, Saija y Micay, además, por las descargas de aguas servidas. De los siete metales analizados, solo el Cu y el Zn estuvieron por encima del valor de referencia de la NOAA en las estaciones Frente a Guapi-Boya y Frente al río Micay. Estas altas concentraciones solo se presentaron en una época temporal, por lo que es importante continuar con el

monitoreo de estos metales, de forma que se pueda establecer si es una tendencia de épocas y extender el análisis a la matriz sedimentos que da mejores indicios del destino final de estos contaminantes.

NARIÑO



Estero Pajal. Foto: Marcela Caviedes

5.4 NARIÑO

El Departamento de Nariño está situado al sur -occidente del país, en la llanura del Pacífico, entre los 00° 20' y 02° 41' de latitud Norte y a 76° 52' y 79° 10' de longitud Oeste. En este Departamento la REDCAM cuenta con 24 estaciones de muestreo distribuidas en tres zonas: la Zona Norte que se extiende desde la frontera con el departamento del Cauca (bahía de 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 de los días 22 a 24 de Octubre del 2012 (época de alta precipitación) y del 24 al 26 de junio del 2013 (época de baja precipitación), en consecuencia los gráficos y el análisis de la información se muestran como la época lluviosa 2012 y época seca de 2013 respectivamente, con el propósito de ser coherentes con el análisis nacional de todos los departamentos.

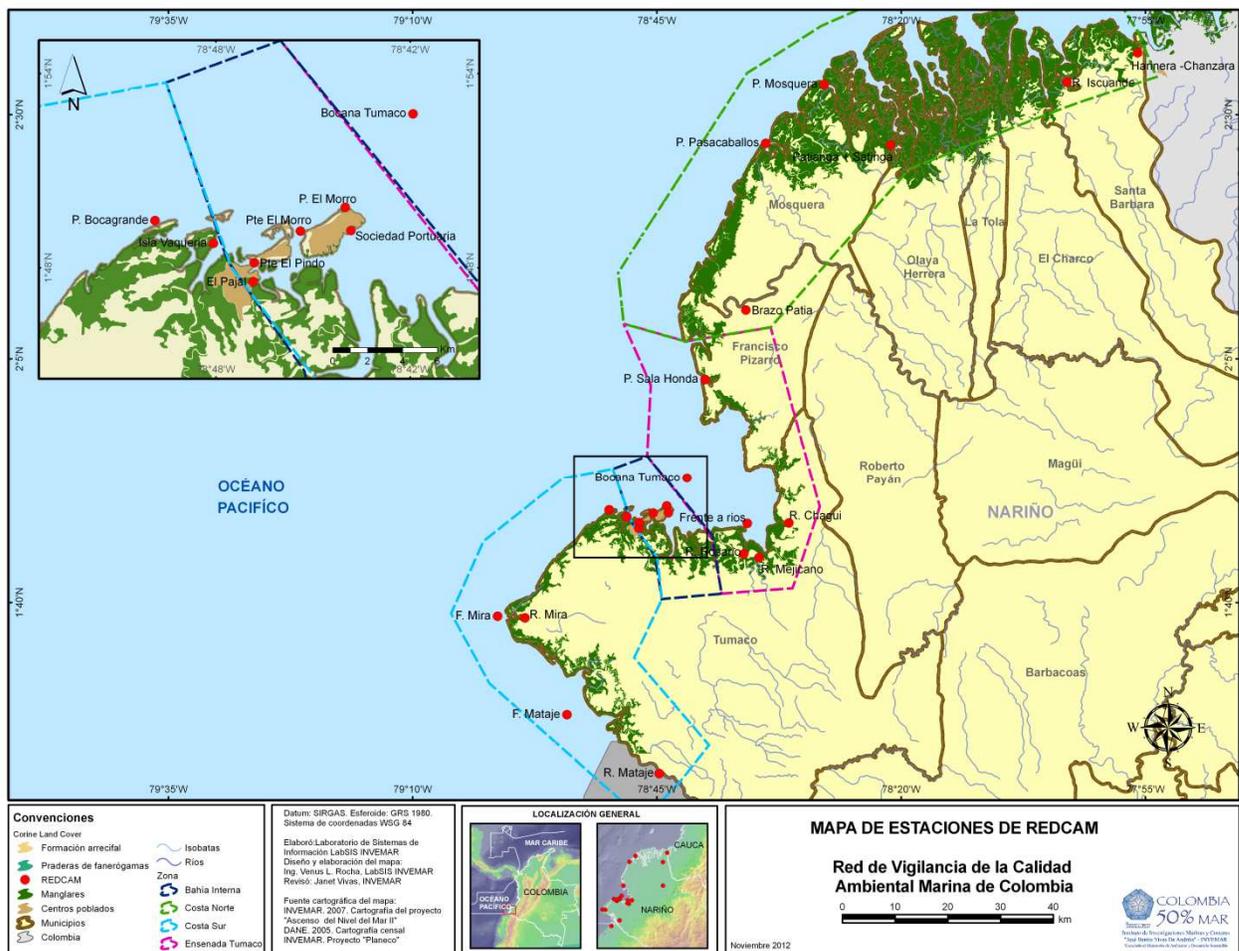


Figura 5.4.1. Estaciones y zonas de muestreo de la REDCAM en el departamento de Nariño

En la llanura Pacífica no se presenta una tendencia definida en las precipitaciones y más bien tiende a mostrar escasa diferencia entre las cantidades aportadas por cada mes en particular con valores 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 el Parque Nacional Natural Sanquianga, donde 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 encuentran los municipios costeros de Francisco Pizarro (Salahonda), Mosquera, Olaya Herrera, la Tola, El charco e Iscuandé.

La zona de la Ensenada de Túmaco está conformada por dos cuencas, la Suroriental, formada por los ríos Rosario, Mejicano, Caunapí, Gualajo e Imbilpí, y la Oriental, conformada por los ríos Changüí, Tablones, Colorado y Curay. De estos ríos, el principal es el Rosario con 530,8 Km². En esta zona se ubican el mayor número de habitantes y de actividades económicas, en el municipio de Túmaco con aproximadamente 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 sur pertenece al área del municipio de Túmaco, en ella las principales cuencas hidrográficas corresponden a los ríos Mataje y Mira, ambas transnacionales, la hoya hidrográfica del Mira correspondiente a Colombia cubre una extensión de 4800 km², y las actividades económicas que se desarrolla en estas cuencas están asociadas básicamente al cultivo de palma africana (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

5.4.1 Variables Físicoquímicas

5.4.1.1 *In situ*

Temperatura

Las aguas superficiales del departamento de Nariño presentaron variaciones en sus parámetros físicoquímicos ocasionadas por diferentes factores determinantes de la distribución tanto espacial como temporal, entre ellos los patrones complejos de corrientes superficiales propios de la región pacífica, las altas descargas de los principales ríos y las precipitaciones. Durante el periodo actual de análisis 2012 y 2013 no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$ -Statgraphics. R) entre épocas ni entre estaciones para los valores de temperatura en la zona de estudio. Para la época lluviosa 2012 la temperatura de las aguas superficiales osciló entre 25,8 °C y 29,2 °C (promedio $27,5 \pm 1,0$ °C), para la época seca 2013 los valores se encontraron entre 26,0 °C y 29,4 °C (promedio $27,7 \pm 0,8$ °C; Figura 5.4.2).

En general, el comportamiento de la temperatura durante el periodo actual de análisis fue congruente con el observado históricamente en la zona. Los valores históricos más altos para ambas épocas se registraron en las zonas de la Ensenada de Túmaco (lluvia: $28,4 \pm 0,9$ °C, seca: $27,9 \pm 0,5$ °C) y Bahía Interna (lluvia: $28,1 \pm 0,7$ °C, seca: $28,0 \pm 0,2$ °C) debido a la poca profundidad de sus aguas y a los fenómenos de conducción y convección generados por la radiación solar (Gidhagen, 1981).

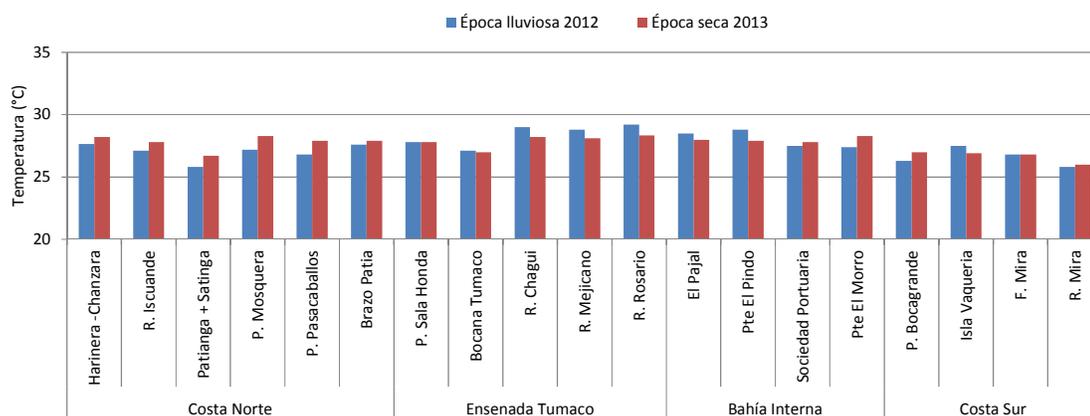


Figura 5.4.2. Temperatura (°C) superficial del agua del departamento de Nariño durante la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013

Salinidad

La salinidad presentó variaciones entre épocas, zonas y tipos de aguas. Los valores fluctuaron entre 0,0 y 28,1 para la época lluviosa 2012 y entre 0,0 y 30,9 para la época seca 2013. La tendencia general e histórica en las estaciones de carácter marino y estuarino fue a disminuir en la época lluviosa debido a influencia de las aguas continentales de ríos y quebradas ya la acción de la corriente de Colombia, que desde junio muestra una “lengua” de aguas con salinidades ligeramente menores se prolonga desde la zona costera sur hacia el norte llegando al golfo de Panamá, aunque esto depende de factores como la hora y estado de las mareas y de la posición con respecto a la longitud del estuario (Cantera, 1991). Las salinidades más altas se presentaron al exterior de las bahías de mayor influencia marina (época lluviosa: Bocana Tumaco 28,1 y época seca: P. Bocagrande 30,9; Figura 5.4.3).

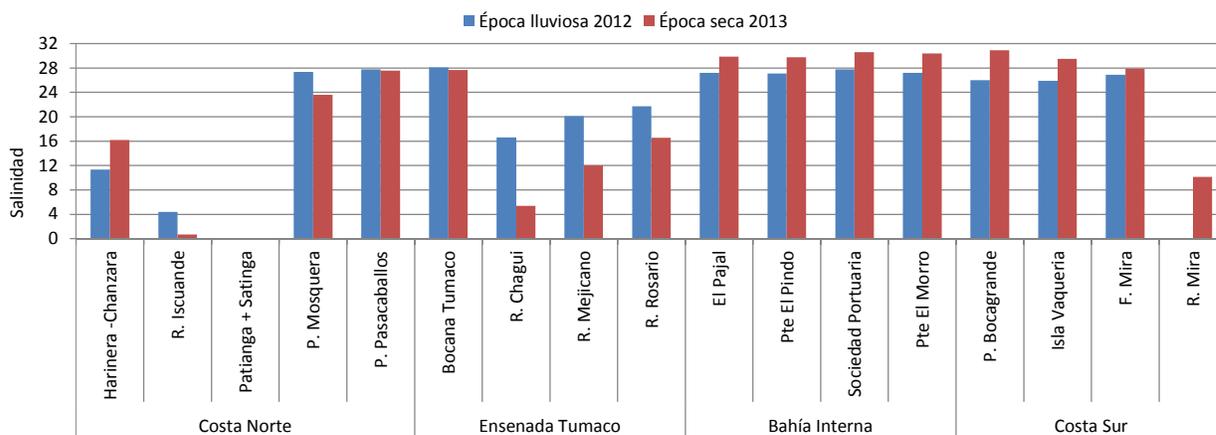


Figura 5.4.3. Salinidad del agua superficial en 4 zonas del departamento de Nariño medida en la época lluviosa de 2012 y la época seca de 2013.

En el caso de los ríos, por efecto de los cambios mareales propios del pacífico colombiano, la salinización por intrusión marina estacional alcanzó los sitios de muestreo (aguas arriba de las desembocaduras) presentando valores superiores a los esperados para este tipo de aguas. Los ríos pertenecientes a la Ensenada de Tumaco (Chagui, Mejicano y Rosario) fueron los que presentaron este comportamiento de forma más

marcada, ya que al ser esta zona una bahía abierta y de poca profundidad, la dinámica de sus aguas está fuertemente influenciada por las mareas permitiendo una amplia zona de mezcla.

pH

En el periodo actual de análisis los valores de pH de las aguas superficiales del departamento de Nariño se ubicaron dentro de los criterios de calidad permisibles de 6,5 a 8,5 y 4.5 a 9.0 para aguas marinas y fluviales respectivamente, establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para preservación de fauna y flora (Minsalud,1984). No se observaron variaciones significativas entre las dos épocas; así, en la época lluviosa 2012 el promedio fue $8,3 \pm 0,3$ y en época lluviosa fue $8,1 \pm 0,6$ (Figura 5.4.4). El valor más bajo de pH se registró en la estación Patianga + Satianga para la época seca 2013 (6,4), siendo un valor aceptable para zonas estuarinas donde el pH puede descender a 6.0 o a 5.0 en aguas muy cercanas a los manglares (Prah et al., 1990). Históricamente la tendencia general de la variable es a disminuir en época seca principalmente en las estaciones estuarinas y fluviales debido a la influencia de descarga de aguas residuales con un elevado consumo de materia orgánica y la consecuente producción de CO₂ que tiene características ácidas (Cognetti et al., 2001).

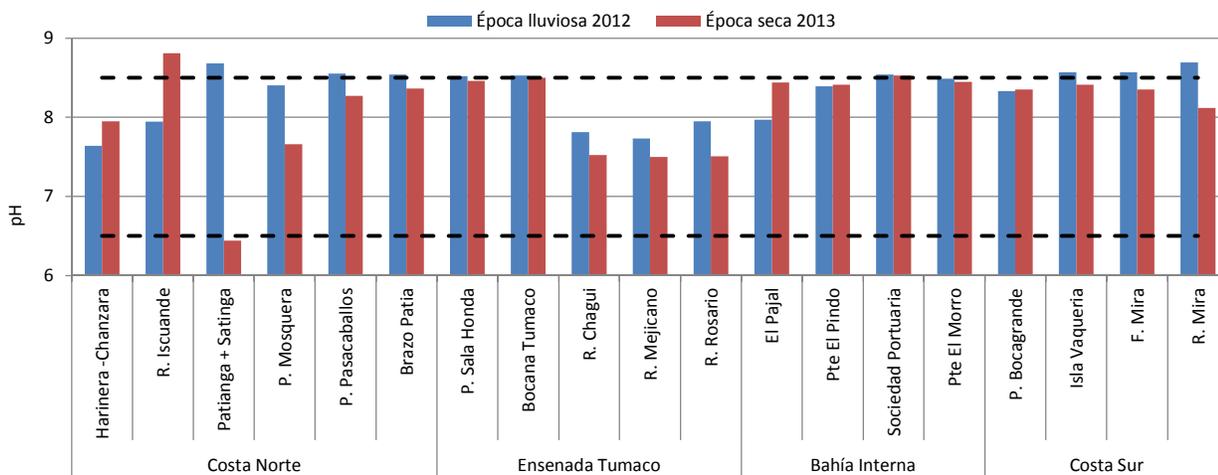


Figura 5.4.4. Valores de pH en aguas superficiales de Nariño medido en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. Las líneas punteadas representan el máximo y mínimo del Rango Permissible (R.P.) para la preservación de flora y fauna en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (MinSalud, 1984)

Oxígeno Disuelto

El Oxígeno Disuelto (OD) es un parámetro básico utilizado para describir cualitativamente la calidad de cuerpos de agua. Las concentraciones de OD en las aguas superficiales del departamento fluctuaron entre 3,7 mg/L y 7,7 mg/L (promedio $6,1 \pm 0,2$ mg/L) en la época lluviosa 2012; mientras que para la época seca 2013 oscilaron entre 2,2 mg/L y 7,4 mg/L (promedio $6,2 \pm 1,7$ mg/L) (Figura 5.4.5). En general durante el periodo actual de análisis, en la mayoría de estaciones los valores de OD estuvieron por encima de 4,0 mg/L, considerado el valor mínimo de calidad para la preservación de flora y fauna según la legislación colombiana (Minsalud,1984); con excepción de las estaciones ubicadas en los ríos de la Ensenada de Túmaco (Chagüi, Mejicano y Rosario) cuyos valores promedio fueron $4,3 \pm 0,5$ mg/L en época lluviosa y $2,5 \pm 0,5$ mg/L; históricamente el 46% de los muestreos realizados en estos ríos han presentado valores de OD por debajo del límite permisible (Vivas-Aguas et al., 2012) condición que puede deberse a un incremento en la demanda bioquímica de oxígeno generada por la descarga de sedimentos ricos en materia orgánica y a la descarga de aguas residuales (Cantera, 1991).

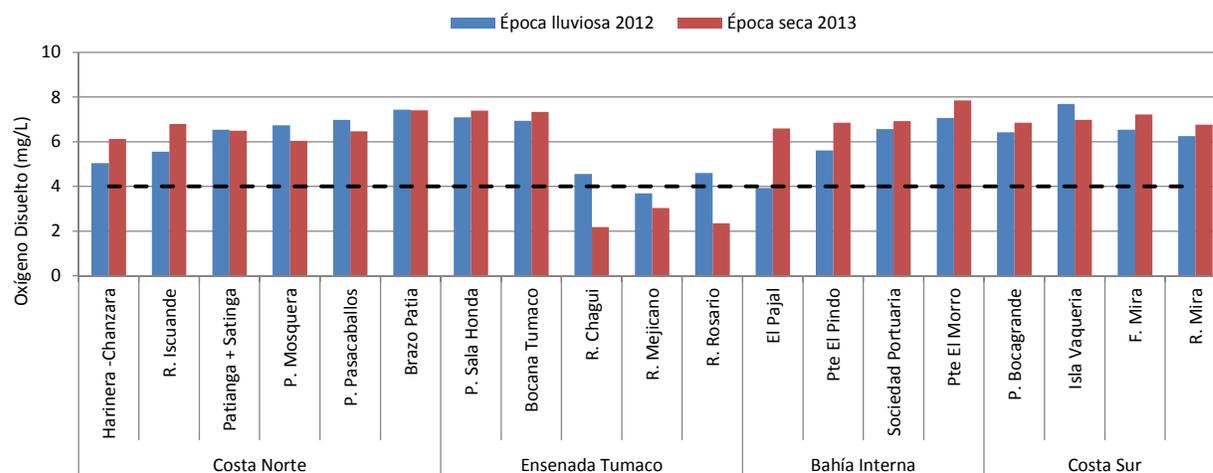


Figura 5.4.5 Oxígeno disuelto (mg/L) medido en aguas superficiales del departamento de Nariño, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea punteada representa el valor Mínimo Permissible (M.P.) para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 (MinSalud, 1984)

5.4.1.2 Sólidos y Nutrientes

Sólidos Suspendidos Totales

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en las épocas lluviosa del 2012 se encontraron en el rango de 5,0 a 104,0 mg/L y en la seca del 2013 entre 29,2 – 164,1 mg/L. Las concentraciones más altas de SST para la época de lluvias de 2012 se presentaron en las estaciones Harinera- Chanzará (87,37 mg/L) y los ríos Patianga+Satinga (52,40 mg/L) y Patía (61,20 mg/L) de la zona Costa Norte, los ríos Mejicano (88,48 mg/L) y Rosario (62,0 mg/L) en la zona Ensenada de Túmaco y de la zona Costa Sur los ríos Mira (53,47 mg/L) y Mataje (57,60 mg/L). Por otro lado, para la época seca de 2013 los valores más altos se presentaron en la zona ensenada de Túmaco en los ríos Rosario (164,12 mg/L) y Chagüi (92,75 mg/L). Estas concentraciones se deben por los aportes que realizan los ríos que desembocan en la zona costera del departamento y a la resuspensión de sedimentos debido a las mareas y oleaje (Figura 5.4.6).

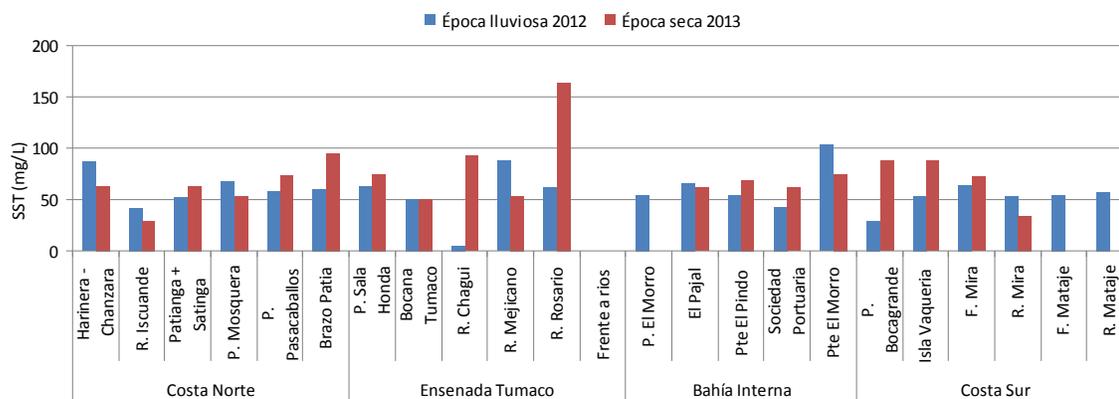


Figura 5.4.6. Concentraciones de sólidos suspendidos totales SST (mg/L) medidas en el agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

Históricamente las concentraciones promedio más altas de SST se han registrado en la época de lluvias en los ríos Patianga+Satinga ($146,18 \pm 161,59$ mg/L) y Patía ($128,01 \pm 159,99$ mg/L) de la zona Costa Norte y en la zona ensenada de Túmaco en las estaciones Frente a ríos ($205,62 \pm 225,75$ mg/L) y río Chagüi ($176,73 \pm 239,85$ mg/L; Figura 5.4.7).

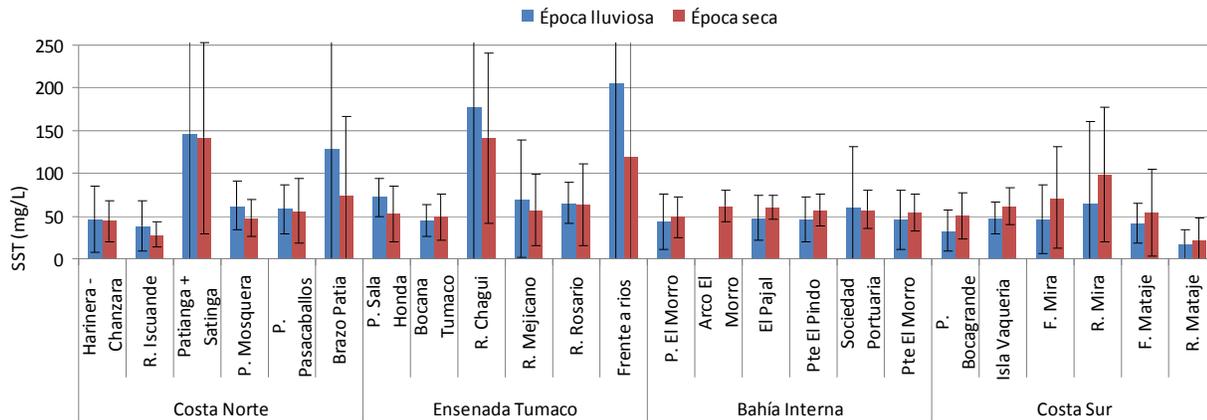


Figura 5.4.7. Promedios de las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/L) medidas semestralmente en la época lluviosa y la época seca entre el 2001 – 2012 en el agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño. Las barras de error representan las desviaciones estándares.

Nutrientes

En cuanto a los nutrientes, se realizó el análisis de las formas nitrogenadas de los nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y amonio (NH_4^+), y de fósforo reactivo soluble (FRS) ó fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-). Las mediciones de estos nutrientes mostraron cambios entre épocas de muestreo, con valores que oscilaron desde $<0,30$ hasta $79,73$ $\mu\text{g/L}$ para los NO_3^- , de $1,25$ hasta $80,99$ $\mu\text{g/L}$ para NO_2^- , y de $7,94$ hasta $44,28$ $\mu\text{g/L}$ para NH_4^+ ; y se registraron las concentraciones más altas de estos nutrientes en la época seca de 2013 Figura 5.4.8 y Figura 5.4.9).

Las mayores concentraciones de NO_3^- , se presentaron en la época seca de 2013, especialmente en los ríos Rosario ($56,40$ $\mu\text{g/L}$), y Mejicano ($40,58$ $\mu\text{g/L}$) del sector Ensenada de Túmaco y del sector Costa norte los ríos Patianga-Satinga ($53,95$ $\mu\text{g/L}$) e Iscuandé ($33,69$ $\mu\text{g/L}$; Figura 5.4.8). Los nitritos (NO_2^-) presentaron los valores más altos en la época de lluvias de 2012 en los ríos Mejicano ($80,99$ $\mu\text{g/L}$) y Rosario ($40,46$ $\mu\text{g/L}$; Figura 4.1-10), no obstante cabe resaltar que los nitritos son el producto intermedio del ciclo de oxidación-reducción del nitrógeno, y en comparación con los nitratos, son menos solubles en agua y menos estables (Pacheco y Cabrera, 2003), lo cual explica sus bajas concentraciones en el medio. De igual manera, los niveles de amonio fueron más altos durante la época seca de 2013 y la mayor concentración se presentó en el río Chagüi ($82,90$ $\mu\text{g/L}$; Figura 5.4.10), debido a la descarga directa de aguas residuales domésticas sin tratamiento de las poblaciones ribereñas (INVEMAR y MADS, 2011).

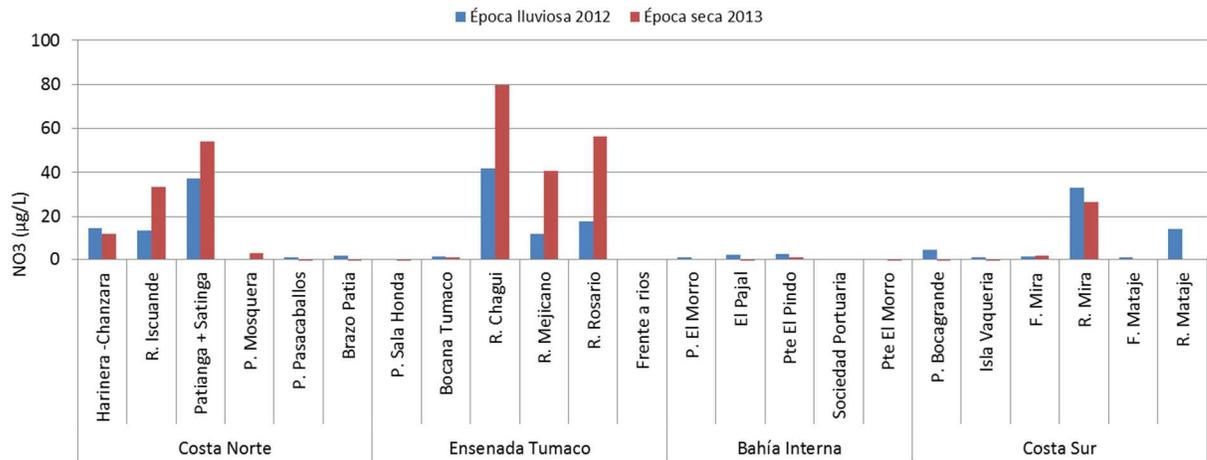


Figura 5.4.8. Concentraciones de nitrato - NO₃⁻ (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento de Nariño en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

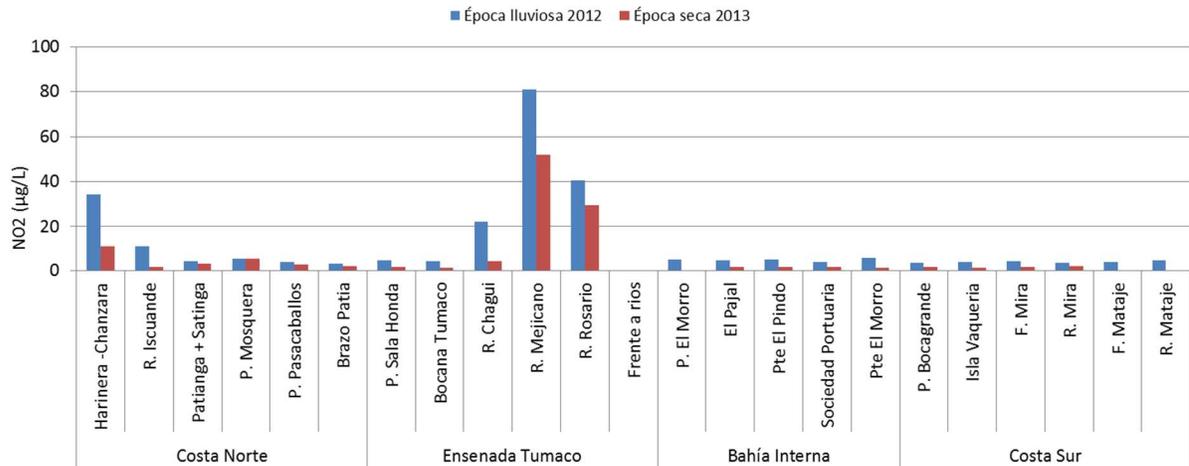


Figura 5.4.9. Concentraciones de nitrito - NO₂⁻ (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento de Nariño en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

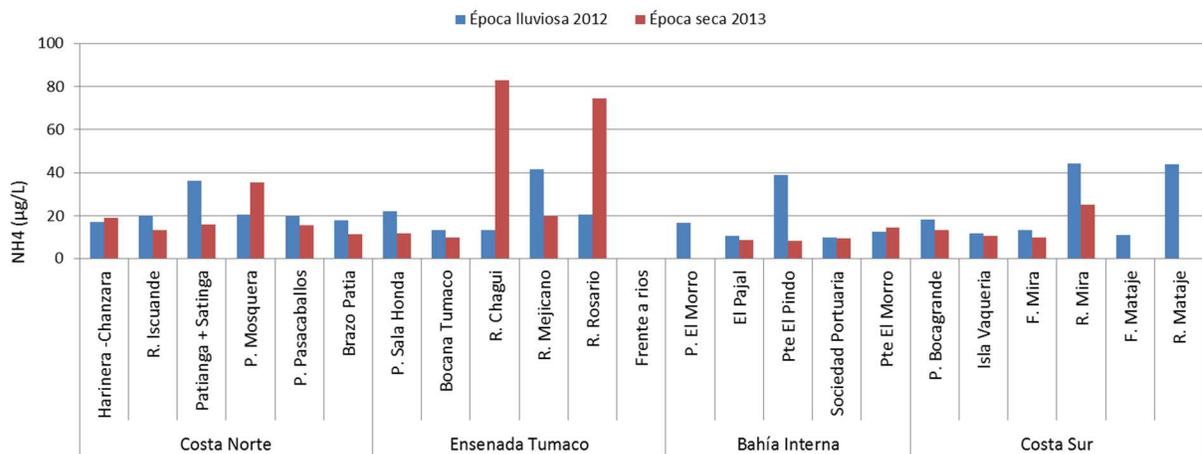


Figura 5.4.10. Concentraciones de amonio - NH₄⁺ (µg/L) medidas en el agua superficial del departamento de Nariño, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

En cuanto al fósforo inorgánico disuelto (PO_4^-), durante la época de lluvias de 2012 las concentraciones más altas se registraron en los ríos Iscuandé (31,35 $\mu\text{g/L}$) y Chagüi (22,16 $\mu\text{g/L}$), el estero Chanzará (36,39 $\mu\text{g/L}$) y en el puente el Pindo (22,01 $\mu\text{g/L}$), y en la época seca 2013 en los ríos Rosario (21,80 $\mu\text{g/L}$), Patianga+Satinga (18,69 $\mu\text{g/L}$) y Chagüi (17,50 $\mu\text{g/L}$), debido a las descargas de aguas servidas de las poblaciones de Túmaco, Iscuandé, Satinga y Chajal (Figura 5.4.11).

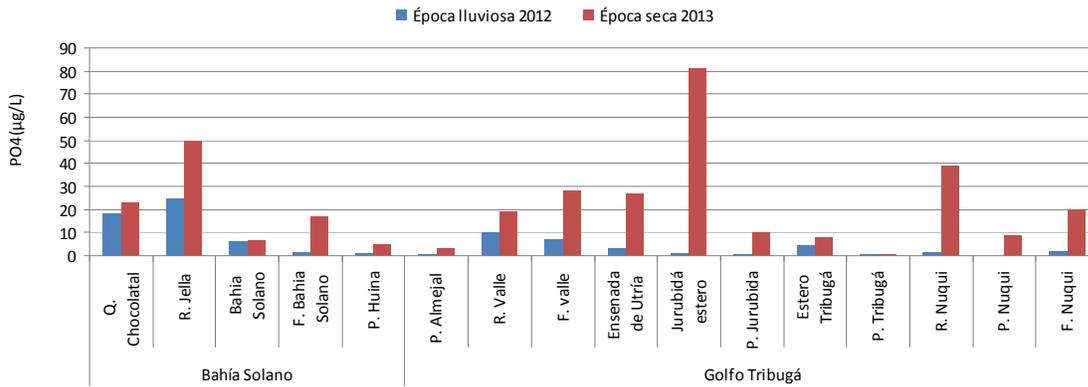


Figura 5.4.11. Concentraciones de Fósforo Reactivo Soluble - FRS ($\mu\text{g/L}$) medidas en el agua superficial del departamento de Nariño, en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

5.4.2 Contaminación Microbiológica

Las mayores concentraciones de CTT se presentaron en el río Patianga+ Satinga con 13.000 NMP.100 mL⁻¹ la época de bajas precipitaciones y 5.400 NMP.100 mL⁻¹ la época de altas precipitaciones (Figura 5.4.12). A nivel histórico, no se mostraron diferencias entre épocas climáticas ($p > 0,05$) y los promedios más altos de CTT se registraron cuando las precipitaciones son más altas. Entre los ríos la estación Patianga+ Satinga, seguido Mira y Mataje superaron el límite establecido para el desarrollo de actividades de contacto primario < 1.000 NMP.100 mL⁻¹ y secundario < 5.000 NMP.100 mL⁻¹ (MinSalud, 1984). Generalmente, la calidad del recurso es afectada por el uso inadecuado que facilita la incorporación de contaminantes a los cuerpos de agua (Leandro *et al.*, 2010).

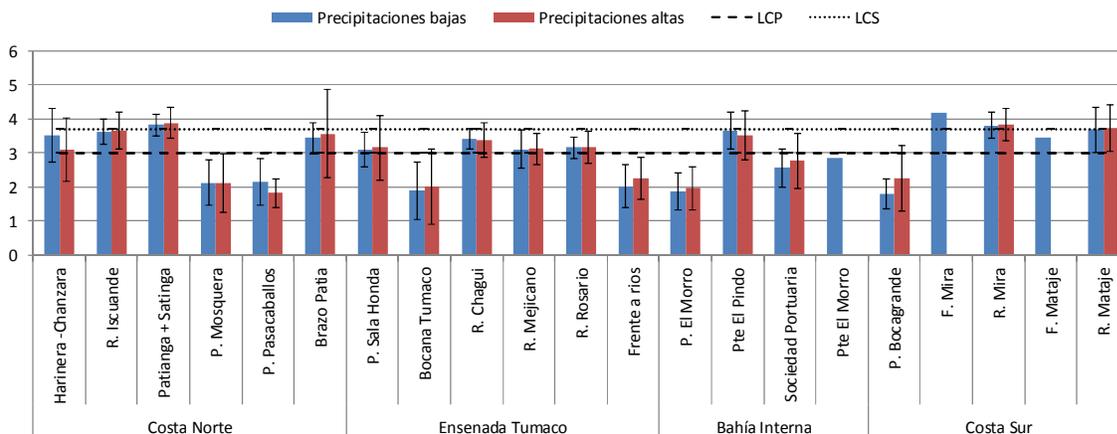


Figura 5.4.12. Concentraciones históricas de Coliformes Totales (LOG NMP.100 mL⁻¹) medidas en las estaciones del departamento de Nariño del año 2001 – 2013 en la época de precipitaciones bajas y época de precipitaciones altas. La línea cortada corresponde al límite de referencia para el desarrollo de actividades de contacto primario (LCP: < LOG 1000 NMP.100 mL⁻¹) y la línea punteada equivale al límite de referencia para actividades de contacto secundario (LCS: < LOG 5000 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984) actividades de pesca, riego de frutas y hortalizas de tallo corto.

En la Tabla 5.4.1, se muestran las concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE) determinadas en las 5 playas del departamento en la época de precipitaciones bajas y altas. Para el período evaluado, los coliformes estuvieron por debajo del límite permisible, mostrando condiciones aptas para el desarrollo de actividades de contacto primario como la natación (CTE < 200 NMP.100 mL⁻¹; MinSalud, 1984). A nivel histórico, la playa Sala Honda ha presentado los mayores casos de incumplimiento, donde el 82 % y 75 % de las mediciones en la época de precipitaciones bajas y altas respectivamente, han superado el límite permisible establecido por la legislación nacional, debido a la entrada directa de aguas servidas las cuales provienen de las poblaciones costeras y del río Patía, fuente receptora de aguas residuales domésticas alrededor de su cuenca (Vivas-Aguas *et al.*, 2012).

Tabla 5.4.1 Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (CTE NMP.100 mL⁻¹) medidas en la época de precipitaciones bajas 2012 y época de precipitaciones altas 2013.

Zona	Playa	Época precipitaciones bajas 2012			Época precipitaciones altas 2013		
		(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**	(NMP.100 mL ⁻¹)	% casos*	n**
Costa	Mosquera	20	11	9	20	27	11
Norte	Pasacaballos	20	33	9	20	9	11
Ensenada Tumaco	Sala Honda	130	82	11	45	75	12
Bahía Interna	El Morro	20	18	11	ND	27	11
Costa Sur	Bocagrande	68	11	9	20	33	9

*% de casos de incumplimiento en el análisis histórico con respecto al límite permisible establecido en el decreto 1594 de 1984 para realizar actividades de contacto primario como la natación (CTE <200 NMP.100 mL⁻¹).

**Número de datos existentes por época climática.

ND: No dato

5.4.3 Hidrocarburos

Las concentraciones de Hidrocarburos Disueltos y Dispersos – HDD, en el período de lluvia 2012 y seco 2013 oscilaron en un rango entre 0,07 µg/L y 1,79 µg/L. En la época lluviosa de 2012, la tendencia mostró que las concentraciones más altas se presentaron en las estaciones R. Rosario (0,97 µg/L), Isla Vaquería (0,63 µg/L) y Puente el Pindo (0,58 µg/L) y en la época seca de 2013, los valores más altos se registraron en las estaciones río Rosario (1,71 µg/L) y playa Pasacaballos (0,69 µg/L; Figura 5.4.13). Los residuos de hidrocarburos que se presentan en el departamento se deben a la venta de combustibles, actividad portuaria, transporte marítimo, turismo y descarga de aguas residuales domésticas, sin embargo las concentraciones observadas en las estaciones de este departamento no superan el valor de referencia de 10 µg/L para aguas no contaminadas (UNESCO, 1984).

El análisis temporal muestra diferencias significativas (p>0,05), de los registros históricos de HDD medidos desde 2001 a 2013, registran las concentraciones promedio más altas en la época seca, en las estaciones de la zona Bahía Interna principalmente en Estero el Pajal (13,88 ± 39,37 µg/L; Figura 5.4.14). Esto se debe principalmente a los derrames y ventas de combustibles, vertimientos de aguas residuales domésticas, actividad portuaria y transporte marítimo de pasajeros.

La variación interanual entre 2001 a 2013 mostró diferencias (p<0,05), entre años, y en el año 2001 se registraron concentraciones de HDD superiores al valor de referencia para aguas no contaminadas, en los ríos Mataje (21.24 µg/L), Iscuandé (13.0 µg/L) y Mira (11.35 µg/L) y en 2006 en el estero el Pajal (61,43 µg/L).

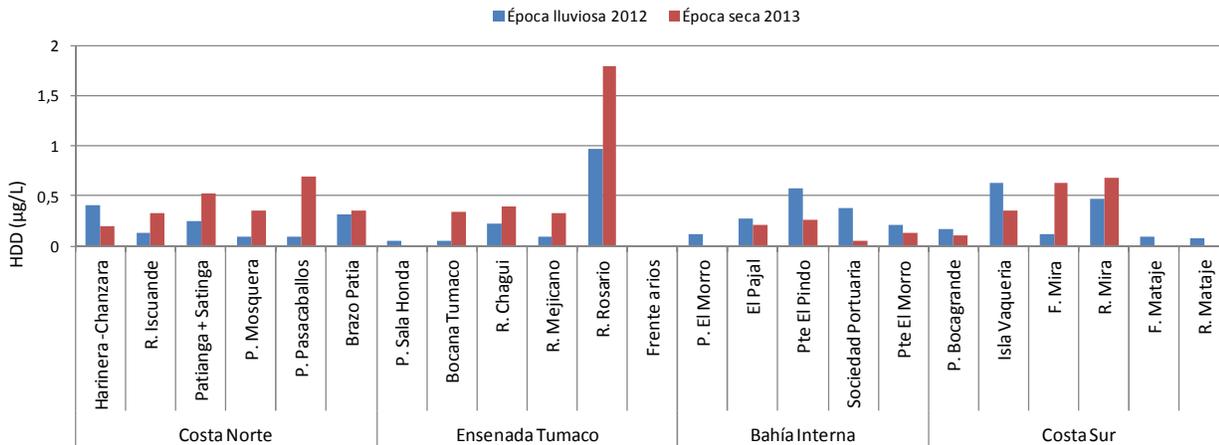


Figura 5.4.13. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales del departamento de Nariño en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013.

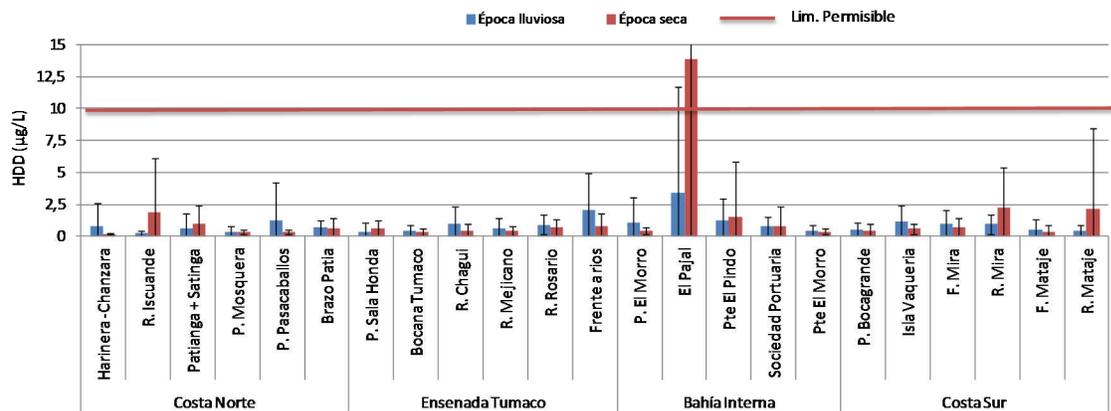


Figura 5.4.14 Promedio histórico de las concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos ($\mu\text{g/L}$) medidas en estaciones de aguas superficiales del departamento de Nariño en la época lluviosa 2012 y la época seca 2013. La línea roja representa el Límite Permissible para aguas no contaminadas según el UNESCO (1984)

5.4.4 Plaguicidas

El departamento de Nariño muestra una tendencia descendente en las concentraciones de plaguicidas organoclorados (OC) en los últimos cuatro años; y desde el 2011 (incluido este periodo de estudio), las concentraciones han estado por debajo de los límites de detección de la técnica analítica.

Como se ha indicado en anteriores informes, históricamente en el departamento 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 la actividad agrícola que se desarrolla en sus cuencas; y a los ríos Patía y Mira que 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).

El amplio uso que se les dio a estos plaguicidas en el tratamiento de la madera y las campañas de prevención de la malaria y su alta persistencia en el medio, son quizás otras de las razones por las cuales estos compuestos continuaron apareciendo en el ambiente tres décadas después de su prohibición.

En 2008 cuando se incrementó la capacidad de determinación de 12 a 22 moléculas se registraron valores más altos de plaguicidas organoclorados totales y se interrumpió la tendencia descendente, sin embargo, esto es debido a que comenzaron a cuantificarse moléculas que antes no se tenían en cuenta, como el Nanoclor que se detectó cerca de Túmaco en niveles de (124 ng/L).

Durante la primera década del siglo las concentraciones de plaguicidas organoclorados totales superaron el valor de referencia de 30 ng/L para aguas no contaminadas (EPA, 1999), en 2001 en las estaciones río Tapaje (75,2 ng/L), Boca Tapaje (66,9 ng/L), frente río Tapaje (48,6 ng/L) y Boca Iscuandé (70,9 ng/L), en 2002 en la estación Salahonda brazo Patía (70,3 ng/L), en 2004 la Bocana de Tumaco (78,7 ng/L) y en 2008 en el Puente el Morro (124,9 ng/L); sin embargo, en los últimos años han sido indetectables y sus concentraciones no representan riesgo para el medio marino (Figura 5.4.15).

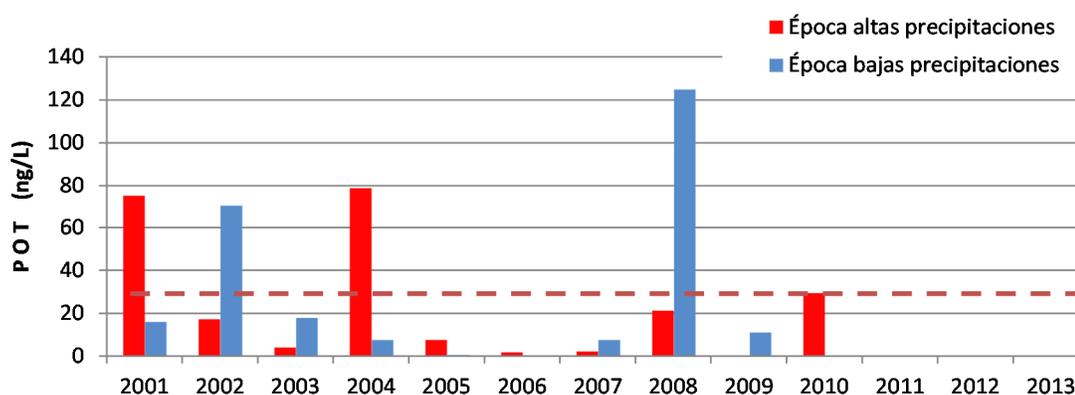


Figura 5.4.15. Rango de las concentraciones de plaguicidas organoclorados POT (ng/L) medidas en la época de precipitaciones altas y la época de precipitaciones bajas entre el 2001 – 2013 en el departamento de Nariño. La línea roja representa el Valor de Referencia V.R. (30 ng/L; EPA, 1999).

Las mediciones de plaguicidas de uso actual, iniciadas en 2009 también han mostrado una tendencia de baja escorrentía. En los cuatro años que se llevan monitoreando estas nuevas moléculas sólo se ha detectado MetilParation en el río Mejicano (17,4 ng/L), Bocana Ensenada de Tumaco (17,5 ng/L) y Frente a los ríos Rosario, Chagui y Tablones (19,1 ng/L), sin embargo, estos niveles no representan riesgo de toxicidad para organismos delicados como el plancton (Tabla 5.4.2).

Tabla 5.4.2. Concentraciones de plaguicidas encontradas en aguas superficiales de Nariño desde 2010-2013.

Época	Estación	Metilparation (ng/L)
Precipitaciones altas 2010	Río Mejicano	17,4
	Boca ensenada de Tumaco	17,6
	Frente a ríos	19,1
2011 - precipitaciones altas 2013	-	-
Efectos tóxicos en el plancton	Walsh y Alexander (1980)	5,3x10 ⁶

5.4.5 Metales Pesados

Para evaluar la calidad de las aguas del departamento de Nariño, desde 2001 se han monitoreado los metales Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr), pero teniendo en cuenta que 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. Además, 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 consecuencia, se amplió el monitoreo de metales al análisis del Cobre (Cu), Cinc (Zn), Níquel (Ni) y Hierro (Fe).

En el monitoreo de la época de altas precipitaciones de 2012, los metales Pb y Cr tuvieron mayor presencia que en el monitoreo de la época de bajas precipitaciones de 2013. La estación Sociedad Portuaria registró el mayor valor de Pb (8,21 µg/L) en la zona Bahía Interna durante la época lluviosa 2012. La Zona Costa Sur, presentó las mayores concentraciones de esta misma época en las estaciones río Mataje (10,2 µg/L) y Frente al río Mataje (5,7 µg/L). En la época de bajas precipitaciones solo se detectó Pb en las estaciones Harinera-Chanzará (1,8 µg/L), río Iscuandé (1,8 µg/L) y Brazo Patía (2,3 µg/L), sin embargo, ninguna estación superó el valor límite de riesgo referenciado en la guía internacional de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para efectos agudos en aguas superficiales marinas (210 µg/L; Buchman, 2008).

En época de bajas precipitaciones de 2012, el Cadmio solo se detectó en las estaciones Harinera-Chanzará (1,8 µg/L) y río Iscuandé (1,5 µg/L), pero ninguna superó los valores referenciados en guías internacionales para efectos agudos en aguas superficiales marinas (40 µg/L, Buchman, 2008). En cuanto al Cromo (Figura 5.4.16), en la época de altas precipitaciones registró las mayores concentraciones, siendo la costa Norte y la Costa Sur donde se dan los mayores aportes de este metal. En general, las estaciones no superaron el valor de referencia en guías internacionales (50 µg/L, Conama, 1986), por lo tanto no se estima como en riesgo de contaminación las aguas en la zona costera de este departamento por estos metales.

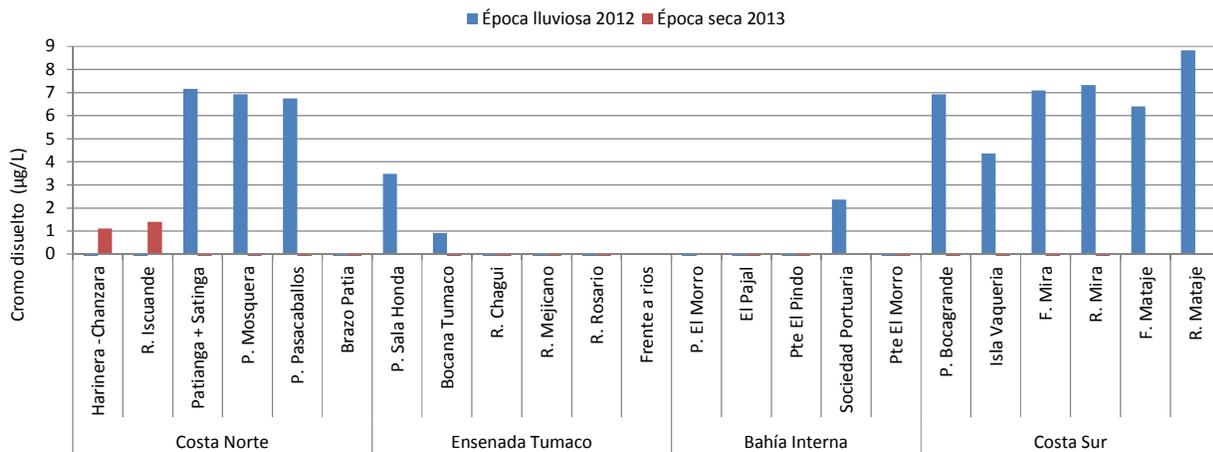


Figura 5.4.16 Concentración de Cr disuelto (µg/L) medido en el agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño, en la época altas precipitaciones 2012 y bajas precipitaciones 2013

El Cu solo fue detectado en dos estaciones durante la época de bajas precipitaciones: Harinera-Chanzará (1,4µg/L) y río Iscuandé (3,7µg/L), mientras que en época de altas precipitaciones tuvo mayor presencia en las estaciones monitoreadas, donde la mayor concentración se registró en la estación Patianga+Satinga (7,8µg/L), seguida del río Changuí (6,4µg/L) y Playa Pasacaballos (5,3µg/L), siendo esta última, como estación marina la que supera el valor de referencia de la NOAA para efectos agudos en aguas superficiales

marinas (4,8 µg/L, Buchman, 2008). Sin embargo la concentración de este metal está por debajo del límite de detección indicando que no hay riesgo permanente por presencia de Cobre (Figura 5.4.17).

El Zn medido en aguas superficiales, registró las mayores concentraciones durante la época de altas precipitaciones de 2012, mientras que en época de bajas precipitaciones, presenta una tendencia similar al Cu, registrándose mayor presencia en las estaciones Harinera–Chanzará (11,6µg/L) y río Iscuandé (7,9µg/L). Para la época lluviosa 2012 la concentración más alta se registró en la estación Sociedad Portuaria (22,0 µg/L), sin embargo estos valores se encuentran por debajo del valor de referencia para efectos agudos en aguas superficiales marinas (90 µg/L, Buchman, 2008).

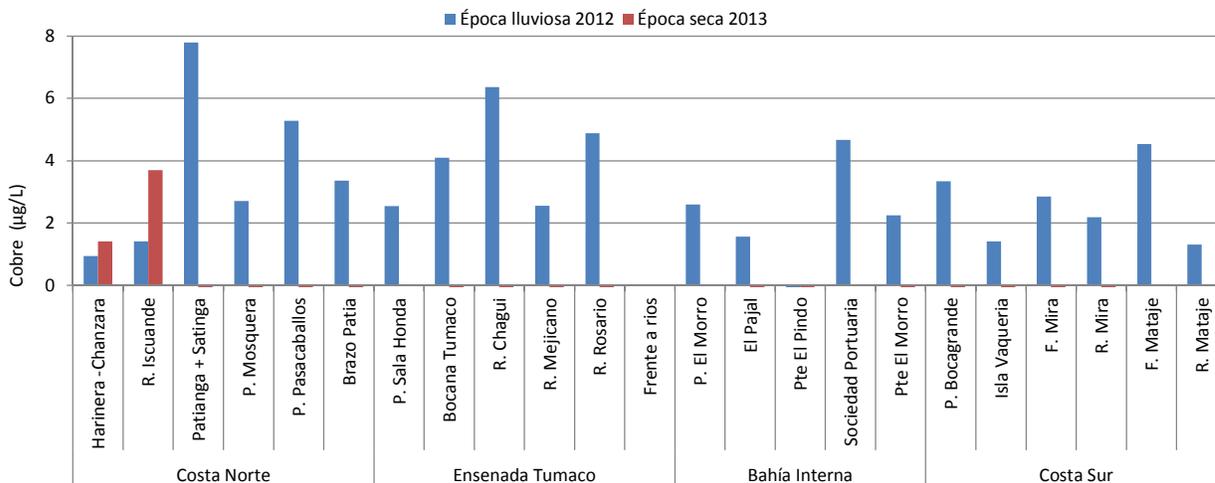


Figura 5.4.17 Concentración de Cu disuelto (µg/L) medido en el agua superficial de las estaciones del departamento de Nariño, en la época altas precipitaciones 2012 y bajas precipitaciones 2013

En cuanto al Ni, las zonas donde se reporta la presencia de este metal son Costa Norte y Costa Sur, en esta última solo en la época de altas precipitaciones se detectó Ni, siendo el Frente del río Mira con 5,0µg/L la que registró la mayor concentración. En la Costa Norte, las concentraciones de Ni no superaron los 2,5 µg/L, valor máximo registrado para la estación Harinera–Chanzará. En general, ninguna de las estaciones superó los niveles referenciados en la guía internacional de la NOAA como de riesgo (74 µg/L, Buchman, 2008).

Las concentraciones de Fe presentaron un patrón de aparición temporal diferente a los otros metales, con mayores valores en época de bajas precipitaciones y menores en la época de altas precipitaciones; en los ríos se reportan los mayores son río Rosario (0,946 mg/L), playa Pasacaballos (0,551 mg/L) en época bajas precipitaciones sin embargo ningún valor supera el valor referenciado en guías internacionales (300 µg/L, (0,3 mg/L); Buchman, 2008), este no es permanente por lo que no existe riesgo de contaminación aguada por hierro.

5.4.6 Evaluación de la calidad del agua de la Bahía de Túmaco usando el ICAM

El índice de calidad de aguas marinas – ICAM - desarrollado para la Bahía de Tumaco evalúa el estado del agua marina para actividades de recreación en una escala de cinco categorías entre cero y cien; y utiliza de manera integral ocho variables que son determinantes para la calidad de las playas de uso turístico que son el oxígeno disuelto, pH, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos totales (SST), hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y coliformes termotolerantes (CTE.).

Dada la importancia turística, ambiental y pesquera de las playas del Morro y el Bajito en la Bahía de Tumaco, se utilizó el ICAM para evaluar los cambios en la dinámica de este recurso hídrico, ya que esta bahía es una de las más importantes del Pacífico colombiano. Y con el propósito de aplicar el ICAM formulado se tomaron muestras de agua durante el 2013, en las dos épocas climáticas (seca y lluvias) y en tres condiciones de marea (alta, media y baja) en las seis estaciones de muestreo ubicadas en las playas del Morro y el Bajito (Figura 5.4.18).



Figura 5.4.18 Ubicación geográfica de las playas del Morro y el Bajito en la Bahía Tumaco - Departamento de Nariño

La calidad del agua en las playas del Morro y el Bajito calculados con el ICAM en tres condiciones de marea (baja, media y alta) osciló entre adecuada y pésima características del agua para el desarrollo de actividades recreativas con valores entre 10 y 81 en las dos épocas climática de 2013, lo cual demuestra que las características del agua de estas playas varía. Los resultados de los ICAM mostraron mejores condiciones durante la época seca comparados con la época lluviosa. En época seca el 83 % de las estaciones presentó características *adecuadas* en marea alta y media, mientras que en marea baja solo el 67 % fue *adecuado*. Puntualmente, las playas del Bajito 1 y Bajito 2, obtuvieron buena calidad del agua que osciló entre *adecuada* y *aceptable* para las tres mareas. Las tres estaciones de playa el Morro 1, Morro 2 y Morro 3, alcanzaron una adecuada calidad del agua durante las tres mareas, mientras que la estación del Arco el Morro obtuvo una *pésima* calidad en marea baja (Figura 5.4.19), debido a la alta demanda de oxígeno ($18 \text{ mg/L } DBO_5$) y al aporte de coliformes termotolerantes ($110000 \text{ NMP. } 100 \text{ mL}^{-1}$ de CTE) que superó el valor

permisible para contacto primario ($CTE < 200 \text{ NMP} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$; Minsalud, 1984). Esta playa tiene influencia directa del estero Los Tulucios, en donde se descarga parte de las aguas servidas de las viviendas cercanas y del sector turístico de la Isla El Morro, por eso mostró condiciones inadecuadas para desarrollar actividades de contacto primario como la natación. No obstante, las condiciones cambiaron durante el muestreo de marea alta (calidad adecuada) y en marea media (calidad aceptable), debido a los procesos de dilución y a la capacidad bactericida del agua marina (Figura 5.4.21).

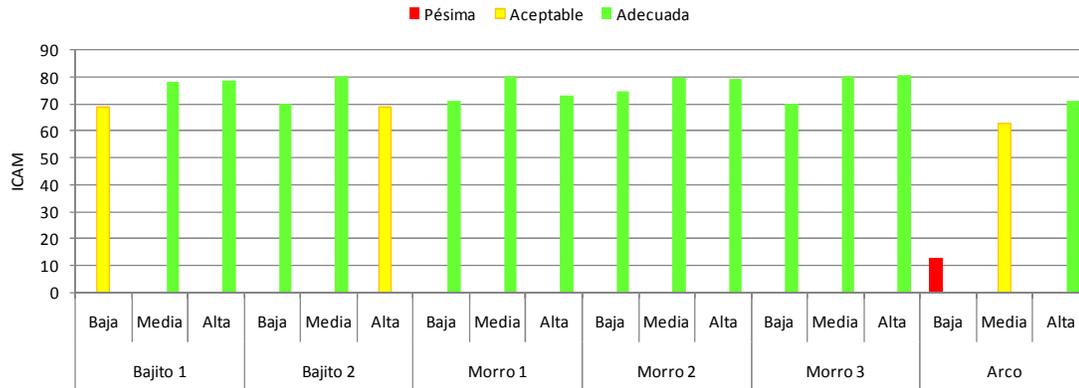


Figura 5.4.19 Calidad del agua en las playas del Morro y el Bajito en la Bahía de Tumaco, aplicando el ICAM en (junio) época seca 2013, en tres condiciones de marea (baja, media y alta)

Durante la época lluviosa el 83 % de las estaciones presentó características adecuadas del agua en marea alta, y sólo el 50 % fue adecuado en marea media y baja. Al igual que en la época seca, la calidad del agua fue adecuada en las estaciones del Morro 1 y Morro 3 en todas las condiciones de marea, y el Morro 2 osciló entre calidad aceptable y adecuada para actividades de recreación. En el Arco del Morro el ICAM fluctuó entre pésima y aceptable calidad (Figura 5.4.20; Figura 5.4.22): la calidad pésima en marea baja se debió a concentraciones altas de coliformes termotolerantes ($78000 \text{ NMP}/100 \text{ mL CTE}$), DBO_5 ($23,5 \text{ mg/L}$), sólidos en suspensión ($57,3 \text{ mg/L}$) y de nitratos ($48,1 \mu\text{g/L}$), por la influencia del estero Los Tulucios. En el Bajito 1 la calidad fue aceptable (marea baja y media) y adecuada (marea alta), mientras que en la playa el Bajito 2 el agua fue adecuada en marea media y alta, pero durante la marea baja el agua no adecuada para actividades de contacto primario.

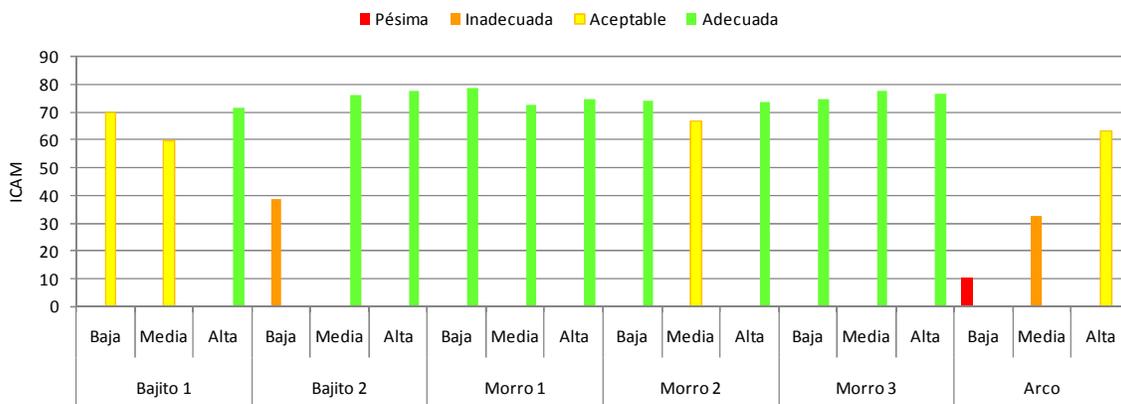


Figura 5.4.20 Calidad del agua en las playas del Morro y el Bajito en la Bahía de Tumaco, aplicando el ICAM en (septiembre) época lluviosa 2013, en tres condiciones de marea (baja, media y alta)

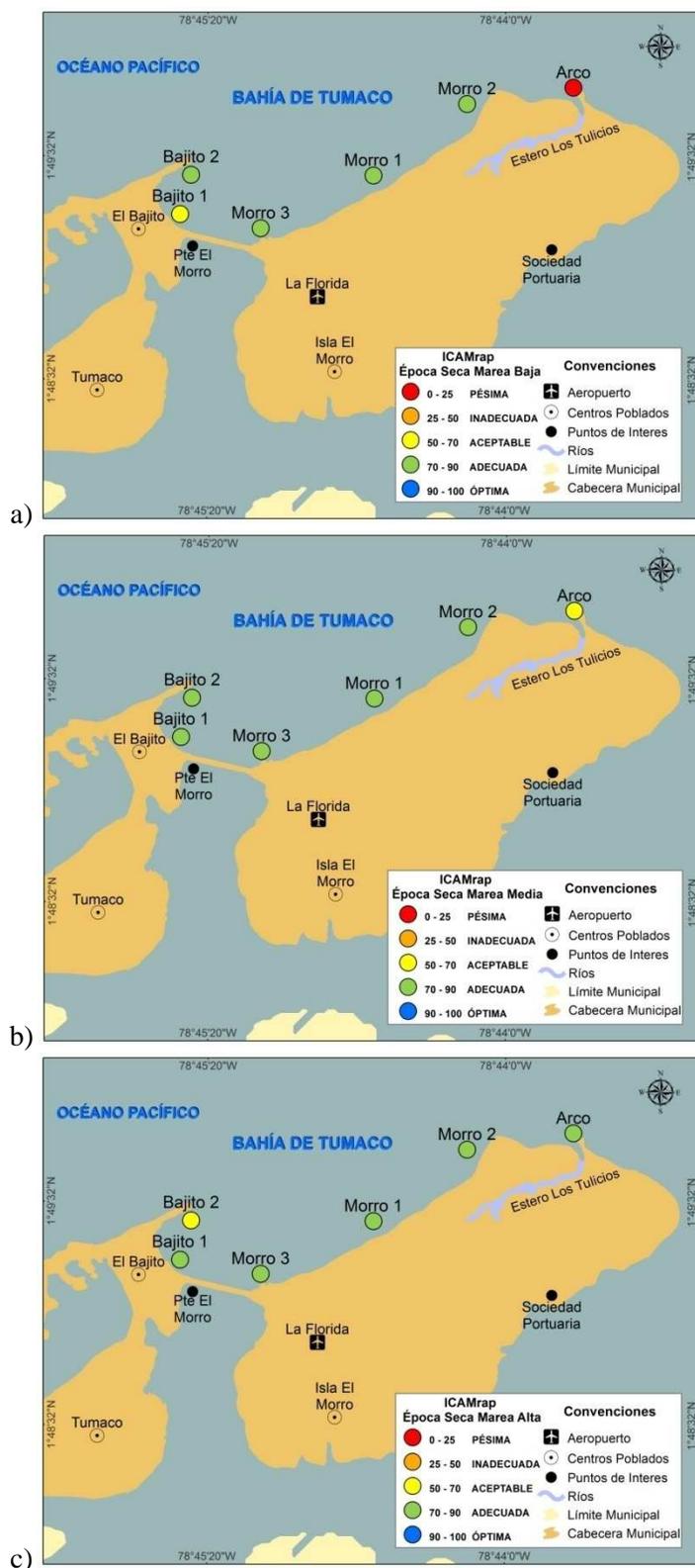


Figura 5.4.21 Calidad del agua en las playas El Morro y El Bajito con el Índice de calidad de aguas para uso recreativo en la época seca 2013 a) Marea Baja; b) Marea Media y c) Marea Alta

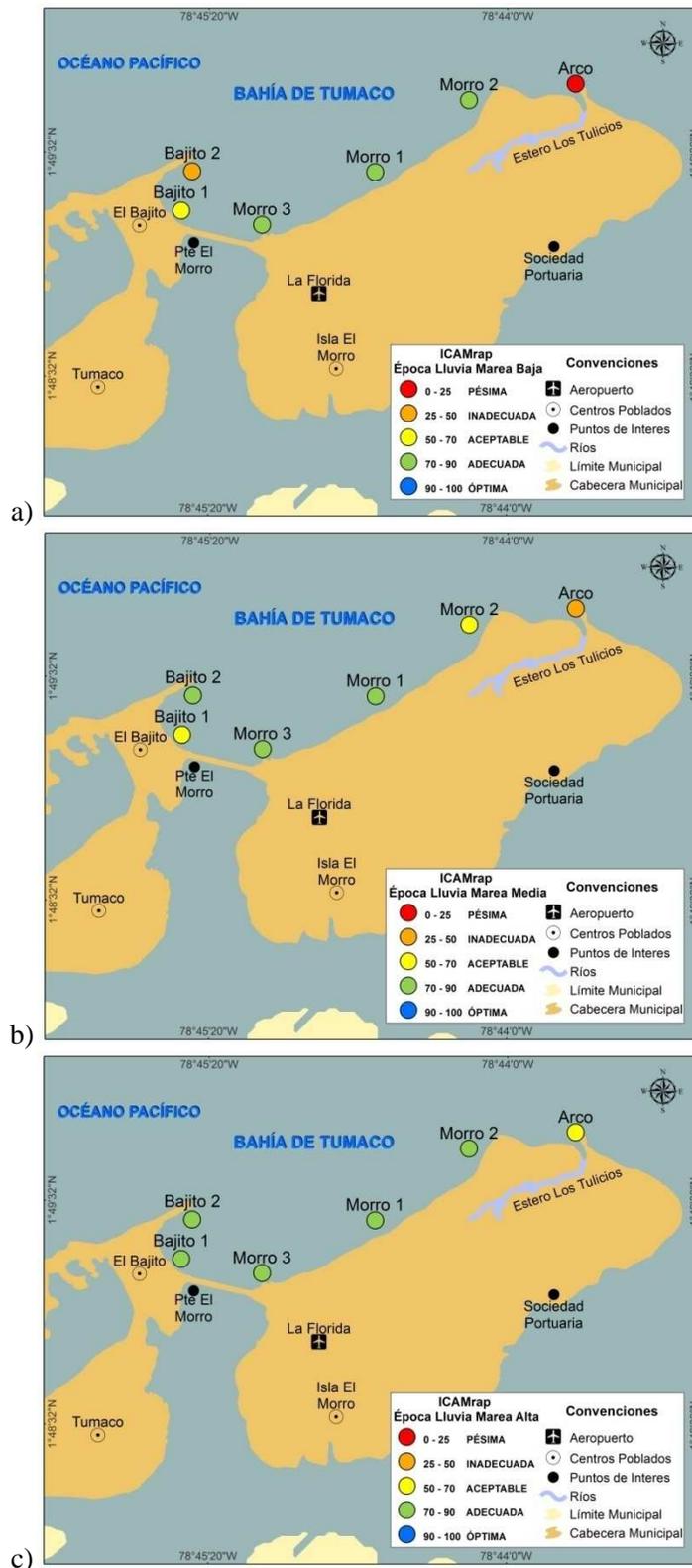


Figura 5.4.22 Calidad del agua en las playas El Morro y El Bajito con el Índice de calidad de aguas para uso recreativo en la época lluviosa 2013 a) Marea Baja; b) Marea Media y c) Marea Alta

5.4.7 Conclusiones

El comportamiento de las variables fisicoquímicas guardó relación con el régimen de mareas y precipitaciones propias de la zona; el pH y el OD se encontraron dentro de los límites permisibles para preservación de la flora y fauna establecidos en la legislación colombiana en la mayoría de las estaciones. Los ríos de la zona de Ensenada de Tumaco (Chagüi, Mejicano y Rosario) presentaron altos valores de salinidad por intrusión marina; así como bajos valores de OD mostrando condiciones desfavorables para el desarrollo de la vida acuática, sin embargo, estos resultados siguen la tendencia observada históricamente en la zona.

Las mayores concentraciones de SST, NID y FRS de las aguas marinas y costeras de Nariño en el periodo de estudio provienen de los ríos Chagüi, Rosario y Mejicano, que desembocan en la ensenada de Tumaco y el río Satinga+ Patianga, debido a la resuspensión de sedimentos, lavado de suelos y vertimientos de aguas residuales.

A nivel microbiológico, los mayores aportes de coliformes hacia la zona costera fueron realizados por los tributarios, en especial la estación Patianga + Satinga superó el límite permisible establecido por la legislación nacional para el desarrollo de actividades de contacto primario y secundario tanto para ambas época climáticas. Por otro lado, la calidad de las playas del departamento, evidenció óptimas condiciones, cumpliendo con la legislación para el desarrollo de actividades recreativas de contacto primario.

En la actualidad las concentraciones de HDD en aguas son inferiores al valor de referencia (<10 µg/L) y no reflejan los impactos de estos contaminantes sobre las especies hidrobiológicas que se desarrollan en los diferentes ecosistemas. Históricamente la mayoría de las estaciones han permanecido con niveles bajos, siendo las estaciones Estero el Pajal y Puente las que realizan los mayores aportes de éste contaminante a la zona costera.

Los compuestos organoclorados continúan mostrando una tendencia descendente desde el 2010, y las concentraciones, en niveles no detectables, de los compuestos de uso actual tampoco representan riesgo para los organismos acuáticos.

En general, los metales analizados presentaron una distribución temporal similar, siendo mayores en época de bajas precipitaciones a excepción del hierro que tuvo un comportamiento inverso. En cuanto a la calidad de las aguas, no se presentan problemas marcados de contaminación por metales, estando la mayoría de las estaciones por debajo de los valores de referencia de la NOAA para efectos agudos de la salud en la vida acuática marina. No obstante, es recomendable continuar con el monitoreo para establecer patrones de aparición temporal y espacial de algunos metales, ya que en el caso de la estación Playa Pasacaballos, se registró concentraciones de Fe y Cu por encima del valor de referencia de la NOAA en solo una época de monitoreo.

La aplicación del ICAM mostró que la calidad del agua en las playas de la bahía de Tumaco varía de acuerdo a sus condiciones naturales y por la intervención antropogénica. Las estaciones ubicadas en el Morro y el Bajito a manera general mostraron buenas condiciones para realizar actividades de recreación, pero sólo la estación Arco del Morro presentó condiciones no aptas de calidad especialmente en marea baja y media, debido a la influencia del estero Los Tulicios y los aportes de aguas residuales domésticas. Por lo tanto, se recomienda realizar mediciones semanales de variables fisicoquímicas y de arena, y mensuales o trimestrales de contaminantes orgánicos, para tener un diagnóstico más frecuente de las condiciones de estas playas y los soportes para proponer medidas de prevención del estado del agua en la playa.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aja, L. 2011. 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.
- Alcaldía distrital de Santa Marta. 2000. El Plan de Ordenamiento Territorial de Santa Marta "Jate Matuna" 2000- 2009. Acuerdo No. 005 de 2000. Documentos técnicos de Soporte, Capítulo de Diagnóstico. Santa Marta, Colombia. 95p.
- 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.
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation). 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. Washington, D.C. 1325 p.
- Appelo, C. y D. Postma. 1993. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Balkema 536 p.
- Arenas, V. y G. De la Lanza. 1990. El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en materia orgánica en una laguna costera. *Ciencias Marinas*. 16 (3):45-62.
- 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.
- Aristizábal, O., Betancur, J. y Vásquez, C. 1990. Erosión y Sedimentación de la Línea de Costa entre Turbo y Necoclí, Golfo de Urabá. Tesis Pregrado. Departamento de Geología, Universidad EAFIT, Medellín. 356 p.
- 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.
- Basulto, S. Y., J. Pacheco, C. Ponce y C. Quintal. 2010. Salmonella spp., como bioindicador bacteriológico alternativo de la contaminación fecal en agua. En: 4° Congreso de la Asociación Mesoamericana de Ecotoxicología y Química Ambiental A.C. Juitepec, México. 13 p.
- Beamonte, E., A. Casino, E. Veres y J. Bermúdez. 2004. Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana. *Estadística Española*. 46 (156): 357 - 384
- Beltrame, M. O., De Marco, S. G., Marcovecchio, J. E. 2009. Dissolved and particulate heavy metals distribution in coastal lagoons. A case study from Mar Chiquita Lagoon, Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 85: 45-56.
- 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., 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
- Bianucci, S.P., A.R. Ruperto, C.A. Depettris y M.T. Clemente. 2005. Aplicación de indicadores de impacto ambiental al estudio de calidad de aguas continentales: caso de la laguna Los Lirios, Resistencia, Argentina. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Resumen T-0.38. UNNE: www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-038.pdf
- Borde A.B., O'Rourke L.K., Thom R.M., Williams G.W. (2004): National Review of Innovative and Successful Coastal Habitat Restoration. Battelle Memorial Institute. Washington. 12-13 p.

- Boto, K.J. y Bunt J.S. 1981. Dissolved oxygen and pH relationships in northern Australian mangrove waterways. *Limnology and Oceanography* 26 (6): 1176-1178p.
- 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 (SQuiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration, 34p.
- Bula-Meyer, G. 1990. Oceanografía. 101-113. En: Reichel-Dolmatoff, G. (Ed.). Caribe Colombia. FONDO FEN-COLOMBIA, Bogotá.
- Broecker, W.S. y T.H. Peng. 1982. Tracers in the sea. Lamont-Doherty Geological Observatory. Nueva York. 690 p.
- Cabon, J. Y. Determination of Cd and Pb in seawater by graphite furnace atomic absorption spectrometry with the use of hydrofluoric acid as a chemical modifier. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 57: 513-524.
- Cabrera, E. y Donoso, M. 1993. Estudio de las características oceanográficas del Caribe colombiano, Región III, Zona 1, PDCTM. Bol. Cient. CIOH, 13: 19-32.
- Cabrera L.E, G. Castro, M. Ramírez A. Llop, R. Llanes, N. Castañeda, A. Fernández y L. Bravo. 2007. Aislamiento e identificación de especies pertenecientes a los géneros *Aeromonas*, *Vibrio* y *Plesiomonas* procedentes de muestras extra-intestinales en Cuba. *Rev. chil. infectol.* 24 (3): 204-208.
- Cadavid, B.C., P.A. Bautista, L.F. Espinosa, A.J. Hoyos, A.M. Malagón, D. Mármol, A.M. Orjuela, J.P. Parra, L.V. Perdomo, M. Rueda, C.A. Villamil y E.A. Viloria. 2011. 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 127 p. anexos.
- Cantera, IR. 1991. Etude structurale des mangroves et des peuplements littoraux des deux baies du pacifique colombien (Málaga et Buenaventura). Rapport avec les condítions du milieu et les perturbations anthropiques. These d'Etat Sciences. Université d'Aix-Marseilie II. Marseille France, 429 p.
- Cañón, M. L., G. Tous, K. López, R. López y F. Orozco. 2007. Variación espaciotemporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH.* (25): 120-134.
- CARDIQUE – Corporación Autónoma del Canal del Dique. 2011. Informe del estado de los recursos naturales y del medio ambiente 2008-2011. Cartagena de Indias. 32 p.
- CARSUCRE- Corporación Autónoma Regional del Sucre. 2012. Información suministrada por la corporación.
- Carricart-Ganivet JP, Merino M. 2001. Growth responses of the reef-building coral *Montastraea annularis* along a gradient of continental influence in the southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 68(1):133-146
- 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. 1997. 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.
- Castro, G., Valdéz, J. 2012. Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23°S, norte de Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research.* 40(2): 267-281.

- Cedeño, C.J.; J. Gonzales y S. Guiza. 2001. *Compilación y análisis de datos geoquímicos de metales traza en algunas zonas del río Magdalena (Colombia)*. Ingeominas. 59 p.
- Cedeño, C.J.; J. Gonzales y S. Guiza. 2001. *Compilación y análisis de datos geoquímicos de metales traza en algunas zonas del río Magdalena (Colombia)*. Ingeominas. 59 p.
- Cedeño, 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.
- Chabalina, L. y Beltrán J. 1998. *Contaminación marina en Bahías y Zonas Costeras de Cuba y del Gran Caribe; Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas: La Habana, Cuba*. 152 p.
- Cognetti, G. Sara, M. y Magazzu, G. 2001. Los factores físicos y químicos. 37 – 74. En: Cognetti, G. (Ed.). *Biología Marina*. Editorial Ariel S.A, Barcelona, 617 p.
- CONAMA - Consejo Nacional del Medio Ambiente de Brasil. 1986. Resolución CONAMA N° 20, de 18 de junio de 1986. 18 p.
- Conesa, V. 2009. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Cuarta Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 867 p.
- CONPES-Consejo Nacional de Política Económica y Social. 2008. *Estrategia para la optimización y modernización del Transporte de carbón por los puertos marítimos del Municipio de Ciénaga y la bahía Santa Marta*. Documento Conpes 3540. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá. 10 p.
- Consejo Municipal de Los Córdoba. 2008. *Plan de Desarrollo Municipal, 2008-2012*. Acuerdo No. 010 de 2008. “¡Por mí pueblo! Los córdobas en buenas manos”. Córdoba, Los córdobas, Colombia: Concejo Municipal de Los córdobas. Departamento de Córdoba. Junio de 2008. 207 p.
- Consejo Municipal de Puerto Escondido. 2008. *Plan de Desarrollo Municipal “Progreso con Justicia Social”*. 2008 – 2012. Córdoba, Puerto Escondido, Colombia: Concejo municipal de Puerto Escondido, Departamento de Córdoba. 143 p.
- Consejo Municipal de Canalete. 2012. *Plan de Desarrollo Municipal, 2012-2015 “Por la Senda de la Prosperidad”*. Córdoba, Canalete, Colombia: Concejo Municipal de Canalete, Departamento de Córdoba. 12 de abril de 2012. 272 p.
- Consejo Municipal de San Antero. 2012. *Plan de Desarrollo Municipal “Haciendo de San Antero el Mejor Lugar de Colombia” 2012-2015*. Córdoba, San Antero, Colombia: Consejo Municipal de San Antero, Departamento de Córdoba. 211 p.
- Contraloría Distrital de Santa Marta. 2012. *Informe Definitivo No. 002. Auditoria Gubernamental con enfoque integral modalidad especial al servicio público domiciliario de alcantarillado sanitario en el distrito turístico cultural e histórico de santa marta, vigencia 2011*. Santa Marta. 153 p.
- CORMAGDALENA- Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena 2007. *Formulación del Plan de Manejo de la Cuenca del Río Magdalena – Cauca, Segunda Fase*. Barrancabermeja. 297 p.
- CORPAMAG-Corporación Autónoma Regional del Magdalena. 2011. *Plan de Acción para la Atención de la Emergencia y Mitigación de sus Efectos-PAAEME*. Mataderos. Corporación Autónoma Regional del Magdalena. Santa Marta. 12 p.
- CORPAMAG- Corporación Autónoma Regional del Magdalena. 2012. *Información suministrada por la corporación*.
- CORPAMAG-Corporación Autónoma Regional del Magdalena. 2012. *Otorgamiento de concesión de aguas superficiales a la empresa operadores de servicios de la sierra S.A. E.S.P. proveniente del Río Córdoba para abastecimiento del acueducto del municipio de Ciénaga y Pueblo Viejo*. CORPAMAG. Santa Marta. 5 p.

- CORPAMAG-Corporación Autónoma Regional del Magdalena. 2013. Ecosistema Fisiográfico de la Zona Costera. Ecosistema Costero. Información Ambiental. Ecosistemas Fisiográficos. Zona Costera. Gestión de Ambiental Corpamag. <http://www.corpamag.gov.co/index.php/es/informacion-ambiental/ecosistemas-fisiograficos/zona-costera>. 19/11/2013.
- CORPOGUAJIRA- Corporación Autónoma Regional de La Guajira. 2012. Información suministrada por la corporación.
- CORPOGUAJIRA e INVEMAR. 2012. Atlas marino costero de La Guajira. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR No.27. Santa Marta, Colombia. 188p.
- CORPOURABA- Corporación para el desarrollo sostenible del Urabá. 2012. Información suministrada por la corporación.
- Corredor, J.E. 1977. Aspects of Phytoplankton dynamics in the Caribbean sea and adjacent regions. Symposium on Progress in marine research in the Caribbean and adjacent regions. FAO. Fish. Rep., 200: 101-114.
- Cortés, M., Luna-Jorquera, G. 2011. Efecto de la edad y la localidad en la concentración de cadmio y cobre en el hígado de la gaviota dominicana *Larus dominicanus*. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 46(2): 287-292.
- CRA-Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 2007. Documentación del estado de las cuencas hidrográficas en el departamento del Atlántico. Barranquilla, 114 p.
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2009. Diagnóstico de áreas forestales en el Pacífico Caucaño. <http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/PortafolioProyectos/Sintesis/.pdf>
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2009. Diagnóstico de áreas forestales en el Pacífico Caucaño. <http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/PortafolioProyectos/Sintesis/.pdf>
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2002. Plan de Gestión Ambiental Regional del Departamento del Cauca. CRC. Popayán. 209 p.
- CRC – Corporación Autónoma Regional del Cauca. 2009. Diagnóstico de áreas forestales en el Pacífico Caucaño. <http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/PortafolioProyectos/Sintesis/.pdf>
- 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>. 02/12/13.
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. 2013. Colombia. Estimación y Proyección de población nacional, departamental y municipal por área 1985-2020. <http://www.dane.gov.co/index.php/es/poblacion-y-registros-vitales/proyecciones-y-series-de-poblacion/proyecciones-de-poblacion>. 01-12-2013.
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2005. Censo de población y vivienda 2005. Sistema de consulta REDATAM. www.dane.gov.co/censo2005. 14/11/2013.
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. 2013. Censo de población y vivienda 2005. Proyecciones de la Población 2013. Sistema de consulta REDATM. Disponible en: www.dane.gov.co/censo2005. 12/10/2013.
- 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
- Delcroix. T. y Hélin. C, 1991. Seasonal and interannual variations of sea surface salinity in the tropical Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 96: 22135-22150.
- Díaz, P.M. Claudio R. M y Raisa Z. 2010. Aspectos fundamentales sobre el género *Enterococcus* como patógeno de elevada importancia en la actualidad. *Revista Cubana Higiene y Epidemiología*. 48 (2): 147- 161.
- Díaz-Pulido, G. y Garzón-Ferreira, J. 2002. Seasonality in algal assemblages on upwelling-influenced coral reefs in the Colombian Caribbean. *Botánica Marina*, 45: 284-292.
- DIRPEN -Dirección de Regulación, Planeación, Estandarización y Normalización. 2011. Encuesta Ambiental Industrial 2009. Bogotá. 317 p.
- DNP- Departamento Nacional de Planeación. 2006. Fundación Pro-Sierra Nevada de Santa Marta y Banco Mundial. Proyecto de aprendizaje e innovación para el desarrollo sostenible de la Sierra Nevada de Santa Marta – PAIDS. Santa Marta, Colombia. 148p. + Anexos.
- DNP-Departamento Nacional de Planeación. 2007. Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad. Documento regional, Magdalena. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá. 52 p.
- Donaires, Teófilo, y otros. 2005. Evaluación de Impacto Ambiental del Botadero de Basura de Cancharani-Puno-Perú. Puno, Perú : Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú. Facultad de Ingeniería Química., 2005. 1 p.
- Dragun, Z.; Kapetanovic, D.; Raspor, B y Teskeredzic, E. 2011. Water Quality of Medium Size Watercourse Under Baseflow Conditions: The Case Study of River Sutla in Croatia. *AMBIO*. 40: 391-407.
- Ellison, J.C. 1998. Impacts of Sediment Burial on Mangroves. *Marine Pollution Bulletin*. 37 (8-12): 420-426
- El-Serehy, H. A., Aboulela, H., Al-Misned, F., Kaiser, M., Al-Rasheid, K., El-Din., H. E. 2012. Heavy metals contamination of a Mediterranean Coastal Ecosystem, Eastern Nile Delta, Egypt. *Turk. J. Fish. Aquat.* 12: 751-760.
- Emerson, S.R. y Hedges, JH. 2008. *Chemical oceanography and the marine carbon cycle*. Cambridge University Press, Nueva York. 453 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.
- 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.
- Escobar, J. 2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de los recursos naturales e infraestructura - CEPAL. Santiago de Chile. 68 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., 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.
- Espinoza, G. 2001. Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo-BID; Centro de Estudios para el Desarrollo-CED., 2001. Santiago de Chile. 183 pág.
- 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.
- FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2006. La ganadería amenaza el medio ambiente, es necesario encontrar soluciones urgentes. Roma. 4 p. www.fao.org/newsroom/ES/news/2006/1000448/index.html. 29/11/2013.
- Flores, M. A.; Flores, M y Ríos, M. 2011. Calidad bacteriológica de las principales playas de la bahía de Acapulco, Guerrero. *Rev. Contactos*. 80: 5-11.
- Forbes B.A. 2009. *Diagnostico Microbiológico*. Ed. Médica Panamericana. 12 ed. Buenos Aires. 1026p.
- Gage, J. D. y P. A. Tyler. 1999. *Deep-sea biology. A natural history of organisms at the deep-sea floor*, Cambridge University Press. United Kindom.
- 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 et al. 2004. Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar- PNICM. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”- INVEMAR. Santa Marta. 110 p.
- Garay, 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., G. Ramírez; J. Betancourt; B. Marín; B. Cadavid; L.Panizzo; J. Lesmes; H. Sánchez y A. Franco. 2003a. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta, 177p.
- 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, L. 2004. Capítulo 3. Metodologías de Evaluación del Impacto Ambiental. Tesis Doctorales en Red. Cataluña España. 76 p.
- 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, J. M. y J. Palacio, 2008. Macroinvertebrados asociados a las raíces sumergidas del mangle rojo en las bahías Turbo y El Uno, Golfo de Urabá (Caribe colombiano). *Revista Gestión y Ambiente*, 3(11): 55-64.
- García-Valencia C. (Ed.) 2007. Atlas del Golfo de Urabá: Una mirada al caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de investigaciones marinas y costeras – INVEMAR y Gobernación de Antioquia. Serie de publicaciones especiales. 12. Santa Marta. 180 p.

- Gesamp, 2001. A sea of troubles. IMO/FAO/UNESCO-IOC/ WMO/WHO/IAEA/UN/UNEO Joint Group of Experts on the scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP). Reports and Studies No. 70. 35 p.
- Gidhagen, L. 1981. Introducción a la Oceanografía Física y Química para estudiantes de Biología Marina. Universidad del Valle. Sección de Biología Marina, 237 p.
- Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Documento en línea: http://www.sanandres.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=116&Itemid=138. Fecha de consulta 21 de noviembre de 2013
- Gobernación del Magdalena. 2006. El Magdalena en Cifras. Oficina Asesora de Planeación Santa Marta, Colombia. 245p.
- Gobernación del Magdalena. 2012. Secretaría de Desarrollo Económico. Inventario de Especies agrícolas y pecuarias en los municipios del Magdalena 2012. Santa Marta. 37 p.
- Gobernación de Sucre. 2011. Nuestro Departamento - Información general - Geografía de Identificación del Departamento: <http://www.sucre.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=mIxx-1-&m=f.01/10/2013>.
- Gobernación de Nariño. 2012. Historia del Departamento de Nariño. Documento en línea: http://www.narino.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=739&Itemid=116.
- Gochfeld, D. J., Schlöder, C., Thacker, R. W. 2007. Sponge community structure and disease prevalence on coral reefs in Bocas del Toro, Panama. *Porifera Research: Biodiversity, Innovation and Sustainability*. 335-343
- Gonzales M.I., T. Torres y S. Chiroles. 2003. Calidad microbiológica de aguas costeras en climas tropicales. *Revista Cuba, medio ambiente y desarrollo*. 4: 1-7.
- Gonzales M.I., T. Torres y S. Chiroles. 2004. *Aeromonas* sp.: Patógenos emergentes a considerar en aguas. *Revista Cuba, medio ambiente y desarrollo*. 4 (6): 1-8.
- 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
- Graham N.A.J, McClanahan T.R, MacNeil M.A, Wilson S.K, Polunin N.V.C, et al. 2008 *Climate Warming, Marine Protected Areas and the Ocean-Scale Integrity of Coral Reef Ecosystems*.
- Graham, N.A.; McClanahan, T.R; MacNeil, M.A; Wilson, S.K. y Polunin, N.C. 2008. *Climate Warming, Marine Protected Areas and the Ocean-Scale Integrity of Coral Reef Ecosystems*.
- GTM- Grupo Transmerquim. 2011. Hoja de datos de seguridad de Banole. Brasil. 7 p. <http://www.gtm.net/images/es/nuestrosproductos/b/BANOLE%20HV-2a%20revision.pdf>. 29/11/2013
- Hernández- Ayón, J., Zirino, A., Marinote, S., Camino-Herrera, R y Galindo- Beer, M. (2003). Relación pH-densidad en el agua. pH-density relationships in seawater. *Ciencias Marinas* 29 (4): 497- 508.
- Hensyl, W.R. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Ed. Williams & Wilkins. 9 ed. Baltimore. 787p.
- Herrera F. O. y O. Galvis. 2012. Recursos hidrobiológicos del departamento del Atlántico: Problemática y alternativas de desarrollo. *Revista Dugandia*. 4(1): 9-13.
- 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
- Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine Freshwater Research*. 50: 839-66.

- 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, C. M. Agudelo, L.V. Perdomo, D. Mármol y M. Rueda. 2013. 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 2012. Santa Marta 130 p.+ anexos.
- ICA- Instituto Colombiano Agropecuario. 2013. Plaguicidas Químicos. Listado de Registros de uso de plaguicidas químicos de uso agrícola. Bogotá. 30 p. <http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Regulacion-y-Control-de-Plaguicidas-Quimicos.aspx>. 21/11/2013.
- 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. 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. 2013. Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña". Boletín No.50. 4p.
- IDEAM, 2005. Atlas Climatológico de Colombia: Part 2, Distribución espacio-temporal de las variables del clima. IDEAM, Bogota. 74 p.
- IDEAM. 2012. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM Boletín informativo sobre el monitoreo de los fenómenos de variabilidad climática “El Niño” y “La Niña”. Boletín No. 49. 5p.
- IDEAM. 2013. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña". Boletín No. 45. 6 p.
- IDEAM. 2013. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Informe técnico diario. No. 056. 3 p.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales. 2012. <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/jsp/loader.jsf?id=894&lServicio=Publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&lTipo=publicaciones&d=49700-p=1>. 21/11/2013
- IDEAM. 2012. Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña". Boletín No.41. 6 p.
- IDEAM, 2005. Atlas Climatológico de Colombia: Part 2, Distribución espacio-temporal de las variables del clima. IDEAM, Bogotá. 74 p.
- IDEAM, 2012. Boletín informativo sobre el monitoreo de los fenómenos de variabilidad climática "el niño" y "la niña". Boletín No. 49. 5p.
- IDEAM. 2012. Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña". Boletín No.49. 6 p.
- IDEAM, 2005. Atlas Climatológico de Colombia: Part 2, Distribución espacio-temporal de las variables del clima. IDEAM, Bogotá. 74 p.
- Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente-INDERENA. 1994. Caracterización y seguimiento de la calidad del agua del entorno hídrico de Cartagena de Indias desde el Punto de vista físico-químico. Cartagena de Indias D.T. y C Diciembre. 42p.
- IGAC- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2002. Atlas de Colombia. 5 ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Imprenta Nacional, Bogotá. 320 p.

- IGAC- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2009. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras: departamento del Magdalena, escala 1:100.000. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología. Bogotá. 469 p.
- 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.
- 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. 2011b. Red de Información y Datos del Pacífico sudeste para el apoyo a la gestión integrada del Área Costera. Fase I; Informe Técnico de Avance UNESCO Fase I, Santa Marta (Versión en revisión), 30p.
- INVEMAR. 2008. Formulación del Plan de Manejo Integrado de la Unidad Ambiental Costera de la Vertiente Norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, Caribe colombiano: delimitación del área, identificación de actores, caracterización, diagnóstico integrado y avances en la formulación de las líneas de acción. Editado Por: A.P. Zamora y P.C. Sierra-Correa. Santa Marta. 425 p + Anexos.
- 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. 2013. 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>. 10/07/2013
- INVEMAR y 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. 2013. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Base de datos de la Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. <http://www.invemar.org.co/siam/redcam>. 3/07/2013.
- 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, 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 y 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
- 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
- Kathiresan, K. y B.L. Bingham. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*. Academic Press. 81 - 251.

- Kasprzaka, K. S., Sunderman, F. W., Salnikow, K. 2003. Review: Nickel carcinogenesis. *Mutation Research* 533: 67–97
- Kleypas, JA, y Hoegh-Guldberg, O. 2008. Coral reefs and global climate change, Status of Caribbean Coral Reefs after Bleaching and Hurricanes in 2005, C Wilkinson, Ed., Global Coral Reef Monitoring Network. *Bulletin of Marine Science*, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science of the University of Miami 2(3) 19-29.
- 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). 1119-1131.
- Leble, Serge. Chignon, Rene. El Archipiélago de las Islas del Rosario, Estudio Morfológico, Hidrodinámico y Sedimentológico”. *Boletín Científico CIOH n° 7*, Cartagena, Colombia, 1987. 37 – 49 p.
- Leandro, H., J. Coto, V. Salgado. 2010. Calidad del agua de los ríos de la microcuenca IV del río Virilla. *UNICIENCIA*. 24: 69-74.
- Llinás, R., J. Pinto, F. Peña y F. Caro. 1990. Cáp 2A: Geología: 65-72. En: Rangel, O. y J. Aguirre (Eds.). *Biota y ecosistemas de Gorgona*. Fondo FEN Colombia, Bogotá.
- López A.L., G. Manjarrez, L. Herrera, A. Montes, Y. Olascuaga y R. Ortega, 2011. Aislamiento de *Vibrio* spp. En ostras (*Crassostrea* spp.) capturadas en la ciénaga de la Virgen. *Rev. CIENCIACTUAL*. 1(1): 25-30.
- Luque, C.J., Castellanos, E.M., Castillo, J.M., González, M., González-Vilches, M.C. & Figueroa, M.E. 1998. Distribución de metales pesados en sedimentos de las Marismas del Odiel (Huelva, SO.España). *Cuaternario y Geomorfología*, 12 (3-4): 77-85.
- MADR- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Gobernación del Magdalena, Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola-FNFH, Asociación Hortifrutícola de Colombia – Asohofrucol, Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle del Cauca – SAG. 2006. *Plan Frutícola Nacional Desarrollo de la Fruticultura en el Magdalena*. ISBN 978-958-9187-53-1. Cali. 62 p.
- MAVDT- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2004). El Plan de manejo para el sitio Ramsar y Reserva de Biosfera de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En *RAMSAR-MAVDT-CORPAMAG-INVEMAR*. ISBN: 958-97548-4-8. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT. Bogotá. 179 p.
- MAVDT-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2005. Decreto número 4741 de 2005. Reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Bogotá. 25 p.
- MAVDT-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2007. Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible/Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial OCADE. *Gestión integral de residuos o desechos peligrosos. Bases conceptuales.*, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, D.C., Colombia 186 p.
- MAVDT-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2008. Ley 1252 de 2008. Normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones. Bogotá. 9 p.
- MAVDT-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Metodología para el cálculo de multas por infracción a la normativa ambiental. Viceministerio de Ambiente. Bogotá. Colombia.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 44 p.
- MAVDT- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2004). El Plan de manejo para el sitio Ramsar y Reserva de Biosfera de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En *RAMSAR-MAVDT-CORPAMAG-*

- INVEMAR. ISBN: 958-97548-4-8. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT. Bogotá. 179 p.
- MAVDT-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2005. Decreto número 4741 de 2005. Reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Bogotá. 25 p.
- Manahan, S. 2007. Environmental Chemistry. 8ª ed. Edit. Reverté S.A. España. 725 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.
- Márquez, G. 1982. Los sistemas ecológicos marinos del sector adyacente a Santa Marta, Caribe colombiano I: generalidades. Ecología Tropical, 2 (1): 5-18.
- Marrugo, J. L y Paternina, R. 2011. Evaluación de la Contaminación por Metales Pesados en la Ciénaga la Soledad y Bahía de Cispatá, Cuenca del Bajo Sinú, Departamento de Córdoba. Centro de Investigaciones, CIUC. Universidad de Córdoba, Montería.
- Metroagua. 2012. Metroagua. Inicio. Servicios. Alcantarillado. Descripción del Servicio de Acueducto. http://www.metroagua.com.co/wordpress/?page_id=28. 28/11/2013
- 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
- MinDesarrollo - Ministerio de desarrollo económico. 2000. Sistemas de Acueducto. En: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS-2000. Sección II, Título B. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá. 206 p.
- Ministerio de Minas y Energía. 2009. Subsector Minas Información departamento del Magdalena. República de Colombia. Bogotá. 16 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
- Molares R., M. Cañon, M. González. 2001. Caracterización oceanográfica y meteorológica del Caribe colombiano. Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas (CIOH). Cartagena de indias. 114 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.
- 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.
- MMA-Ministerio de Medio Ambiente. 1999. Guía de manejo ambiental para estaciones de servicio de combustible. Bogotá. 209 p.
- Muniz, K., Cruzado, A. y C. Ruiz de Villa. 2001. Análisis estadístico de la calidad de los datos de nutrientes (nitrato y fosfato) y obtención de un modelo objetivo de predicción en el Mediterráneo noroccidental. Statistical analysis of nutrient data quality (nitrate and phosphate), applied to useful predictor models in the northwestern Mediterranean Sea. Instituto Español Oceanografía 17 (3 y 4): 221-231

- 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.
- Navas S.G.R., S. Zea y N.H. Campos. 2002. Comparación de los flujos de nitrógeno y fósforo inorgánicos disueltos en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano, obtenidos a partir de cámaras de incubación in-situ e incubación de núcleos de sedimento en laboratorio. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Naturales, Físicas y Exactas*. 26 (101): 519-531.
- NOAA. 1990. A special 20th anniversary report, coastal environmental quality in the United States, chemical contamination in sediments and tissues. Washington. 6p.
- NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y Bienes Nacionales. (Aclaración 30-abril-1997). 6-ene-1997. México D.F. 5 p.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Coastal and fresh waters, vol. 1. Ginebra, 219 p.
- Operadores del Servicio la Sierra. 2012. Marco Histórico. Ciénaga-Magdalena. Cobertura de aseo, acueducto y alcantarillado. http://operadoresdelasierra.com/files/MARCO_HISTORICO.pdf. 20/11/2013.
- Pacheco, J. y A. Cabrera, 2003. Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Revista Ingeniería* 7(2):47-54.
- Pica G. Y, y P. Ramirez. 2012. Contribuciones al conocimiento de la ecotoxicología y química ambiental en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 484 p.
- PNUD-Programa de las naciones unidas para el Desarrollo. 2012. Santa Marta 2012. Estado de avance de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Cobertura de Aseo. Alcaldía Distrital de Santa Marta. ISBN 978-958-8758-31-2. Bogotá. 101 p.
- PNUD- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2012. Plan Departamental de Gestión del Riesgo Sucre - Variables Climatológicas: <http://www.sigpad.gov.co/sigpad/pnud/Descarga.aspx?id=80>. 87 p. Bogotá. 01/10/2013.
- 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>. 01/10/2013
- PNUMA, 2008, Guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales (agua, suelos/sedimentos y biota). Manual del Programa de Monitoreo Costero del Proyecto GEF-REPCar. PNUMA, Programa Ambiental de Caribe. Kingston, Jamaica. 121p.
- Polanía, J., C. Orozco e I. Angel, 2006. Delta del Rio Rancheria (La Guajira, Colombia): Caudal, Salinidad y Transporte de Sólidos y su posible influencia sobre composición y estructura de los manglares. *Actual Biol* 28(84):27-37.2006.
- 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.
- Posada, B.O y Henao, W. 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR, Serie de publicaciones especiales No. 13, Santa Marta, 200 p.
- Posada, B.O., 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, 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.
- Prahl H. von, Cantera J. & Contreras R., 1990. Manglares y hombres en el Pacífico colombiano. Bogotá, Fondo FEN y Editorial Presencia: 198 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. 137 p.
- Ramos, L. M.; L. A. Vidal, S. Vilarly y L. Saavedra. 2008. Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. Acta. Biol. Colomb., 13(3): 87-98.
- Restrepo, J. D. Zapata, P. Díaz, J. Garzón- Ferreira, J. García, C. Restrepo, J. 2005. Aportes Fluviales al Mar Caribe y Evaluación Preliminar del Impacto sobre los Ecosistemas Costeros. 189-215. En: Restrepo J. D. Los Sedimentos del Río Magdalena: Reflejo de la crisis ambiental. Universidad de EAFIT. Medellín. 189-215.
- Restrepo, J. 2006. Aporte de los caudales de los ríos Baudó, San Juan, Patía y Mira a la cuenca Pacífica Colombiana. Boletín Científico CCCP, (13): 17-32.
- Ribón, M. y D. Rodríguez. 2002. Río Manzanares recuperación fluvial e integral y propuesta de manejo en su zona baja y urbana. Estudio Ambiental. Tomo V. Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad del Magdalena. Santa Marta.
- Rodier, J. 2009. Análisis del agua. 9a edición. AMV Ediciones, Madrid. 1539 p.
- Rodríguez-Ramirez, A., M.C. Reyes-Nivia., N. Santodomingo., J- Olaya-Restrepo., J. Vega-Sequeda., R. Navas-Camacho., K. Gómez-Campo y K. Bernal. 2007. Estado de las formaciones arrecifales y sus comunidades de peces en el área de Santa Marta. En: INVEMAR. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2006. Serie de publicaciones periódicas; No.8. Santa Marta, Colombia.
- Rodríguez C. 2012. Calidad de cuerpos de agua: municipios Heres y Caroní del estado de Bolívar, Venezuela. Revista Universidad, ciencia y tecnología. 16 (62): 3-11.
- Rubio, B., L. Gago, F. Vilas, M. Nombela, S. García-Gil, I. Alejo & O. Pazos. 1996. Interpretación de tendencias históricas de contaminación por metales pesados en testigos de sedimentos de la Ría de Pontevedra. Thalassa, 12: 137-152.
- Salas, J. 2004. El Cerrejón y sus efectos: una perspectiva socioeconómica y ambiental. Efectos Negativos o Insatisfactorios. Biblioteca Virtual Banco de la República de Colombia Luis Ángel Arango: Bogotá. 19 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.
- Sadiq, M. 1992. Toxic metal chemistry in marine environments. Marcel Dekker, New York, 390 pp.
- Secretaría de planeación distrital Pueblo Viejo. 2008. Plan de Desarrollo Municipal de Pueblo Viejo 2008-2011. República de Colombia. Departamento del Magdalena. Municipio de Pueblo Viejo. Secretaría de Planeación. Santa Marta. 142 p.
- SIAC. 2013. Sistema de Información Ambiental de Colombia. <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=374&conID=1240&pagID=1371>. 14/06/2013.
- 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.

- Sinokrot, Sinokrot, B. A., and Stefan, H. G. 1993. Stream temperature dynamics: Measurements and modeling. *Water Resour. Res.*, 29(7), 2299–2312.
- Soler, T. W., H. Durango, J. Soler. 2010. Control microbiano de agua de mar mediante microfiltración. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*. 28(2): 141-148.
- Stevenson M.R. Guillen G.O. y Santorode Ycaza J., 1990. *Marine atlas of the Pacific coastal waters of South America* Berkeley, Univ. Calif. Press. 23p.
- SSPD-Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. 2009b. *Sistema de Alcantarillado en Colombia: Visión del Servicio Público*. Bogotá, 109 p.
- SSPD-Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios delegada para acueducto, alcantarillado y aseo. 2009. *Diagnóstico del Indicador de Calidad del Aguas suministrada por las empresas prestadoras del servicio*. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios-SSPD. Bogotá. 153 p.
- SSPD- Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. 2009a. *Publicación de coberturas de acueducto y alcantarillado 2009*. <http://www.superservicios.gov.co/>. 20/10/2012.
- SSPD-Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. 2012. *Informe Nacional de Disposición Final 2012*. http://www.superservicios.gov.co/home/c/document_library/get_file?uuid=bd321493-655b-4122-9981-24fdd5091a52&groupId=2859846. Bogotá. 54 p. 06/10/2013.
- Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Board of Canada. Segunda Edición. Ottawa.
- Suárez J., A.J. Burgos, J.A. Álvarez, Jean-Pierre Blanco, D. Hernáez y H. del Río. 2012. *Implicaciones sobre la estación depuradora de la gestión de aguas pluviales en los sistemas de saneamiento unitario: estrategias de integración y afecciones sobre los procesos*.
- Suárez J., A.J. Burgos, J.A. Álvarez, Jean-Pierre Blanco, D. Hernáez y H. del Río. 2012. *Implicaciones sobre la estación depuradora de la gestión de aguas pluviales en los sistemas de saneamiento unitario: estrategias de integración y afecciones sobre los procesos*.
- Suárez, P. M. 2002. *Tendencia actual del Estreptococo como indicador de contaminación fecal*. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 40(1): 38-43.
- 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.
- Superintendencia de Puertos y Transportes, 2008. *Estadísticas. Informes Consolidados*. 2008. http://www.supertransporte.gov.co/super/index.php?option=com_content&view=article&id=580&Itemid=456&lang=es. 30/11/2013
- 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.
- Touchette, B.W., Burkholder, J.M. 2000. *Review of nitrogen and phosphorus metabolism in seagrasses*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 250: 133-167.
- Tours, 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.

- Tombesi, N.B., Pistonesi, M.F., and Freije, R.H. 2000. Physico-chemical characterization and quality improvement evaluation of primary treated municipal wastewater in the City of Bahía Blanca (Argentina). *Ecol. Env. & Cons.* 6: 147-151
- 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.
- 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
- Tuckovenko, Y y L. Castro. 2001. Modelo de eutroficación para la Ciénaga de Tesca. *Boletín Científico Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrológicas CIOH*, 19: 38-57.
- Tuckovenko, 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.
- UAESPNN. Plan de manejo del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo. Territorial Caribe. Cartagena Colombia. 2006. 378 p.
- UNEP-RCU/CEP. 2010. Actualización del informe técnico del PAC No. 33 fuentes y actividades terrestres en la región del Gran Caribe. Cargas contaminantes domésticas e industriales y el aporte de las cuencas hidrográficas tributarias. Informe técnico del programa ambiental del Caribe. UNEP-PAC-CIMAB. 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–United States Environmental Protection 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.
- Vergara y, G. C. Méndez, H. Morante, V. Heredia, V. Béjar. 2007. Enterococcus y Escherichiacoli como indicadores de contaminación fecal en playas costeras de Lima. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográfica*. 10(20): 82-86.
- Vergaray G., C.R. Méndez, H.Y. Morante, V.I. Heredia y V.R. Béjar. 2007. Enterococcus y Escherichia coli como indicadores de contaminación fecal en playas costeras de Lima. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*. 10(20):82-86.
- Vidal, L., Vilardy, S., Saavedra, L., Mancera, J. 2004-2005. Estudio de la calidad de agua en la bahía de Santa Marta, un análisis histórico y geoestadístico dirigido a un plan de monitoreo. Convenio inter administrativo de cooperación técnica y financiera entre el DADMA y la Universidad del Magdalena. Santa Marta. 92 p.
- Viloria de la Hoz, J. 2008. Banano y reevaluación en el departamento del Magdalena 1997 – 2007. Serie de publicaciones sobre economía regional del Banco de la República No 105, Cartagena de Indias, 78 p.
- Vivas-Aguas, L., M. Tosić, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, L. Echeverri y L. Espinosa. 2010. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. Informe Técnico 2010. INVEMAR. Santa Marta, 208 p.
- Vivas-Aguas, L.J., M. Tosić, J. Sánchez, S. Narváez, B. Cadavid, P. Bautista, J. Betancourt, J. Parra, M. Carvajalino y L. Espinosa. 2011. 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.
- Vivas-Aguas, L.J., L. Espinosa, J. Sánchez, B. Cadavid, P. Bautista, M. Quintero, J. Betancourt, J. P. Parra, L. G. Parra, I. Cuadrado, K. Ibarra. 2012. Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. Informe técnico 2012. INVEMAR. Santa Marta, 310 p.
- Vivas-Aguas, L.J., L. Espinosa y L. G. Parra. 2013. Identificación de fuentes terrestres de Contaminación y cálculo de las cargas de Contaminantes en el área de influencia de La ciénaga grande de santa marta, Caribe Colombiano. Boletín de investigaciones Marinas y Costeras. Contribución No. 1117 del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar). Vol. 42. Cap. 1. ISSN 0122-976. Santa Marta. 24 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.
- Williams, R.J.P. y Fraústo da Silva, J.J.R. 2000. The distribution of elements in cells. *Coordination Chemistry Reviews.* 200–202: 247–348.
- Windom, H., Schropp, S., Calder, F., Ryan, J., Smith, R., Burney, L., Lewis, F., y Rawlinston, C. 1989. Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the south-eastern of United States. *Environ. Sci. Technol.*, 23: 314-320
- 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.

FE DE ERRATAS

En el Diagnóstico y Evaluación de Calidad de Aguas Marinas y Costeras de la REDCAM, Informe Técnico 2013, en el capítulo de Bolívar la figura 4.6-3 de salinidad estaba errada. A continuación se presenta la figura corregida.

