

EL ENTORNO AMBIENTAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CORALES DEL ROSARIO Y DE SAN BERNARDO



Libertad y Orden
Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible



Global
Environment
Facility



Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas

EL ENTORNO AMBIENTAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CORALES DEL ROSARIO Y DE SAN BERNARDO

Esteban Zarza-González (Editor)

Parques Nacionales Naturales de Colombia

Dirección Territorial Caribe

Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo

Cartagena de Indias, Colombia

2011

EL ENTORNO AMBIENTAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CORALES DEL ROSARIO Y DE SAN BERNARDO

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Ministro:

Frank Pearl

Viceministra:

Adriana Soto

PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA

Directora General:

Julia Miranda Londoño

Subdirección de gestión

y manejo de áreas protegidas:

Emilio Rodríguez Bastidas

Directora Territorial Caribe:

Luz Elvira Angarita Jiménez

Jefe de Área Protegida:

Teniente de Navío Juan José Sierra Aranguren

BANCO MUNDIAL - GEF (Global Environment Facility)

PATRIMONIO NATURAL - Fondo para Biodiversidad y las Áreas Protegidas

Director general:

Alberto Galán

Producción:

Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo (PNNCRSB).

Editor:

Esteban Zarza González

Subprograma de Investigación y Monitoreo

Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo

Bocagrande, Calle 4 No. 3-204

Cartagena de Indias, Colombia

Revisión Técnica:

Dra. María del Carmen Fernández Puga

Dpto. Ciencias de la Tierra

Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales

Universidad de Cádiz

Avda República Saharaui s/n, 11510 Puerto Real

Cádiz, España

Dr. Luis Arturo Soto González

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria

México D. F.

ISBN:

Coordinación editorial y diseño:

Quito Publicidad.

Foto portada:

Cap. Jaime Borda.

Todos los derechos son propiedad del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo. Esta obra no puede ser reproducida total ni parcialmente sin la autorización expresa del PNNCRSB.

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

Diciembre de 2011.

EL ENTORNO AMBIENTAL DEL PARQUE NACIONAL NATURAL CORALES DEL ROSARIO Y DE SAN BERNARDO

TABLA DE CONTENIDO

Presentación

Prefacio

El Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo

PRIMERA PARTE.

COMUNIDADES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA

- Capítulo 1. Procesos históricos de las comunidades asentadas en el archipiélago del Rosario, isla Barú, isla de Tierra Bomba y archipiélago de San Bernardo.
Yemenis Ordosgoitia.
- Capítulo 2. Aspectos socioeconómicos de las principales comunidades de los archipiélagos de San Bernardo y Nuestra Señora del Rosario, y del sector de Barú.
Mónica Alexandra Duque-Rico y Lizbeth Torres-Gómez.

SEGUNDA PARTE.

ASPECTOS FÍSICOS

- Capítulo 3. Clima marino.
Carolina Gutiérrez-Moreno, Milena Marrugo, Pilar Lozano-Rivera, Paula Cristina Sierra y Carlos Andrade.
- Capítulo 4. Contexto Geológico
Javier Idárraga-García y Juan Felipe Gómez-Velásquez.
- Capítulo 5. Geomorfología, sedimentos, intervenciones antropogénicas y amenazas naturales.
Nelson Guillermo Rangel-Buitrago.
- Capítulo 6. Calidad de aguas.
Julián Mauricio Betancourt-Portela, Luisa Fernanda Espinosa, Silvia Narváez, Janet Vivas-Aguas y Juan Pablo Parra.
- Capítulo 7. Los sedimentos del río Magdalena y su impacto sobre los arrecifes coralinos de islas del Rosario: Una prioridad de investigación nacional.
Juan D. Restrepo-Ángel y Elvira M. Alvarado.
- Capítulo 8. Erosión costera.
Juan Camilo Restrepo, Luís Otero, Alejandro Henao, Enovaldo Herrera y Andrés Osorio.

TERCERA PARTE.

ECOSISTEMAS

- Capítulo 9. Formaciones arrecifales.
Elvira M. Alvarado, Valeria Pizarro y Adriana Sarmiento-Segura.
- Capítulo 10. Praderas de pastos marinos.
Diana Isabel Gómez-López.
- Capítulo 11. Litoral rocoso.
Angélica María Batista-Morales y Christian Michael Díaz-Sánchez.
- Capítulo 12. Lagunas costeras e interiores.
Esteban Zarza-González y Juan Carlos Gómez-Quesada.

CUARTA PARTE.

BIODIVERSIDAD

- Capítulo 13. Corales y otros cnidarios arrecifales.
Valeria Pizarro, Elvira María Alvarado y Vanessa Carrillo.
- Capítulo 14. Crustáceos decápodos de las islas del Rosario.
Néstor Hernando Campos-Campos.
- Capítulo 15. Moluscos.
Adriana Gracia-Clavijo.
- Capítulo 16. Equinodermos.
Milena Benavides-Serrato.
- Capítulo 17. Esponjas.
Sven Zea y Christian Michael Díaz-Sánchez.
- Capítulo 18. Peces.
Andrea Polanco-Fernández y Arturo Acero-Pizarro.
- Capítulo 19. Aves.
Diego Luis Duque-García y Rebeca Franke-Ante.
- Capítulo 20. Macroalgas.
Martha C. Díaz-Ruiz y Diana C. Palacios.

QUINTA PARTE.

USOS Y AMENAZAS SOBRE LOS RECURSOS NATURALES

- Capítulo 21. Efectos de la pesca sobre los recursos hidrobiológicos.
Héctor Manuel Martínez-Viloria, Luis Aurelio Martínez-Whisgman, Ameth Vargas-Pineda y Juan Carlos Narváez-Barandica.
- Capítulo 22. Características de la comercialización de material biológico marino para la elaboración de artesanías y venta de recordatorios.
Yemenis Ordosgoitia y Esteban Zarza-González.
- Capítulo 23. Características de la actividad turística.
Jair Mendoza, Luz A. Castro, Pilar Herrón, Camilo Montañó y Fabio Castro.
- Capítulo 24. Blanqueamiento coralino: amenaza para el futuro de los arrecifes de coral de los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y San Bernardo.
Kelly Gómez-Campo, Tomás López-Londoño, Diego L. Gil-Agudelo, Raúl Navas-Camacho, Jaime Alberto Rojas, Jaime Garzón-Ferreira.

SEXTA PARTE.

ESTUDIOS DE CASO

- Capítulo 25. El “Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia - SIMAC” en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo: 1998 - 2009.
Raúl Navas-Camacho, Johanna Vega-Sequeda, Kelly Gómez-Campo, Tomás López-Londoño, Diego Luis Gil-Agudelo, Laura Muñoz-Escobar, Jaime Rojas y Diego Luis Duque.
- Capítulo 26. Avances de un proceso participativo para generar línea base para monitoreo de tortugas marinas en el área protegida y su zona de influencia.
Diego Luis Duque-García, Bernardo Medrano-Medrano y Rebeca Franke-Ante.
- Capítulo 27. Resiliencia socioecológica en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo.
Juliana López-Angarita, Rocío Moreno-Sánchez, Elvira Alvarado Ch., María del Pilar Restrepo, Jorge Maldonado y Juan A. Sánchez.
- Capítulo 28. Evaluación de disponibilidad de hábitats para el caracol pala *Eustrombus gigas* en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo con propósitos de conservación.
Kelly Gómez-Campo, Mario Rueda y Carolina García-Valencia.
- Capítulo 29. Macrofauna invertebrada marina asociada a raíces de *Rhizophora mangle* L. en la bahía de Barbacoas y en la isla de Barú (Cartagena de Indias - Colombia).
Ángela Margarita Moncaleano-Niño.
- Capítulo 30. Aporte al conocimiento del zooplancton en lagunas costeras e interiores del Parque Corales, con el reporte de dinoflagelados relacionados con el fenómeno de bioluminiscencia.
Jenny Alexandra León-Rubriche y Esteban Zarza-González.
- Capítulo 31. Avistamiento del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo.
Jair Mendoza-Aldana, Camilo Montaña, Erika Paola Ortiz-Gómez.
- Capítulo 32. Tesoro de vida.
Raúl Armando Pacheco-Frayle.

Presentación

El conocimiento es el soporte para la formulación de las propuestas de manejo de un área protegida y es fundamental para el logro de sus objetivos de conservación: “mientras no conozcamos el estado de nuestros recursos, las presiones a las que se encuentran sujetos y las amenazas que enfrentan, es poco lo que podemos hacer para conservarlos”.

En el marco del proceso de actualización y ajustes de los planes de manejo de las áreas protegidas, el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia ha venido promoviendo el acopio y organización de la información ambiental disponible a la fecha sobre las distintas áreas protegidas, para lo cual se formuló el documento “Propuesta de ruta metodológica para la actualización de los planes de manejo de la UA-ESPNN”; esta propuesta, dentro de la temática “valoración del estado de la planeación del manejo”, recalca la necesidad de contar con una síntesis diagnóstica consolidada en un documento de línea base ambiental para cada área protegida de la Unidad.

El libro “El entorno ambiental del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo” constituye una de las primeras iniciativas para consolidar un documento de línea base ambiental por parte de un área protegida adscrita a Parques Nacionales Naturales de Colombia; en este sentido, el Parque Corales y, por ende, la Dirección Territorial Caribe pasan a integrar el grupo de pioneros a nivel nacional en los procesos de gestión interinstitucional y consolidación de la información relacionada con las investigaciones desarrolladas en las áreas protegidas, que derivan en la formulación de este tipo de documentos.

La presente publicación recopila gran parte de la información biofísica y ambiental del área protegida, obtenida a partir de proyectos de investigación científica que se han llevado a cabo por parte de entidades como el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), Universidades (Jorge Tadeo Lozano, Nacional, Los Andes), Organizaciones No Gubernamentales (TheNatureConservancy), distintos grupos de investigación inscritos en COLCIENCIAS, así como del personal del Parque Corales en proyectos de investigación para el manejo como REA (Restauración Participativa de Ecosistemas Acuáticos) y el estudio de Capacidad de Carga Turística, entre otros.

Esta publicación surge de la necesidad del Parque Corales de contar con un documento base que brinde información para la implementación del Programa de Monitoreo y que sirva para identificar vacíos de información que alimenten el Plan de Investigaciones. Igualmente, este documento brinda un soporte cognoscitivo al proceso de actualización del Plan de Manejo, lo cual le adjudica una notable importancia para la conservación de los recursos naturales de esta área protegida del Caribe colombiano, aportando así al logro de nuestra misión institucional; a razón de lo anterior, la publicación de este tipo de documentos constituye un buen ejemplo a seguir para otras áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Julia Miranda Londoño
Directora General
Parques Nacionales Naturales de Colombia

Prefacio

El Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo compone una de las 56 áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales del país, conformada por una riqueza en biodiversidad única e inigualable, que la hace no solamente atractiva a visitantes de todos los lugares del mundo, sino elegida por los investigadores por la innumerable información que de ella podemos obtener, en aras de su protección y conservación.

Saber en forma detallada el estado de conocimiento de los recursos naturales del Parque Corales es una misión bien difícil, así mismo vital, debido a la alta biodiversidad aun por conocer y estudiar. Poder recopilar la información obtenida de diferentes proyectos de investigación científica, nos ayudará a entender y acercarnos más a ese conocimiento que se requiere para la implementación de medidas de manejo, que coadyuven a la conservación de ésta importante área protegida de Colombia.

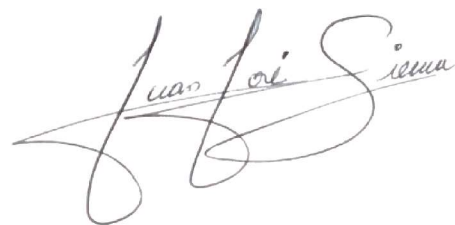
Entender que ésta Área Marina Protegida cuenta con una integralidad ecológica presente entre corales, pastos marinos, manglares, lagunas costeras e interiores, litoral arenoso, litoral rocoso, bosque seco tropical y ecosistemas asociados, solo es posible mediante la consolidación de una línea base ambiental que impacte directamente en la implementación del Plan de Investigaciones y del Programa de Monitoreo de éste parque marino, y que junto a los aspectos socioeconómicos, históricos, culturales, paisajísticos, turísticos y todos aquellos que interactúan para dinamizar este complejo sistema protegido, permitan definir y avanzar en esas acciones a implementar, que se requieren para garantizar la continuidad del Parque Corales como área protegida con su conjunto de valores biológicos, ecológicos y paisajísticos.

Los ecosistemas del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo poseen una alta productividad, al proveer variados recursos de fauna y flora, donde se han podido identificar entre otros, 62 especies de corales, 153 especies de crustáceos, 244 especies de moluscos, no menos de 153 especies de equinodermos, 199 especies de esponjas y 513 especies de peces. Recursos que tienen su hábitat en esta área marina protegida, rodeada principalmente por 6 comunidades con sus asentamientos en el área de influencia del Parque: Isla Grande, comunidad ubicada en el sector norte del Parque (archipiélago de Nuestra Señora

del Rosario); Ararca, Santa Ana y Barú, comunidades de la Isla de Barú; y Santa Cruz del Islote, Múcura y Ceycén, localizadas en el sector sur (archipiélago de San Bernardo), con aproximadamente 9.549 habitantes entre las 6 poblaciones, quienes desarrollan sus actividades y su modo de vida alrededor de ésta área protegida, la cual no solamente sirve de sustento a estas comunidades sino que también, tanto por su belleza como por su riqueza, la convierte además en el Parque Nacional más visitado de Colombia.

Con poca fortuna cabe anotar que día a día el Parque Corales se ve seriamente amenazado, no solamente por las actividades antrópicas que se desarrollan al interior y alrededor del mismo, sino además por todos los factores naturales que lo afectan tales como la erosión costera, aumento del nivel medio del mar, cambio climático, calentamiento global, la sedimentación y flujos de agua provenientes del Canal del Dique, razones suficientes para conocer en detalle el estado actual de éstos recursos naturales e intentar blindarlos de las presiones a que son sometidos.

La línea base del entorno natural del área protegida integrará un conocimiento amplio de los objetivos de conservación, sus valores objeto de conservación y los ecosistemas asociados, logrando de este modo conocer uno a uno los resultados científicos más significativos que se hayan obtenido hasta el momento, que aportarán adicional y transversalmente a los subprogramas de valoración social, regulación, restauración, saneamiento y relocalización, investigación y monitoreo, resultado del esfuerzo conjunto de un talento humano que sin lugar a dudas es del más alto nivel académico y científico, pretendiendo brindar a la comunidad en general, aportes de alta huella a la conservación de los recursos naturales, una de las tareas más difíciles de cumplir por el hombre, pero a su vez de la más satisfactorias.



Teniente de Navío Juan José Sierra Aranguren
Jefe de Área Protegida
PNN Corales del Rosario y San Bernardo

CALIDAD DE AGUAS

Julián Mauricio Betancourt-Portela, Luisa Fernanda Espinosa, Silvia Narváez, Janet Vivas-Aguas y Juan Pablo Parra

Programa de Calidad Ambiental Marina, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Cerro Punta de Betín, Santa Marta, Colombia A.A. 1016.

Resumen

Con el propósito de hacer una evaluación de la calidad de las aguas marinas en el Parque Nacional Natural los Corales del Rosario y San Bernardo (PNNCRSB), se analizó información ambiental tomada por diversas entidades y la información recolectada dentro de la *Red de Vigilancia de la Calidad Ambiental Marina y costera de Colombia -REDCAM*. El análisis de la información muestra que el mayor impacto sobre la calidad de las aguas del PNNCRSB es generado por las descargas de agua y material suspendido de los canales que desembocan en la bahía de Barbacoas. Dicho impacto se refleja en el descenso de salinidad a valores <30 , el aumento del contenido de sólidos suspendidos (>30 mg/L) y de nutrientes en agua que en algunos casos superan los valores históricos de la REDCAM en el Caribe colombiano ($20,0$ P- PO_4 μ g/L) o los reportados en algunos estudios sobre arrecifes coralinos ($70,0$ N- NO_3 μ g/L; y 140 N- NH_4 μ g/L; Fabricius, 2005; Cox y Ward, 2002). Los cambios de calidad de las aguas del PNNCRSB, pueden producir efectos negativos sobre los corales. Si bien a través de las descargas del Canal del Dique hay riesgo de introducción de plaguicidas y metales pesados, en el área del Parque, las concentraciones de estos contaminantes son bajas o no detectables, debido a la dilución que se lleva a cabo en la bahía de Barbacoas. La contaminación por hidrocarburos, parece tener su origen en las actividades que se desarrollan en la zona, como el desplazamiento de embarcaciones turísticas. Sin embargo, durante los 9 años de muestreo, las concentraciones se han mantenido por debajo del nivel de referencia de UNESCO/CARIPOL para aguas no contaminadas (<10 μ g/L). En cuanto a la contaminación microbiológica, con excepción del Islote ubicado en el archipiélago de San Bernardo y donde hay descargas de aguas servidas de la población de Barú, las demás estaciones han mostrado constantemente condiciones adecuadas para el desarrollo de actividades de recreación y para preservación de flora y fauna.

INTRODUCCIÓN

El término calidad del agua se refiere a la composición del agua, en la medida en que es afectada por la concentración de sustancias derivadas de procesos naturales o de actividades humanas. Este término no puede ser clasificado como bueno o malo, sin hacer referencia al uso para el cual se va a destinar el agua. Por lo tanto, los criterios, estándares y objetivos de calidad del agua variarán, dependiendo de si se trata de agua para consumo humano, para uso agrícola o industrial, para recreación o para mantener la calidad ambiental, entre otros (Beamonte *et al.*, 2004).

En Colombia, las aguas marino-costeras, entre ellas las del Parque Nacional Natural los Corales del Rosario y San Bernardo (PNNCRSB), son empleadas para múltiples fines, como el transporte marítimo, la acuicultura, recreación y los deportes náuticos, entre otros. En el desarrollo de estas actividades, se producen descargas de contaminantes a los ecosistemas deteriorando la calidad del recurso hídrico. Ante la preocupación nacional para evaluar la calidad de las aguas marinas y costeras, se estableció la *Red de Vigilancia de la Calidad Ambiental Marina y costera de Colombia - REDCAM*. Esta actividad se concibió como un sistema nacional, integrado por las entidades encargadas de la investigación, manejo y control de los recursos y ambientes marinos y costeros, con el fin de tomar, recopilar, analizar y sistematizar información que permita determinar la calidad de las aguas marino costeras del país. Adicionalmente, a través de la REDCAM se identifican las fuentes de contaminación, con el propósito de correlacionar la influencia de las actividades humanas con la calidad del agua.

En el área del PNNCRSB se identificaron dos tipos de fuentes de contaminación, la escorrentía continental proveniente de los caños que desembocan en la bahía de Barbacoas, y las actividades antrópicas que se desarrollan al interior del parque. La primera es quizás la que tiene un efecto más general sobre el Parque, mientras que la segunda está relacionada con la escasez de infraestructura de saneamiento básico, debido a la condición de

insularidad (aislamiento y pequeñez; Ratter, 2001), que impide implementar fácilmente sistemas de acueducto, tratamiento de aguas residuales, suministro de energía y transporte de residuos domésticos, por lo cual, la mayor parte los habitantes del área disponen los residuos directamente al mar, sometiendo el ecosistema a contaminación orgánica y microbiológica (PNNCRSB, 2006; INVE-MAR/UAESPNN/NOAA, 2006).

Para hacer seguimiento de la calidad del agua del Parque, la REDCAM cuenta con seis estaciones permanentes, en las cuales, semestralmente se monitorean variables fisicoquímicas, nutrientes inorgánicos disueltos, microorganismos indicadores de contaminación fecal y algunos contaminantes como hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados. En este capítulo se hace el análisis de la calidad de las aguas del PNNCRSB, usando la información recolectada dentro de la REDCAM e información ambiental aportada por otras entidades de la región.

Metodología

La información presentada hace parte de la base de datos de la REDCAM la cual es producida por los laboratorios de Calidad Ambiental Marina de INVE-MAR y las corporaciones autónomas de acuerdo al área de su jurisdicción. En las Islas del Rosario, las salidas de campo se realizaron de forma coordinada entre CARDIQUE y el INVE-MAR, en el caso del archipiélago de San Bernardo con el apoyo de CARSUCRE. Adicionalmente se usó información secundaria de algunos estudios realizados por el INVE-MAR en la zona insular (Solano *et al.*, 1993; Troncoso *et al.*, 2007; Navas-Camacho *et al.*, 2009).

Las estaciones REDCAM en el área del PNNCRSB son: *Isla Grande* (1), *Caño Ratón* (2), *Oceanario* (3), *Isla Arena* (4) e *Isla Barú* (Sector Cholón, 5) en el Departamento de Bolívar (Figura 6.1); y el *Islote* (archipiélago de San Bernardo), en el departamento de Sucre. Los resultados presentados corresponden a las mediciones hechas desde el 2001 al 2009, con una frecuencia semestral, un muestreo en la época seca y el otro en época de lluvias.

En cada estación, se midieron las variables *in situ* pH, oxígeno disuelto y salinidad, con equipos portátiles previamente calibrados, siguiendo los protocolos establecidos en el *Standard Methods* (APHA, AWWA y WEF, 2005) y el manual de técnicas analíticas del invernadero (Garay *et al.*, 2003). En muestras de agua se determinaron nutrientes inorgánicos disueltos, sólidos suspendidos y plaguicidas organoclorados, hidrocarburos y microorganismos indicadores de contaminación fecal.

Los nutrientes inorgánicos disueltos se determinaron mediante técnicas colorimétricas, los fosfatos por el método del ácido ascórbico, el amonio por el método del azul de indofenol, y los nitratos y nitritos por diazotación (APHA, AWWA y WEF, 2005; Garay *et al.*, 2003). La determinación de hidrocarburos y plaguicidas organoclorados se realizó mediante extracción líquido - líquido con hexano. Los hidrocarburos se midieron por fluorometría (UNESCO, 1984; Garay *et al.*, 2003) y los plaguicidas organoclorados por cromatografía de gases con detector de captura y detector selectivo de masa. Para determinar los metales pesados (cadmio-Cd, cromo-Cr, plomo-Pb, zinc-Zn y cobre-Cu) se empleó una extracción selectiva con APDC y metilisobutil cetona, y una re-extracción con ácido nítrico y

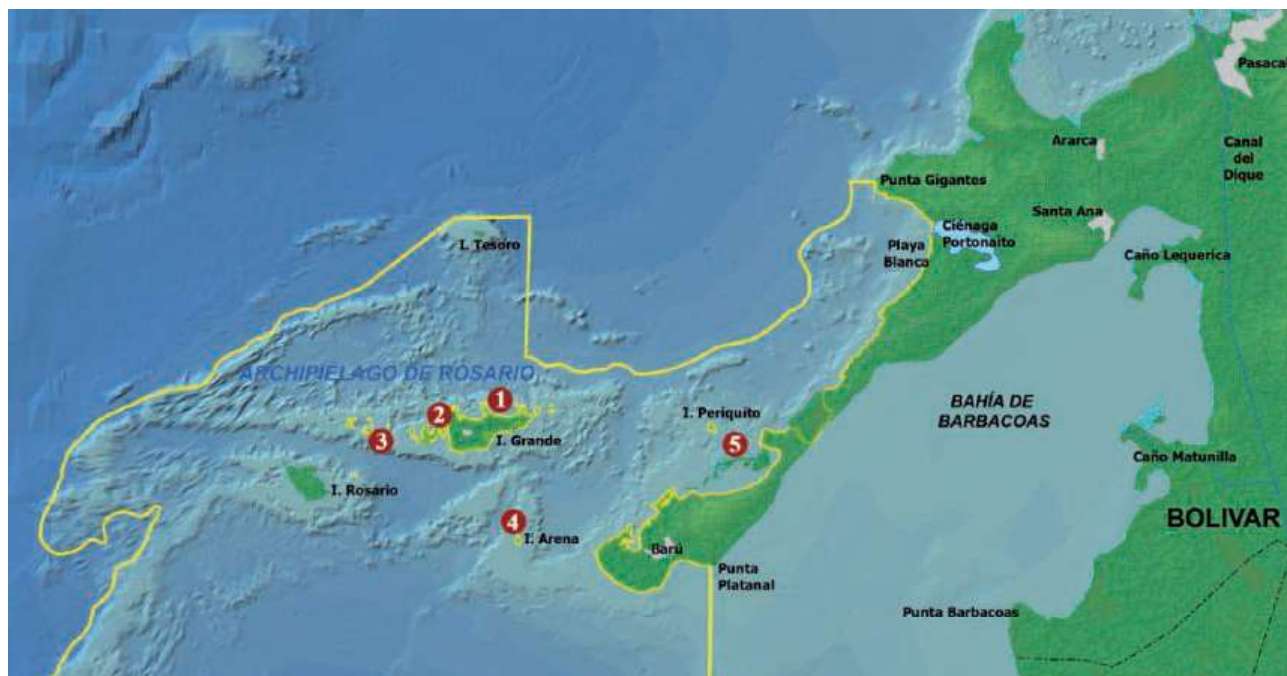


Figura 6.1. Ubicación de las estaciones de monitoreo para calidad de aguas en el Parque Nacional Natural Los Corales del Rosario y San Bernardo.

se cuantificaron por espectrometría de Absorción Atómica con llama (*Standard Methods* 3111-C; APHA, AWWA y WEF, 2005). Los microorganismos indicadores de contaminación fecal, coliformes totales y fecales (ahora conocidos como termotolerantes), se determinaron por medio del recuento indirecto en tubos múltiples de fermentación (*Standard Methods* 9221-C; APHA, AWWA y WEF, 2005).

Con la información de la REDCAM y de los otros estudios, se hicieron análisis de varianza para establecer diferencias entre las épocas climáticas. La evaluación de la calidad del agua se basó en los lineamientos del decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984), para aquellos parámetros de calidad que tienen valores definidos. Las concentraciones de nutrientes fueron comparadas con los registros históricos de la REDCAM en Caribe colombiano, clasificados por tipo de agua (estuarina o marina) a los cuales se les calcularon los valores “normales” correspondientes al cuartil de 75%, obteniendo los valores de 50 N-NO₃ µg/L, 25 N-NH₄ µg/L, y 20 P-PO₄ µg/L (Troncoso *et al.*, 2006). Adicionalmente los resultados se compararon con el estudio de Fabricius (2005) que muestra concentraciones sobre las cuales ocurren efectos en los corales, 140 N-NH₄ µg/L y 70,0 N-NO₃ µg/L.

En el caso de los hidrocarburos que no tienen nivel de referencia nacional, se usó el valor de 10 µg/L establecido por UNESCO/CARIPOL para aguas no contaminadas (Atwood *et al.*, 1988; UNESCO, 1984), esta referencia indica que concentraciones mayores a 10 µg/L pueden repre-

sentar riesgo para los ecosistemas y organismos marinos. Los metales pesados fueron evaluados teniendo como referencia los niveles de efecto agudo (NEA) establecidos por la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, Buchman, 2008) de los Estados Unidos.

El estado de conservación o deterioro del agua marino-costera del PNNCRSB, se cuantificó utilizando el índice de calidad de aguas (ICAM) propuesto por INVEMAR (Vivas-Aguas, 2007). Este índice se basa en la ecuación 1 que integra las variables oxígeno disuelto, pH, salinidad, nitritos + nitratos, fosfatos, sólidos suspendidos, hidrocarburos, organoclorados totales, Cd, Cr, Pb y Coliformes, para calificar la calidad del agua según el uso, para preservación de flora y fauna (ICAM_{PF}) o para recreación, actividades náuticas y pesqueras (ICAM_{RAP}).

$$ICAM = \sum_{i=1}^n (Q_i \times F_i) - \sum_{i=1}^n (Q_e \times F_i) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Los resultados del ICAM se evaluaron teniendo en cuenta la escala descriptiva de calidad (Tabla 6.1) con valores entre 0 y 100.

Tabla 6.1. Escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas y estuarinas (ICAM). Marín *et al.*, 2003.

Color	Calificación	Nivel de Riesgo	Rango Numérico ICAM (%)
Verde	Excelente - Adecuado	No hay	75 - 100
Amarillo	Bueno - Satisfactorio	Bajo	50 - 75
Naranja	Regular - Deficiente	Medio	25 - 50
Rojo	Malo - Inadecuado	Alto	0 - 25

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad fisicoquímica

Salinidad y pH

La salinidad del agua no es un factor crítico para las especies con capacidad de moverse, sin embargo, para los corales los cambios de salinidad durante períodos de tiempo prolongados puede ser un factor perjudicial (Solano *et al.*, 1993). En el parque, la salinidad varía en un rango de 13 a 36. Los promedios más altos se han hallado durante la época seca (30,9±7,3). Aunque el rango de variación más amplio se observó en la época seca, debido al descenso en la salinidad causado por eventos puntuales de aumento en los caudales de los caños que desembocan en la bahía de Barbacoas. Estos descensos

puntuales y la salinidad menor en época de lluvias demuestran que las crecidas de los caños pueden afectar esta característica del agua provocando efectos negativos sobre algunos de sus ecosistemas marinos.

El pH varió poco, debido a la capacidad buffer del agua de mar ejercida por el sistema de los carbonatos (Libes, 1992; Emerson y Hedges, 2008). En el parque, el pH osciló entre 7,5 y 8,6, con valores promedio más altos durante la época seca (8,2±0,2) que durante las lluvias (8,1±0,2). Durante los períodos de lluvias, aumentan los caudales de los caños que desembocan en la bahía de Barbacoas (Caños Lequerica, Matunilla, Correa y Arroyo Plata), incrementando el flujo de agua. No obstante, debido al efecto buffer del agua de mar, los valores del pH en las islas fluctúan en un estrecho rango sin afectar

los ecosistemas de corales (Corchuelo y Alvarado, 1990; Sarmiento *et al.*, 1990; Bohórquez *et al.*, 2000), de manera similar a lo observado en las islas de San Andrés y Providencia (7,5 y 8,6; REDCAM, 2009). Desde el punto de vista de la legislación colombiana, los valores de pH en toda el área de estudio estuvieron dentro del rango permisible (6,5 - 8,5) establecido para preservación de fauna y flora (Decreto 1594 de 1.984, Art. 45; Minsalud, 1984).

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) varió en un rango desde 6,7 hasta valores de sobresaturación de 12,0 mg/L. Durante la época seca, el OD fue en promedio más alto ($7,9 \pm 2,0$ mg/L) que durante las lluvias ($6,7 \pm 0,8$ mg/L, Figura 6.2), lo cual permite inferir un buen intercambio y circulación de las aguas. En las épocas secas, la presencia de los vientos alisios, favorece la sobresaturación de oxígeno (Andrade, 2003). A pesar de los cambios estacionales observados, los valores de OD siempre estuvieron por encima del límite inferior de calidad (4,0 mg/L) establecido por el Decreto 1594 de 1984 con fines de preservación de fauna y flora y para las actividades recreativas (Minsalud, 1984).

Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos en suspensión (SST) son partículas que se encuentran flotando en el agua, pueden ser partículas inorgánicas o estar asociadas a pequeñas cantidades de materia orgánica, plancton, etc. Los sólidos en suspensión tienen influencia sobre los corales, ya que impiden el paso de la luz del sol, disminuyendo la tasa de fotosíntesis de las Zooxantelas, o pueden causar muerte al depositarse sobre los pólipos (Corchuelo y Alvarado, 1990).

Las concentraciones de SST en el PNNCRSB estuvieron entre 1,6 y 158 mg/L. En la época seca, los SST en promedio fueron más altos ($40,7 \pm 42,1$ mg/L) que durante las lluvias ($18,0 \pm 29,6$, Figura 6.3). Si bien los sólidos suspendidos están afectados principalmente por las descargas del Canal del Dique en la bahía de Barbacoas y por la dispersión de las corrientes hasta los arrecifes del Parque, durante la época seca la dirección de la corriente y la turbulencia generada por los vientos alisios y el fuerte oleaje promueven la suspensión de material particulado en la zona.

Debido a que la norma colombiana no precisa un valor de referencia para los SST en aguas marinas, se utilizó la información de Severine *et al.* (2003), la cual propone que valores cercanos a 10 mg/L son característicos de zonas arrecifales y no representan peligro para el funcionamiento de los ecosistemas coralinos (El 50 % de la información histórica de la REDCAM en la zona de estudio tiene concentraciones superiores a 57,5 mg/L, lo cual evidencia una posible afectación a los sistemas acuáticos del Parque, especialmente cuando se conjugan fuertes oleajes y descargas desde los caños.

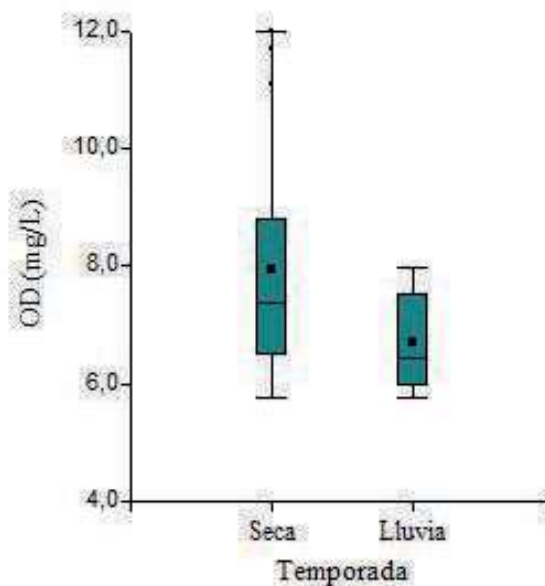


Figura 6.2. Variaciones del oxígeno disuelto (OD) en aguas las Islas del Rosario, durante las épocas seca y lluviosa.

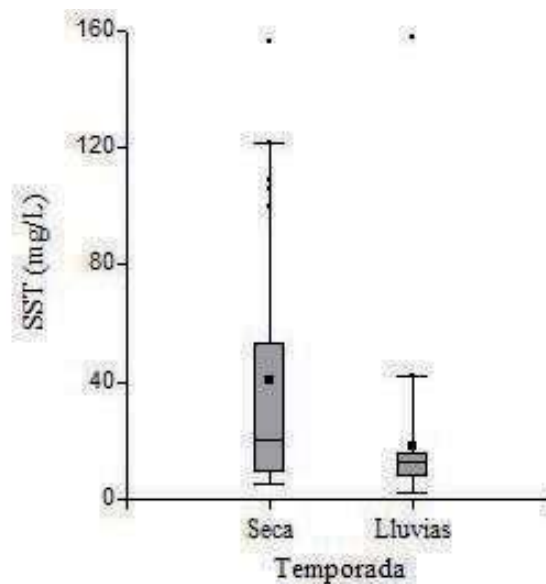


Figura 6.3. Variaciones los contenidos de sólidos suspendidos totales (SST) en aguas las Islas del Rosario, durante las épocas seca y lluviosa.

En el estudio de Restrepo *et al.* (2006) se muestra cómo la pluma de sedimentos del Canal del Dique afecta las características del agua (Figura 6.4). La entrada de sedimentos y la reducción de la salinidad causan un daño agudo a los arrecifes y parecen ser uno de los factores de perturbación que más afectan a las comunidades de coral en las Islas del Rosario. Cabe destacar que el estudio de Restrepo (2006) puso en evidencia cómo la reducción en la cobertura de coral vivo entre 1983 y 1990, coincidió con el aumento en el flujo de sedimentos desde la desembocadura del Canal en la bahía de Barbacoas.

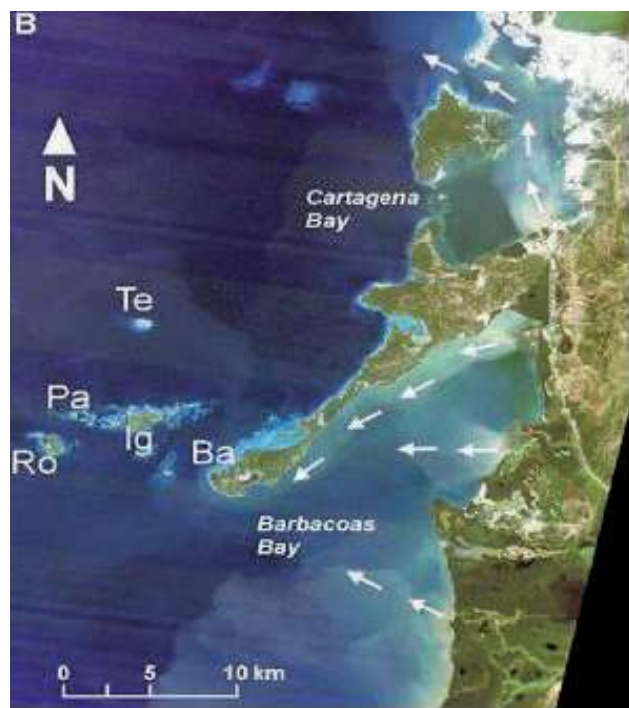


Figura 6.4. Imágenes de Satélite mostrando la pluma de sedimentos (Flechas blancas) del canal del Dique en las bahías de Cartagena y Barbacoas. Pavitos (Pa), Barú (Ba), Grande (Ig), Rosario (Ro), y Tesoro (Te) (Tomado de Restrepo et al., 2006).

Nutrientes

En el ambiente marino los nutrientes inorgánicos disueltos de nitrógeno y fósforo son factores limitantes para la producción fitoplanctónica, debido a que son imprescindibles en la síntesis de compuestos orgánicos durante el proceso fotosintético, pero un exceso de ellos puede generar una sobreproducción de organismos fitoplanctónicos y desencadenar el proceso conocido como eutrofización (Paerl, 2006).

En la descomposición de la materia orgánica los compuestos nitrogenados pasan primero a iones amonio (NH_4^+), luego nitritos (NO_2^-) y por último nitratos (NO_3^-), dependiendo de la disponibilidad de moléculas de oxígeno, con las cuales los nitritos reaccionan rápidamente. Por tal razón, cuando la disponibilidad de oxígeno es alta, como ocurre en las Islas ($>6 \text{ mg/L}$ de OD), las concentraciones de nitritos son bajas, formándose nitratos, que es la forma del nitrógeno usado por el plancton y algas para su nutrición (Lapointe et al., 2005).

Las concentraciones de amonio, en el Parque variaron entre $0,3$ y $240 \text{ N-NH}_4 \mu\text{g/L}$; las concentraciones de nitritos variaron entre no detectable (nd) y $10,0 \text{ N-NO}_2 \mu\text{g/L}$; las de nitratos entre nd y $367 \text{ N-NO}_3 \mu\text{g/L}$; y las de fosfatos entre nd - $170 \text{ P-PO}_4 \mu\text{g/L}$. Estadísticamente sólo se hallaron diferencias entre épocas climáticas, para los nitratos, siendo más altas las concentraciones en época de lluvias

($122,5 \pm 215,9 \text{ N-NO}_3 \mu\text{g/L}$) que en la seca ($27,89 \pm 66,7 \text{ N-NO}_3 \mu\text{g/L}$, Figura 6.5), lo cual indica que su principal aporte se debe a la escorrentía continental a través de los caños que llegan a la bahía de Barbacoas.

Diversos estudios han demostrado que el incremento de nutrientes inorgánicos disueltos producen deterioro de los ecosistemas coralinos. Ward and Harrison (2000) encontraron que concentraciones de amonio superiores a $154 \mu\text{g/L}$, reducen la fertilización de los corales. Esto significa que en las islas del Rosario, donde el 43% de las determinaciones estuvieron por encima de éste valor, pueden estar afectando las especies coralinas.

De igual forma, Fabricius (2005), reportó que a concentraciones $>140 \mu\text{g/L}$ N-NH_4 pueden ocasionar estrés a los corales; y a concentraciones $>70,0 \text{ N-NO}_3 \mu\text{g/L}$, se empiezan a observar incrementos del tamaño, la biomasa, la cantidad de clorofila y la tasa fotosintética de las zooxantelas, originando problemas en el crecimiento de los corales. Sin embargo, en el Parque el aumento de nutrientes no es permanente, ya que los niveles altos de NO_3 sólo se observan en época de lluvias (valores 1,7 veces más altos al nivel indicado anteriormente), en tanto que en la época seca, las concentraciones descienden a niveles que se consideran aceptable para este ambiente ($22,8 \text{ N-NO}_3 \mu\text{g/L}$; Corchuelo y Alvarado, 1990).

El fósforo por ser escaso en los ambientes marinos, se considera el principal limitante de los procesos de productividad primaria (Begon et al., 2006). El análisis histórico de la REDCAM ha permitido establecer que las aguas costeras de Colombia tienen una concentración "normal" de $20 \text{ P-PO}_4 \mu\text{g/L}$ (Troncoso et al., 2006). En el PNNCRSB, la concentración promedio de fosfatos ($50,6 \pm 58,8 \mu\text{g/L}$) fue aproximadamente el doble de este valor (Figura 6.5). No obstante, en el área no se observan procesos de eutrofización o daños por enriquecimiento de nutrientes inorgánicos, debido a la dilución por las corrientes marinas. Sin embargo, la mayor disponibilidad de fosfatos y nitratos parecen favorecer el incremento de la cobertura de algas en las Islas del Rosario contrario a la relativa estabilidad que se registra en las islas de San Bernardo (Navas-Camacho et al., 2009). Aunque existen factores de deterioro en las islas debidas a problemas con disposición de aguas residuales y desechos sólidos, los resultados muestran que esos efectos son puntuales y que la escorrentía continental es la que tiene un efecto más generalizado en el parque y juega un papel importante en la introducción de nutrientes.

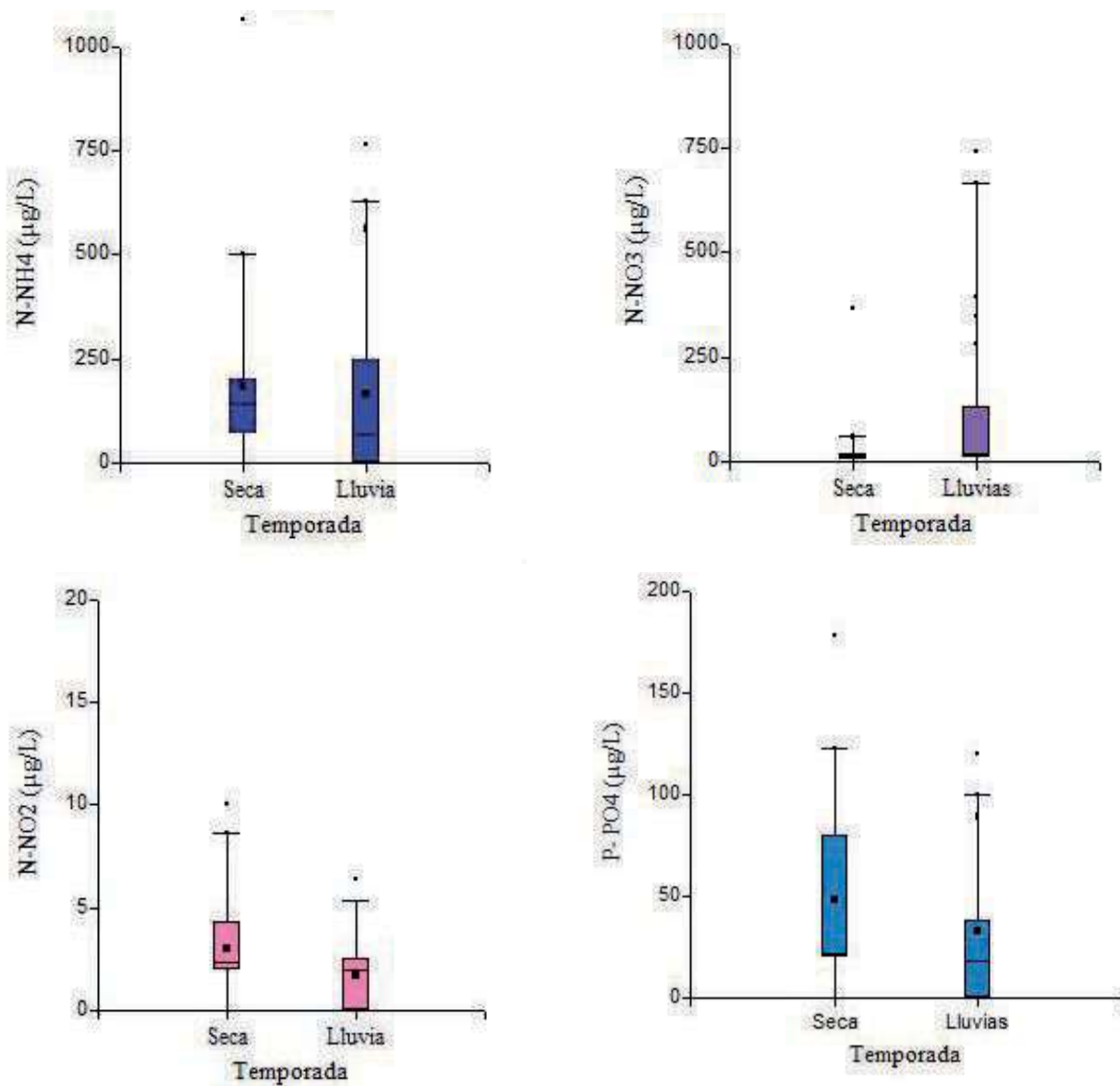


Figura 6.5. Variaciones de las concentraciones de nutrientes inorgánicos en aguas de las Islas del Rosario durante las épocas seca y lluviosa.

Calidad del agua asociada a compuestos orgánicos

Desde el inicio del monitoreo REDCAM, los hidrocarburos y los plaguicidas organoclorados han sido los contaminantes orgánicos evaluados en las aguas del PNNCRSB. A partir del 2010 se incluyeron algunos plaguicidas de uso actual como los organofosforados.

A nivel ambiental, los estudios de hidrocarburos se centran en la fracción aromática que por su naturaleza hidrofóbica y baja degradabilidad se convierte en la fracción más tóxica del petróleo y sus derivados. Aunque el número de registros de contaminantes orgánicos en torno a las islas ha sido pequeño (Tabla 6.2), se han hecho seguimientos a

incidentes, como el ocurrido en el 2005, cuando la M/N Saetta derramó *fuel oil* No. 6, frente a Bocachica (Tabla 6.3) y alcanzaron a afectar algunos ecosistemas como praderas de *Thalassia*, manglares, playas y algunas crestas arrecifales del parque.

De forma general no se observa una tendencia temporal de cambio en las concentraciones de hidrocarburos en aguas, quizás porque para establecer tendencias de contaminantes, es necesario tener una alta densidad de datos ya sea por frecuencia o por un período de tiempo más largo de monitoreo. La variabilidad en las concentraciones, puede tener origen en los vertimientos de las embarcaciones que transitan por el área del parque, y como lo han indicado varios investigadores la presencia

en el medio marino es una consecuencia inevitable del uso y transporte mundial del petróleo y sus productos. Aunque unos pocos registros estuvieron cerca del valor de referencia de 10 $\mu\text{g/L}$ (Atwood *et al.*, 1988) a principios de la década, en la actualidad se encuentran en un nivel bajo de contaminación que no representa riesgo para los organismos acuáticos (Tabla 6.2).

Las concentraciones de hidrocarburos en sedimentos y organismos un año después del derrame de *fuel oil* en las estaciones del PNNCRSB, se consideran entre contaminación *media y baja*. En los sedimentos de la Ciénaga de Cholón, se encontraron las mayores concentraciones (Tabla 6.3), sin que superaran el valor referencia de 3,9 $\mu\text{g/g}$ (NOAA, 1990). El análisis de tejido del caracol *Cittarium pica*, no mostró evidencias de contaminación o fenómenos de acumulación o biomagnificación por hidrocarburos (Tabla 6.3). Adicionalmente, en el estudio de seguimiento al derrame, se realizaron análisis cromatográficos que indicaron que los residuos de hidrocarburos hallados en las estaciones, aunque eran de origen petrogénico, no presentaban una fuente común con los residuos de *tarballs*

de la zona afectada por el derrame, lo cual indica que los residuos de hidrocarburos en la zona, son debidos a las diversas actividades que allí se desarrollan, como el tránsito de embarcaciones de turismo o las aguas servidas de la población de Barú (Troncoso *et al.*, 2007).

En cuanto a plaguicidas el riesgo más importante es el escurrimiento de estos productos a través de los canales que conectan el mar Caribe con el río Magdalena. Los monitoreos de REDCAM en las estaciones del parque, sólo detectaron algunas trazas de plaguicidas organoclorados en dos estaciones en la isla Barú (Entre Periquito -Ciénaga de Cholón y Punta Hormiga), en el 2001. En los monitoreos posteriores del 2003 hasta el 2010 no se detectaron plaguicidas. Esto puede ser una consecuencia favorable de la dilución que tienen las aguas del Canal del Dique en la bahía de Barbacoas y Cartagena, ya que en estudios realizados en aguas y sedimentos provenientes del Canal del Dique se han detectado trazas de insecticidas como el clorpirifos, heptacloro, lindano, endosulfan, endrinaldehído, endrin acetona y herbicidas como la atrazina (Betancourt-Portela *et al.*, 2009).

Tabla 6.2. Concentración de hidrocarburos aromáticos (HAT) en aguas del parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (Tomado de Invemar, 2010).

Año	2001 (época seca)	2003 (época lluviosa)	2006	2010 (época seca)
Rango de concentración de HAT ($\mu\text{g/L}$)	0,07 - 10,2	0,21 - 0,25	1,17 - 1,68	0,36 - 0,85
No. Mediciones	7	3	4	5

Tabla 6.3. Concentración promedio hidrocarburos Aromáticos (HAT) en sedimentos y organismos del PNNCRSB, un año después del derrame del M/N Saetta.

Estación	HAT en sedimentos ($\mu\text{g/L}$)	HAT en caracoles <i>Cittarium pica</i> , $\mu\text{g/g}$
1. Tierra Bomba-Mar (referencia) Globe	0,62 $\pm$ 0,47	
2. Boca Chica (Zona Accidente)	1,18 $\pm$ 0,81	
3. Isla Tesoro	0,87 $\pm$ 0,93	2,62 $\pm$ 2,51
4. Isla Grande	0,68 $\pm$ 0,54	1,81 $\pm$ 1,68
5. Frente a Ciénaga Cholón	0,98 $\pm$ 1,18	2,31 $\pm$ 1,88
6. Ciénaga Cholón segunda entrada	2,48 $\pm$ 1,20	

Calidad del agua asociada a metales

El principal inconveniente de los metales pesados en el medio ambiente es que a diferencia de muchos contaminantes orgánicos no se degradan por la actividad microbiana, por el contrario pueden ser enriquecidos por los organismos y al estar en concentraciones que sobrepasan los niveles naturales generan serios problemas ecológicos como la bioacumulación y biomagnificación a través de las cadenas tróficas (Ansari *et al.*, 2004).

Los estudios de contaminación por metales pesados en el departamento de Bolívar se han enfocado en la bahía de Cartagena, debido al interés despertado por la contaminación con mercurio (Hg), proveniente de la fábrica de Cloro-Soda, que empleaba este metal en la producción de Cloro y descargaba sus residuos directamente al mar (Guerrero *et al.*, 1980). Estos estudios han revelado la persistencia de la contaminación no sólo con Hg, sino con otros metales pesados potencialmente tóxicos tanto en sedimentos como aguas, principalmente en la bahía interna, frente a la zona industrial de Mamonal, y en la

zona de influencia de la pluma del canal del Dique, (Plagiardini *et al.*, 1982, Marciales y Duarte, 1988, Lonin *et al.*, 2003, Parra *et al.*, 2011).

En el proyecto REDCAM, se han monitoreado los metales Cd, Cr, Cu, Pb y Zn (Tabla 6.4). En general, las concentraciones de estos metales son inferiores a la concentración

por encima de la cual se pueden producir efectos agudos (NEA) con excepción del cadmio (Cd), que en el 2007 estuvo cercano al valor de referencia (41,50 µg/L), no obstante estos datos puntuales no generaron un impacto en la zona.

Tabla 6.4. Registro histórico de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb y Zn) en estaciones ubicadas en Islas del Rosario (Tomado de base de datos REDCAM, INVEMAR, 2010).

Año - Normas	Cadmio (µg/L)	Cromo (µg/L)	Plomo (µg/L)	Zinc (µg/L)
2001	2,30 - 3,0	0,8	22,8 - 70,8	--
2002	0,4 - 1,2	<LD - 0,9	9,0 - 33,2	--
2003	<LD - 22,0	0,1 - 31,0	67,5 - 220,0	--
2004	0,6 - 9,7	<LD	<LD - 44,2	<LD - 1,8
2005	<LD - 7,0	<LD	--	<LD - 10,0
2007	<LD - 41,5	<LD - 21,0	72,0 - 86,0	3,0 - 56,5
2008	<LD	<LD - 10,0	<LD - 310,0	1,0 - 24,0
2010	<LD	2,8 - 5,7	<LD	<LD - 2,5
NEA (Buchman, 2008)	40	1100	210	90

<LD: Menor al límite de detección de la técnica analítica.

Calidad microbiológica

El PNNCRSB es un lugar de recreación para visitantes nacionales y extranjeros. En este sentido, la calidad microbiológica juega un papel fundamental, ya que refleja condiciones sanitarias del ambiente, la influencia de fuentes antropogénicas y posibles riesgos para la salud de las personas que disfrutan de actividades de recreación en la zona (OMS, 2003). La evaluación de la calidad microbiológica se realiza mediante la detección de microorganismos indicadores, como los coliformes, que por sus características pueden mostrar contaminación reciente por materia orgánica o fecal (Silva *et al.*, 2004).

El monitoreo de la REDCAM ha mostrado que en general, las aguas del PNNCRSB presentan condiciones microbiológicas adecuadas para actividades de contacto primario, como la natación, el buceo, el surf y el careteo (NHMRC, 2005), con excepción de la estación del Islote que ha presentado condiciones sanitarias no aptas (Tabla 6.5), por sobrepasar el valor de coliformes termotolerantes establecido en la norma colombiana (200 NMP/100 mL; Minsalud, 1984). Para las actividades de contacto secundario que implican contacto indirecto del cuerpo con el agua o la inmersión no es total, como paseos en bote y actividades de pesca, únicamente en un muestreo en el Islote y en Caño ratón se obtuvieron valores de coliformes totales superiores al establecido por la normatividad nacional (5000 NMP/100 ml). En la actualidad, Colombia no cuenta con límites microbiológicos para preservación

de flora y fauna, sin embargo, si se compara con valores de otros países como Perú y México, que establecen un valor límite de 10000 NMP/100 ml de coliformes totales (Salas, 2000), las condiciones presentadas son óptimas para el desarrollo de los organismos, con excepción del sector del Islote.

La mala calidad de las aguas en el sector del Islote, se debe al sobrepoblamiento de la isla y a la falta de infraestructura sanitaria básica que conllevan a que los residuos generados sean vertidos directamente al mar, aumentando la concentración de microorganismos de origen fecal. En el Islote existe una fuerte presión demográfica de 8,3 personas por m², siendo una de las islas de mayor densidad poblacional a nivel mundial (≈1200 habitantes en 0,01 Km²). Según INVEMAR/UAESPNN/NOAA (2006) sólo el 19% de las viviendas cuenta con instalaciones sanitarias de pozo séptico como servicio sanitario familiar, las cuales en su mayoría son compartidas por varias casas y familias. El 81% restante utiliza el mar como el principal sitio para la disposición final de excretas.

En las demás estaciones del PNNCRSB la buena calidad microbiológica se puede ver favorecida por los procesos de radiación solar, temperatura y salinidad que contribuyen al descenso de las poblaciones microbianas en la columna de agua (Hose *et al.*, 2005; Olyphant, 2005; Mallin *et al.*, 2000).

Tabla 6.5. Características microbiológicas de las aguas del PNNCRSB durante el periodo 2001-2009

Estaciones	No. Mediciones	Coliformes totales		Coliformes termotolerantes	
		Rango (NMP/100mL)	Número de veces No Apta Contacto Secundario	Rango (NMP/100mL)	Número de veces No Apta Contacto Primario
Banco de Coral frente a Isla Arena	16	1,8-40	-----	1,8-30	-----
Frente a Isla Arena	9	2-240	-----	3,0 - 56,5	-----
Isla Barú - Bahía de Barbacoas	15	2-430	-----	2-240	1
Islas del Rosario - Caño Ratón	16	1,8-11.000	1	1,8-150	-----
Oceanario (2005-2009)	8	2-2400	-----	2-23	-----
Islote (Santa Cruz de los Pescadores - San Bernardo)	12	40-35000	1	20-35000	5

Evaluación de la calidad de las aguas marinas

El índice de calidad de las aguas marinas para preservación de flora y fauna ($ICAM_{PFF}$), se analizó en función del conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas del recurso requeridas para proteger el hábitat de una especie o una comunidad de flora o fauna. De acuerdo a los resultados del muestreo de 2010 realizado en época seca en 8 estaciones del parque, el índice de preservación $ICAM_{PFF}$ estuvo dentro de la calificación Excelente. La estación de caño Ratón obtuvo el mejor índice (84,7), seguido del Oceanario (83,9), aunque el menor valor del $ICAM_{PFF}$ se determinó en la estación Cholón (82,8), este valor está dentro de la categoría de calidad

adecuada para la preservación de la flora y la fauna (Tabla 6.6). Igualmente, el $ICAM_{RAP}$ para el uso en actividades recreativas y de playa durante la época seca del 2010 muestran que las estaciones muestreadas son aptas para la recreación y no representan riesgo para los bañistas.

En los muestreos realizados durante los años 2001 y 2003, los indicadores de calidad $ICAM_{PFF}$ e $ICAM_{RAP}$ mostraron condiciones menos favorables (Tabla 6.6). Esto tiene un papel fundamental en el desarrollo de la población, ya que el recurso hídrico en la zona cumple con diferentes propósitos en el ámbito social, económico y ambiental (Noble *et al.*, 2004).

Tabla 6.6. Calidad del agua marino-costera en los sitios de muestreo evaluados con el índice de calidad para preservación de flora y fauna ($ICAM_{PFF}$) y para recreación, actividades náuticas y pesca ($ICAM_{RAP}$). Los colores simbolizan la calidad de acuerdo con la calificación

Sector	Nombre	Año	$ICAM_{PFF}$	$ICAM_{RAP}$	Color
Arena	Isla Arena	2002	87,10	85,80	Verde
		2010	83,80	82,60	Verde
Barú	Cholón	2001	85,22	85,96	Verde
		2010	82,82	82,06	Verde
	Isla Barú	2002	82,07	78,26	Verde
		2003	72,73	71,39	Amarillo
Grande	Hormiga	2001	91,23	91,18	Verde
		2001	72,89	70,46	Amarillo
		2003	79,27	75,77	Verde
		2010	83,09	81,92	Verde
Oceanario	Oceanario	2010	83,90	83,08	Verde
Ratón	Caño Ratón	2010	84,73	83,88	Verde
Rosario	Isla Rosario	2001	86,76	87,57	Verde

CONCLUSIONES

En general, las condiciones fisicoquímicas de las aguas marinas alrededor del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo son buenas. Sin embargo, durante las temporadas de lluvias por efecto de las descargas desde el continente se observan aumentos de las concentraciones de nutrientes inorgánicos y del material suspendido, incluso rebasando las concentraciones de referencia, y disminución de la salinidad, estas condiciones pueden tener efectos negativos sobre los ecosistemas del parque, especialmente los corales.

En el caso de los contaminantes, la presencia de hidrocarburos y de microorganismos indicadores de contaminación fecal, están asociados a las actividades desarrolladas al interior del área del parque. Los hidrocarburos, aunque están en un nivel bajo de contaminación, parecen originarse del tránsito de pequeñas embarcaciones para

actividades marítimas de poblaciones ribereñas y para el turismo de la zona. En cuanto a los microorganismos, las aguas del Parque han presentado condiciones microbiológicas adecuadas para el desarrollo de actividades de recreación y para preservación de flora y fauna, con excepción del sector del *Islote* (San Bernardo), debido a la sobrepoblación de la isla y a la falta de infraestructura sanitaria.

Los metales pesados (Cu, Zn, Cd, Cr y Pb) y los plaguicidas (clorados y fosforados), han sido indetectables o las concentraciones bajas comparados con las normas internacionales, por lo tanto no representan riesgo para los organismos marinos y costeros de la zona. Si bien existe el riesgo de introducción de estos contaminantes a través de los caños y descargas continentales en la bahía de Barbacoas, los bajos niveles se deben a la dilución que experimentan las aguas continentales al llegar al mar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C.A., E.D. Barton y C.N.K. Mooers. 2003. Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean coast. *Journal Geophysics Research*. 108: 3185-3196.
- Ansari, T.M., L.I. Marr y N. Tarid. 2004. Heavy metals in marine pollution perspective - A mini review. *Journal of Applied Sciences*. 4(1): 1-20.
- APHA, AWWA y WEF (Eds.). 2005. Standard methods for the examination of water and waste water. 20th ed. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). 20 edition. Washington, D.C.
- Atwood, D.K., F.J. Burton, J.E. Corredor, G.R. Harvey, A.J. Mata-Jimenez, A. Vasquez-Botello y B.A. Wade. 1988. Petroleum pollution in the Caribbean. *Oceanus*. 30(4): 25-32.
- 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.
- Begon, M., C. Townsend y J. Harper. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. 4 edition. Blackwell Publishing Ltda. Oxford.
- Betancourt-Portela, J.M., L.F. Espinosa, y L.A. Echeverri. 2009. Evaluación de plaguicidas en aguas y sedimentos del Caribe colombiano. En: libro de resúmenes COLACMAR- Cuba 2009. La Habana.
- Corchuelo, M. y E. Alvarado. 1990. Factores físico-químicos imperantes en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario. En: *Memorias del VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del mar*: Cali.
- Cox, E.F. y S. Ward. 2002. Impact of elevated ammonium on reproduction in two Hawaiian scleractinian corals with different life history patterns. *Marine Pollution Bulletin*. 44: 1230-1235.
- Emerson, S.R. y J.I. Hedges. 2008. *Chemical oceanography and the marine carbon cycle*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Fabricius, K.E. 2005. Marine Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*. 50: 125-146.
- Garay, J., G. Ramírez, J. Betancourt, B. Marin, B. Cadavid, L. Panizzo, J. Lesmes, H. Sánchez y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR, Serie Documentos Generales N° 13, Santa Marta.
- Guerrero, E.; E. Podlesky y M. Restrepo. 1980. Estudio de la contaminación por mercurio en un estuario tropical (Bahía de Cartagena, Colombia) y evaluación de la magnitud de sus efectos sobre una población expuesta, 1976 - 1979. Informe técnico. Cartagena.
- 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. *Journal of water and health*. 3:349-358.
- INVEMAR/UAESPNN/NOAA. 2006. Establecimiento de un Sistema de Monitoreo Socioeconómico para El Parque Natural Corales Del Rosario y San Bernardo - sector San Bernardo, Caribe Colombiano. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR- Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales. NOAA: Santa Marta.
- INVEMAR. 2010. Base de datos de la REDCAM. Disponible en: <http://www.invemar.org.co/consultadisticas.jsp> 15/06/2010.
- Lapointe, B. E., P.J. Barile, M. M. Littler, D.S. Littler, B.J. Bedford, C. Gasque. 2005. Macroalgal blooms on southeast Florida coral reefs I. Nutrient stoichiometry of the invasive green alga *Codium isthmocladum* in the wider Caribbean indicates nutrient

- p>enrichment. Harmful Algae (4): 1092-1105
- Lonin, S., C. Parra, C. Andrade, y Y. Thomas. 2003. Patrones de la pluma turbia del canal del Dique en la bahía de Cartagena. Boletín Científico del CIOH. 22:77-90.
- Mallin, M., K. Williams, C. Esham y P. Lowe. 2000. Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. Ecological Applications. 10(4): 1047 - 1056.
- Marciales, C. y M. Duarte. 1989. Determinación de Cd, Cu, Cr, Pb y Zn en sedimentos de la Bahía de Cartagena. En: Memorias del VI Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Cali.
- 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 1.979, 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.
- Navas-Camacho, R., K. Gómez-Campo, J. Veja-Sequeda y T. López-Londoño. 2009. Estado de los arrecifes coralinos. En: Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2008. Serie de publicaciones periódicas No. 8. Santa Marta.
- NOAA. 1990. A special 20th anniversary report, coastal environmental quality in the United States, chemical contamination in sediments and tissues. Washington.
- NHMRC- National Health and Medical Research Council. 2005. Australian guidelines for recreational use of water. Australian Government. Sidney.
- Noble, R., M. Leecaster, C. McGee, S. Weisberg y K. Ritter. 2004. Comparison of bacterial indicator analysis methods in stormwater-affected coastal waters. Water Research. 38: 1183 - 1188.
- Olyphant, G. 2005. Statistical basis for predicting the need for bacterially induced beach closures: Emergence of a paradigm?. Water Research. 39: 4953-4960.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: Coastal and fresh waters. Ginebra.
- Paerl, H. W. 2006. Assessing and managing nutrient-enhanced eutrophication in estuarine and coastal waters: Interactive effects of human and climatic perturbations. Ecological Engineering. 26: 40-54.
- Parra, J.P., L.F. Espinosa y Betancourt-Portela, J.M. 2011. Evolución y estado de la contaminación por metales pesados y compuestos orgánicos en la bahía de Cartagena, Colombia. Informe del proyecto IAEA-INVEMAR Proyecto RLA/7012. Santa Marta.
- PNNCRSB. Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo. 2006. Plan de Manejo del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo 2005-2009. Parques Nacionales Naturales de Colombia Territorial Caribe. Cartagena.
- Ratter, B. 2001. Redes Caribe San Andrés y Providencia y las Islas Caimán: entre la integración económica mundial y la autonomía cultural regional. Universidad Nacional de Colombia. Unibiblos, Bogotá.
- Restrepo, J.D., P. Zapata, J.M. Díaz, J. Garzón-Ferreira y C.B. García. 2006. Fluvial fluxes into the Caribbean Sea and their impact on coastal ecosystems: The Magdalena River, Colombia. Global and Planetary Change. 50 (1- 2): 33-49.
- Salas, H. 2000. Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS). Washington.
- Sarmiento, E., F. Flechas y G. Alvis. 1990. Evaluación cuantitativa del estado actual de las especies coralinas del Parque Nacional Natural Corales del Rosario, Cartagena (Colombia). En: Memorias del VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del mar: Cali.
- Silva, J., L. Ramírez, A. Alfieri, G. Rivas y M. Sánchez. 2004. Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología. 24: 46-49
- Solano, O., G. Navas, S. Moreno. 1993. Blanqueamiento coralino de 1990 en el Parque Nacional Natural corales del Rosario (Caribe colombiano). Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín, 22: 97-111.
- Troncoso, W., L.J. Vivas y J. Garay. 2006. Fundamentos para el establecimiento de límites permisibles de los parámetros indicativos de la calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia. Informe técnico final. Santa Marta. 89 p.
- Troncoso, W. J.P Parra, D.L. Gil-Agudelo. 2007. Calidad de las aguas y sedimentos dentro del área afectada por el derrame de hidrocarburos de la m/n Saetta y su posible influencia sobre organismos. Informe técnico final, convenio de cooperación INVEMAR/ECOPETROL/CARDIQUE/UAESPNN. Santa Marta.
- UNESCO, 1984. Manuales y guías No. 13 de la COI. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. Mónaco.
- Vivas-Aguas, L.J. 2007. Calibración, validación e implementación de la batería de indicadores de la calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia. Informe Técnico de consultoría No. 0550-06. Convenio No. 001/04 OEI- MAVDT-IDEAM- INVEMAR.